

tribologija u industriji

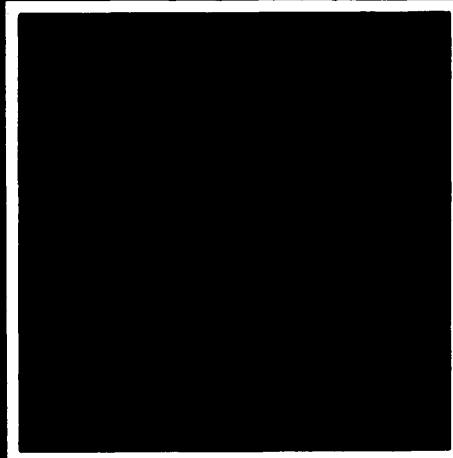
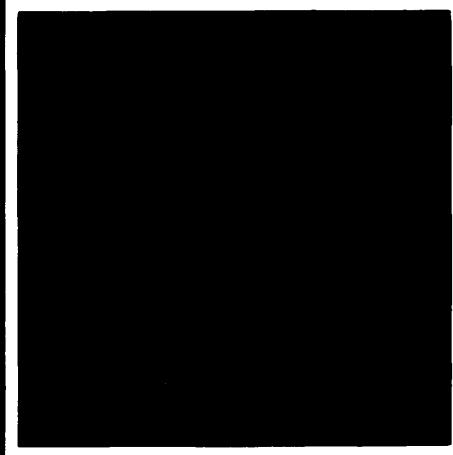
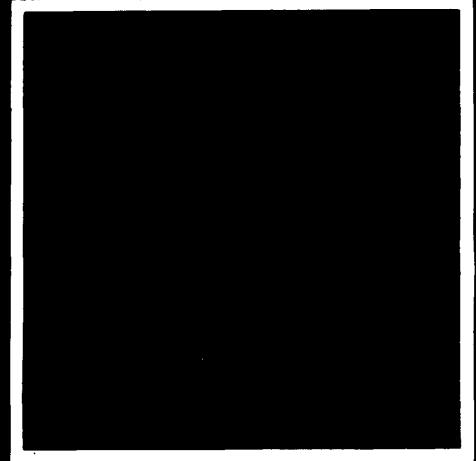
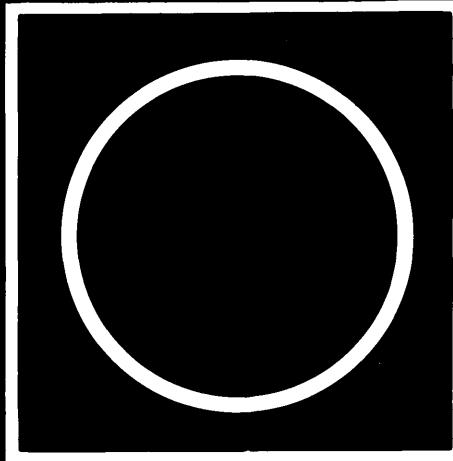
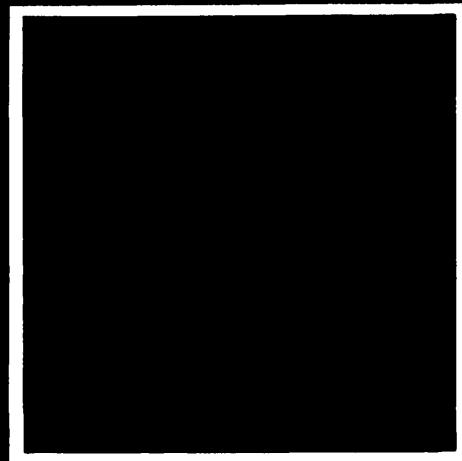
YU ISSN 0351 - 1642

3

GODINA XIII

BROJ 3

OKTOBAR 1991.



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

tribologija u industriji

sadržaj contents содержание

UVODNIK INTRODUCTION ПЕРЕДОВИЦА	S. VEINOVIĆ: Tribologija i ekologija □ Tribology and ecology □ Трибология и экология	67
ISTRAŽIVANJA RESEARCH ИССЛЕДОВАНИЯ	M. LAZIĆ: Obrada na automatima - rezna ulja ili emulzije? □ Machining on automats - cutting oils or emulsion? □ Обработка на автоматах - режущие масла или эмульсии?	69
	N. REPČIĆ: Tribo - konstruktivni smisao radikalne fleksibilnosti manžetnih zaptivnih setova □ Tribo - constructional sense of radial flexibility of the retainer seal sets □ Трибо - конструктивный смысл радиальной эластичности манжетных уплотнителей	76
	A. ŠATERIN, R. JEČMENICA, P. DAŠIĆ: Teoretski i primjeni aspekti problema plazmeno-mehaničke obrade teško obradivih materijala □ Theoretical and application aspects of problem of plasma-mechanical machining of handily machinable materials □ Теоретические и прикладные аспекты проблемы плазменно-механической обработки труднообратываемых материалов	81
ZA NEPOSREDNU PRAKSU FOR DIRECT PRACTICE ДЛЯ НЕПОСРЕДСТВЕННОЮ ПРАКТИКУ	B. ČURČIĆ: Aktuelni problemi poslovanja sa vodotopivim SHP - dilema pojedinačne mašine ili centralni sistemi	85
TRIBOLOŠKI REČNIK GLOSSARY OF TRIBOLOGY TERMS СЛОВАРЬ ПО ТРИБОЛОГИИ	88
KNJIGE I ČASOPISI BOOKS AND JOURNALS КНИГИ И ЖУРНАЛЫ	90
NAUČNI SKUPOVI SCIENTIFIC MEETINGS НАУЧНЫЕ СОБРАНИЯ	93
REZIMEA ABSTRACTS РЕЗЮМЕ	95

Tribologija i ekologija

Prihvativši obavezu da napišem ovaj uvodnik počeo sam da strepim da će razočarati čitaoca. Ovde nećete naći komplikovane definicije ni tribologije ni ekologije "...kao multidisciplinarnih naučnih oblasti kojima treba da se u praksi bave profesionalne organizacije i službe". *Zar samo one?* Mislim da je to posao svakog od nas, počev od formiranja ideje preko njenog oblikovanja za konstruktorskim stolom, do zadnjeg dana eksploatacije i ponovnog uključivanja industrijskih proizvoda u sirovinski krug!

Čitajući domaće i strane stručne časopise se našao sam veliki broj zabluda koje su me inspirisale za ovaj tekst. Kako to izgleda u našoj sferi interesovanja, za ekologiju i tribologiju, prikazaću kroz nekoliko primera. Ponavljam da po tome nema ozbiljnije razlike izmedju stranih i domaćih autora, svi smo isti ljudski rod. Razlike postoje izmedju jedinki analogno prirodi: svako je rođen za nešto.

Evo primera iz biologije za solističke i masovne aktivnosti. Mimoza prva cveta još u kasnu zimu. Ako je izolovana radi zaštite njen životni vek je oko 30 godina. Ako je slobodna u prirodi tj. izložena napadu strižibube koja joj potseca mlade grančice vek joj se produžava do 100 godina. Mrav termit kao jedinka se ponaša bezglavo u ma kakvu okolinu ga smestili. Čim je u zajednici, koja potseća na haos po broju u mravinjaku, počinje da zida gradjevine sa punim konforom koje čovek teško može da uništi!

Medju najboljim prijateljima postoji blaga grdnja za pogrešno rezonovanje: traži od svog učitelja da ti vrati pare što te nije još u osnovnoj školi tome naučio! Kada se bolje razmisli svi smo nedoučeni pa ni tim našim učiteljima nije lako. Možda smo im već zaboravili ime

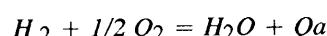
i lik, a svakako i činjenicu da za njih važi ista rečenica: i oni su djaci svojih učitelja! Vrhunske svetske škole nastoje da dovedu najbolje profesore. Pažljivim slušaocima je predavač ne samo uzor već i izazov: dostići, prevazići i ili opovrgnuti.

Od brojnih školskih znanja u glavi trajno ostaje *zakon održanja energije* koji kaže da je energija neuništiva, a u svojim oblicima međusobno ekvivalentna Električna = Hemijska = Kinetička = Unutrašnja = ... Ograde se podrazumevaju i lako zaboravljaju: ovo važi za uobičajene temperature, pritiske, brzine, bez promene molekulskih i atomskih struktura.

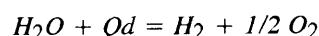
Naredna stepenica je ekvivalentnost mase i energije po Anstajnu: jedan gram mase kamena ima energiju ravnу, po količini, onoj u 2000 litara benzina. Mi ćemo se zadržati na termogenim materijama i onim zakonima fizike koji se manifestuju u svakodnevnim uslovima. Prema prof. dr Zoranu Rantu, dipl. inž. primarni nosioci energije su uzajamno jednak po sadržaju ali ne po kvalitetu energije. Dovoljno je povesti razgovor o bilo kom uredjaju pa da se termin "gubitak energije" više puta čuje. Elektro distribucija naplaćuje "angažovanu" energiju, toplane prodaju tone uglja koje su kupile, a ne energiju koju isporučuju (još više nas oštećuju ako naplate kubne metre prostorija koje bi trebalo da greju). Pre više od 30 godina Z. Rant je zakon održanja energije ovako formulisao: $Q = Ex + An$ ili rečima *energija (Q) se sastoji od eksnergije (Ex) i anergije (An)*. Energija (Q) ne može da nestane. Ona može da se degradira tj. da predje u niži oblik. Eksnergija (Ex) je deo energije koji može u punom iznosu da se prevede u druge oblike energije. Ona može da se gubi i da nestaje. Anergijska (An) je onaj deo energije koji ne

može da se prevede u druge oblike energije.

Primer: Okolina ima eksnergiju (Ex) blisku nuli, a maksimalnu anergiju (An). Ne postoji motor koji može da koristi anergiju okoline za dobijanje rada! Termogene materije *gas, nafta i ugalj* poseduju energijski potencijal $Q = Ex + An$ koji se pretvara u eksnergiju sa stepenom korisnosti zavisno od tipa mašine. Električna energija ima eksnergiju blisku maksimumu i minimalnu anergiju. Zato se za električnu energiju kaže da pretstavlja plemenit oblik energije. U našim školskim knjigama se ne nalaze ove definicije prof. Z. Ranta iz pedesetih godina. Zakon održanja energije treba ovako da glasi: *samo jedan deo energije - eksnergija - može potpuno biti pretvoren u druge oblike. Eksnergija može da se gubi i nestaje.* (Za ljubitelje Marfijevih zakona: ništa ne može da nestane - može samo da poraste!). Formula vode je u svoje doba tretirana kao "otkrive vode" jer je pokazivala da voda nije element već jedinjenje:



Sagorevanjem vodonika (H_2) i kiseonika (O_2) dobija se voda i toplota $Qa = 116650 \text{ kJ/kg}$. Za termičko razlaganje vode na vodonik i kiseonik treba utrošiti toplotu $Qd = 142950 \text{ kJ/kg}$:



Zabluda je u tvrdnji da je Qa (toplota asocijacije) jednaka Qd (toploti disocijacije). Ako odnos Qd/Qa nazovemo stepenom povrativosti onda vidimo da je on manji od jedan ($=0.83$). Dakle, pretvaranje hemijske energije u toplotu nije povrativ proces niti obrnuto. Prof. dr inž. F. Bošnjaković kaže da toplota nije energija već forma transformacije energije.

Evo tabele sa energijskim učinkom za hemijske procese iz tehnike:

REAKCIJE	Qa kJ/kg	Qd kJ/kg	Učinak
C + O	32866	32791	1.02
CO + O	9896	10884	0.9
H ₂ + O	116650	142950	0.83
CH ₄ + O	58428	63600	0.92
C ₆ H ₆ + O	42693	43573	0.98

Svi hemijski procesi koje prati pojava toplote imaju nizak stepen korisnosti i termodinamički su nepovratni. Hladno sagorevanje je prevodenje hemijske energije u električnu. To je proces oplemenjivanja energije. Elektroliza je prevodenje električne u hemijsku energiju. Ako ne govorimo o sirovinama onda je to postupak degradacije energije.

Zaključak: dobijanje tečnih goriva iz električne energije je višestruko problematično po kriterijumu "S+3E" = Sirovine + Ekonomija + Energija + Ekologija. Medju klasičnim postupцима za dobijanje termogenih materija ekološki je najprihvatljivija redukcija ugljendioksida u ugljenmonoksid!

U razvoju ljudske civilizacije postoje prelomni periodi. Tako se prvom industrijskom revolucijom zove faza zameđe ljudskog i životinjskog fizičkog rada mašinama. Odmah posle ishrane dolazi na red ugodan životni ambijent pa onda druge usluge čovekovih pomoćnika. Suština prve industrijske ere je u veštini dobijanja toplote i rada iz primarnih nosilaca energije:

Oblik energije	Način transformacije	
	u toplotu	u rad
hemijska (ugalj, gas, nafta)	Direktno	Posredno
Geotermalna	D	P
Solarna	D	P
Nuklearna	D	P
Električna	D	D

Kod dovodjenja i odvodjenja toplote fizika daje obrazac oblika:

$$Q = Cp (T_2 - T_1)$$

gde je: Cp - specifična toplota radne materije pri stalnom pritisku
 T_2 i T_1 - temperaturske vrednosti topljeg i hladnjeg tela.

Tvrdi se da je svejedno da li dovodimo ili odvodimo toplotu, po ovoj formuli je to svejedno.

U čemu je zabluda?

Da bismo zagrejali neku prostoriju za 100 stepeni ili ohladili za isto toliko stepeni potrebna je ista količina energije. Jedino što za hlađenje treba skoro tri puta više eksnergetskog sadržaja - drugim rečima energije višeg kvaliteta! Kada u nekoj mašini, kao što su topotni motori dobijamo rad mi time razdvajamo eksnergiju od anergije. Kada podižemo unutrašnji potencijal fluida, na primer u topotnim pumpama, onda mesamo eksnergiju motora sa anergijom okoline.

Zaključak: Razni vidovi energije se međusobno razlikuju po eksnergiskom učinku i po delovanju na okolinu. Usavršavanjem tehničkih postrojenja smanjujemo energijsko i ekološko opterećenje okoline.

Već smo pri kraju druge i na pragu treće industrijske revolucije pa nam ne priliči da nastavimo sa zabludama. Električna energija je plemeniti oblik energije koji se praktično u punoj meri može pretvoriti bilo u toplotu bilo u mehanički rad. Još da su nam Teslini patenti o bežičnom prenosu energije! Postupci za dobijanje električne energije su procesi *oplemenjivanja energije*. Ali to važi samo po cilju, pa svaki postupak moramo kompleksno sagledati: po koju cenu "S+3E" ostvarujemo taj cilj. Dobijanje električne energije primitivnim nuklearnim reakcijama je pogubno za okolinu.

P r i m e r : Postoji više puteva za pretvaranje raznih oblika energije u buku. Ali samo u crtaču o prof. Baltazaru imamo mašinu uspavalicu: ona usisava buku iz okoline prostirući melem od snova za umorno telo.

U čemu su zablude?

Sve do nedavno je kvalitet života meren potrošnjom energije po glavi stanovnika. Kosmička era je direktno ukazala na

ograničenost prostornih, ekoloških i energijskih kapaciteta naše Planete.

Za naš opstanak i produžetak ljudske vrste na ovom globusu postoje dva strateška uzusa:

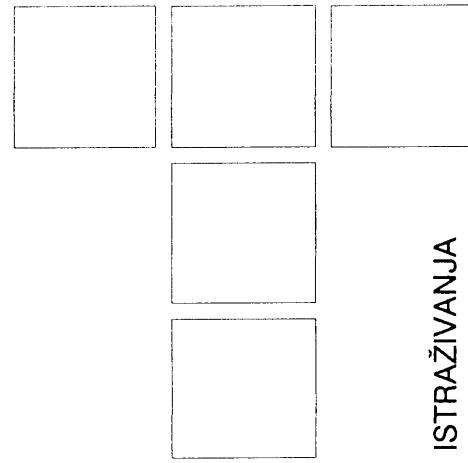
- Prelazak sa neobnovljivih na obnovljive izvore energije i sirovina, i
- Uskladivanje energijskih i demografskih odnosa uz stalnu racionalizaciju u lokalnim i svetskim razmerama.

Ima priznatih naučnih gledišta koja ukazuju na propast mnogih ranijih civilizacija onog momenta kada su ozbiljnije ugrozile prirodnu ravnotežu. Ne smemo planirati neograničen rast u aktiviranju potencijalne energije. Nesavršene i primitivne mašine od angažovane latentne energije mali deo prevode u eksnergiju, a najveći pretvaraju u anergiju okoline. Punjenjem okruženja parazitskim sadržajem menjamo genetske osnove života. Planetu pretvaramo u skladište otpadaka u kojima čovek ne može opstati. Racionalan život zahteva intenzivno usavršavanje trošila, čovekovih pomoćnika i službi, i podizanje ekološke svesti svakog pojedinca.

Poenta mog shvatanja, ukoliko sam uspeo da ga jasno izložim, jeste obaveza svakog od nas da se oslobodi svojih zabluda. To je najjače oružje ekologije, tribologije i nauke uopšte. Svaki inženjer može da napravi proizvod sano u onom kvalitetu kome je dorastao; knjiga je slika autora; isto kao i ovaj članak. Naučnik mora poznavati zakone prirode i to je jedna vrsta ekologije u nauci; inženjer mora primeniti nauku u svom stvaralaštvu; svako od nas može doprineti produžetku ljudske vrste na ovoj planeti i jer je to pitanje opstanka.

Funkcionalne karakteristike opisuju efektivnost, ekonomičnost, proizvodnost, pouzdanost i vek čovekovih pomoćnika. Upotrebiti kvaliteti su druga strana medalje koja ocenjuje strateške, ekološke, estetske i sirovinske podobnosti.

Ništa na ovome svetu nije savršeno i tu je izvor stvaralačkih pobuda: proizvod uvek može biti bolji razvojem i primenom tribologije, svake oblasti nauke, a naročito naše svesti. Život treba posvetiti radu za bolju budućnost...



M. LAZIĆ, B. TADIĆ, B. NEDIĆ

ISTRAŽIVANJA

Obrada na automatima - rezna ulja ili emulzije?

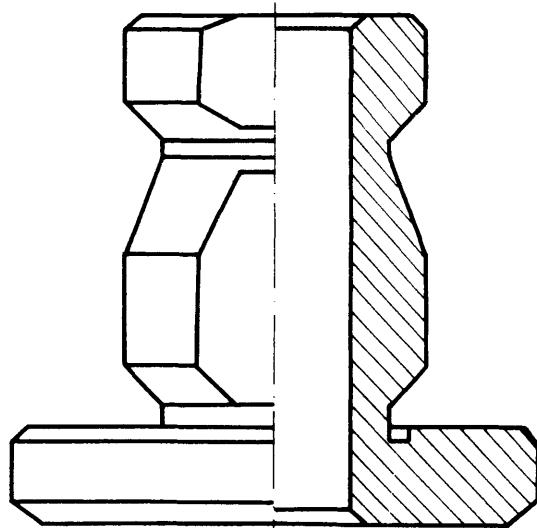
1. UVOD

Analiza mogućnosti primene čistih ulja za rezanje i emulzija odnosno odgovor na pitanje: rezna ulja ili emulzije u proizvodnim operacijama obrade na viševretenim automatima, se može izvršiti i na bazi odgovarajućeg sagledavanja tehnološkog postupka izrade proizvoda na automatima i rezultata laboratorijskih ispitivanja uticaja vrste i koncentracije sredstva za hladjenje i podmazivanje na osnovne pokazatelje procesa obrade.

Kratka analiza oblika proizvoda i tehnologije izrade pokazuje da osnovu tehnologije izrade navedenih delova čine proizvodne operacije obrade:

- struganjem i
- bušenjem.

Iz tih razloga ocena mogućnosti zamene čistih ulja za rezanje emulzijama se i može formirati na osnovu rezultata ispitivanja uticaja vrste i koncentracije sredstva za hladjenje i podmazivanje na osnovne pokazatelje procesa obrade struganjem i bušenjem u laboratorijskim uslovima.



- vratilo 1: Zabušivanje, uzdužno i poprečno struganje
- vratilo 2: Bušenje i poprečno struganje
- vratilo 3: Bušenje i predodsecanje
- vratilo 4: Proširivanje, obaranje ivica i izrada ravnih površina
- vratilo 5: Ukopavanje kanala, završna obrada rupe i spoljašnjeg prečnika
- vratilo 6: Odsecanje i obaranje ivica

Sl. 1. Izgled čaure sa najosnovnijim podacima vezanim za tehnologiju izrade

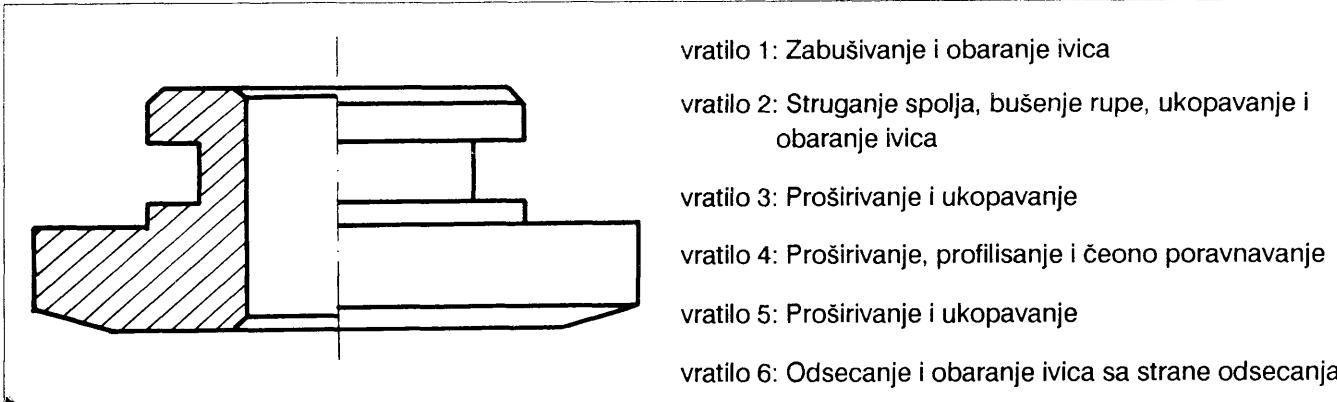
Programom preliminarnih ispitivanja obuhvaćena je ocena mogućnosti zamene čistih ulja za rezanje na viševretenim automatima namenjenim izradi čaure (sl. 1) i zupčanika hoda unazad (sl. 2).

*Prof. dr Miodrag Lazić, dipl. ing.
Branko Tadić, dipl. ing.
Bogdan Nedić, dipl. ing.
Mašinski fakultet, Kragujevac*

2. PROGRAM I USLOVI ISPITIVANJA

Laboratorijska ispitivanja su izvedena u Laboratoriji za obradu metala i tribologiju Mašinskog fakulteta u Kragujevcu, a obuhvatala su ispitivanja uticaja koncentracije sredstva za hladjenje i podmazivanje na:

- otpore rezanja,
- habanje reznih elemenata alata i



Sl. 2. Izgled zupčanika hoda unazad sa najosnovnijim podacima vezanim za tehnologiju izrade

- kvalitet obradjene površine,
- u procesu obrade struganjem i bušenjem.

Za merenje otpora rezanja korišćeni su odgovarajući, najsvremeniji, merni lanci (sl. 3 i 4) sastavljeni od:

- piezoelektričnih trokomponentnih dinamometara,
- most-pojačavača i
- pisača,

proizvodnje KISTLER-Švajcarska. Merenje parametara habanja reznih elemenata alata izvršeno je na univerzalnom alatnom mikroskopu tipa UIM - 21 Sovjetske proizvodnje, a parametara hraptavosti obradjene površine na profilografu-profilometru tipa TALYSURF-6 proizvodnje TAYLOR-HOBSON, Engleska.

Laboratorijska ispitivanja ostvarena su pri sledećim uslovima ispitivanja:

vratilo 1: Zabušivanje i obaranje ivica

vratilo 2: Struganje spolja, bušenje rupe, ukopavanje i obaranje ivica

vratilo 3: Proširivanje i ukopavanje

vratilo 4: Proširivanje, profilisanje i čeono poravnavanje

vratilo 5: Proširivanje i ukopavanje

vratilo 6: Odsecanje i obaranje ivica sa strane odsecanja

a. - Predmet obrade

Odgovarajući uzorci u vidu šipki i četvrtki izradjeni od čelika Č 7422, čije su karakteristike prikazane na sl.5.

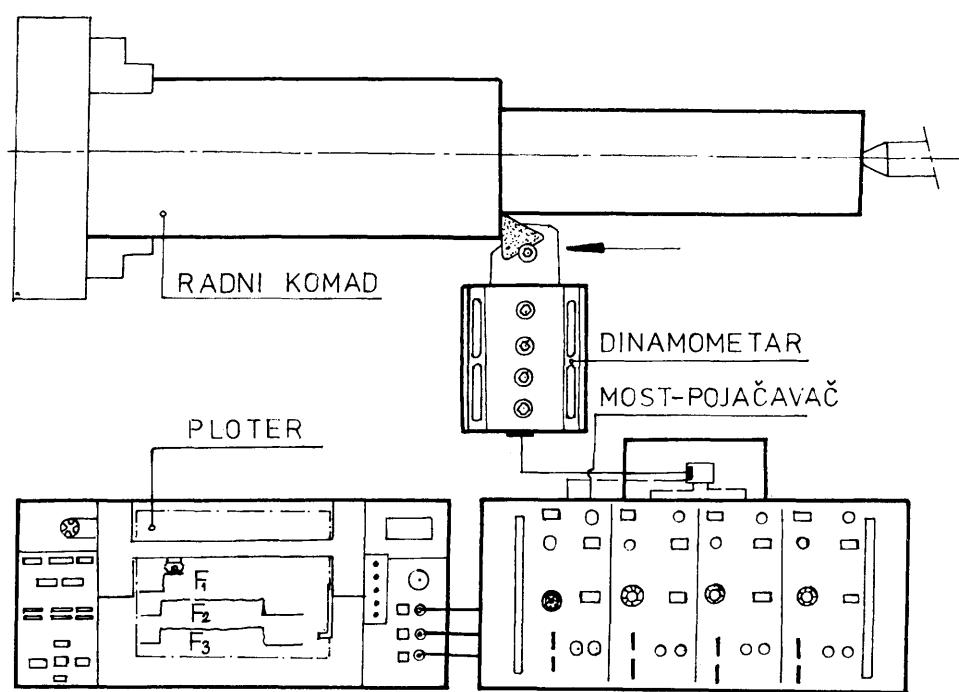
b. - Režimi obrade i rezni alat

Režimi obrade, rezni alat i drugi parametri procesa obrade se u potpunosti poklapaju sa tehnološkim postupkom definisanim karakteristikama i parametrima.

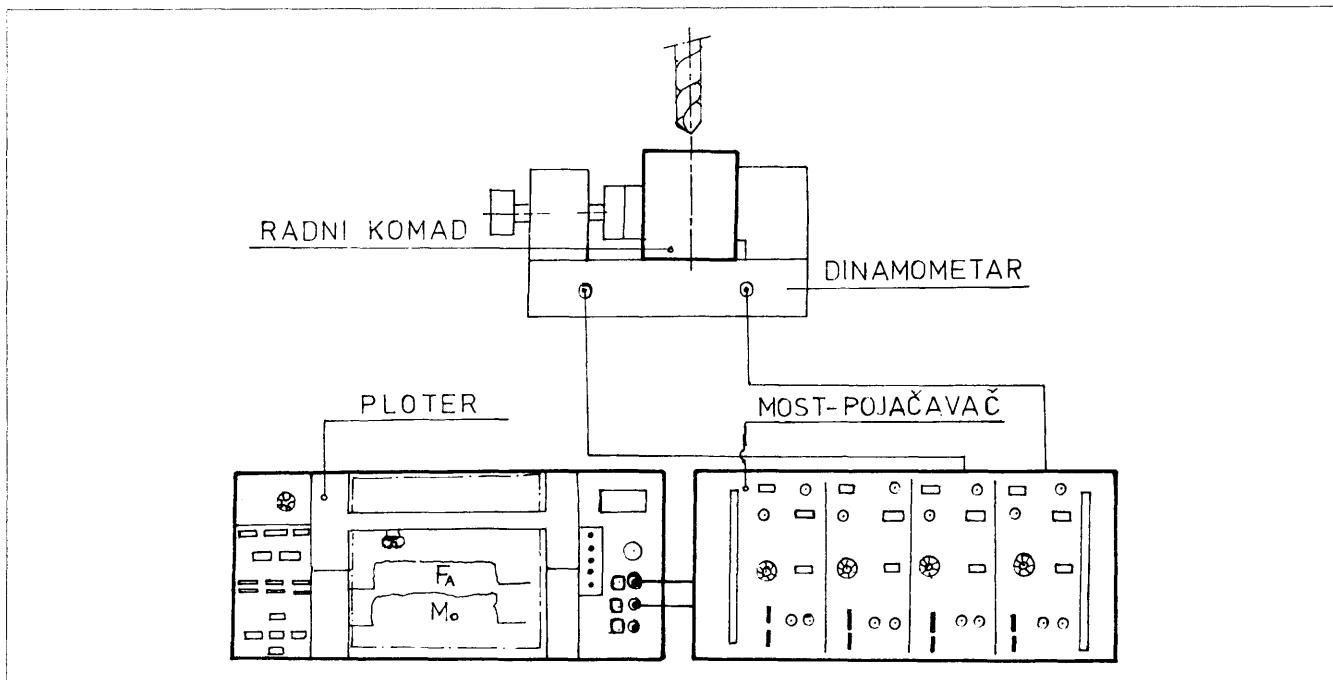
c. - Mašina

Ispitivanja su izvedena na mašinama visoke krutosti i stabilnosti i to:

- univerzalnom strugu PRVOMAJSKA, raspon broja obrta 45 - 2240 o/min, koraka 0.02 - 1.6 mm/o i snage 15 kW i
- radikalnoj bušilici tipa 2N55 Sovjetske proizvodnje raspona broja obrta 20 - 2000 o/min, koraka 0.056 - 2.5 mm/o, maksimalnog prečnika bušenja 50 mm i snage 10 kW.



Sl. 3. Šematski prikaz mernog lanca za merenje otpora rezanja u obradi struganjem



Sl. 4. - Šematski prikaz mernog lanca za merenje otpora rezanja u obradi bušenjem

d. - Sredstvo za hladjenje i podmazivanje

Ocena mogućnosti zamene čistih ulja za rezanje emulzijama zasnovana je na uporednom ispitivanju uticaja:

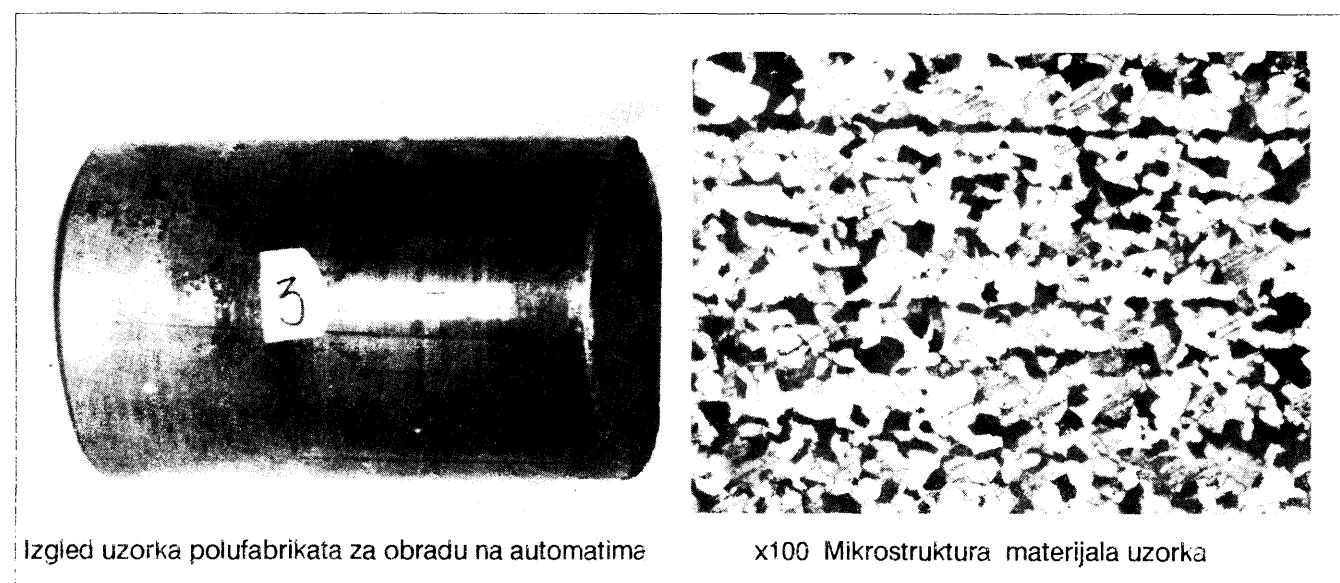
- čistog ulja za rezanje i
- mineralnog emulgirajućeg ulja iskorišćenog za formiranje sredstva za hladjenje i podmazivanje koncentracija 3% i 8%, kako za obradu struganjem tako i za obradu bušenjem.

Heminski sastav

	Sadržaj (%)							
	C	Mn	Ni	Cr	Cr	Mo	S	P
Prema tehničkim uslovima	0.18-0.23	0.70-0.90	0.35	0.40-0.70	0.40-0.60	0.15-0.25	0.02-0.04	< 0.035
Uzorak	0.18	0.78	0.35	0.55	0.55	0.18, 0.01	0.023	

tvrdića: 170 HB

struktura: izdeferencirana struktura ferita i lamelarnog perlita - mestimično trakasta



Izgled uzorka polufabrikata za obradu na automatima

x100 Mikrostruktura materijala uzorka

Sl. 5. Izgled uzorka i osnovne karakteristike materijala uzorka u obradi struganjem

3. REZULTATI ISPITIVANJA

Obrada struganjem

Rezultati merenja glavnog otpora rezanja F_1 i otpora pomoćnom kretanju F_3 prikazani su na sl. 6, merenja parametara hrapavosti obradjene površine na sl. 7 (srednje aritmetičko odstupanje od srednje linije profila R_a), a promene parametra habanja (širine pojasa habanja na ledjnoj površini reznog klina alata) na sl. 8.

Kratka analiza prikazanih rezultata ispitivanja pokazuje da primena emulzija u obradi struganjem, u odnosu na čista ulja za rezanje, obezbedjuje:

- ▶ smanjenje otpora rezanja,
- ▶ poboljšanje kvaliteta obradjene površine odnosno značajno sniženje vrednosti parametara hrapavosti i
- ▶ smanjenje intenziteta habanja reznih elemenata alata.

Očigledno je da zamena čistih ulja za rezanje emulzijama, može obezrediti, u obradi struganjem, poboljšanje uslova rada, poboljšanje kvaliteta obrade i sniženje troškova alata i

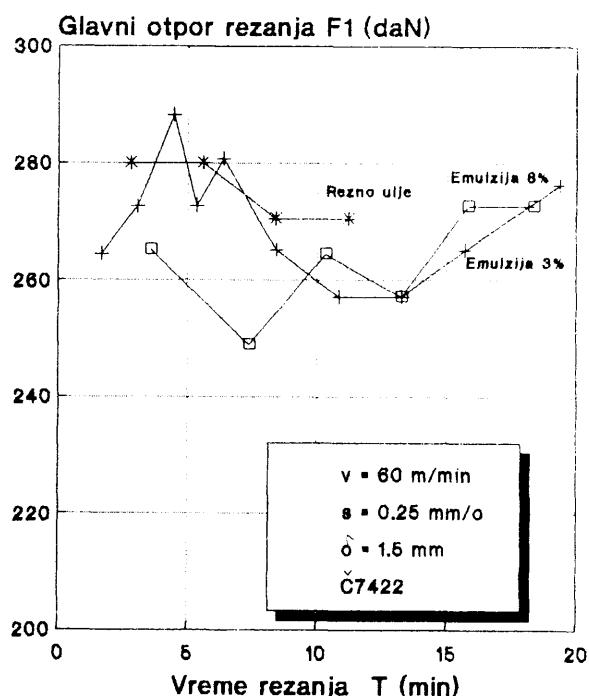
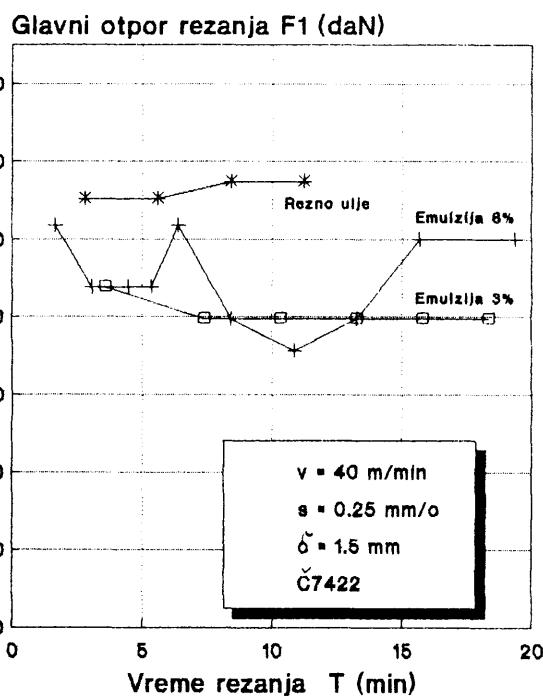
primene sredstva za hladjenje i podmazivanje. Upravo ove činjenice je neophodno proveriti i u proizvodnim uslovima obrade na viševretenim automatima, uz odgovarajuću primenu sredstva za hladjenje i podmazivanje, kao i metodologiju izvođenja ispitivanja.

Obrada bušenjem

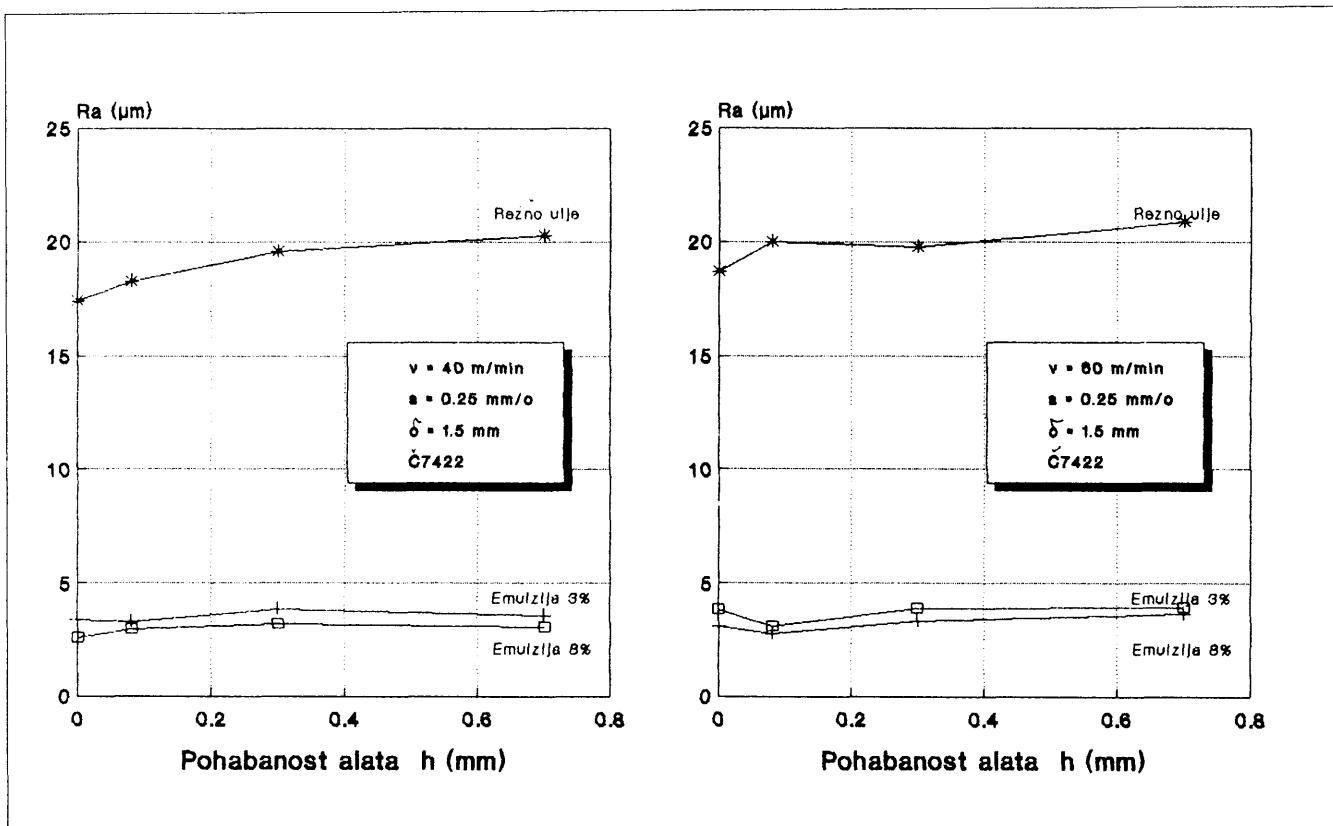
Rezultati ispitivanja u obradi bušenjem prikazani su na sl. 9, 10 i 11, a obuhvataju rezultate praćenja uticaja vrste i koncentracije sredstva za hladjenje i podmazivanje na:

- otpore rezanja (obrtni moment M_0 - sl. 9 i otpor pomoćnom kretanju F_3 - sl. 9) i
- vrednost parametra habanja (širine pojasa habanja na ledjnoj površini reznog klina spiralne burgije - sl. 10 i 11).

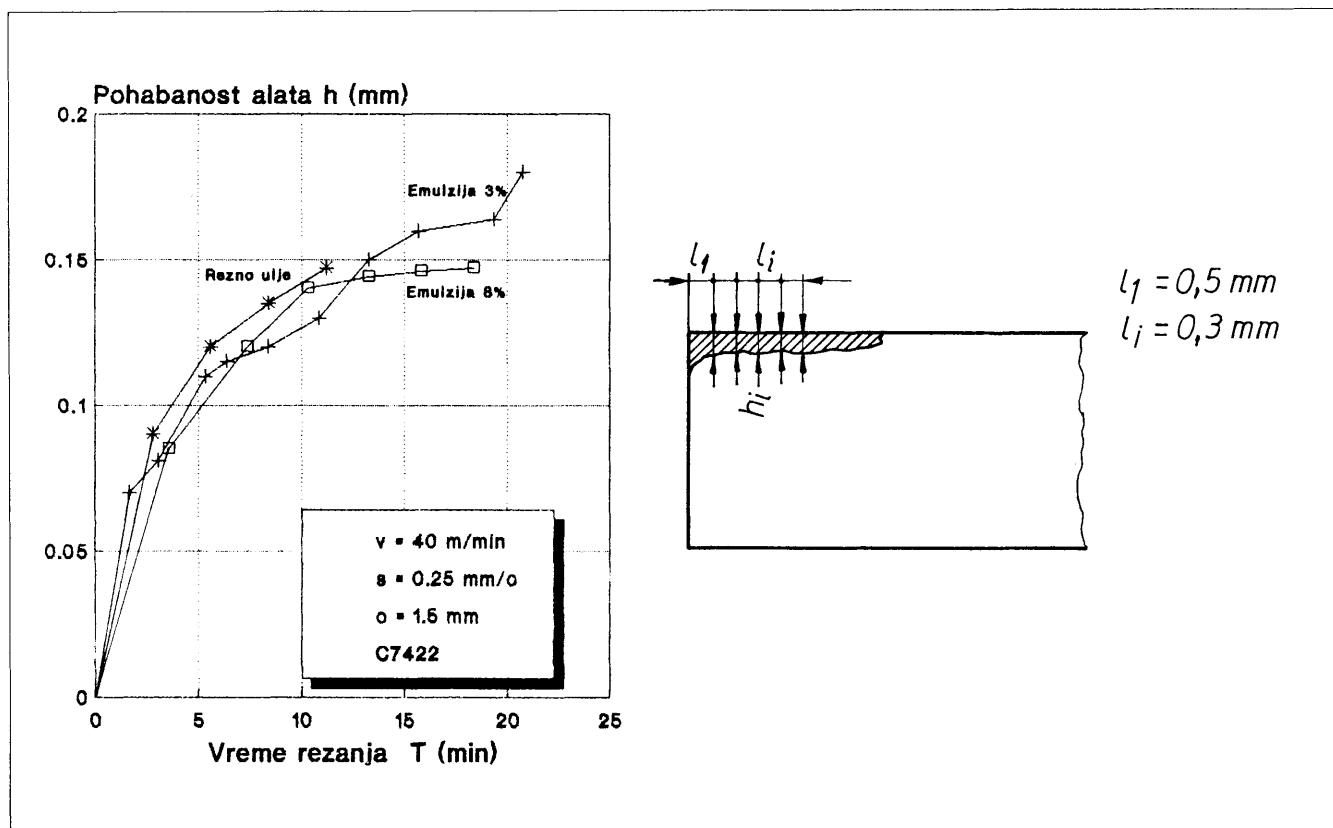
Primenom emulzije mineralnog emulgirajućeg ulja, umesto čistog ulja za rezanje se, očigledno, ostvaruje značajno smanjenje otpora rezanja i intenziteta habanja reznih elemenata spiralnih burgija. Dakle, uz poboljšanje uslova rada, primenom emulzija u obradi bušenjem se snižavaju i troškovi izrade odnosno obrade.



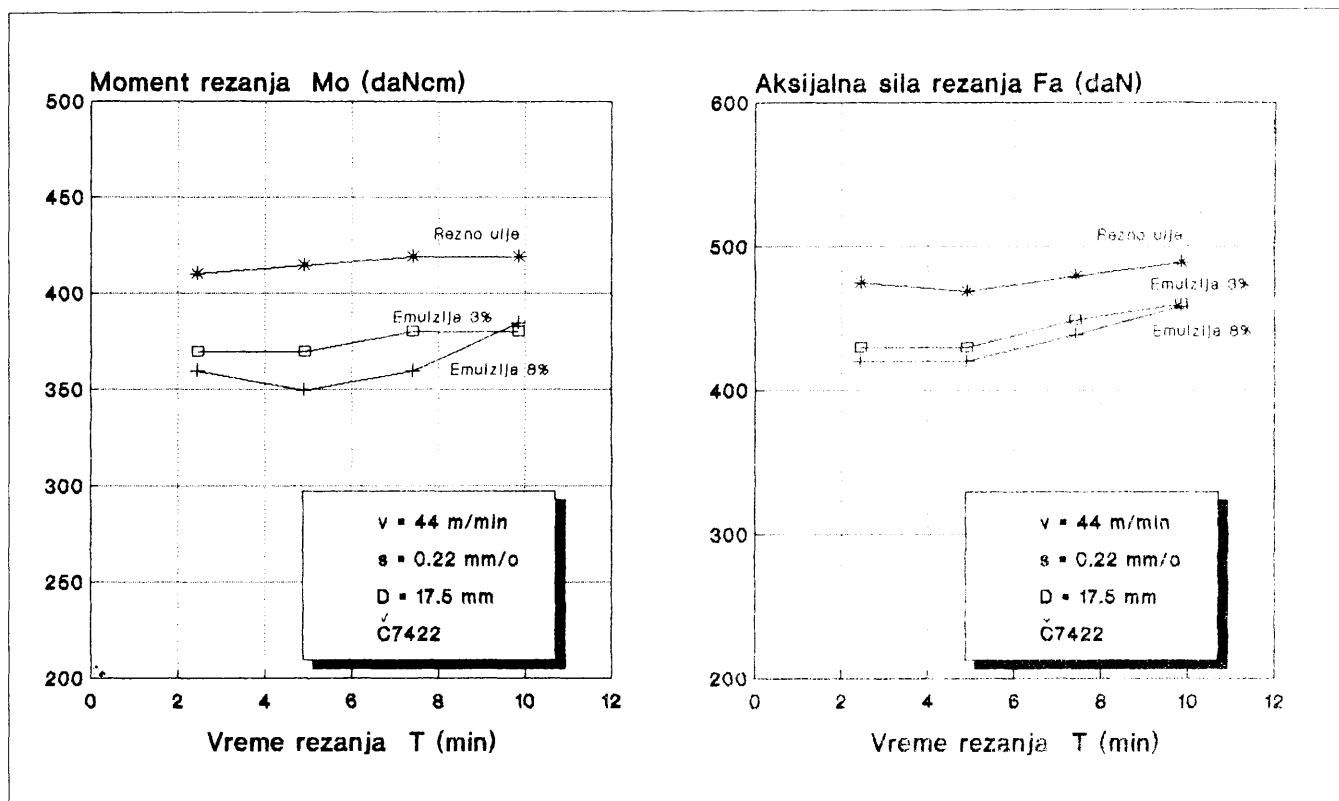
Sl. 6. Uticaj vrste i koncentracije sredstva za hladjenje i podmazivanje na glavni otpor rezanja u obradi struganjem



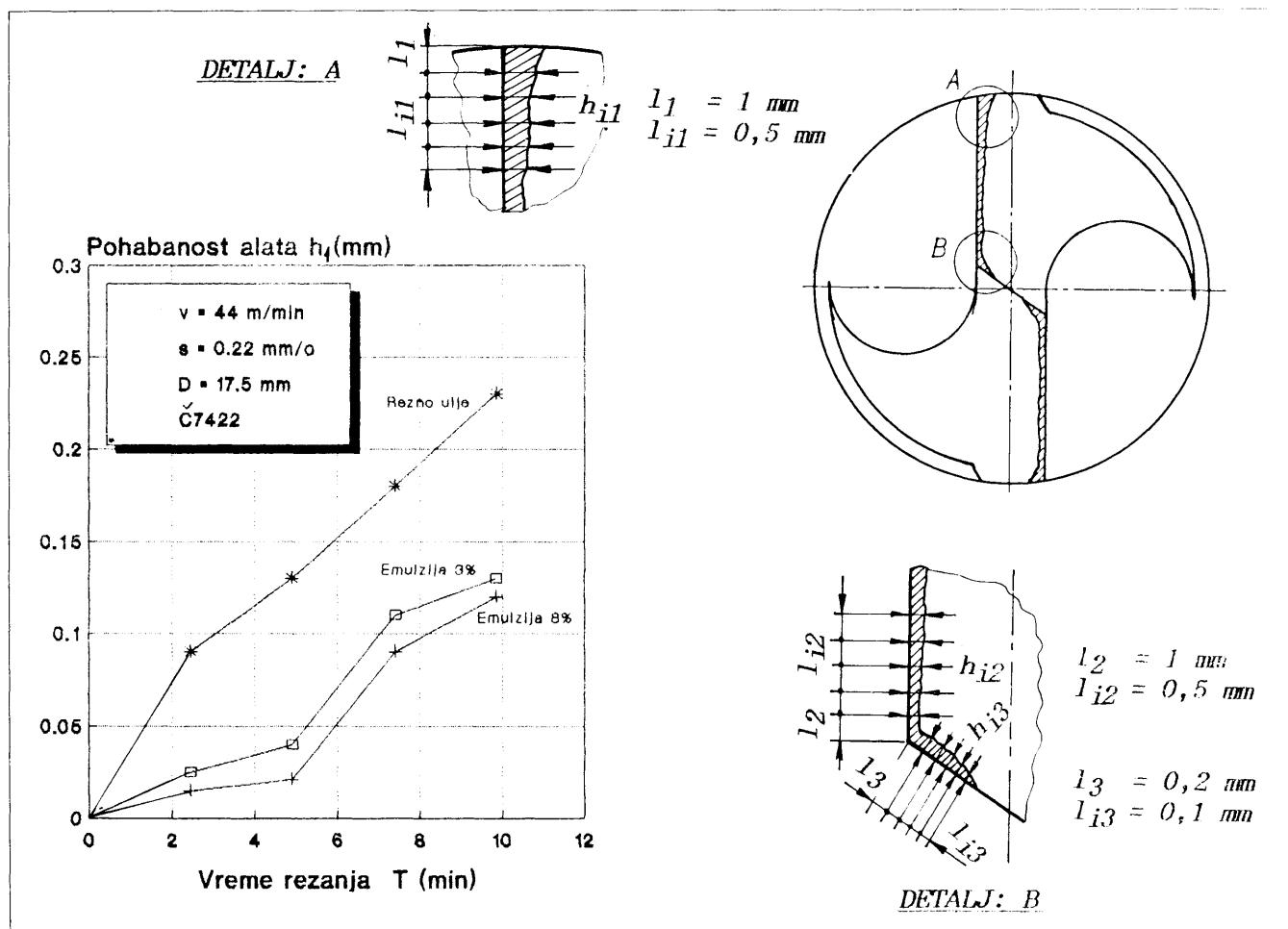
Sl. 7. Uticaj vrste i koncentracije sredstva za hladjenje i podmazivanje na kvalitet obradjene površine u obradi struganjem



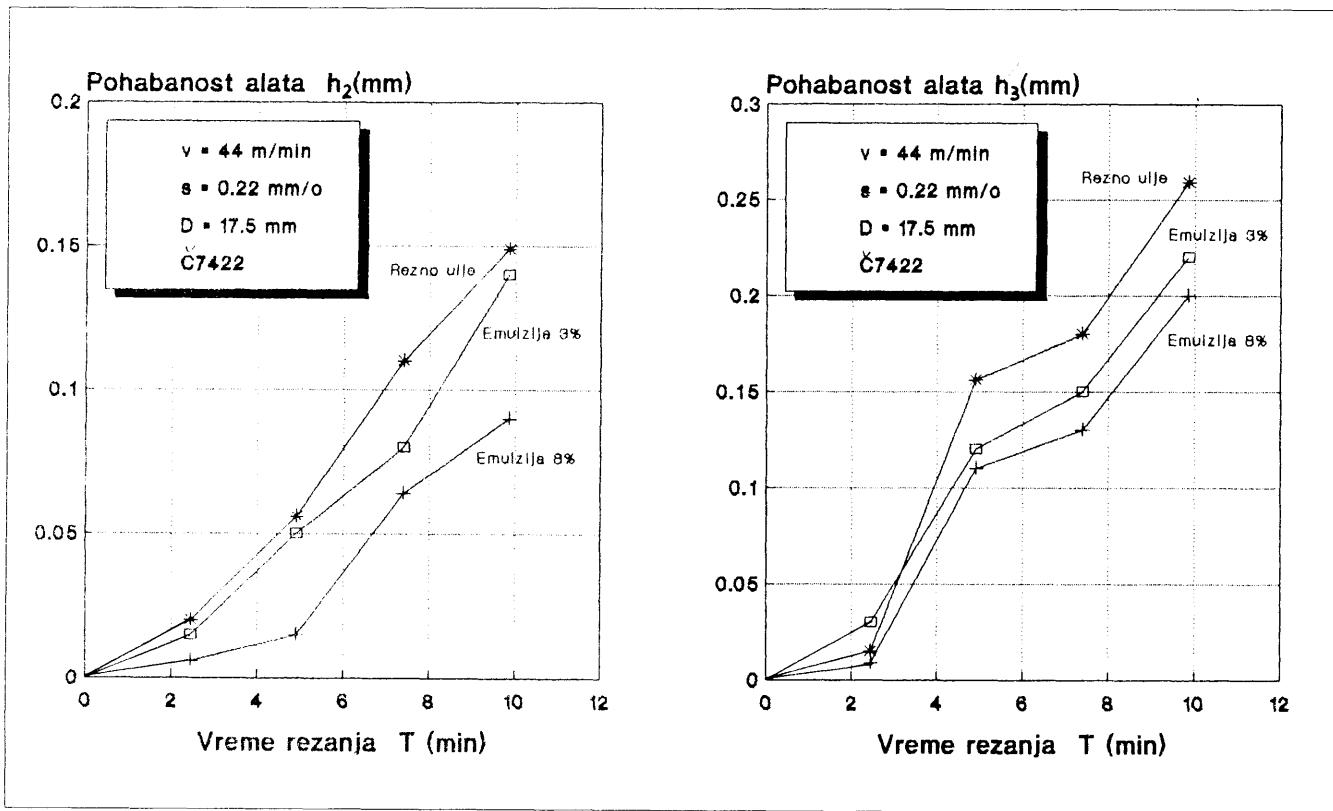
Sl. 8. Uticaj vrste i koncentracije sredstva za hladjenje i podmazivanje na habanje alata kod struganja



Sl. 9. Uticaj vrste i koncentracije sredstva za hladjenje i podmazivanje na obrtni moment M_o i otpor pomoćnom kretanju u obradi bušenjem



Sl. 10. Uticaj vrste i koncentracije sredstva za hladjenje i podmazivanje na habanje spiralne burgije (parametar h_i)



Slika 11. Uticaj vrste i koncentracije sredstva za hladjenje i podmazivanje na habanje spiralne burgije (parametri h_2 i h_3)

4. ZAKLJUČCI

Rezultati laboratorijskih ispitivanja uticaja vrste i koncentracije sredstva za hladjenje i podmazivanje na otpore rezanja, hrapavost obradjene površine i habanje reznih elemenata alata u obradi struganjem i bušenjem, pokazuju da primena emulzije obezbeđuje sniženje otpora rezanja i intenziteta habanja alata, kao i poboljšanje kvaliteta obrade.

Navedene činjenice ukazuju na mogućnost zamene čistih ulja za rezanje emulzijama i na viševretemen automatima. Pouzdani i konačan zaključak o efektima zamene i odgovor na postavljeno pitanje (*rezna ulja ili emulzije u obradi na automata?*) se može formirati tek nakon analize i rezultata sistematskog praćenja procesa obrade na viševretemenim automatima u proizvodnim uslovima, uz korišćenje emulzije mineralnog emulgirajućeg ulja iz centralnog sistema.

LITERATURA

- [1] GRUPA AUTORA, **Mogućnost zamene čistih ulja za rezanje emulzijama**, Elaborat № 6/1988, Mašinski fakultet, Kragujevac, 1988
- [2] GRUPA AUTORA, **Definisanje optimalnih uslova obrade cilindričnih zupčanika sa aspekta minimizacije troškova proizvodnje**, Obrada metala i tribologija, № 4/1975. Mašinski fakultet, Kragujevac.
- [3] LAZIĆ M., RANKOVIĆ D., **Smanjenje nivoa zagadjeњa mikroklime u obradi odvalnim glodanjem**, 22. Savetovanje proizvodnog mašinstva Jugoslavije, Ohrid, 1989.

N. REPČIĆ

Tribo - konstruktivni smisao radijalne fleksibilnosti manžetni zaptivnih setova

1. UVOD

Manžetni hermetizatori radijalnog tipa ili radijalni zaptivni prstenovi rotacionih vratila (RZP, WDR) su bili predmet mnogih istraživanja, ali i pored toga su ostali velika nepoznanica. Sva istraživanja su koncentrisana na geometrijske veličine, kao i izbor materijala, te njihovo racionisanje i nijansiranje. Tribološki pristup ovoj problematice je vrlo malo obradivan, a ovaj rad ima za cilj baš ovaj pristup, kako bi se razvoj triboloških procesa i u ovoj oblasti aktuelizirao.

Usporavanje triboloških procesa direktno vodi ka smanjenju curenja, disipaciji i transferu mase i energije, i ima duži vek trajanja manžetnog zaptivača. Osim toga termički aktivirani procesi na molekularnom nivou kao što su stick-slip efekat, Diesel efekat bivaju manje izraženi, pa radijalni zaptivni prstenovi u lancu pouzdanosti nekog sklopa ili podsklopa mogu zauzeti i nešto više mjesta. Ovaj rad će se konkretno baviti problemima habanja u kontaktnoj kliznoj zoni sprege radijalni zaptivni prsten - vratilo. Izborom pogodnijih geometrijskih parametara membranske zone moguće je procese habanja usporiti, usmjeriti i minimizirati.

2. STRUKTURA RAZMATRANJA I ZAPTIVNA TEORIJA

Teorija zaptivanja bazirana je na činjenici, da istjecanje medija kroz prostor između dvije površine prestaje i prije nego se zazor među njima svede na nulu. Ta pojava pripisana je složenom djelovanju adsorpcije medija, mediumolekularnim silama, naponima površine kao i kapilarnim silama. Iz ovoga se izvlači zaključak da postoji neki prethodni ili kritični pritisak koji osigurava, odnosno uzrokuje puzanje materijala komponenata zaptivnog ustrojstva.

*Dr Nedžad Repčić, dipl. ing.
Mašinski fakultet, Sarajevo*

Autor ovog rada je opširnim analizama pokušao definisati optimalnu vrijednost kontaktnog pritiska u oblasti zaptivne usne, i ta istraživanja čekaju eksperimentalnu verifikaciju. Relevantni faktori utiču na tribološku ispravnost zaptivne izvedbe i njenu pouzdanost pri eksploraciji, grupisani su u radne faktore, faktore materijala, ekonomski faktore i sl. Naglasimo i tribološku notu materijala kontaktnih zona frikcionog para, a naročito primjenu polimernih materijala omreženih ili neomreženih i značaj baznih modificiranih elastomera i kompozita.

Da se lakše razumiju problemi habanja na kontaktnim zonama zaptivnog ustrojstva, definisanje mehanizama habanja i njihovo kvantificiranje treba ukazati i na značaj nekih pojava i procesa i njihovu povezanost sa ovakvim tribomehaničkim sistemima. Tu se misli na koncept prirode površine, na bazni mehanizam i klasični zakon trenja, na fenomen podmazivanja, kavitacione efekte, na adsorpciju maziva, površinsku poroznost, elastohidrodinamiku i histerezis, visokoelastičnost, puzanje i relaksaciona ponašanja, na temperaturne i frekventne efekte, kao i molekularni aspekt visokoeleasticnosti.

Vrlo bitno je i objašnjenje adhezije kao molekularno-kinetičke pojave kao i mikro i makro histerezisa. Osim toga, postoji niz faktora koji više ili manje utiču na proces habanja u kontaktnim kliznim zonama, kao što su mikro i makro geometrija, struktura kontaktnih površina, molekularna građa i mehanička i topotorna svojstva materijala, hemijska i elektrohemispska djelovanja te radni faktori. Da bi dostigli tribološku ispravnu konstrukciju manžetnog hermetizatora radijalnog tipa za rotaciona vratila potrebno je i poznavanje i ostalih veličina, pojmova i oznaka kao što su: dopuštena odstupanja, smjernice za primjenu, uočene nepravilnosti i greške, kontaktni pritisak, termički režim rada, problematika curenja kroz zaptivne procjepe i sl.

Radijalna fleksibilnost membranske zone ima odlučujući uticaj na razvoj triboloških procesa u kontaktnoj zoni, tako da su današnja istraživanja i usmjerena u tom pravcu. Velika radijalna fleksibilnost na zaptivnoj usni prouzrukuje visoku radijalnu силу, i sa datom masom i sa visokom prirodnom frekvencijom, koja se slaže sa opružnom konstantom obezbeđuje da tačka zaptivne usne slijedi ekscentricitet vratila pod svim radnim uslovima. Međutim, istraživanja pokazuju da ovakva radijalna sila na zaptivnoj usni znatno smanjuje vijek trajanja manžetnog zaptivača.

Da imamo optimalnu radijalnu fleksibilnost neophodno je istražiti sve zone radijalnog zaptivnog prstena kao što su: zona zaptivne usne, zona opruge, membranska zona, zona zaštitne usne, zona prstena ukrućenja i zona omotača. Osim toga vrlo je naglašana uloga i dralova (oblik i broj), zatim izvedba zaptivne usne, njen materijal, izvedba prstena ukrućenja, izvedba natezne opruge, materijal, uslovi rada, parametri vezani za vratilo, kućište i zaptivni medij. Obavezno je i poznavanje smernica u pogledu opterećenja, pritiska, brzine, temperature, izbora materijala, tolerancijama koaksijalnosti, koncentričnosti, ugradbenom prostoru u kućištu itd.

Treba naglasiti i veliku složenost matematičkog modeliranja, obzirom na pojavu velikog broja običnih i parcijalnih diferencijalnih jednačina i njihovo rješavanja putem integralnih transformacija. Autor ovog rada je vršio i takve analize, a cilj je bilo da se dobiju analitički izrazi i algoritmi za kontaktni pritisak, gradijent temperature i proces curenja prije havarisanog režima rada zaptivenog ustrojstva, te na taj način eksperimentalna istraživanja sveli na nešto manji intezitet. Često se ide i na uprošćene modele, pa se manžetni hermetizator tretira kao osnosimetrično tijelo, odnosno statički nedreden nosač sa uklještenjem na jednom kraju i pokretnim na drugom kraju (odnos membranskog dijela manžetne i zaptivne usne).

Autor je analizirao i membransku zonu kao tankostjenu zakrivljenu noseću konstrukciju dakle ljsku i to kao jednostruku i dvostruku ljsku. Matematički modeli dobiveni na ovaj način za iznalaženje kontaktog pritiska, temperature i efekte curenja su dosta složeni, ali i prihvativi za dalje analize.

3. EKPERIMENTALNA ISTRAŽIVANJA

Ciljevi eksperimentalnih istraživanja su višestruki, a odnose se na izučavanja prirode manžetnih dijelova, ocjenu kvaliteta gotovih dijelova manžetne, zakonomjernosti formiranja nominalnih površina kontakta u funkciji dužine kontakta, opterećenja, statičkog i dinamičkog ekscentriciteta. U ciljeve ispitivanja spada i određivanje širine zone kontakta, zakonomjernosti deformisanja zaptivne usne, kvantificiranje trenja i habanja u zoni kontakta. Istraživanja treba da daju i informacije o prirodi kontaktних površina i izmjeni te površine, izmjeni radikalne sile, momenta trenja, debljine

mazivog filma, raspodela kontaktog pritiska, temperature, izmjeni tvrdoće kao i o procesu curenja.

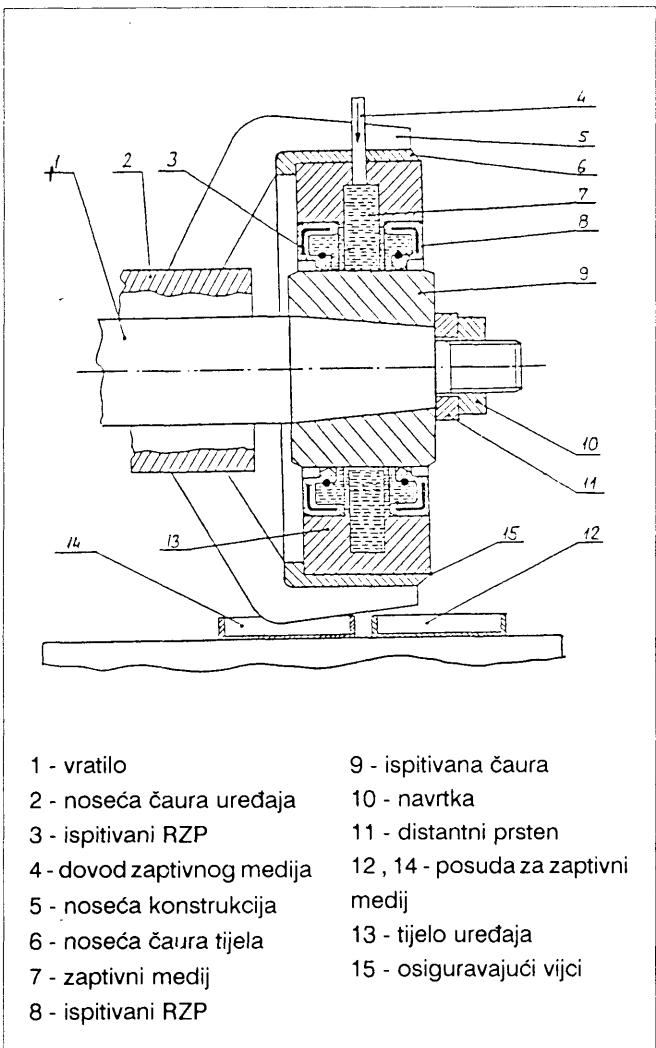
Na osnovu vlastitih istraživanja, istraživanje drugih autora, literaturnih podataka, kataloška snjernica, normi raznih standarda i td., dolazi se do zaključka da najveći uticaj na razvoj triboloških procesa ima membranska zona, zona zaptivne usne i opružna zona. U sklopu toga analizirane su odredene geometrijske veličine ovih zona kao i materijal frikcionog para, naravno pod različitim uslovima rada i različitim zaptivnim medijima.

Od velikog broja uticajnih faktora autor je najviše istraživao one najvitalnije dijelove manžetnog zaptivača, koji još nisu dovoljno istraženi, a imaju veliki uticaj na razvoj triboloških procesa u kontaktnoj kliznoj zoni frikcionog para. Veliki uticaj ima položaj zaptivne usne u odnosu na zadnju stranu radijalnog zaptivnog prstena, zatim položaj ravni dejstva opruge u odnosu na ravan dejstva zaptivne usne, kontaktne uglovi sa čeonice i ledne strane zone zaptivne usne, radijus zaobljenja kontaktne zaptivne usne, radikalna sila, kvalitet površinske obrade elemenata frikcionog para, oblik i broj dralova, materijal, oblik membranske zone (cilindričan ili koničan), oblik i broj zaštitnih usana, ugradbeni prostor i td.

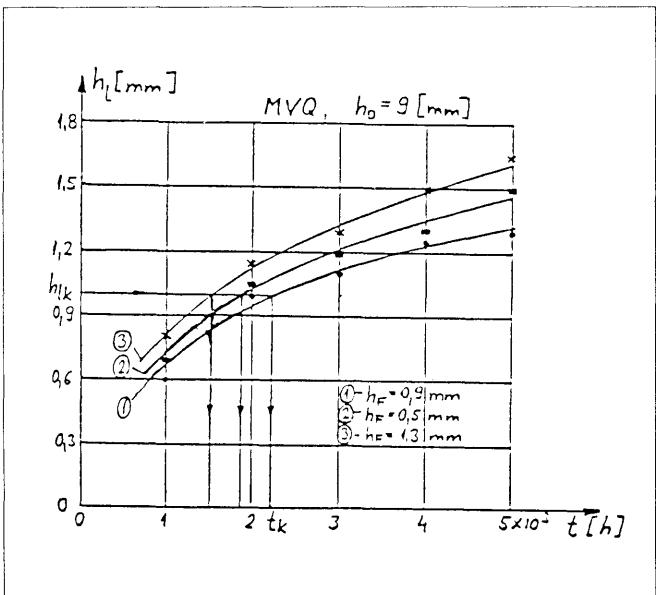
Eksperimentalna istraživanja su sprovedena preko iznijene konstruktivnih parametara i materijala, uslova rada i iznjeni zaptivnog medija. Ova istraživanja su sprovedena i u laboratorijskim uslovima (modelska istraživanja) i u realnim (eksploatacionim) uslovima. Korišteno je mnogo mjernih lanaca zavisno od namjene radijalnog zaptivnog prstena.

Korišteni su različiti tribometri i standardni (npr. Amsler A 135) i nestandardni, zatim osciloskopi, univerzalni brojač, mjereno-pojačivački višekanalni mostovi (dinamička istraživanja), profilometri, davači temperature maziva, hidraulični agregati za dovod maziva u ležišta i zaptivače, bezkontaktni indukcijski davači (pomjeranja centra rukavca), AD konvertor, računarska podrška (PDP11/70, IBM PC XT/AT) za akviziciju podataka i praćenje procesa u realnom vremenu, ploter (registrovanje putanje centra rukavca), uredaj za mjerjenje tvrdoće (HRC, HSh), optički univerzalni mikroskop (Zeiss), dinamometar (električni), klasična merna instrumentacija i td.

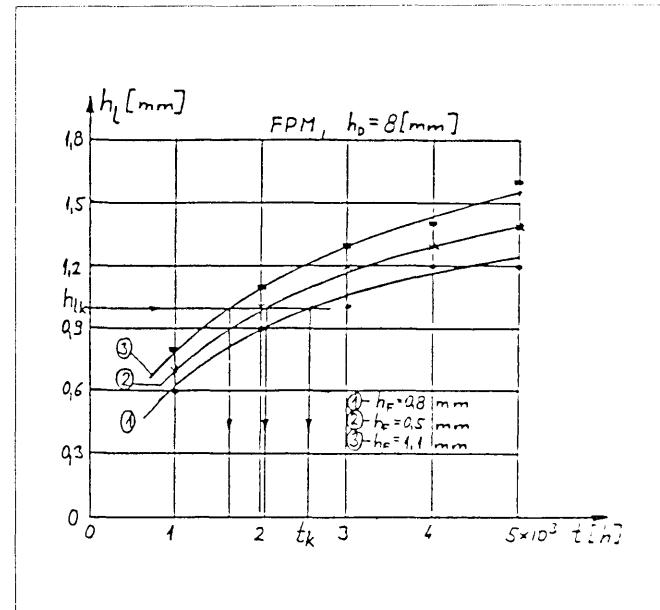
Kako je već naglašeno u prethodnom tekstu pojava habanja vezana je sa složenim procesima u površinskim slojevima materijala. Zato su i neminovna istraživanja i u laboratorijskim uslovima i u realnim uslovima. Rezultati prve metode mogu da se koriste uglavnom pri projektovanju tehničkih sredstava, i za uporednu ocjenu različitih kinematskih parova sa trenjem. Međutim, neophodna je nekada i druga metoda izučavanja habanja, jer potpuno odgovara stvarnim uslovima rada tj. eksploataciji tehničkih sredstava. Nedostatak ove metode je što se teško otkriva uticaj pojedinih faktora, pouzdana kontrola uslova rada pojedinih parova je otežana, a mjerjenja su manje detaljna i tačna nego u laboratorijskim uslovima. Radi odstranjivanja uslova i uzroka potreban je



Sl. 1. Uredaj za ispitivanje radijalnih zaptivnih prstenova



Sl. 2. Linijsko habanje zaptivne usne h_l u funkciji vremena t , materijala MVQ (silikon kaučuk), položaja ravni dejstva zaptivne usne h_d i položaja ravni dejstva opruge h_F



Sl. 3. Linijsko (linearno habanje h_l u funkciji vremena materijala zaptivne usne FPM (fluor kaučuk), i veličina h_D i h_F

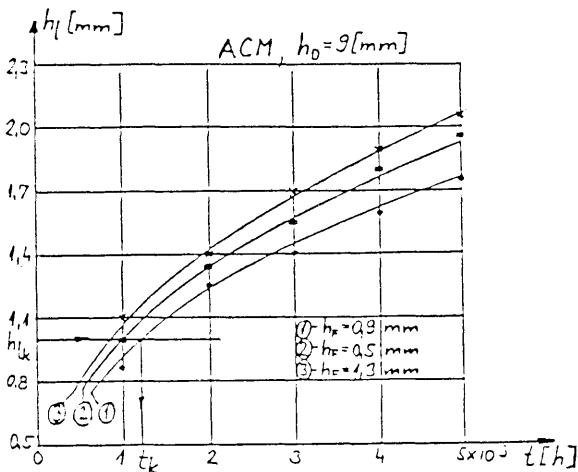
veliki broj ispitivanja, što je i autor ovog rada to primenjivao. Priloženi crteži daju prikaz dijela triboloških istraživanja vezanih za manžetne hermetizatore radijalnog tipa za rotaciona vratila različite namjene.

Kao što se vidi na slici 1 je dat dio eksperimentalne opreme, mada je pri istraživanjima korišteno nekoliko varijacija na temu tribometar za radijalne zaptivne prstenove.

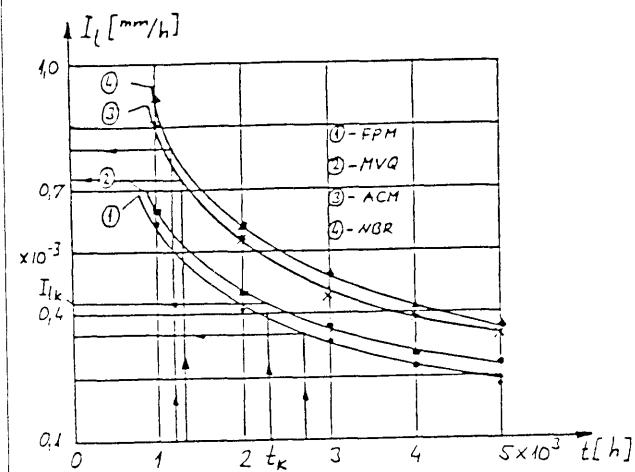
Na slikama 2, 3, 4, 5, dato je nekoloko dijagrama sa kojih je vidljivo da najpotpunije efekte lincarnog habanja zaptivne usne daje varijanta sa materijalom od FPM a onda MVQ, ACM i NBR. Isto tako vidljivo je da izmjena odnosa geometrijskih veličina h_F i h_D mogu bitno uticati na razvoj triboloških procesa, konkretno na veličinu lincarnog habanja zaptivne usne.

Na slici 6 je vidljiv pad inteziteta habanja zaptivne usne tokom vremena. Ovo se može tumačiti činjenicom da vremenom se menjaju uslovi rada, konkretno sa porastom temperature dolazi do smanjenja radikalne fleksibilnosti zaptivne usne. To direktno utiče na radikalnu silu, izmjenu modula elastičnosti elastomera kao i izmjenu deformisanosti membranske zone, opružne zone i zone zaptivne usne.

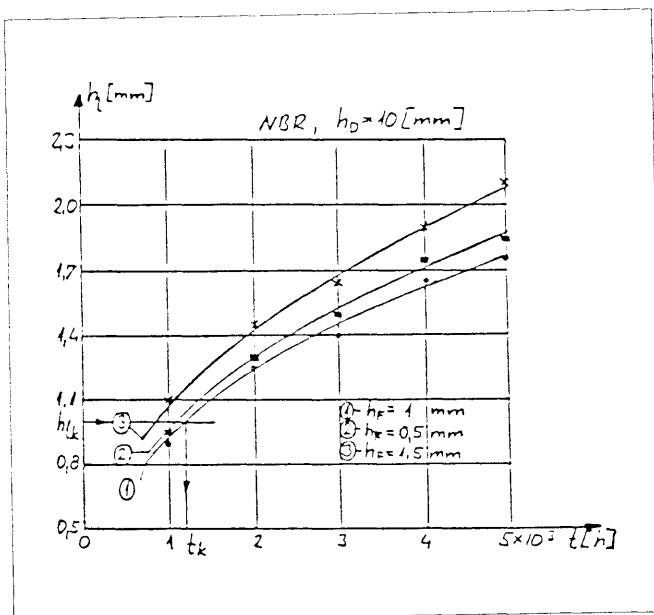
Naravno, cilj je da se kritično vrijeme pohabanosti zaptivne usne pomjera na što veću vrijednost, a time bi bio pomjeren i nagovještaj havarisanog rada manžetnog hermetizatora. Osim toga, cilj je da poslije ovog nagovještaja otkazani period do potpune neupotrebljivosti radijalnog zaptivnog prestena bude takođe što duži, ako bi se vrijeme moglo intezivirati. U ovome i jeste suština svih triboloških istraživanja problema zaptivanja, pri čemu treba dodati i to da disipacija i transfer mase i energije u ovim mehaničkim sistemima bude minimiziran.



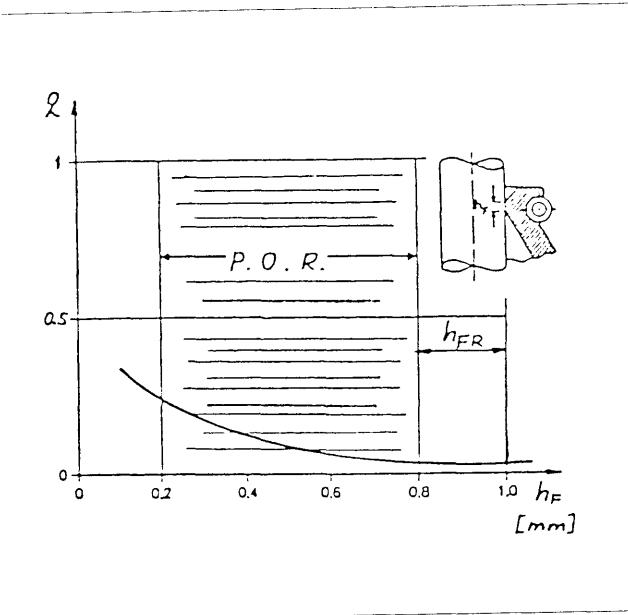
Sl. 4. Linearno habanje h_l u funkciji vremena, materijala ACM (akrilni kaučuk) i veličine h_D i h_F



Sl. 6. Intezitet linijskog habanja zaptivne usne I_l u funkciji vremena t , materijala zaptivne usne i najpovoljnijeg odnosa h_F/h_D (t_K -kritično vreme)



Sl. 5 - Linearno habanje zaptivne usne u funkciji vremena, materijala HBR (nitril kaučuk) i veličine h_D i h_F



Sl. 7 - Curenje u funkciji veličine h_F (POR-područje optimalnog rada, h_{FR} -područje rada za RZP na radilici Diesel motora)

Na slici 7 je dato optimalno područje rada manžeta radikalnog tipa, pri čemu je vidljivo da geometrijska veličina h_F poprima različite vrijednosti zavisno od izmjene ostalih geometrijskih parametra i namjene RZP-a.

4. ZAKLJUČAK

- ▶ Sagledavajući prezentirani materijal može se konstatovati da se radi o izuzetno kompleksnom problemu, koji je nedovoljno istražen sa tribološke tačke gledišta.
- ▶ Proces habanja u kontaktnoj zoni tribomehaničkog sistema ove vrste je posledica mehaničkog, molekularnog, toplotnog, hemijskog pa i električnog dejstva materijala

frikcionog tipa, uticaja slobodnih čvrstih čestica i okolne sredine.

- ▶ Zbog izrazite širine problemskog područja i nužnosti povezivanja različitih znanja, neminovan je bilo lociranje pažnje na one najkritičnije i najvitalnije dijelove zaptivnog ustrojstva i njihovo definisanje.
- ▶ Data su odredena konstruktivna rješenja i materijal membranske zone zaptivne manžetne sa aspekta tribološke ispravnosti konstrukcije.
- ▶ "Stick-slip" efekat, "Diesel" efekat "otklona" su efekti u zaptivnoj teoriji nedovoljno istraženi. U ovim analizama

- uzeti su i razmatrani i ovi efekti, u cilju dobivanja kompletne slike o RZP-u.
- Vršene su i analize prisustva nekih mehanizama habanja kao što su zamorno habanje, abrazijsko habanje i rolling habanje ("roll formation").
 - Sagledana je i problematika vezana za uočene greške i nepravilnosti na manžetnim hermetizatorima radikalnog tipa prije i poslije eksploracije, i ta iskustva su uzimana u obzir pri analizi triboloških procesa.

LITERATURA

- [1] CZICHOS H., **Tribology-a systems approach to the science and technology of friction lubrication and wear**, Amsterdam, Oxford, New York: Elsevier Scientific Publishing Company, 1978.
- [2] HIRANO F., ISHIWATA H., **The lubricating condition of the lip seal**, paper N° 15, Leeds, 1965.
- [3] VAJNA S., DESRAVINES C., **Anwendung rechnerunterstützter Methoden zur verbesserten geometrischen Auslegung von Radialwellendichtringen**, Konstruktion 42, 1990.
- [4] HONEYMAN A. M., MARONEY E. G., **Endurance of rotary - Oscillatory Shaft Seal for High - Pressure Applications**, Lubrication Engineering, 1980.
- [5] DEURING H., **Die Folgen aus dem Betrieb der Dichtstelle auf die Funktion und die Gebrauchsduer von Radial - Wellendichtringen**, Goetze AG, Burscheid, 1981.
- [6] REPČIĆ N., **Konstruktivni i tribološki aspekti zaptivnih manžeta radikalnog tipa**, Jugoslovenski naučno-stručni skup, Beograd, 1987.
- [7] Katalozi, Simrit, Goetze, Kaco, Pacific, Sigri

TRIBOLOGIJA

UTIRE PUT

DO VEĆIH

EFEKATA RADA



M. A. ŠATERIN, R. JEČMENICA, P. DAŠIĆ

Teoretski i primjenjeni aspekti problema plazmeno-mehaničke obrade teško obradivih materijala

ISTRAŽIVANJA

Razvoj savremene industrije zahteva neprekidno uvećanje obima proizvodnje specijalnih čelika i legura čija se mehanička obrada, po pravilu, odlikuje niskom produktivnošću. Za intenzifikaciju procesa rezanja i povećanja postojanosti alata, u tom slučaju mogu se upotrebiti različite vrste prethodnog dejstva na materijal poluproizvoda koji obezbeđuju povoljne izmene njegovih svojstava.

U uslovima uklanjanja većih proširenja posebno se čini efektivnim prethodno zagrevanje poluproizvoda od čijih je raznih varijanti najperspektivnija, mora se priznati, plazmeno zagrevanje koje ima visoku mogućnost lokalizacije, značajnu jačinu, jednostavnu regulaciju i dovoljnu univerzalnost. Međutim, upotreba takvog zagrevanja je praćena velikim brojem složenih fizickih pojava koje se dešavaju u površinskim slojevima materijala. Ovo uslovljava neophodnost rešavanja niza pitanja vezanih kako sa razradom teorije procesa rezanja uz zagrevanje plazmom tako i sa njegovom praktičnom realizacijom.

Plazmeno-mehanička obrada (PMO) se javlja kao kombinovana obrada koja se izvodi naizmeničnim i uskladjenim dejstvom na materijal obraden plazmenim lukom i reznim alatom. U sadašnje vreme praktičnu realizaciju nalazi plaz-

Prof. dr M. A. Šaterin, dipl. ing.
Gosudarstveni tehn. universitet, Leningrad, SSSR
Prof. dr R. Ječmenica, dipl. ing.
Tehnički fakultet, Čačak

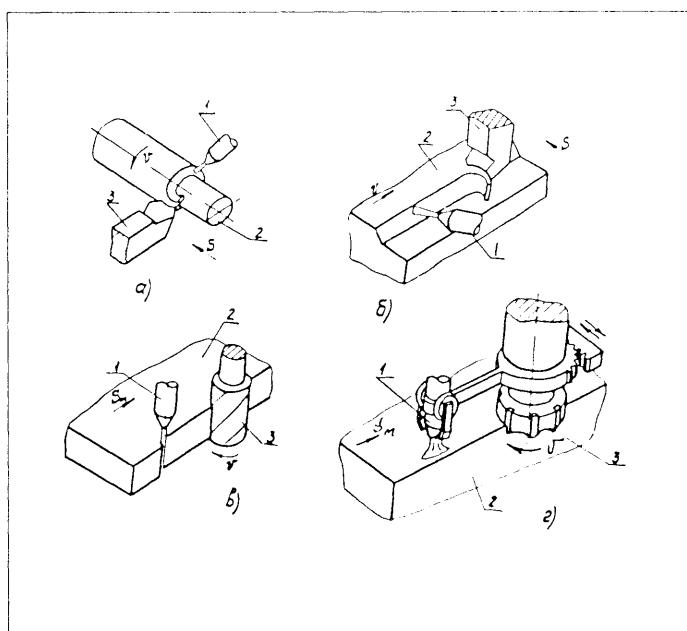
P. Dašić, dipl. ing.
Viša Tehnička Škola, Trstenik

Rad je nastao u okviru istraživanja na projektu: "Revitalizacija postojećih tehnologija u industriji prerade metala" koja realizuju MF Kragujevac i TF Čačak, a finansira RFTR - Beograd

meno-mehaničko brušenje (PMT), plazmeno-mehaničko struganje (PMS) i plazmeno-mehaničko glodanje (PMG) čiji su osnovni principi predstavljeni na slici 1.

Lokalno zagrevanje poluproizvoda plazmenim lukom ima za posledicu u tom ili drugom stepenu tri osnovne pojave:

- Sniženje čvrstoće obradjenog materijala zbog njegovog toplotnog omekšavanja a takodje je moguće smanjenje površine smicanja kao rezultat izvesnog razmekšavanja zagrejane povrsine;



Sl. 1. Šema osnovnih principa plazmeno-mehaničke obrade na mašinama brusilicama (a), strugovima (b), i glodalicama (c,g).

1 - plazmatron; 2 - predmet obrade; 3 - rezni alat;

- ▶ Pojavu sistema strukturnih promena i termičkih naprezanja koji menjaju mehanička svojstva metala i određuju njihovu nepostojanost u ravnini smicanja;
 - ▶ Intenzifikaciju difuznih procesa u površinskim slojevima zagrejanog metala. Sve to suštinski utiče na promene uslova obrazovanja strugotine i kontaktne procese pri PMO a, prema tome, i na produktivnost obrade i radnu sposobnost alata za rezanje.

U uslovima PMO mesto zagrevanja na predmetu obrade može se menjati brzinom rezanja kao što je to kod PMB i PMS ili brzinom pomoćnog kretanja, što se dovoljno prosto ostvaruje kod PMG. Za prva dva procesa karakteristična je promena temperature zagrejanog metala u veoma malim vremenskim razmacima i u širokom dijapazonu, što uslovljava primetnu zavisnost prostiranja toplote od promene toplotno-fizičkih karakteristika metala tokom procesa njegovog zagrevanja i hladjenja. Zato, za proučavanje karakteristika temperaturnog polja u tim uslovima, služi nelinearna jednačina toplotne provodljivosti.

U zavisnosti od toplotno-fizičkih karakteristika materijala koji se obradjuje, efektivne jačine toplotnog izvora q , koeficijenta skupljanja K i brzine relativnog kretanja predmeta obrade v , zagrevanje metala će se odvijati uz topljenje ili bez topljenja njegove površine. Minimalna vrednost v za poslednju varijantu može biti određena iz izraza:

u kome figurišu koeficijent toplotne provodljivosti (λ), specifična toplota (toplota kapacitet) (C), gustina (ρ) i temperatura topljenja metala (Θ_{pl}).

U slučaju obrazovanja rastopa tečnih metala pritiskom, gasevi plazmenog luka se istiskuju na zagrejanu površinu čime se obezbeđuje ravnomernije zagrevanje po širini preseka (rezanja). Pojava kratera rastopa u veličini koja može biti izračunata, smanjuje površinu smicanja i obezbeđuje jače zagrevanje dubinskih slojeva predmeta obrade što dozvoljava zahtevanje takvog zagrevanja koje omogućava PMB i PMS sa većim pomoćnim kretanjem.

Analiza rezultata rešenja nelinearne jednačine toplotne propagacije i podaci eksperimenata pokazali su da pri konceptu PMB i PMC, bez obzira na konstatovanu izvanrednu brzinu zagrevanja površine predmeta obrade, temperaturna razlike u različitim njenim tačkama u predelu mesta zagrevanja može biti ocenjena pomoću poznate formule za normalno postavljen linijski izvor. Pri tome, površ na koju deluje pomenuti izvor prolazi kroz tačku temperaturnog maksimuma rasporedjenu izvan centra mesta zagrevanja na rastojanju 0.45 njegovog radijusa. Očigledno je da se rezanje metala svrsishodno ostvaruje u onom momentu kada temperaturna linija smicanja dostiže najveću vrednost. Uzimajući to u obzir treba imati na umu racionalno (korisno) rastojanje L između zona rezanja i zagrevanja koje je određeno izrazom:

$$L = \frac{v \cdot \rho \cdot C \cdot (1 - 2 \cdot K \cdot a_{\Theta}^2)}{16 \cdot k \cdot \lambda} \cdot \left[\sqrt{1 + \frac{16 \cdot K \cdot a_{\Theta}^2}{(1 - 2 \cdot K \cdot a_{\Theta}^2)^2}} - 1 \right] \quad . \quad 2)$$

u kom je figuriše-dubina rezanja (a_θ) koju je neophodno zagrejati do zadate temperature $\Theta^\circ\text{C}$. Pored toga, za smanjenje gubitka topline u predmetu obrade bio bi poželjan temperaturni maksimum po drugoj koordinati raspoređivši se u predelima širine preseka.

Odgovarajućim proračunima ustanovljeno je da najveći uticaj na ravnomernost zagrevanja metala po ravni smicanja pokazuje veličina poslednje. Zato za uklanjanje dodatka za obradu od materijala sa niskom toplotnom provodljivošću, racionalno se koriste široki toplotni izvori, primenjujući naprimjer plazmeni luk koji skanira poprečno na vektor brzine.

Pri PMO materijala sa niskom plastičnošću u cilju smanjenja temperaturnih gradijenata i naprezanja svršishodno se koriste plazmotroni sa malim koeficijentima koncentrisanosti i niskom jačinom toplotnog izvora. Iz tih razloga mesto zagrevanja se racionalno rasporedjuje na površini predmeta obrade.

Realizacija teoretskih i eksperimentalnih istraživanja temperaturnog polja predmeta obrade u uslovima ponovljenih uticaja toplotnog izvora na obradivani materijal uzimajući u obzir uklanjanje strugotine dela unesenog u razvijenu topotu, pokazala je da pri PMB i PMC ima mesta postepeno povišenje temperature u tehnološkoj zoni(oblasti). Pri tome, relativna stabilizacija toplotne situacije nastupa posle 20 do 30 obrtaja predmeta obrade a temperatura materijala u trenutku njegovog prilaza zoni rezanja 1.2 do 1.7 puta prevažilazi takvu u slučaju jednolikog uticaja plazmenog luka na rezuci materijal.

Osobenost PMO materijala otpornih na toplotu sastoji se u neophodnosti njihovog visokotemperaturnog zagrevanja. Pri PMB i PMS to može biti omogućeno posredstvom skaniranja plazmenog luka duž vektora brzine rezanja i predhodnog (bez rezanja) uticaja toplotnog izvora na predmet obrade u toku nekog broja njegovih obrtaja (dvojnih hodova).

Uzimajući u obzir različite postupke PMG, zapaža se da veću produktivnost i bolje uslove rada mašina alatki obezbedjuje zagrevanje predmeta obrade plazmenim lukom koji skanira u jednom ili dva pravca. Pri opisivanju toplotnih gubitaka u zoni glodanja u uslovima takvog zagrevanja može se iskoristiti formula za ravnomerno rasporedjeni brzokreajući trakasti izvor čija je gustna toplotnog protoka jednaka analognoj veličini realnog toplotnog izvora. Ovo dozvoljava da se ustanovi dovoljno prosta zvisnost između toplotnofizičkih karakteristika metala koji se obradjuje, dubinskog prostiranja zadate maksimalne temperature, brzine pomerenja toplotnog izvora i njegove jačine. Pri tom, u uslovima čeonog PMG dužina mesta zagrevanja racionalno određuje približno jednaku širinu glodanja. Izvršena analiza temperaturnog polja tehnološke zone za različite uslove PMO dozvolila je da se utvrdi da posmatrano pri plazmenom

zagrevanju, bitno povećanje produktivnosti procesa rezanja ne može uvek da se objasni samo topotnom postojanošću metala koji se obraduje. O kompleksnom uticaju plazmenog luka na materijal koji se reže potvrđuju podaci o specifičnosti njihovog uticaja na silu rezanja i karakteristike obrazovanih metalnih opiljaka.

Proučavanje različitih strana plazmenog zagrevanja metala pokazalo je da poboljšanje njegove obradivosti alatom sa čisto topotnom postojanošću može biti uzrokovano još i nastalim fazno-struktturnim promenama u tehnološkoj zoni, difuzijom gasova u zagrejanom površinskom sloju predmeta obrade a takodje razvojem termičkih deformacija i naprezanja na tim mestima.

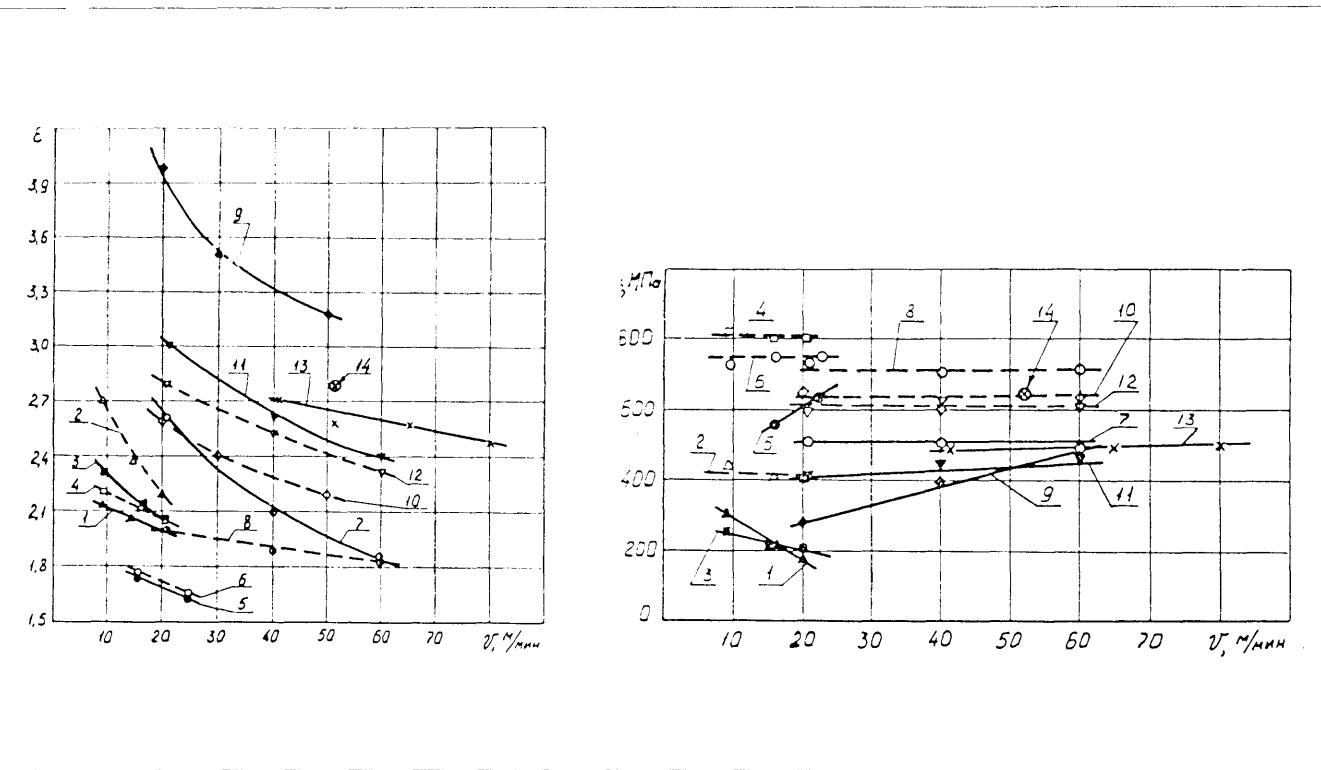
Rezultati teoretskih i eksperimentalnih istraživanja pokazuju da topotna postojanost metala neposredno igra vodeću ulogu pri obradi legura otpornih na visoke temperature a takodje u slučaju PMO materijala koji primetno smanjuju svoju granicu tečljivosti već pri 200°C . Strukturne promene predstavljaju najveći interes pri PMO perlito-martenskih čelika koji imaju dolazeći u zonu rezanja podhladjeni nehomogeni austenit koji kao što se vidi obezbeđuje smanjenje sila rezanja i specifičnih opterećenja na režućem klinu alata. Pored toga, na obradivost ovih čelika a takodje i drugih metala koji bitno povećavaju postojanost pri temperaturama višim od 400°C , primetan uticaj pokazuje prisustvo termičkih deformacija i naprezanja u izrezanom materijalu. Njihov razvoj u vremenu

ima dovoljno složen karakter, ali kao pravilo, ne vodi bitnom trošenju resursa plastičnosti metala koji dolazi u zonu rezanja. Medutim i delovi njegovog lomljenja smanjuju obrazovanje strugotine, a oni delovi koji prolaze kroz materijal termički deformisan, menjaju napregnuto-deformisano stanje spomenute zone.

Pri tom, kako je utvrđeno, parametar Lode se uvećava, što povoljno upozorava na smanjenje granice tečljivosti metala zbog kretanja. Zapaženi fizički procesi koji su nastali u tehnološkoj zoni, prirodno utiču na uslove obrazovanja strugotine o čemu svedoči grafik na sl. 2, koji pokazuje promenu relativnog kretanja σ i tangencionalnog naprezanja na utvrđenoj površini kretanja τ_{Θ} pri običnoj i plazmeno-mehaničkoj obradi niza materijala.

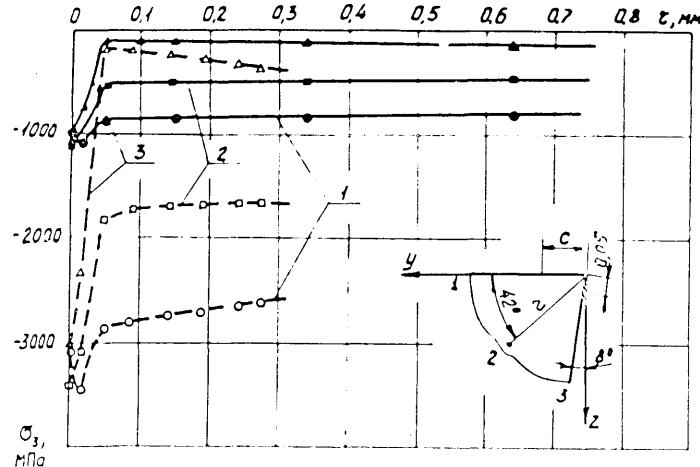
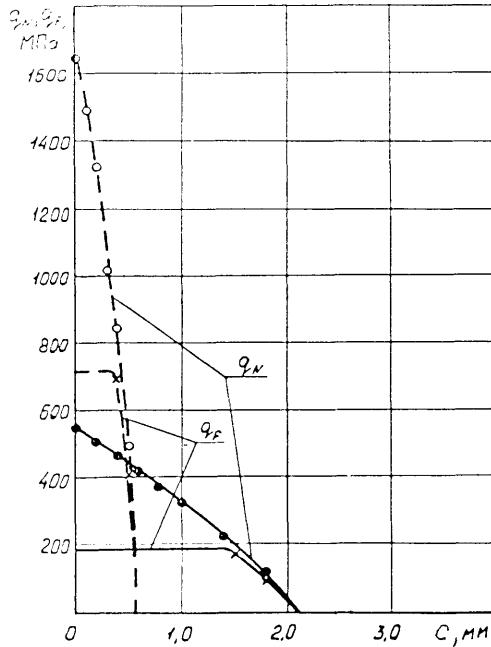
Karakteristično je, da kod opreme sa značajnim (1.2 do 3 puta) smanjenjem sile rezanja, plazmeno zagrevanje predmeta obrade za 1.1 do 5 puta uvećava dužinu kontakta strugotine sa prednjom površinom alata.

Pored toga, razvoj termoplastičnih deformacija po mestu rezanja vodi ka odgovarajućoj nepostojanosti svojstava metala što izaziva primetnu iskrivljenost površine smicanja. To određuje razliku brzine kretanja slojeva strugotine po njenoj visini i dopunske deformacije koje poboljšavaju uslove drobljenja strugotine opiljaka. Promeštajući topotni izvor po zagrejanoj površini rezanja moguće je pri PMG i PMC dopunski dobiti asimetriju polja naprezanja u odnosu na sredi-



Sl. 2. Uticaj brzine rezanja na veličinu relativnog smicanja (a) i značaj tangencionalnog naprezanja (b) pri običnoj i plazmeno-mehaničkoj obradi nekih materijala (neprekidna linija-PMO; šrafirano-rezanje bez zagrevanja).

1, 2 - struganje čelika M76; 3, 4 - struganje čelika 110G1ZL; 5, 6 - struganje čelika 38HNZMFA; 7, 8 - brušenje legure 35KH6F; 9, 10 - brušenje legure 12H18H9T; 11, 12 - brušenje legure 47HD; 13, 14 - brušenje čelika 30H2N2M;



Sl. 3. Naponi pri normalnom (q_n) i tangencijalnom (q_r) opterećenju koji deluju na grudnoj površini sečiva pri struganju čelika 110GIZL (a) i odgovarajuća raspodela glavnih naprezanja σ_3 u reznom klinu alata (b)

$v = 10 \text{ m/min}$; širina rezanja = 8.5 mm; $g = 0^\circ$.

PMG (is prekidane linije): jačina plazmenog luka = 15.6 kW; $a = 0.71 \text{ mm}$; $c = 2.1 \text{ mm}$.

Obično rezanje (šrafirane linije): $a = 0.21 \text{ mm}$; $c = 0.55 \text{ mm}$.

nu širine rezanja i upravljati ne samo pravcem kretanja strugotine nego i oblikom spirale koja se obrazuje.

Ranije zapaženo sniženje sile rezanja karakteristично za PMO i uvećanje dužine kontakta strugotine sa grudnom površinom alata obezbeđuju bitan pad nivoa stvarnih opterećenja u zoni kontakta sa režućim klinom kao i nastalih naprezanja (sl. 3).

Ovo poslednje, povoljno upozorava na smanjenje opasnosti lomljenja režuće ivice i sprečava njeni intezivni zaobljenje. Takve promene karaktera trošenja alata uslovjavaju znatno smanjenje sila koje dejstvuju na njegovu ledjnu površinu. Zahvaljujući tome, otkriva se mogućnost eksploatacije alata sa značajnim smanjenjem habanja, korišćenje materijala za alat koji ima veću postojanost na habanje ali manju trajnost a takodje se otkriva izvesna unifikacija geometrijskih parametara oštice.

Na taj način, plazmeno zagrevanje predmeta obrade u uslovljima PMO izaziva složeni lanac medjusobno vezanih fizičkih pojava koje određuju specifičnost obrazovanja metalnih opiljaka i trošenja režućeg alata. Analiza dobijenih teoretskih i eksperimentalnih podataka dozvolila je da se razradi metodologija određivanja racionalnih tehničkih režima PMO

uzimajući u obzir fizičko-mehanička svojstva metala koji se obradjuje, veličinu mesta rezanja i predmeta obrade. Realizacija spomenutih režima dozvoljava 3 do 6 puta povećanje produktivnosti procesa rezanja teško obradivih metala i znatno smanjenje troškova alata od tvrdih legura. Pri tome se obezbeđuje čuvanje nastale strukture na površini koja se obradjuje i otkriva mogućnost upravljanja preostalim naprezanjima na tim površinama.

LITERATURA

- [1] В. К. СТАРКОВ, В. В. КУЗИН, Режущий инструмент из нитридокремниевой керамики, М., 1988, с 60 + вкл., 16 ил, ВНИИТЭМП
- [2] VIGNEAU J., BORDEF P., LEONARD A., Influence of the Microstructure of the Composite Ceramic Tool on their Performance when Machining Nickel Alloys, Annals of the CIRP, 1987, V. 36(1)
- [3] ВЕРЕЩАКА, А. С., ПРОВОТОРОВ М. В., КУЗИН В. В. и др., Исследование теплового состояния режущих инструментов спомощью многопозиционных термоиндикаторов, Вестник машиностроения, 1/1986,