

GODINA IV  
BROJ 3  
SEPTEMBAR 1982.

# tribologija u industriji

# sadržaj ☰ contents ☰ содержание

# PRODUKTIVNOST KROZ TRIBOLOGIJU

Problemi koji se javljaju u našem privrednom životu posledica su, dobrim delom, niske produktivnosti rada proizvodnih i drugih sistema. Količina utrošenog rada (minulog i živog) po jedinici ostvarene proizvodnje, ili dohotka, u domaćim proizvodnim i drugim sistemima ne koliko puta je veća od količine rada koja se u iste svrhe troši u industrijski razvijenim zemljama.

Produktivnost rada u našoj teoriji i praksi vezuje se, uglavnom, za produktivnost živog rada i definiše se kao odnos između ostvarene proizvodnje i usluga i utrošenog živog rada. Među obavezним pokazateljima kvaliteta poslovanja OO UR-a svih vrsta nalazi se, u osnovi, samo jedan pokazatelj produktivnosti koji govori o ostvarenom dohotku po radniku.

Produktivnost rada u industriji razvijenih zemalja definiše se kao odnos između izlaznih veličina iz sistema i ulaznih veličina u sistem. Među ulaznim veličinama nalazi se radna snaga (živi rad), energija, sredstva rada, materijal predmeta rada i dr. kao kategorije minulog rada. Nije svejedno da li će određeni izlaz iz proizvodnog sistema (broj jedinica proizvoda ili dohotak) biti ostvaren uz veći ili manji utrošak energije, veći ili manji utrošak sredstava rada i sl.

Dohodak u našem društveom sistemu predstavlja razliku između ukupnog proizvoda i materijalnih troškova i usluga sabranih sa amortizacijom. U strukturi materijalnih troškova pored troškova osnovnog materijala i gotove robe najveći deo troškova odnosi se na troškove nastale u vezi sa sredstvima rada (mašine, pribori, alati) i energijom svih vrsta. Troškovi koji nastaju u vezi sa sredstvima rada posledica su pojave habanja na određenom broju elemenata mašina, pribora i alata. Pri dostizanju kritične pohabanosti bilo kojeg elementa sredstava rada proces proizvodnje se zaustavlja, obavlja zamena pohabanih elemenata novim (ili se vrši regeneracija pohabanog elementa) i proces proizvodnje se nastavlja. Habanje elemenata mašina, pribora i alata u procesu proizvodnje javlja se zbog prisustva triboloških procesa na svim konta-

ktnim površinama elemenata u dodiru koji se relativno kreću jedan po drugom. Broj kontaktnih parova (osnovnih tribomehaničkih sistema) u jednoj proizvodnoj mašini može da bude veoma veliki i da iznese kod specijalne proizvodne opreme i nekoliko hiljada. Da bi proizvodna mašina funkcionala duže vreme bez zastoja (bez kvarova) potrebno je da tribološki procesi na kontaktnim površinama budu usporeni u što je moguće većoj meri (zaustavljanje triboloških procesa je nemoguće). Usporavanjem triboloških procesa usporavaju se i procesi habanja odnosno dolazi do smanjenja troškova proizvodne mašine, do smanjenja troškova njenog održavanja (regeneracije i zamene pojedinih elemenata) i do smanjenja troškova sredstava rada po jedinici ostvarene proizvodnje ili dohotka. U slicnoj situaciji nalaze se u procesu proizvodnje pribori, alati i druga sredstva rada.

Proces prerade metala, na primer, realizuje se delovanjem alata na materijal predmeta obrade. U ovim procesima (bilo koje vrste) jedne iste površine alata su prekidno ili neprekidno u dodiru sa stalno novim površinama materijala predmeta obrade. Posledica ovakve vrste kontakta između alata i materijala predmeta obrade je neprekidni proces prelaska čestica predmeta obrade u okolinu što dovodi do njegovog habanja i konačno do pojave njegove nesposobnosti da obavlja svoju funkciju. Ovo se dešava u praksi kad alat dostigne kritičnu veličinu pohabanosti. Veličina troškova alata po jedinici ostvarene proizvodnje, ili po jedinici dohotka, biće očigledno manja ako se proces habanja na kontaktnim površinama alata razvija sporije i veća ako se habanje razvija brže.

Savremeni pribori su, po pravilu, pneumatski ili hidraulični i sadrže odgovarajući broj osnovnih tribomehaničkih sistema (kontaktnih parova) u kojima se razvijaju tribološki procesi i procesi habanja. Vek trajanja pribora, kao i troškovi njihovog korišćenja svedeni na jedinicu proizvoda i jedinicu dohotka zavise, očigledno, od brzine raz-

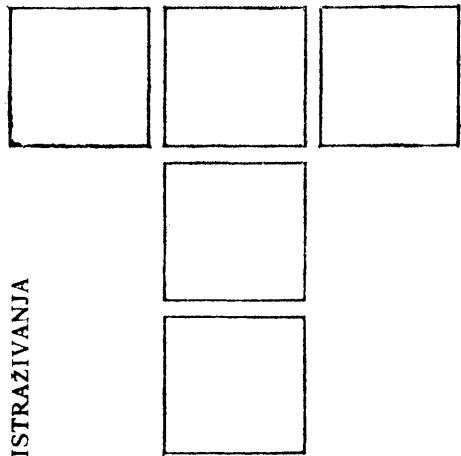
voja triboloških procesa u kontaktnim slojevima osnovnih tribomehaničkih sistema.

Trošenje energije u industriji vrši se velikim delom na savlađivanje trenja koje se javlja u tribomehaničkim sistemima sadržanim u sredstvima rada. Trenje kao posledica interakcije površina u dodiru (kontaktnih slojeva) može da bude veće ili manje u zavisnosti od uslova pod kojima se kontakt ostvaruje, a posebno od primenjene vrste sredstva za podmazivanje i načina podmazivanja. Smanjenjem trenja smanjuje se utrošak energije što doprinosi povećanju produktivnosti minulog rada koji je utrošen na stvaranje i dovođenje energije u proizvodni sistem.

Parcijalni pokazatelji produktivnosti rada koji se odnose na minuli rad mogu da se definisu na dva načina i to preko količine utrošenog minulog rada izraženog u časovima po jedinici ostvarene proizvodnje ili dohotka, ili preko količine utrošenih novčanih sredstava po jedinici ostvarene proizvodnje ili dohotka. Prvi način prepostavlja prevođenje pojedinih vrsta troškova poslovanja, izraženih novčanim jedinicama, u časove minulog rada, što je moguće učiniti preko vrednosti godišnjeg bruto ličnog dohotka uslovnog radnika.

Ako se formiraju pokazatelji produktivnosti rada kao odnosi između pojedinih vrsta troškova poslovanja i ostvarenog dohotka onda se može jasno zaključiti da se smanjenjem pojedinih vrsta troškova poslovanja raste deo produktivnosti rada koji se odnosi na minuli rad.

Udeo triboloških znanja u naprima za podizanje produktivnosti rada u industriji prerade metala je izuzetno veliki, jer u ukupno utrošenom radu (minulom i živom) na minuli rad, koji se odnosi na energiju, sredstva rada i sredstva za podmazivanje, otpada, po pravilu, oko 60%. Naša saznanja, međutim, o mogućnosti korišćenja triboloških znanja za postizanje ukupne produktivnosti rada su još uvek veoma mala, a primena triboloških znanja u praksi je još uvek minimalna. Rešenje problema niske produktivnosti rada u proizvodnim sistemima metaloprerađivačke delatnosti može se naći i u prikupljanju i stvaranju triboloških znanja i u njihovoj intenzivnoj primeni.



S. KARALAZIĆ, B. JEREMIĆ\*

# Tribo-mehanički sistem u obradi dubokim bušenjem

## U V O D

Značajno mesto u savremenoj metaloprerađivačkoj industriji predstavljaju tehnologije i postupci izrade dubokih otvora. Tehnologija dubokog bušenja se sve više primenjuje, ne samo za one operacije koje se ne mogu izvesti klasičnim postupcima, već i kod kraćih otvora koji su inače znatno prisutniji.

Razlozi za takav trend su:

- visoka proizvodnost zbog primene tvrdog metala za rezne elemente,
- visok kvalitet otvora obzirom na toleranciju mere,
- visoka tačnost pravosti otvora,
- objedinjavanje više radnih operacija (bušenje, proširivanje, razvrtanje) u jednu operaciju dubokog bušenja i
- obrada teško obradljivih materijala, naročito onih koji se upotrebljavaju u vazduhoplovnoj i vojnoj industriji.

Jedan od razvijenih postupaka dubokog bušenja, a koji se poslednji pojavio u svetu, je ejektorsko bušenje (1966. godine).

Savremena literatura koja tretira problematiku obrade metala rezanjem sadrži veoma mali broj informacija o ovom postupku. Neistraženost ejektorskog bušenja kao i njegove prednosti u odnosu na druge postupke, nametnuli su potrebu za istraživanjem. U Laboratoriji za obradu metala i tribologiju na Mašinskom fakultetu u Kragujevcu, u poslednje vreme, vrše se ispitivanja i u ovoj oblasti. U ovom saopštenju daje se analiza i rezultati ispitivanja tribo-mehaničkog sistema u obradi ejektorskim bušenjem.

Proces rezanja pri ejektorskom bušenju ostvaruje se u jednom tribo-mehaničkom sistemu koji se sastoji od tri elementa i to: predmeta obrade, reznog alata i sredine u kojoj se kontakt između ova dva elementa ostvaruje, ispunjene sredstvom za hlađenje i podmazivanje (SHP).

U toku ostvarivanja procesa rezanja dolazi do pretvaranja jedne vrste energije u drugu, do rasipanja energije, do prenosa mase sa reznog alata na materijal predmeta obrade i u SHP i obrnuto, do pojave trenja u zoni kontakta i habanja reznog alata, do promene fizičko-hemijskih karakteristika kontaktnih slojeva predmeta obrade, do promene fizičko-hemijskih karakteristika SHP, itd. Tribološki procesi koji se razvijaju u zoni kontakta uslovjavaju pojavu smanjenja mase reznog klina alata, njegovu deformisanost i konačno smanjenje sposobnosti reznog alata da vrši svoju funkciju. Intenzitet razvoja ovih procesa zavisi od velikog broja faktora koji definisu uslove pod kojima tribo-meha-

nički sistem ove vrste funkcioniše. Ovim faktorima definišani su priroda materijala sva tri elementa tribo-mehaničkog sistema ove vrste, geometrija obrade i mehanika procesa rezanja.

## OSNOVNE KARAKTERISTIKE TRIBO-MEHANIČKOG SISTEMA

Pri ejektorskom bušenju proces rezanja se odvija istovremeno na tri odvojena rezna elementa: perifernom širine  $b_1$ , srednjem širine  $b_2$  i centralnom širine  $b_3$ . (Sl. 1).

Tok obrazovanja strugotine pri bušenju čelika, na bilo kojem reznom elementu, može se uočiti posmatranjem normalnog preseka na nekom od sečiva (preseci A—A) ejektorske burgije. Sematski prikaz reznog klina u tom preseku dat je na istoj slici.

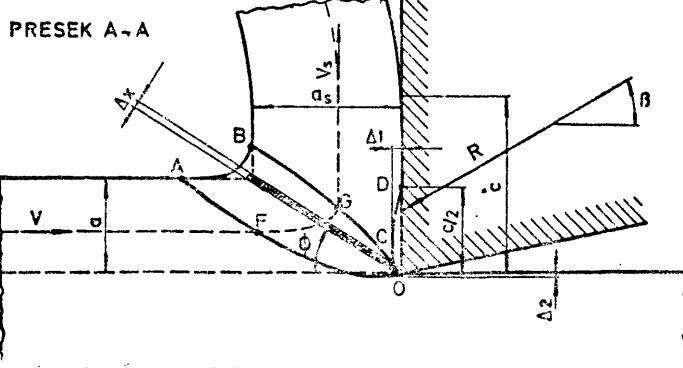
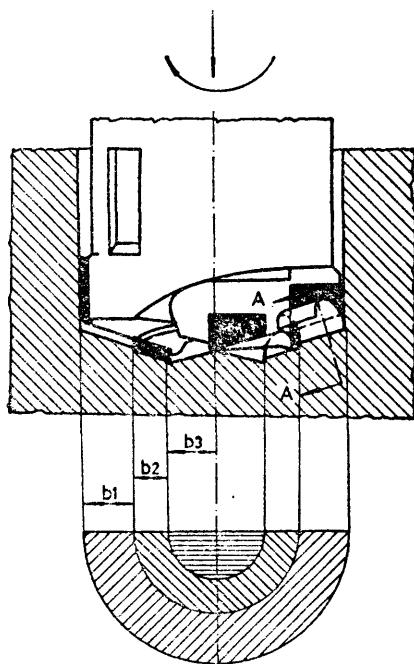
Rezni element alata, preko ravnih kontakta dužine c deluje na sloj rezanja debljine a. Koncentrisana sila R, kojom grudna površina alata deluje na sloj rezanja, naziva se sila obrazovanja strugotine.

Ispred grudne površine alata prostire se zona primarne deformacije OABCO. Ona ima oblik klina sa vrhom na reznoj ivici. Donja granična linija ove zone, linija OA, je konkavna i preseca produžetak obradene površine. Gornja granična linija, linija OB, je konveksna i njena dužina je dva i više puta manja od dužine linije OA. Levo od linije OA nalaze se još nedeformisane čestice materijala, a desno od linije OB čestice materijala koje pripadaju strugotini.

Čestica sloja rezanja, koja se pomera u odnosu na alat brzinom rezanja V, počinje da se deformiše u tački F i prolazeći trajektorijom svog kretanja trpi sve veću deformaciju. Deformisanje čestice se završava u tački G gde ona dobija brzinu  $V_s$  jednaku brzini strugotine.

Ako između grudne površine alata i kontaktne površine strugotine ne bi bilo trenja, deformacija čestica materijala bi se na rečenom završila. Međutim, kako na navedenim površinama uvek postoji trenje, to čestice materijala, koje se nalaze u neposrednoj blizini kontaktne površine, nastavljaju da se deformišu pod uticajem tog trenja i posle izlaska iz zone primarne deformacije. Tako nastaje zona sekundarne deformacije, ograničena grudnom površinom i linijom CO. Dužina zone sekundarne deformacije približno je jednaka polovini dužine ravnih kontakta, a maksimalna visina  $\Delta_1$  prosečno je  $\Delta_1 = 0,1a_s \cdot N$ . Zorev je pokazao da se čestice sloja rezanja koje prolaze kroz zonu sekundarne deformacije veoma deformišu, stepen deformacije u toj zoni može i do 20 puta biti veći od srednje deformacije strugotine. Postojanje zone sekundarne deformacije tako dovodi do neravnomernoj deformacije strugotine po njenoj debljini, što izaziva savijanje strugotine najčešće u obliku spirale.

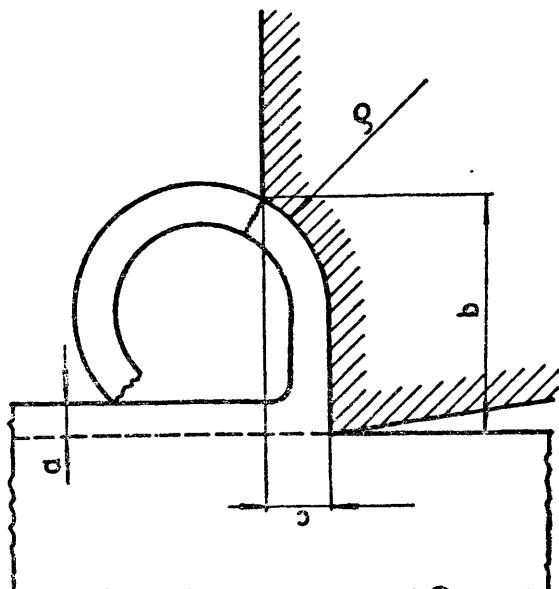
\* Podaci o autoru dati u časopisu »Tribologija u industriji« br. 2, 1979.



Slika — 1.

Razmere zone sekundarne deformacije i povećanje deformacije u toj zoni su određeni intenzitetom trenja na grudnoj površini. Što je manja sila trenja na grudnoj površini to su manje dimenzije zone sekundarne deformacije i intenzitet deformacije. Pri smanjenju debljine sloja rezanja i primenom dobrog sredstva za hlađenje i podmazivanje veličina ove zone se smanjuje do te mere da može postati zanemarljivo mala.

Kod većine postupaka obrade rezanjem, gde se stvara trakasta strugotina, posle sekundarne deformacije strugotina nije više izložena nikakvoj deformaciji. Ona slobodno pada u spremnik strugotine. Međutim, kod ejektorskog bušenja dalje deformisanje i lomljenje strugotine je od presudnog značaja za funkcionisanje čitavog ejektorskog sistema. Da bi se strugotina odstranila iz zone rezanja i dalje transportovala kroz cevi ograničenog prečnika, mora biti dovedena na za to potrebne dimenzije. To znači da se trakasta strugotina kao konačni oblik strugotine ne sme dozvoliti, i ako materijal koji se buši ima predispozicije davanja trakaste strugotine. Lomljenje trakaste strugotine kod ejektorskog bušenja se vrši primenom lomača strugotine na grudnoj površini alata (Sl. 2).

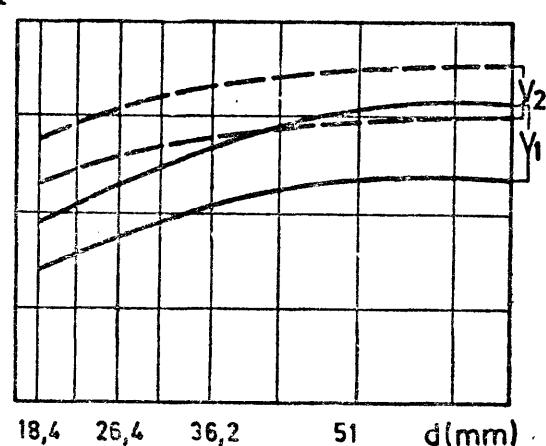
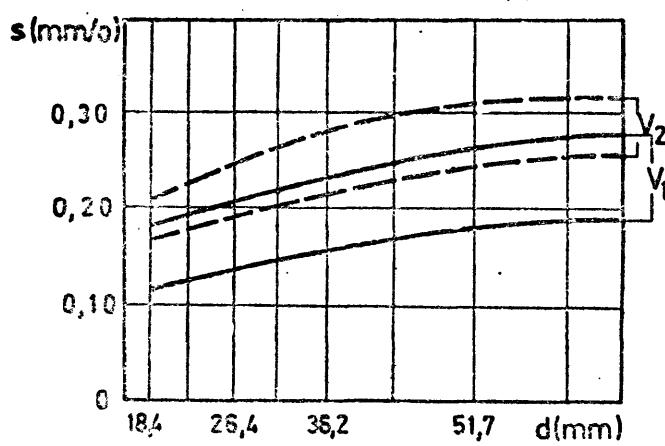


Slika — 2.

C. 1530

C. 5430

$$V_1 = 70 \text{ m/min} \quad V_2 = 100 \text{ m/min}$$



Slika — 3.

Kriterijum konačnog oblika strugotine kod ejektorskog bušenja je primaran pri izboru režima rezanja. Jer upravo brzina rezanja i korak, svojim uticajem na ugao smicanja, uz odgovarajuće dimenzije lomača, mogu doprineti pravilnom odvijanju procesa.

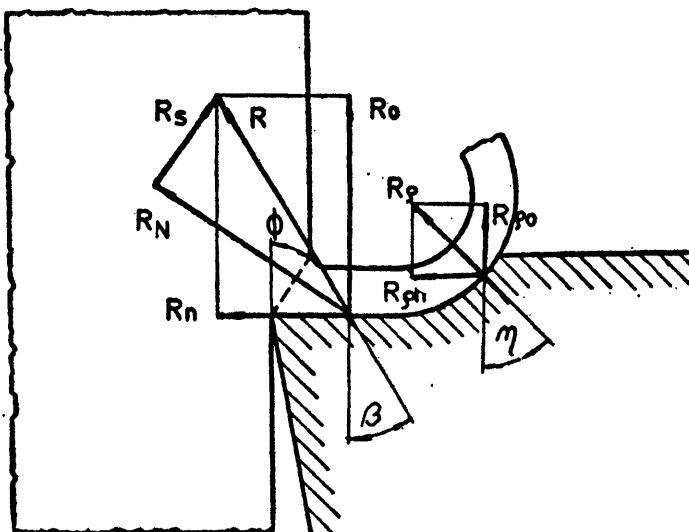
Za bušenje dva materijala Č.1530 i Č.5430 međuzavisnost ovih uslova se može pokazati dijagramima obrazovanja lomljene strugotine na Sl. 3. Rezultati su dobiveni istraživanjem kod proizvođača alata za ejektorsko bušenje (COROMANT).

Ovakvi dijagrami daju samo okvirnu predstavu o uticaju posmatranih faktora, mada i drugi uticaji (habanje, vibracije, SHP) nesumnjivo deluju na proces obrazovanja strugotine.

Polazeći od Merčant-ovog modela rezanja sa jednom ravni smicanja, plan sila koje deluju na element strugotine pri ejektorskom bušenju, može se prikazati šemom na Sl. 4.

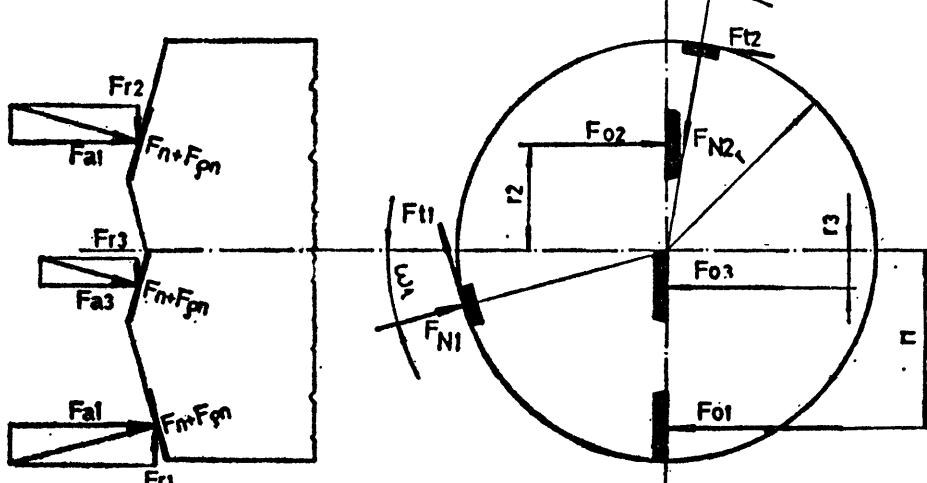
Rezultujuća aksijalna sila duž ejektorske burgije je:

$$F_A = F_{a1} + F_{a2} + F_{a3} \quad (1)$$



Slika — 4.

Zamenjujući dejstvo strugotine na rezne elemente odgovarajućim otporima rezanja i dejstvo zidova otvora na vodice burgije može se opterećenje alata prikazati šemom na Sl. 5.



Slika — 5.

dok je torzionalni moment izazvan otporima rezanja:

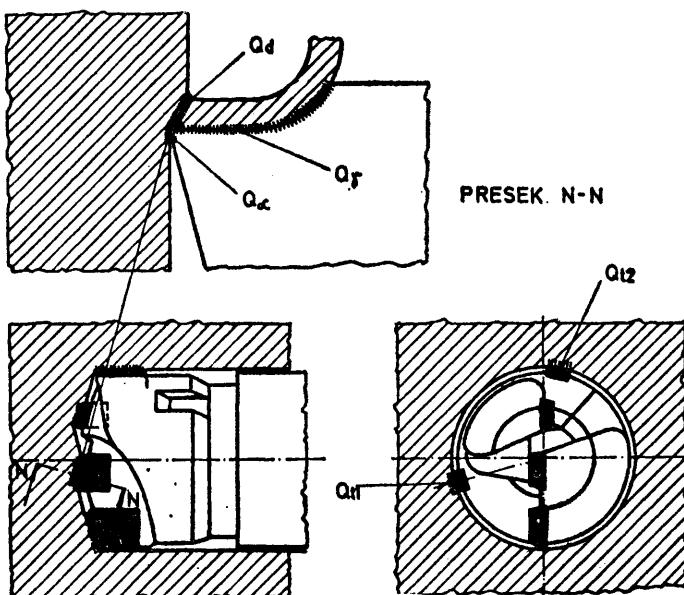
$$M_o = F_{o1} \cdot r_1 + F_{o2} \cdot r_2 + F_{o3} \cdot r_3 \quad (2)$$

Ukupni torzionalni moment na burgiji M je uvećan zbog dejstva sile trenja na mestima gde se burgija oslanja o zidove izbušene rupe. Te sile trenja (F\_t1 i F\_t2) nastaju kao rezultat dejstva odgovarajućih normalnih sile F\_{N1} i F\_{N2} i izazivaju moment trenja M\_t pa je:

$$M = M_o + M_t \quad (3)$$

U cilju potpunijeg definisanja interakcija elemenata tribomehaničkog sistema neophodno je, osim analize mehanike procesa rezanja, raznolititi i odgovarajuće termodinamičke pojave.

Ukupna generisana toplota u procesu rezanja ejektorskog burgijom je posledica postojanja izvora toplote prikazanih na Sl. 6.



Slika — 6.

Obzirom na to da se rezanje vrši istovremeno na tri odvojena rezna elementa, postoje i tri zone rezanja. U svakoj od tih zona toplota se stvara na tri mesta:

- u ravni smicanja stvara se toplota Q\_d ekvivalentna utrošenom deformacionom radu pri stvaranju strugotine,
- duž kontakta strugotine po alatu (grudna površina sa lomačom) stvara se toplota Q\_g ekvivalentna utrošenom mehaničkom radu na savladavanju otpora trenja strugotine o grudnu površinu alata, i radu sekundarne deformacije,
- u ravni kontakta alata i predmeta obrade stvara se toplota Q\_ll ekvivalentna utrošenom radu na savladavanju otpora trenja ledjne površine alata o obrađenu površinu.

Određena količina topote u toku bušenja stvara se van zone rezanja ali je u direktnoj vezi sa rezanjem.

Kao posledica trenja burgije o zidove izbušene rupe, na mestima oslanjanja burgije o predmet obrade (prva i druga vodica) javljaju se još dva izvora topote, u kojima se stvara topota  $Q_{t1}$  i  $Q_{t2}$ , ekvivalentna utrošenom radu za savlađivanje odgovarajućih otpora trenja.

Prostiranje topote od ovih izvora ka hladnijim oblastima uglavnom se vrši putem provođenja topote. Između predmeta obrade, strugotine i alata uspostavljuju se topotni tokovi prikazani na Sl. 7.

Kao posledica postojanja topotnih izvora i topotnih tokova u zoni rezanja i njenoj okolini, dolazi do zagrevanja ovih oblasti. Odgovarajuće temperature obrazuju temperaturna polja zone rezanja.

Pri konstantnoj snazi topotnih izvora temperatura rezanja se može sniziti intenziviranjem odvođenja topote preko alata i predmeta obrade u SHP. Kod zadatog protoka, kojim SHP cirkuliše kroz ejektorski sistem, dalje intenziviranje hlađenja je moguće hlađenjem samog SHP. U uslovima dužeg neprekidnog ejektorskog bušenja temperatura SHP u rezervoaru mašine može da varira u intervalu 293—333 K i više. Zato se rezervoari opremaju posebnim uređajima za hlađenje primjenjenog SHP što pozitivno utiče na smanjenje srednje temperature rezanja.

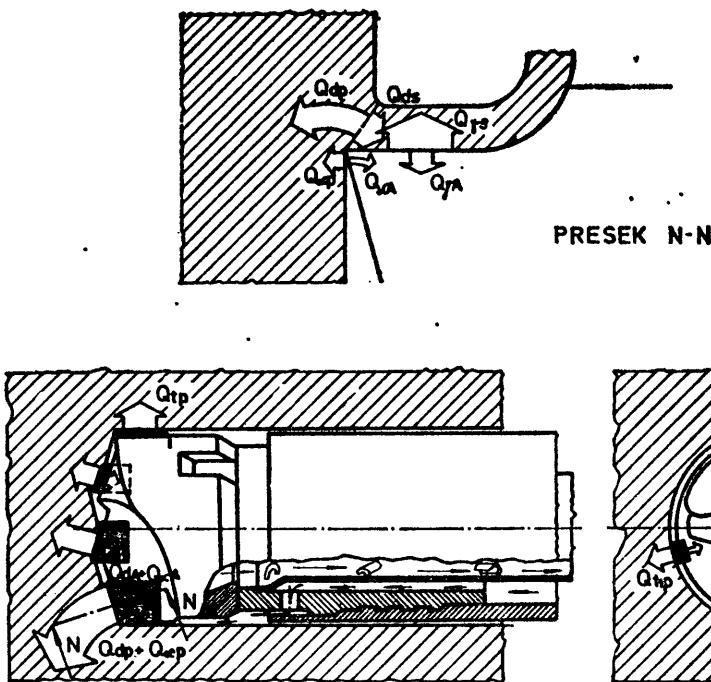
Ejektorsko bušenje, kao specifičan proces rezanja metala, odvija se u veoma složenim uslovima. Već izneta razmatranja o procesu obrazovanja strugotine, silama rezanja, izvorima topote i temperaturama ukazuju na nesumnjivo prisustvo intenzivnih triboloških procesa u zoni rezanja. Fizičko-hemijsku osnovu tih procesa čini mehanizam trenja i

- difuziono rastvaranje alatnog materijala u obradivom (difuziono habanje),
- hemijski procesi koji se odvijaju na grudnoj i lednoj površini (tribohemijsko habanje).

S obzirom na prirodu tribomehaničkog para kod ejektorskog bušenja — rezni elementi od tvrdog metala, abrazivno habanje je veoma malo prisutno za bilo koji obradivani materijal.

Primarni su procesi athezionog, a naročito difuzionog habanja. Razmatrajući posebno athezionalno habanje alata od tvrdog metala (WC—CO legura), E. M. Trent konstatiše da je athezionalno habanje dominantan oblik habanja u oblasti režima rezanja, koji uslovljavaju stvaranje naslaga na reznoj ivici ovih alata.

Ova konstatacija je od značaja kada se razmatra athezionalno habanje alata za ejektorsko bušenje, jer se neke od vrsta ejektorskih burgija izrađuju baš od tvrdog metala na bazi WC i Co, a mogu raditi sa režimima pri kojima se pojavljuje naslaga na reznoj ivici. Naslaga na reznoj ivici se pri rezanju stalno menja, na nju se talože novi slojevi obradivog materijala i vrši skidanje delova već formirane naslage. Ako se skidaju samo spoljni slojevi dok je deo naslade do alata čvrsto vezan sa njim, alat reže bez athezionog habanja duže vreme. Naprimjer, u nekim slučajevima pri obradi livenog gvođa naslaga se održava na alatu od WC—Co legure i pri relativno visokim brzinama rezanja i koracima. Međutim, pri obradi čelika režimima koji stvaraju naslagu to nije tako. Zbog neizbežne pojave vibracija alata, što je čest slučaj baš kod ejektorskog bušenja, tok metala preko rezne ivice postaje neravnomern. Naslaga se vezuje kratkotrajno za reznu ivicu što dovodi do stva-



Slika — 7.

habanja u procesu rezanja uopšte, uzimajući naravno u obzir specifičnosti samog postupka ejektorskog bušenja. Postoji niz hipoteza iz ove oblasti koje tretiraju osnovne uzroke habanja alata. Po tim hipotezama habanje na kontaktnim površinama uglavnom prouzrokuje:

- abrazivno dejstvo obradivog materijala, (abrazivno habanje),
- athezionalno međudejstvo alatnog i obradivog materijala (athezionalno habanje),

ranja kratkotrajnih lokalnih napona na istezanje u alatnom materijalu.

Tvrdi metal ima relativno malu mehaničku čvrstoću pri istezanju pa ovi naponi izazivaju otkidanje čestica alatnog materijala sa kontaktnih površina alata. Tako nastaju oštećenja na grudnoj i lednoj površini alata, koja izgledaju dosta grublje u odnosu na naprimer pohabanu površinu nastalu difuzionim habanjem.

Na osnovu već rečenog o procesu athezionog habanja proizilaze neke mogućnosti za usporavanje ovog vide habanja kod ejektorske burgije. Kao prvo, ako je moguće, treba raditi sa režimima rezanja koji su van oblasti obrazovanja naslaga na reznoj ivici. Drugo, pogodnim konstruktivnim rešenjima treba smanjiti vibracije pri bušenju na minimalnu mjeru i na kraju potrebno je za izradu reznih elemenata burgije, koja će biti izložena najviše athezionom habanju, izabrati vrstu tvrdog metala sa što sitnjim zrnima volfram karbida. Ove uslove

uglavnom nije teško ispuniti, izuzev u posebnim slučajevima, tako da se efekti athezionog habanja mogu umanjiti, ali nikako i apsolutno izbeći.

Za alate od tvrdog metala, kao što je i ejektorska burgija, od najvećeg značaja sa aspekta njihove radne sposobnosti je mehanizam difuzionog habanja.

Osnovna karakteristika ovog procesa je pojava difuzionog rastvaranja alatnog materijala u obradivom materijalu na temperaturama rezanja preko 1073K.

Mogućnost intenzivnog toka difuzionog procesa između alata i strugotine i alata i predmeta obrade zasniva se na činjenici da je brzina difuzije izvanredno velika u pr-

vom periodu kontakta zagrejanih površina (dok kasnje naglo slabí).

Preko rezne ivice alata se ostvaruje neprekidno kretanje obradivanih materijala tako da sve nove i nove čestice tog materijala stupaju u kontakt sa uvek istim površinama alata, pa se stalno ponavlja taj prvi period kontakta zagrejanih površina, što rezultira konstantnom održavanju veoma visoke brzine razstvaranja, karakteristične za početni period difuzije.

Brzina difuzije na kontaktnim površinama zavisi pre svega od temperature, ali takođe i od relativnih dimenzija atoma, njihovih uzajamnih hemijskih dejstava i uzajamne rastvorljivosti materijala. U slučaju brzoreznog čelika atomi gvodža difunduju iz brzoreznog čelika u obradivani materijal sve dotele dok se čestice karbida toliko ne izoluju da praktično ostanu bez potrebne veze sa osnovnom masom kada i dolazi do njihove disperzije. Kod alata od tvrdog metala najbrža difuzija nastaje na račun atoma kobalta iz tvrdog metala i atoma gvodža iz obradivanih materijala. Ali otkidanje i odnošenje zrna karbida ovde ne nastaje tako brzo iz dva razloga: prvo, zbog toga što čestice karbida nisu izolovane već predstavljaju osnovni deo zapremine tvrdog metala i uzajamno se drže u čvrstoj nosećoj strukturi, a drugo, zato što srazmerno difuziji atoma kobalta iz alata, atomi gvodža difunduju u materijal alata pri čemu gvodže skoro isto efikasno spaja karbide u tvrdom metalu kao i kobalt. Zbog toga ukupni intenzitet difuzionog habanja tvrdog metala mnogo zavisi i od brzine difuzije W, Ti, Ta, Nb i C koji su u tvrdom metalu vezani u obliku karbida. Najveću sklonost ka difuziji u obradivani materijal pokazuje volfram iz heksagonalne rešetke volfram karbida. Znatno sporije od volframa difunduju ostali elementi iz ove grupe, čiji karbidi imaju kubnu rešetku (kubni karbidi).

Difuziono habanje reznih elemenata ejektorske burgije je osnovni oblik habanja ovog alata. Uzrok tome je pre svega primjenjeni režim rezanja, koji je u funkciji stvaranja lomljene strugotine neophodne za funkcionisanje samog sistema. Naime, najčešće je neophodno proces bušenja vršiti brzinama rezanja većim od 70 m/min i koracima oko 0,2 mm/o (za uobičajene konstrukcione čelike) čime se stvaraju uslovi u kojima dominira difuziono habanje. Zato je i logično da se rezni elementi ovog alata izrađuju od tvrdog metala sa određenim procentom kubnih karbida u sebi kako bi se iskoristilo njihovo svojstvo usporavanja difuzionog habanja. Ali istovremeno treba imati u vidu i to da isti ovi karbidi mogu negativno uticati na otpornost reznih elemenata alata prema athezionom habanju (E. M. Trent). Ovo zbog toga što su na centralnim reznim elementima ejektorske burgije skoro uvek ispunjeni uslovi za pojavu athezionog habanja zbog malih brzina rezanja. Prema tome, optimalno rešenje, sa aspekta opšte otpornosti na habanje ejektorske burgije, bi bilo da se periferni i srednji rezni elementi ovog alata izrađuju od tvrdog metala sa kubnim karbidima u sebi, a centralni rezni element od tvrdog metala sa samo volfram karbidom i kobaltom, koji je inače otporniji prema athezionom habanju.

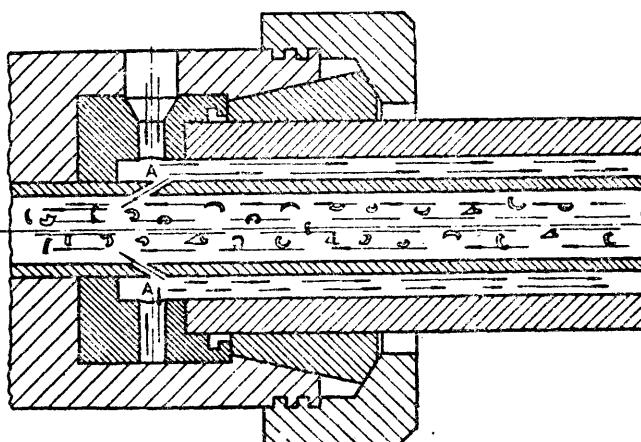
Na intenzitet razvoja tribohemijskih procesa pri ejektorskom bušenju presudan uticaj ima prisustvo trećeg elementa tribomehaničkog sistema, odnosno SHP. Ono praktično onemogućava dopiranje kiseonika iz vazduha u zonu rezanja, jer se rezanje odvija u sredini SHP, ali zato preko svojih komponenata (sumpor, fosfor, hlor) izaziva interakciju elemenata kontaktog para.

Postupak ejektorskog bušenja se od drugih postupaka obrade metala rezanjem najviše razlikuje po kompleksnosti zahteva i uloga koje mora ostvariti SHP u samom procesu bušenja.

Svakako najvažnija uloga SHP pri dubokom bušenju uopšte je odvođenje strugotine iz zone rezanja. Pri ejektorskom bušenju odvođenje strugotine iz zone rezanja je pot-

pomognuto ejektorskim delovanjem (odakle i naziv ovom bušenju) struje SHP u unutrašnjoj cevi sistema za cirkulaciju SHP.

Naime pod određenim režimom protoka i pritiska, koji je funkcija prečnika bušenja, struja SHP se u prostoru A (Sl. 8) deli na deo koji kroz kose otvore (»škrge«) odmah ulazi u unutrašnju cev i deo koji kroz međuprostor između spoljašnje i unutrašnje cevi odlazi u zonu rezanja.



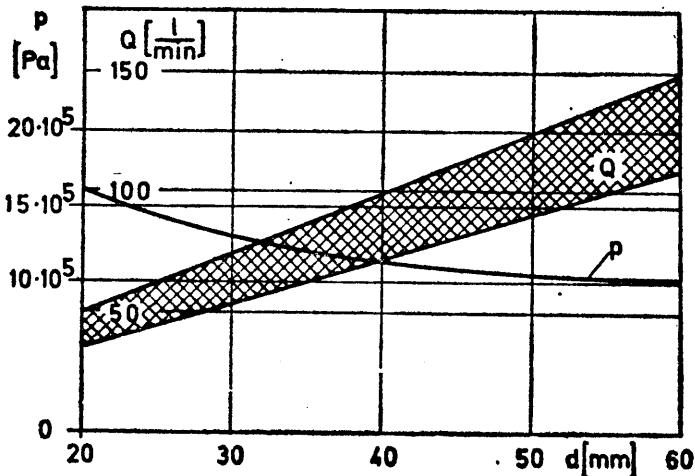
Slika — 8.

Deo SHP koji ulazi u unutrašnju cev (približno je to jedna trećina ukupnog protoka SHP) usmerava se ka izlaznoj strani ove cevi stvarajući tako određeni potpritisak u zoni rezanja na prednjem delu ove cevi, koji potpomaže odvođenje strugotine. Ovaj manji deo SHP na taj način praktično učestvuje samo u odvođenju strugotine. Veći deo SHP, dospevši kroz otvore na ejektorskoj burgiji, očliva rezne elemente i vodice ovog alata a zatim zahtava stvorenu strugotinu i odnosi je kroz unutrašnju cev, uz pomoć već pomenutog potpritiska. Ovakav način cirkulacije SHP, uz režime pritiska i protoka orijentaciono date na dijagramima, (Sl. 9) (preporuka proizvodača alata), zahtevaju da primenjeno SHP bude, uz sve ostale potrebne karakteristike, još i jako otporno na stvaranje pene.

Sredstvo za hlađenje i podmazivanje koje dospeva u zonu rezanja predstavlja i veoma važan faktor usporavanja triboloških procesa na reznim i kliznim elementima ejektorske burgije. Priroda delovanja SHP na tribološke procese u uslovima rezanja metala je relativno malo izučena. Prihvaćena je hipoteza (Armarego, Brown, Rebinder) da se uticaj SHP na tribološke procese ostvaruje na tri glavna načina:

- odvođenjem najvećeg dela stvorene topote iz zone rezanja (hlađenjem),
- podmazivanjem kontaktnih površina između alata i predmeta obrade i
- snižavanjem čvrstoće na smicanje obradivanih materijala (efekat Rebindera).

Poznato je da na intenzitet difuzionog habanja ovog alata najviše utiče temperatura rezanja, pa, kada se ima u vidu uticaj SHP na srednju temperaturu rezanja, logično se nameće zaključak i o pozitivnom uticaju SHP na usporavanje difuzionog habanja. Međutim, treba imati u vidu da SHP ne može prodreti u samu zonu kontakta alata i predmeta obrade, pa prema tome ni uticati na snižavanje maksimalnih temperatura u temperaturnom polju alata, zbog



Slika — 9.

čega se tu difuzioni procesi ne usporavaju. Ali zato SHP, uticajem na periferiju temperaturnog polja, doprinosi smanjenju srednje temperature rezanja tako da se to ipak pozitivno odražava na ukupan efekat difuzionog habanja.

Termin podmazivanja u vezi sa primenom SHP podrazumeva efekte smanjenja sila trenja na kontaktnim površinama, smanjenje količine stvorene toplote i poboljšanje kvaliteta obrađene površine.

Kada komponente iz SHP, kao što su Cl, S, P ili O, prodru u oblast delimičnog kontakta tribomehaničkog para, dolazi do njihovog hemijskog vezivanja sa tek obrazovanom metalnom površinom, čime se sprečavaju interakcije na relaciji alat-strugotina i alat-predmet obrade. A u tom slučaju su i athezionali i difuzioni procesi manje izraženi, što konačno doprinosi većoj otpornosti na habanje reznih elemenata alata.

#### PROGRAM I REZULTATI ISPITIVANJA

Kao što je ranije rečeno, jedan od elemenata tribomehaničkog sistema koji ima bitan uticaj na razvoj triboloških procesa kod dubokog bušenja ejektorskim postupkom je SHP.

Programom ovih ispitivanja obavljenih u Laboratoriji za obradu metala i tribologiju na Mašinskom fakultetu u Kragujevcu bilo je predviđeno:

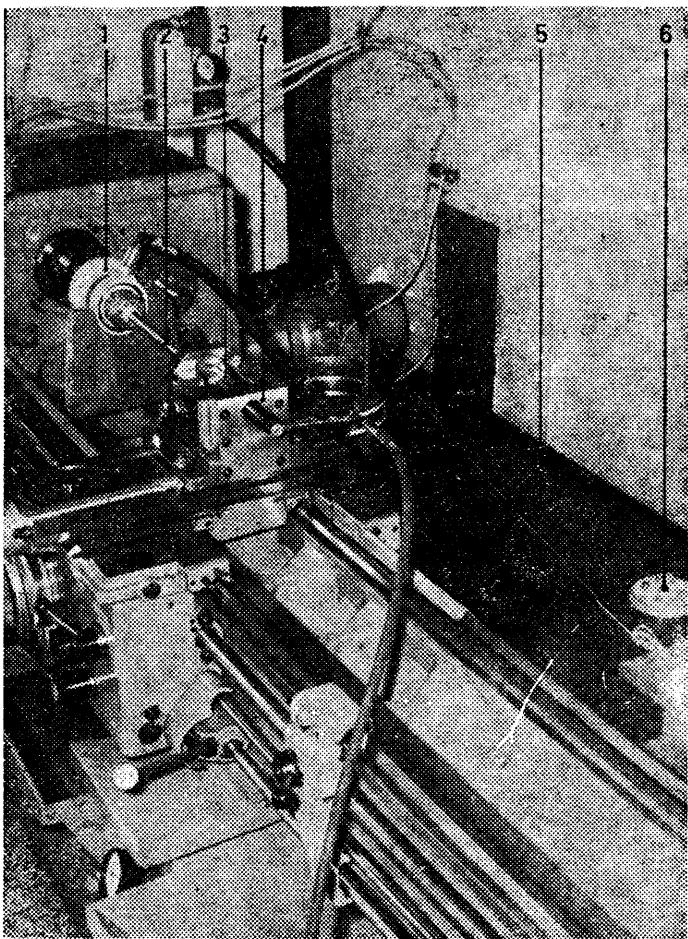
- kvantificiranje uticaja SHP na razvoj triboloških procesa na reznim elementima ejektorske burgije,
- određivanje uticaja SHP na proces obrazovanja strugotine i
- analiza uticaja SHP na kvalitet obrađene površine.

Uslovi ispitivanja:

- SHP: 1000, 1400 i 1700
- protok SHP:  $Q = 53 \text{ l/min}$
- pritisak SHP:  $p = 18 \cdot 10^5 \text{ Pa}$
- mašina: adaptirani univerzalni strug »Prvomajska«, tip D480
- alat: ejektorska burgija  $d = 26 \text{ mm}$
- materijal: čelik Č4730, poboljšan na 275 HB
- brzina rezanja  $V = 74 \text{ m/min}$
- posmak  $s = 0,16 \text{ mm/o}$
- dubina otvora  $L = 120 \text{ mm}$ .

Adaptirani strug na kome su obavljena ispitivanja prikazan je na Sl. 10, gde je:

1 — priključak za alat i SHP 4 — stezni alat  
2 — nosač ejektorske burgije 5 — rezervoar za SHP  
3 — predmet obrade 6 — magnetni filter



Slika — 10.

Tribološki procesi na reznim elementima ejektorske burgije su u najvećem broju slučajeva kombinacija već opisanih fizičko-hemiskih procesa na kontaktnim površinama svakog od tri sečiva ovog alata. Zavisno od režima rezanja, obrađivanog materijala, SHP i drugih uslova, dominiraće difuziono ili athezionalno habanje. Kao posledica razvoja tih procesa na grudnoj površini svakog reznog elementa formira se krater habanja i na leđnoj površini pojas habanja, obično promenljive širine  $h$ .

Veličine ovih parametara odražavaju dostignuti nivo pohabanosti svakog reznog elementa.

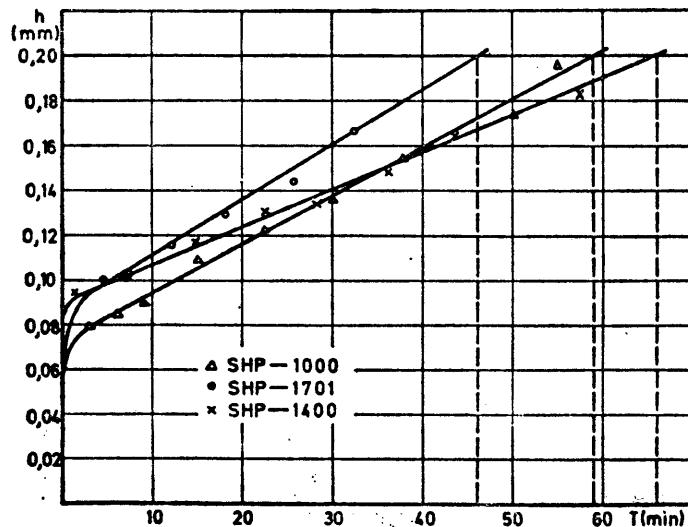
Zbog različitih brzina rezanja procesi habanja na centralnom, srednjem i perifernom reznom elementu izazivaju različite promene na svakom od njih.

Na centralnom reznom elementu brzina rezanja se menja od nule do neke vrednosti koja je znatno manja od brzine rezanja na ostalim reznim elementima. Posledica je da kod ovog reznog elementa visoki pritisci strugotine u procesu rezanja prouzrokuju stvaranje izrazitog kratera na grudnoj površini. Habanje leđne površine je znatno manje izraženo tako da se gotovo može zanemariti.

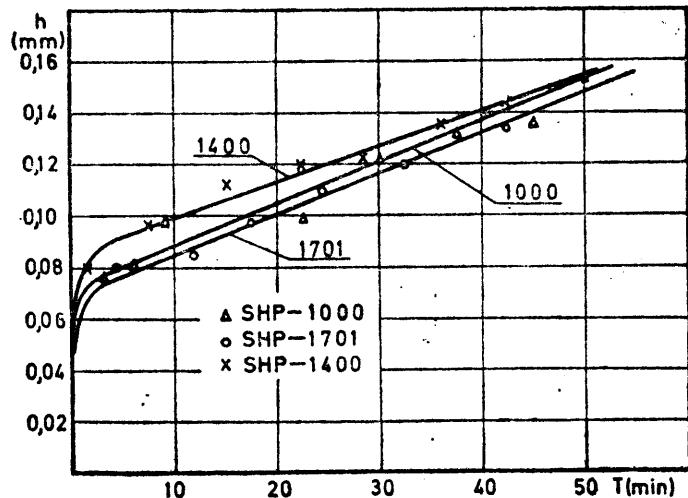
Habanje srednjeg i perifernog reznog elementa se međusobno sljčno manifestuju. Krater na grudnoj površini ima skoro konstantnu širinu duž rezne ivice i najčešće je to sjajna uglačana površina sa mestičnim brazdama uglavnom pri krajevima sečiva. Pojas habanja na leđnoj površini je promjenljive širine duž rezne ivice, s tim što je na mjestu maksimalne brzine rezanja — na ivici reznog elementa — njegova širina znatno veća.

U toku rezanja širina pojasa habanja na leđnoj površini se menja po nekoj zakonitosti, za razliku od širine kratera na grudnoj površini, koja zadržava skoro istu vrednost tokom celog perioda rezanja. Međutim, dubina kratera je zato znatno više u funkciji vremena rezanja. Primijenjena mikroskopska metoda za merenje parametara habanja nije omogućavala da se prate i dubine kratera, već su merene samo širine pojasa habanja na perifernom i srednjem reznom elementu. Rezultati tih merenja su dati u obliku krivih habanja.

Očigledno veće habanje je prisutno na perifernom (Sl. 11), nego na srednjem (Sl. 12) reznom elementu, pa je za ocenu postojanosti alata merodavan pojas habanja na perifernom sečivu. Za kriterijum pohabanosti  $h = 0,2 \text{ mm}$  dobijene su odgovarajuće vrednosti postojanosti za tri ispitivana SHP. Histogramski prikaz ovih postojanosti je dat na Sl. 13 koji može poslužiti za komparativno ocenjivanje ispitivanih SHP sa aspekta njihovog uticaja na razvoj triboških procesa.



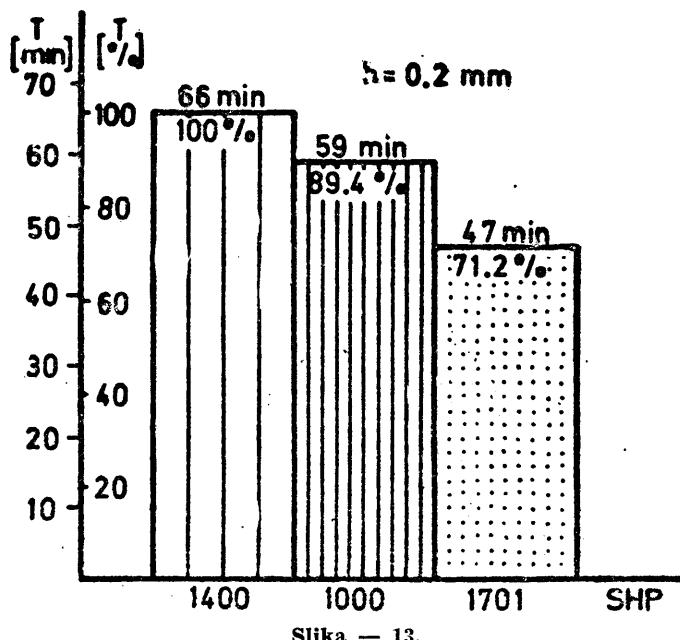
Slika — 11.



Slika — 12.

Sva tri ispitivana SHP su aktivnog tipa, jako zamašćena, niskog i skoro istog viskoziteta. SHP su približno istog aktiviteta što se tiče sadržaja aditiva na bazi sumpora i hlora, a razlike nastaju od prirode porekla pojedinih komponenata.

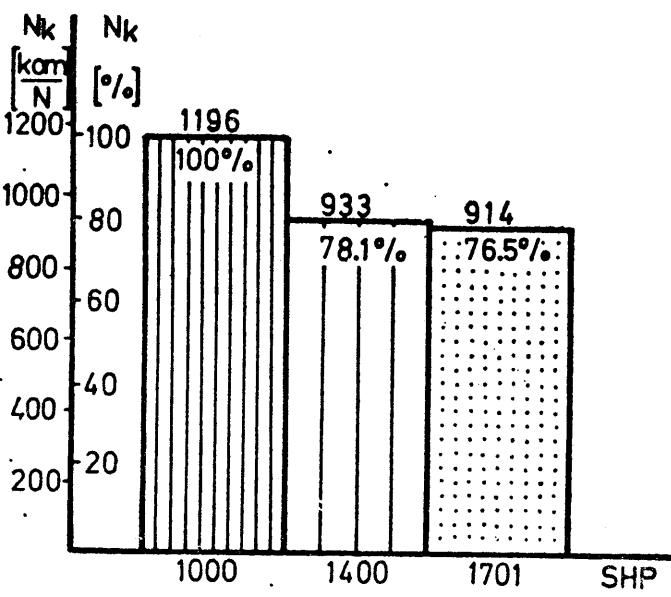
Kao što se vidi sa Sl. 13 sredstvo za hlađenje i podmazivanje SHP 1400 je pokazalo najbolji uticaj na postojanost alata. Primjenom SHP 1000 ostvaruje se za 10,6%, a primjenom SHP 1701 čak za 28,8% niža postojanost alata u odnosu na SHP 1400. Međutim, interesantan je uticaj ovih SHP (komparativno gledano) na proces habanja na srednjem reznom elementu (Sl. 12). Očigledno da je SHP 1701 ovde najefikasnije u smislu usporavanja habanja, dok je SHP 1400 najslabije (mada razlike nisu velike). To navodi na zaključak da je ponašanje ispitivanih SHP uslovljeno i brzinama rezanja, koje se na ova dva rezna elementa jedino i razlikuju (na perifernom  $v = 74 \text{ m/min}$ , a na srednjem  $v = 51 \text{ m/min}$ ), pa se može reći da je SHP 1400 efikasnije pri većim brzinama rezanja, a SHP 1701 pri manjim brzinama rezanja.



Slika — 13.

Naravno da ove manje brzine vrlo retko mogu biti prihvatljive i na perifernom reznom elementu sa aspekta oblika strugotine, pa je stoga daleko značajniji zaključak iz razmatranja procesa habanja na perifernom reznom elementu (Sl. 11 i Sl. 13).

Oblik strugotine pri ejektorskom bušenju je osnovni faktor za ocenu mogućnosti uspešnog odvijanja procesa. Bez kratke, transportibilne strugotine svaki pokušaj bušenja se završava lomom reznih elemenata ejektorske burgije zbog začepljenja kanala za odvod strugotine. Zbog toga je pri ovom ispitivanju praćen i uticaj SHP na veličinu strugotine na sva tri rezna elementa. Uočeno je da vrsta SHP najviše utiče na dužinu strugotine na perifernom reznom elementu, gde je ona i inače najduža. Uzimanjem uzorka strugotine (po 100 komada) na početku, sredini i kraju perioda rezanja formiran je reprezent dužine strugotine za svako SHP. Vaj reprezent, obeležen je sa  $N_k$  (kom/m), predstavlja broj komada opiljaka u jedinici težine strugotine, a dobijen je merenjem težine 300 kom. opiljaka i svođenjeni na težinu od 1 N. Histogramski prikaz utvrđenih vrednosti za  $N_k$  je dat na Sl. 14.

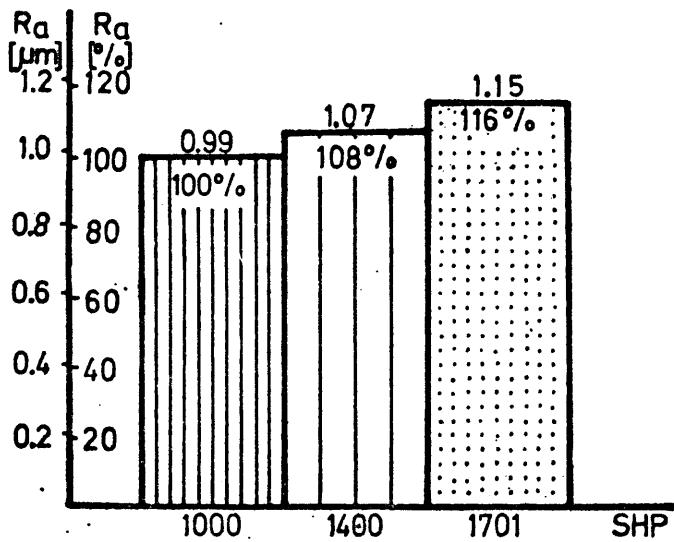


Slika — 14.

Sa slike se vidi da je najbolje SHP 1000 sa aspekta stvaranja strugotine, a najlošije SHP 1701. Takođe se uočava da ne postoji bitna razlika u ovom pogledu između SHP 1400 i SHP 1701.

Kvalitet obrađene površine pri ovom ispitivanju je praćen preko srednjeg odstupanja profila Ra, merenog na profilometru Tester-p tipa Homel Werke. Vršeno je po 350 merenja ovog parametra za svaku SHP, uz iste uslove u pogledu pohabanosti alata u trenutku merenja. Srednje vrednosti tako izvršenih merenja su date histogramskim na Sl. 15.

Vidi se da se pri upotrebi bilo kog SHP kvalitet obrađene površine nalazi u granicama koje odgovaraju kvalitetu N7. Ipak razlike u pogledu uticaja SHP na vrednost Ra postoje, pa se tako uočava da SHP 1000 omogućava kvalitet površine vrlo blizak kvalitetu N6, za razliku od SHP 1400, koje je za 8%, i SHP 1701 koje je za 16%, lošije u tom pogledu.



Slika — 15.

#### ZAKLJUČCI

□ Tribomehanički sistem u procesu ejektorskog bušenja čine: ejektorska burgija sa centralnim, srednjim i perifernim reznim elementom, predmet obrade i SHP sa svim

karakteristikama tribomehaničkog sistema u obradi metala rezanjem, kao i klizni par vodice burgije — obradena površina u struji SHP.

- Posebnu karakteristiku ejektorskog bušenja predstavlja zahtev za obrazovanje transportibilne strugotine u procesu rezanja, što ovaj tribomehanički sistem čini još kompleksnijim.
- Ejektorsko bušenje se odvija uz izraženo prisustvo termoelektričnih pojava u zoni rezanja i zoni klizanja, što takođe utiče na složenost tribomehaničkog sistema.
- Habanje na reznim elementima ejektorske burgije je posledica atezionih, difuzionih i tribohemijskih procesa.
- Odvijanje procesa ejektorskog bušenja je nemoguće bez prisustva trećeg elementa tribomehaničkog sistema — SHP.
- Priroda komponenata u SHP koja se koriste za ejektorsko bušenje bitno utiče na razvoj triboloških procesa na reznim elementima alata. Za ispitivana SHP dobijena je razlika postojanosti i do 28,8%.
- Kvalitet SHP značajno utiče na dužinu strugotine a posebno na perifernom reznom elementu gde je ona inače i najduža.
- Preko SHP se takođe može uticati i na kvalitet obrađene površine.

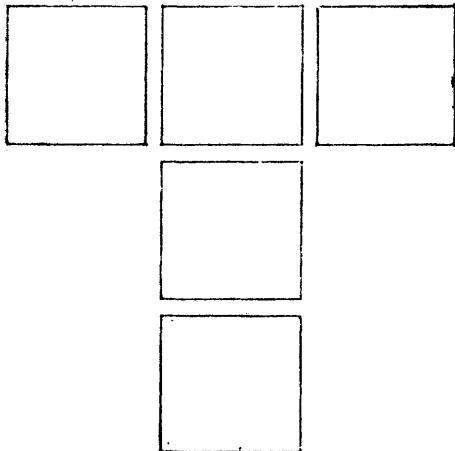
#### LITERATURA

1. B. IVKOVIĆ: Tribologija rezanja, Beograd, Građevinska knjiga, 1979.
2. B. IVKOVIĆ: Tribološke karakteristike elemenata tribomehaničkog sistema u obradi metala rezanjem, Tribologija u industriji № 1/1981, Mašinski fakultet, Kragujevac.
3. E. M. TRENT: Metal Cutting, Butterworth and Co (Publishers) Ltd, 1977.
4. E. J. A. ARMAREGO, R. H. BROWN: The machining of metals, Prentice-Hall, Inc. 1969.
5. В. Ф. БОБРОВ: Основы теории резания металлов, Москва, Машиностроение, 1975.
6. А. М. ВУЛЬФ: Резание металлов, Ленинград, Машиностроение, 1973.
7. А. Н. РЕЗНИКОВ: Теплообмен при резании и охлаждение инструментов, Москва, МАШГИЗ, 1963.

**KARALAZIĆ STANIMIR**, dipl. maš. inž., načelnik Odjeljenja za konstrukciju alata, režime i studiju rada u OOURE III Fabrike namenskih proizvoda, Zavodi »Crvena zastava«, Kragujevac.



Roden 1948. godine. Diplomirao 1973. godine na Mašinskom fakultetu u Kragujevcu. Bavi se konstrukcijom reznih alata i tehnologijom dubokog bušenja.



Z. HADUCH

# Neke tribološke osobine sivog liva u teoriji i praksi

Sa poljskog prevoo: M. Jovanović

**UVOD**

Sirovinska, energetska i ekonomski situacija u savremenom svetu primorava nas da tražimo nova rešenja koja dovode do uštade materijala i prođenja veka eksploracije mašina i uređaja.

Ova problematika doprinela je naglom razvoju nove naučne oblasti »tribologije« koja proučava ne samo procese trenja već i niz pratećih pojava koje imaju bitan tehnički i ekonomski značaj.

Ako se podsetimo da se na otpore trenja godišnje utroši 30—50% energije proizvedene u celom svetu, i ako tome dodamo na stotine mšaina koje se godišnje izbacuju iz eksploracije zbog istrošenja, to će mesto tribologije kao nauke biti jasnije.

Svaka delatnost koja ima za cilj ispitivanje triboloških procesa i pojave sa njima povezanim, daje određene tehnološke i ekonomski efekte. Razjašnjenu ovih pojava doprinosi, isto tako, razmena mišljenja između istraživača i praktičara na međunarodnim skupovima ili objavljuvanjem radova u stručnim tehničkim časopisima.

**TEORIJSKA RAZMATRANJA**

Kako tribološke pojave nastaju pre svega na površini dodirnih elemenata, ili u slojevima blizu površine potrebno je definisati navedene zone.

Cesto se srećemo sa tendencijom da se poistoveti fizička površina, tj. površina materijalnog tela sa površinom u geometrijskom smislu.

Geometrijska površina je dvodimenzionalna, dok je fizička površina kao materijalni pojam trodimenzionalna, bez obzira na to što je njena treća dimenzija — dubina — relativno mala.

Mnoge tribološke pojave se ne mogu objasniti bez uvođenja pojma trodimenzionalne površine fizičkih tela. Zbog toga se u tribološkoj terminologiji uvodi pojam spoljašnjeg površinskog sloja. Oko 85% havarija mašina prouzrokovano je oštećenjem spoljašnjih (površinskih) slojeva spregnutih elemenata. Tribološko trošenje delova mašine je u suštini razaranje njihovog spoljašnjeg sloja. Iz tih razloga treba poznavati metode ispitivanja i mogućnosti da se stvari takvo stanje površinskih slojeva delova mašina radi postizanja optimalne trajnosti mehaničkih sklopova.

Ceneći značaj ovog pitanja mnogi istraživači stvaraju modelle spoljašnjeg sloja i uvode parametre koji karakteri-

šu njegovo stanje. Razmatranja Bodvena i Tabora, Beibyega, Rebindera uglavnom se odnose, pre svega na jednorodna tela kod kojih se svaka tačka materijala ponaša na sličan način u procesima trenja.

Takvi modeli spoljašnjeg sloja se ne mogu primeniti na tela sa višefaznom unutrašnjom građom, gde spada većina metalnih legura a pogotovo legure sa tako različitim osobinama faza kao što su ferit, cementit, grafit, fosforne eutektike i druge.

**Tvrdoča** čvrstih tela meri se različitim metodama i izražava u raznim jedinicama pa stoga ima karakter dogovora i ne može se neposredno povezati sa otpornošću materijala prema habanju. Zato mnogi istraživački odbacuju merilo tvrdoće i zamjenjuju ga određenim fizičkim osobinama: čvrstoćom ili površinskom energijom. Interesantan je predlog Rebinderu da se tvrdoča definise kao veličina srazmerna utrošenom radu potrebnom za razaranje krtog tela radi stvaranja novih površina.

Tvrdoča prema Rebinderu je

$$H = \frac{dL}{dS} = \frac{1}{\beta} \frac{dL}{dv}$$

gde je:

$dS$  — prirast površine pri razaranju zapremine  $dV$

$dL$  — rad razaranja koji izaziva prirast površine  $dS$ . Ukupan rad razaranja utrošen na trenje, plastično deformisanje i razdvajanje čestica dat je izrazom:

$$L = Lv + Ep\Delta S + q/J$$

gde je:

$Lv$  — rad utrošen na plastično deformisanje u  $J$ ,

$Ep$  — površinska energija u  $J/m^2$

$\Delta S$  — prirast površine u  $m^2$ ,

$q$  — toploča oslobođena pri razdvajaju u  $J$ .

Kao što se vidi rad razdvajanja, a time i tvrdoča, srazmeran je površinskoj energiji. Ovakvo tumačenje tvrdoće ima mali praktični značaj s obzirom na poteškoće neposrednog merenja površinske energije čvrstih tela.

Prema Rebinderu rad razdvajanja troši se takođe na savladavanje otpora trenja, koji se u osnovi svodi na dejstvo između čestica spoljašnjeg sloja čvrstog tela i zavisi od strukture i hemijskog sastava spregnutih materijala.

Sa ovako prihvaćenim pojmom rada za uništenje unutrašnje energije podudara se i mehaničko-ateziona teori-

ja Kragelskog, u kojoj autor upoređuje athezione sile sa silama molekularnog delovanja. On je pretpostavio da sile trenja imaju dva oblika. Na realnim dodirnim površinama pojavljuje se mehanički otpor pomeranju prouzrokovani kćenjem površinskih neravnina i otpor izazvan međusobnim zahvatanjem atoma čestica spregnutih tela.

Ukupna, eksperimentalno izmerena sila trenja jednaka je proizvodu površine  $S_r$  i zbiru pojedinačnih sila trenja

$$T = S_r \sum_{i=1}^n F_{ji}$$

Pojedinačna sila trenja određuje se kao zbir molekularnog delovanja  $F_{jmol}$  i mehaničkog  $F_{jmeh}$

$$F_j = F_{jmol} + F_{jmeh},$$

i uzimajući u obzir realnu dodirnu površinu dvaju tela, ukupna sila trenja se može izraziti jednačinom:

$$T = \alpha \cdot S_r + \beta N$$

gde je:

$S_r$  — stvarna dodirna površina  
 $N$  — normalna sila na dodirnu površinu,  
 $\alpha, \beta$  — koeficijenti koji zavise od athezionih i mehaničkih osobina čvrstih tela.

Povezivanjem teorija Rebindera i Krageljskog objašnjava se eksperimentalno ustanovljen zaključak da spregnuti delovi treba da budu od materijala različitih tvrdoća (površinskih energija), pa stoga i različitih struktura. Ovaj zaključak potvrdio je i autor ovog rada eksperimentalnim ispitivanjima u kojima je habanje uzorka bilo manje kada je spregnut sa tvrdim materijalom nego sa mekšim, a najmanja površinska hrapavost pri praktičnim probama dobija se u sprezi sa vrlo tvrdim uzorkom od presovanih karbida.

Gornji zaključci se mogu tumačiti manjim athezionim silama (pa stoga i manjim athezionim trošenjem) za materijale različite tvrdoće nastalih kao rezultat raznilih struktura materijala.

Ovi rezultati se slažu sa najnovijim postavkama »škole Krageljskog« iznesenim na I simpoziju »Intertribo 81« u Visokim Tatrama — Čehoslovačka.

Bila je obraćena pažnja na tri osobine graničnog trenja:

1. Dvostruka priroda trenja:  
 molekularne promene,  
 deformisanje i razaranje površine.
2. Procesi trenja zavise od sopstvene hrapavosti površine materijala. Prvobitna hrapavost površine brzo se razara i nastaju novi oblici specifični za spregnute materijale.
3. Sredstva za podmazivanje nije uvek »treće telo« u procesu trenja, već to može biti i sam materijal.

Krageljski podvlači značaj »3-ćeg tela« kojim mogu biti specijalno obložene površine tako da se zajedno sa pravilno izabranim sredstvom za podmazivanje stvaraju mogućnosti za smanjenje otpora trenja što pri pravilno izabranim spregnutim delovima znatno umanjuje habanje.

Na osnovu gornjih teorijskih razmatranja i s obzirom na prirodu graničnog trenja moguće je formulisati sledeće teze koje se odnose na delove mašina od sivog liva koji rade u uslovima trenja.

1. Tribološke osobine sivog liva zavise od njegove strukture i osobina površinskog sloja.

2. Uzimajući u obzir višefaznu strukturu sivog liva sledi da će njegovo ponašanje u procesu eksploracije zavisi od osobina pojedinih faza i njihovog udela u strukturi.

3. Kako su poznate osobine podmazivanja grafita, to parametri koji karakterišu taj strukturalni sastav mogu na značajan način da utiču na karakter rada spregnutih delova.

Radi uopštavanja i potvrde ovih stavova izvršena su brojna ispitivanja, čiji su glavni pravci predstavljeni sledećim poglavljima.

### Uvodna ispitivanja

Radi određivanja zavisnosti između triboloških osobina površinskih slojeva i strukture izvršena su ispitivanja desetak vrsta sivog liva proizvedenih u četiri poljske i dve jugoslovenske livnice. Zajednička odlika ispitivanih materijala bila je ista tehnologija izrade probnih uzoraka. Odlivci su bili u obliku valjaka dimenzija  $\varnothing 120/31 \times 300$  min. Iz valjaka su isecani uzorci za mehanička i tribološka ispitivanja.

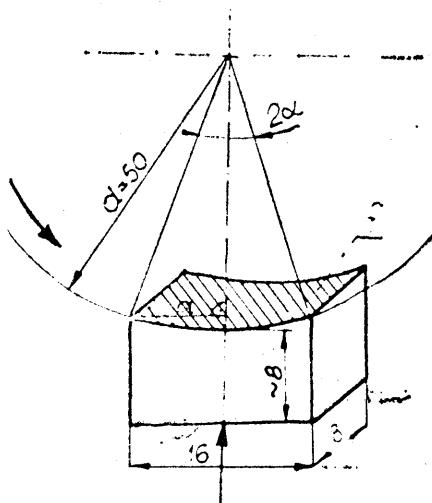
Istraživanja su bila izvedena na Politehnici u Kragujevcu i na Fakultetu strojarstva i brodogradnje u Zagrebu, a rezultati saopšteni na naučnim skupovima (2, 4, 5, b).

Analizom rezultata uvodnih istraživanja zaključujemo da je, s obzirom na habanje najbolja perlitra struktura sa određenim osobinama mikrotvrdoće, disperzije, veličine zrna itd. U ovom slučaju štetno deluje postojanje slobodnog ferita u strukturi jer se on lepi na spregnuti deo što naglo povećava habanje. Nesumnjivo veliki uticaj na otpornost prema habanju imaju osobine grafita pa to pitanje treba posebno razmatrati.

**Struktura sivog liva** zavisi pre svega od hemijskog sastava, tehnologije topljenja i proizvodnje odlivaka. To znači da se pri istoj tehnologiji izrade odlivaka određene grupe, struktura može regulisati hemijskim sastavom, tj. materijalom primjenjenim za njegovu izradu. Zbog toga je za osnovna istraživanja uzet sivi liv topljen u nepromenjenim tehnološkim uslovima, ali sa programiranim promenama legiranjućih elemenata (Al, Ni, Cr, Cu, Ti, V, Mo, B) radi provere njihovog uticaja na strukturu i na tribološke osobine materijala. Za uporedni materijal primjenjeni su uzorci iz engleskog zaštitnog sivog liva »GRADE 17« namenjenog izradi blokova dizel motora.

**Tribološka ispitivanja** se zasnivaju na relativnom kretanju spregnutih delova koje čine rukavci i isečak kliznog ležaja.

Protivuzorak je bio valjak — prečnika  $\varnothing 30$  od čelika 55 (PN — poljski standard označava čelik sa približno 0,55% C) kaljenog i otpuštenog do tvrdoće oko 55 NRC.



Sl. 1. — Model triboloških istraživanja

Nepromenljivi parametri u uvodnim istraživanjima bili su materijal protivuzorka i rashadno-mazivno sredstvo. Menjana je sila pritiska (N-na sl. 1) i brzina klizanja v.

#### ZAKLJUČCI IZ UVODNIH ISTRAŽIVANJA

Nakon kompjuterske analize rezultata triboloških istraživanja hemijskog sastava i strukture, zaključeno je da odgovarajući hemijski sastav sivog liva namenjenog za eksploataciju u uslovima relativnog kretanja treba tražiti u kombinaciji legirajućih elemenata koji stabilizuju perlitu strukturu metalne osnove i utiču na kristalizaciju grafita određenog geometrijskog oblika i rasporeda u strukturi. Najbolji rezultati se dobijaju sa legurama koje sadrže bakar (Cu), hrom (Cr) nikl (Ni), vanadijum (V) i titan (Ti).

Iz ekonomskih razloga bakar zaslužuje veću pažnju jer je jeftiniji od ostalih elemenata.

**Bakar** povećava rastvorljivost ugljenika što pogoduje grafitizaciji za vreme očvršćivanja. Bakar povećava broj eutektičkih kolonija i usitnjava grafit. Bakar takođe doprinosi stabilizaciji eutektoidnog cementita izazivajući smanjenje udela ferita u matrici, što znači da taj element pogoduje eutektoidnoj kristalizaciji perlita.

**Kvantitativna ispitivanja strukture** grafita su pokazala, da je, s obzirom na tribološke osobine najbolji pločasti grafit srednje veličine ravnomerno raspoređen u metalnoj osnovi, za kojeg je geometrijski parametar koji definiše oblik i veličinu tzv. »indeks razvijanja površine«  $S_w$  u granicama  $350-450 \text{ mm}^2/\text{mm}^3$ .

Veza između eksploatacionih osobina i parametra  $S_w$  može se fizički objasniti jer definije graničnu površinu grafit — osnova, a dekohezija sivog liva u većini slučajeva nastupa po tim površinama.

#### Industrijska istraživanja

Teorijska razmatranja pitanja vezanih za izbor odgovarajućih materijala za delove mašina koji rade u uslovima trenja, i gore opisana ispitivanja zasnovana na trib-

loškim i strukturnim osobinama sivog liva, bili su osnova pristupa industrijskim istraživanjima.

Predmet istraživanja bio je blok 6-to cilindričnog dizel motora.

Blok motora se sada lije od sivog liva (»GRADE 17« klase 220 ( $\sigma_M = 220 \text{ MPa}$ ), srednje tvrdoće približnog 165HB, sa dodatkom oko 0,15% Cr. Struktura je perlita sa oko 15% ferita u pojedinim delovima odlivka. Štetno deluje promena strukture odlivka u vezi sa sadržajem ugljenika u zavisnosti od debljine zida odlivka.

Kao rezultat nekoliko laboratorijskih i industrijskih ispitivanja stvorena je nova vrsta sivog liva koji osim hitoma sadrži i oko 0,3% bakra. Projektovana tehnologija livenja bloka od novog materijala i predložene konstrukcione izmene izbacivanjem šaura od ležišnih legura i uležištenje rukavca bregaste osovine direktno u bloku. Od novog materijala je izrađena probna serija blokova, od kojih su neki nakon mehaničke obrade i montaže motora dati na eksploatacionala ispitivanja, a ostali (dva bloka) su isećeni na uzorke za laboratorijska, tribološka i mehanička ispitivanja.

#### Zaključci industrijskih istraživanja

**Mehaničke osobine** sivog liva na bazi Cr-Cu, primenjenog za blok dizel motora odgovaraju jednoj klasi kvaliteta više od do sada primenjivanog sivog liva »GRADE 17«. Ovo dokazuje povoljan uticaj primenjenih legirajućih elemenata na mehaničke osobine sivog liva.

**Tribološke osobine** nove vrste sivog liva su višestruko otpornije prema habanju od zaštićenog (licencnog) sivog liva »GRADE 17«. Pri ispitivanju nisu uočene bitne razlike u tribološkim osobinama uzoraka iz pojedinih delova bregaste osovine, što je dokaz ravnometernih osobina materijala.

**Struktura** metalne osnove u svim ispitivanim mestima odlivaka bila je perlita sa tragovima ferita i fosfidne eutektike. Kvantitativna ispitivanja grafita su pokazala ravnomeran raspored i indeks posednutosti površine  $S_w = 340 \text{ mm}^2/\text{mm}^3$ .

**Eksploatacionala istraživanja** su izvršena na probnom stolu, kao i putna ispitivanja na kamionu; ova ispitivanja su pokazala opravdanost predloženih konstrukcionalih rešenja i promena materijala. Primjenjeni spregnuti parovi — rukavac bregaste osovine — ležište u bloku motora, pokazali su da posle 1120 sati rada maksimalno istrošenje ne prelazi  $7,5 \mu\text{m}$  za ovu vrstu spregnutih elemenata i isto vreme).

Motori sa blokovima od sivog liva na bazi-hrom-bakar posle više od dve godine rada u kamionima nisu pokazali nepravilnosti u radu.

#### LITERATURA

1. HEBDA, M. WACHAL A.: »Trybologia« WNT Warszawa 1980.
2. Materijali simpozijuma »Intertribo 81«, 27—29. IV 1981.: »Tribological problems in exposed friction systems«.
3. NADUCH Z.: »Wpływ składu chemicznego i struktury na odporność na ściaranie żeliwa szarego«. Doktorska disertacija, Politechnika Krakowska, 1977

4. HADUCH Z.: »Istraživanje niskolegiranog sivog liva za klizne ležajeve«, Skup »Zupčanici i klizni ležajevi« FSB Zagreb, 1976.
5. HADUCH Z.: Tribološki problemi eksploatacije odgovarajućih spregnutih delova na motornim vozilima Simpozijum »Motori i motorna vozila«, Mašinski fakultet u Kragujevcu, 1979.
6. SEKANSKI K.: Nowa metoda określenie kształtu wielkości i ilości grafitu w strukturze żeliwa. Preglad Odlewictwa 1975., Nr 6.
7. RACZKA J. i inn.: »Niskolegirani sivi liv za elemente maszyna i motora«, Naučno istraživački rad — Politehniku Krakowska 1976—80.

**Dr ZYGMUNT HADUCH, dipl. inž., predavač Politehnike u Krakovu.**



Doktorirao na Politehnici u Krakovu 1977. godine. Objavio 20 naučnih radova na poljskim i internacionalnim skupovima. Bavi se problemima litarstva i tribologije. Osim toga preveo je sa srpskohrvatskog jezika na poljski i obratno 15 radova, štampanih u naučnoj literaturi. Učestvovao je u izradi 15 naučno-istraživačkih projekata.

# PUT DO VISOKE PRODUKTIVNOSTI VODI I KROZ TRIBOLOGIJU

Podsetimo se: u ukupno utrošenom minulom radu, koji se odnosi na energiju, sredstva rada i sredstva za podmazivanje, otpada, po pravilu, oko 60 odsto.

U kojoj meri se koriste tribološka znanja u neposrednoj praksi za postizanje ukupne produktivnosti rada u metaloprerađivačkoj industriji?

U razvijenim industrijskim zemljama već godinama se ulažu znatna sredstva u tribološka istraživanja i ostvaruju programi primene naučnih saznanja iz ove oblasti za uvećanje produktivno-

sti rada, odnosno uvećanje koeficijenta ekonomičnosti proizvodnje.

Ovi programi nisu stvar samo naučno istraživačkih instituta i industrije, oni uživaju punu podršku i materijalnu pomoć vlada ovih zemalja.

Međutim, mogućnosti korišćenja triboloških znanja kod nas još uvek se ne koriste u potreboj meri. Da li se dovoljno zna da put do produktivnosti rada vodi i kroz stvaranje i prikupljanje triboloških znanja i kroz njihovu intenzivnu primenu?

B VASILJEVIĆ\*, S. ARSOVSKI\*\*

# Primena polusintetičkih i mineralnih emulcirajućih SHP u procesu urezivanja navoja

## UVOD

Proces urezivanja navoja ureznicama je veoma rasprostranjen vid obrade metala rezanjem. Ovakav značaj nisu međutim pratila odgovarajuća ispitivanja tako da je ovaj postupak malo proučen. Rezultati dosadašnjih ispitivanja dokazuju veliku složenost procesa urezivanja navoja na koji utiče veliki broj faktora vezanih za mašinu, predmet obrade, ureznik, pomoći pribor, sistem upravljanja mašinom i sredstvo za hlađenje i podmazivanje (SHP). Po- red složenosti procesa važno je napomenuti da je to istovremeno i dosta skup postupak obrade. Složena geometrija ureznika diktira i relativno visoku cenu koštanja alata, što se odražava i na vrednosti obrade.

Zadatak ovog rada je utvrđivanje optimalne koncentracije ispitivanih SHP, što je samo jedan od načina optimizacije procesa urezivanja navoja. Primljena radioaktivna metoda omogućuje određivanje optimalne koncentracije SHP korišćenjem samo jednog ureznika, čime se postiže eliminisanje mogućih razlika u kvalitetu izrade i materijalu pojedinih ureznika, kao i ušeda u vremenu ispitivanja i materijalu predmeta obrade.

Utvrđene optimalne koncentracije ispitivanih SHP bile su osnov za eksperimentalno definisanje zavisnosti između brzine rezanja i postojanosti ureznika.

## EKSPERIMENTALNI POSTUPAK

Poznato je da samo neznatni deo mase oba kontaktne para učestvuje u tribološkim procesima. Ozračivanjem samo dela mase jednog rezogn elementa ureznika moguće

je sa velikom tačnošću vršiti praćenje triboloških procesa pri procesu urezivanja navoja.

Površina na kojoj se prate tribološki procesi bombarduje se teškim česticama (protoni ili deutroni), pri čemu dolazi do ekscitiranosti atoma osnovnog materijala ureznika. Kao posledica ozračivanja alata je pojava zračenja viška energije u vidu  $\alpha$ ,  $\beta$  ili  $\gamma$  — zračenja.

Radioaktivna metoda razvijena na Mašinskom fakultetu u Kragujevcu zasniva se na merenju  $\gamma$ -zracima. Osnovna pretpostavka za primenu radioaktivne metode je ostvarivanje konstantne specifične radioaktivnosti po dubini i duž sečiva. Postupci ozračivanja su toliko usavršeni da se sa visokom pouzdanošću mogu postići željene karakteristike ozračenog alata:

- konstantna vrednost specifične radioaktivnosti,
- mala dubina ozračenog sloja,
- određeni nivo radioaktivnosti i druge.

Proces habanja ureznika je najintenziviji na lednimi površinama zuba ulaznog dela konusa i odlikuje se izrazitom neravnomernošću širine pojasa habanja različitih reznih elemenata. Rezultati dosadašnjih istraživanja pokazuju da je habanje zuba ureznika najravnomernije na delu od 6 do 10 zuba ureznika. Za ozračivanje je zbog toga izabran rezni element u devetom redu zuba i sva merenja i rezultati ispitivanja se odnose na ovaj element ureznika.

Osnovi primljene radioaktivne metode se neće detaljno izlagati jer je ona poznata stručnoj javnosti preko niza do sada objavljenih radova iz ove oblasti.

## PROGRAM ISPITIVANJA

Program ispitivanja ureznikom M16 obuhvata ispitivanje triboloških karakteristika polusintetičkog SHP označenog sa »A« i mineralnog emulgirajućeg SHP označenog

\* Podaci o autoru dati u časopisu »Tribologija u industriji« br. 1, 1980.

\*\* Podaci o autoru dati u časopisu »Tribologija u industriji« br. 3, 1979.

TABLICA 1.

Relativna gustina na 20°C	0,95 $\div$ 0,965	0,91 $\div$ 0,92
pH vrednost 5% emulzije	9,6 $\div$ 9,9	8,6 $\div$ 9,2
Korozija na livenom gvožđu	0/1 $\div$ 1 (za koncentraciju od 2%)	0/1 $\div$ 1 (za koncentraciju od 5%)
Neutralizacioni broj mg KOH/g	5,4 $\div$ 7,9	10,5 $\div$ 13,5

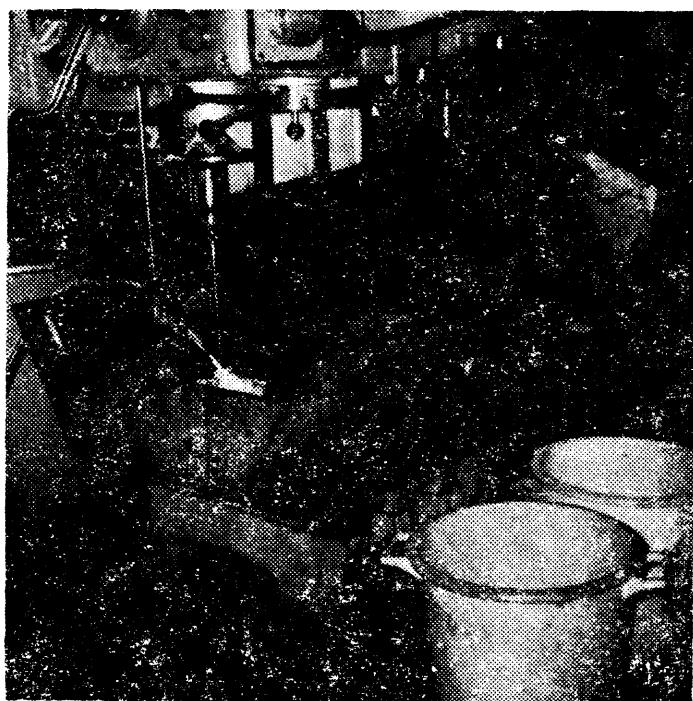
kao »B«, pri varijaciji koncentracija od 3%, 6% i 9%. Brzina rezanja je tokom ispitivanja ureznika M16 bila konstantna i iznosila je  $v = 15,8$  m/min. Osnovne fizičko-hemiske karakteristike ispitivanih SHP date su u tablici 1.

Za svaku koncentraciju SHP eksperiment je ponavljan po četiri puta, tako da je omogućeno dobijanje otpornosti na habanje u širem opsegu veličina pohabanosti reznog elementa ureznika.

Program ispitivanja ureznikom M 20 obuhvata ispitivanje triboloških karakteristika SHP »A« i »B« varijacijom tri brzine rezanja  $v_1 = 12,6$  m/min,  $v_2 = 13,8$  m/min i  $v_3 = 19,6$  m/min, pri prethodno određenoj optimalnoj koncentraciji oba primenjena SHP.

#### USLOVI ISPITIVANJA

Ispitivanja su izvedena u Laboratoriji za obradu metala i tribologiju na radikalnoj bušilici 2N 55 raspona brojeva obrta od 20 do 2 000 o/min i koraka 0,056 do 2,5 mm/o, maksimalnog prečnika bušenja  $\varnothing 50$  mm. Na sl. 1. prikazan je deo mašine sa steznim priborom, alatom i rezervoarima za SHP.



Slika 1.

Materijal predmeta obrade je ČV veoma male tvrdoće. Polufabrikat je dobioen obradom deformisanjem, tako da je u zoni rezanja utvrđena različita tvrdoća istog po dubini.

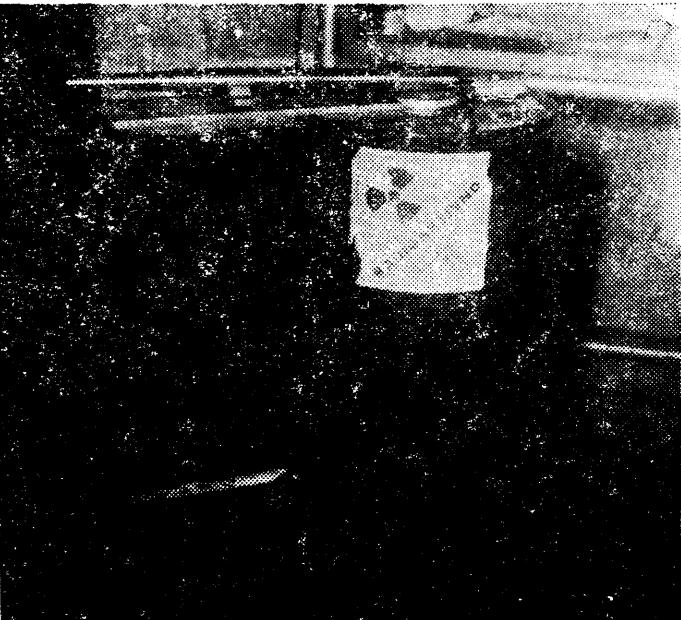
Kao rezni alat korišćeni su ureznici M 16 i M 20 proizvodnje Industrije alata iz Trebinja izrađeni od brzorezognog čelika.

Za oba eksperimenta korišćena je zupčasta pumpa koja je omogućila konstantan protok SHP od  $Q = 5$  l/min.

Za registrovanje radioaktivnosti alata korišćen je Scaler—Ratemeter SR5, proizvodnje Nuclear Enterprises — NE, Reading, štampač 33 Teletypewriter Sets američke proizvodnje i detektor (sonda) proizvodnje J&π Reading (Engleska). Na sl. 2. prikazan je izgled merne instrumentacije za merenje radioaktivnosti alata.



Slika 2.



Slika 3.

Radi obezbeđivanja konstantne geometrije merenja radioaktivnosti alata konstruisan je specijalan pribor fiksiran za sondu. Izgled ovog pribora prikazan je na sl. 3.

Za merenje veličine pohabanosti reznih elemenata ureznika korišćen je alatni mikroskop UIM-21 sovjetske proizvodnje sa tačnošću merenja od 0,001 mm.

Pre početka ispitivanja ureznici su ozračivani u HARWELL-u, Nuclear Physics Division na ciklotronu pod sledećim uslovima:

□ vrsta čestica	: protoni
□ energija snopa	: 10 MeV
□ struja ozračivanja	: 2,5 $\mu$ Ah
□ vreme ozračivanja	: 1 h

Pri ovim uslovima dobijena je konstantna specifična radioaktivnost po dubini. Dubina ozračenog sloja iznosi 0,13 mm. Protonima je bombardovan jedan zub urezničkog alata po površini od  $1 \times 0,6$  mm<sup>2</sup>.

Brojački komplet je bio postavljen na konstantnu vrednost visokog napona od 1200 V.

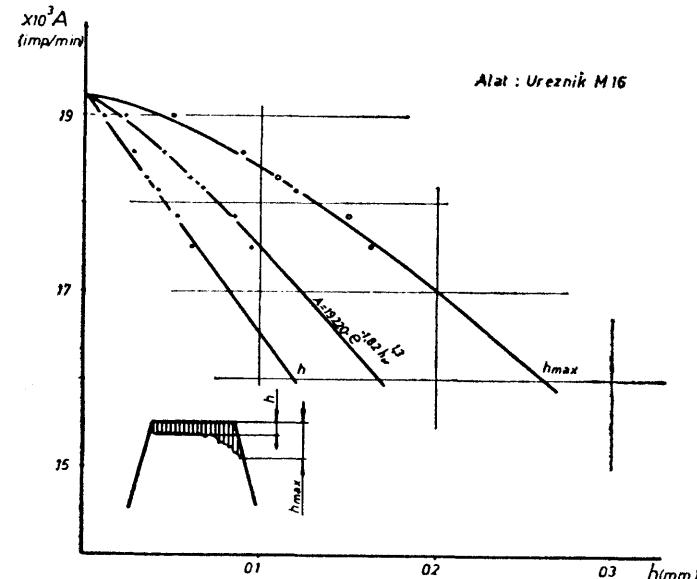
Radioaktivnost alata je merena 3-5 puta sa vremenom merenja od po 1000 s, odnosno, 16,7 min. Pri obradi rezultata korišćena je srednja vrednost izmerenih veličina radioaktivnosti alata. Imajući ovo u vidu i relativno veliko vreme merenja radioaktivnosti dobijena je veoma mala greška merenja radioaktivnosti, odnosno visoka tačnost dobijanja veličina otpornosti na habanje i postojanosti alata.

Za sve vreme ispitivanja praćen je nivo prirodne radioaktivnosti nastale usled dejstva kosmičkih zraka (fon). Merenja su pokazala da je njihov nivo bio konstantan za sve vreme izvođenja eksperimenta, te zbog toga nije ni uziman u obzir pri obradi rezultata ispitivanja.

#### REZULTATI ISPITIVANJA UREZNICKOM M 16

Kao što je ranije rečeno, ureznicom M16 x 2 određena je optimalna koncentracija ispitivanih SHP, pri brzini rezanja od  $v = 15,8$  m/min.

Prema ranije opisanoj metodologiji primene radioaktivne metode, merenjem veličine radioaktivnosti i stepena pohabanosti reznih elemenata alata, i redukovanjem izmerene srednje veličine reduktivnosti na početak ispitivanja (množenjem sa faktorom ) dobijena je zavisnost



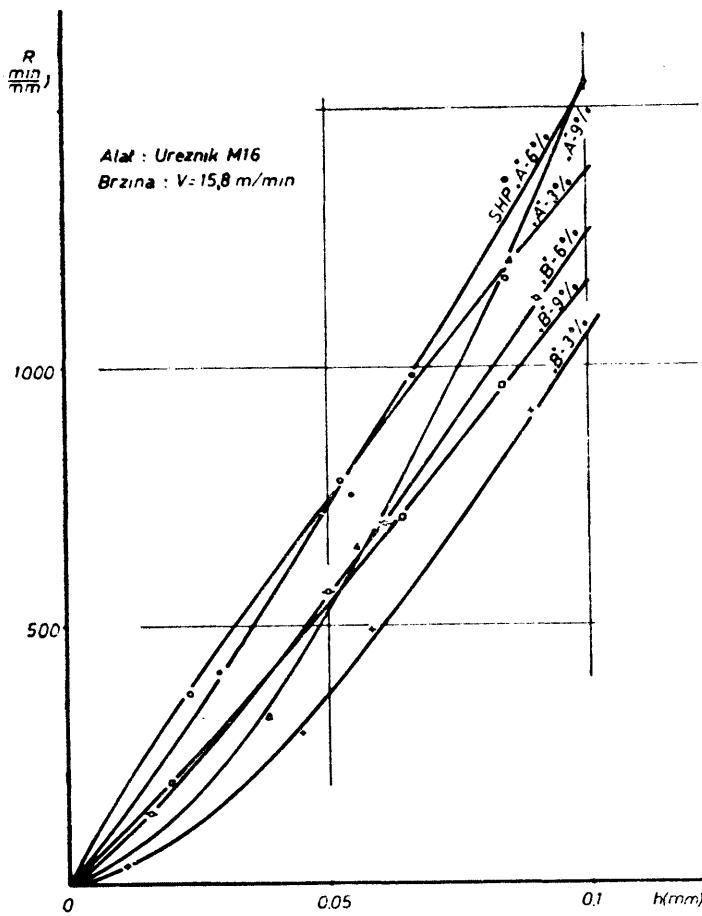
Slika 4.

$A = f(h)$  koja predstavlja osnovu za primenu radioaktivne metode. Kao parametar habanja usvojena je širina pojasa habanja na sredini temenog sečiva i maksimalna širina njoj veličini pohabanosti  $h_{sr} = 0,1$  mm zbog loma urezničkog alata, to je dobijen monoton tok krive otpornosti na habanje

pojasa habanja na prelazu između temenog i bočnog sečiva. Na sl. 4. data je zavisnost  $A = f(h)$  za oba parametra habanja, kao i za računski parametar habanja koji se dobija planimetrisanjem pohabane površine. U ovom slučaju zbog trapeznog oblika pohabane površine na temenoj lednoj površini ozračenog zuba urezničkog alata, korišćen je sledeći reprezentativni parametar habanja:

$$h_{sr} = \frac{h_{max} + 2h}{3}$$

Na osnovu funkcionalne zavisnosti  $A = f(h_{sr})$ , dobijene metodom najmanjih kvadrata, za izmerene veličine radioaktivnosti alata određena je računska vrednost stepena pohabanosti reznog elementa alata, a na osnovu nje otpornost na habanje alata (sl. 5).



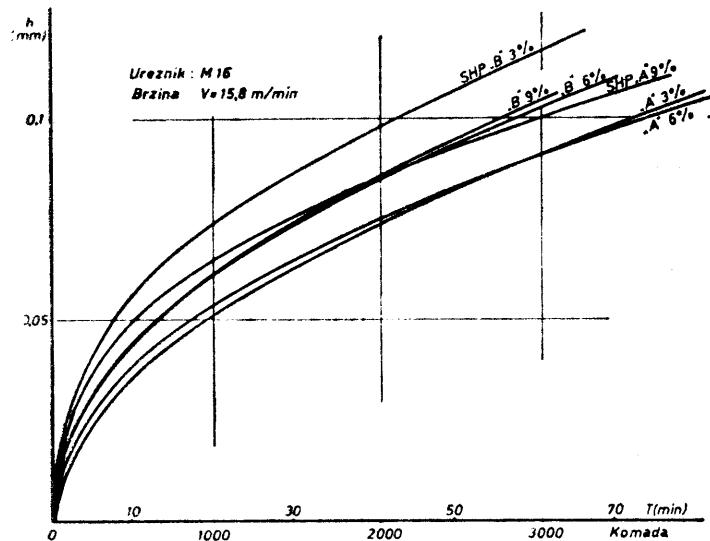
Slika 5.

Kako je u ovom slučaju obrada prekinuta pri sredini  $R = f(h)$ , odnosno, obrada se vršila samo u prvom (inicijalnom) periodu habanja alata.

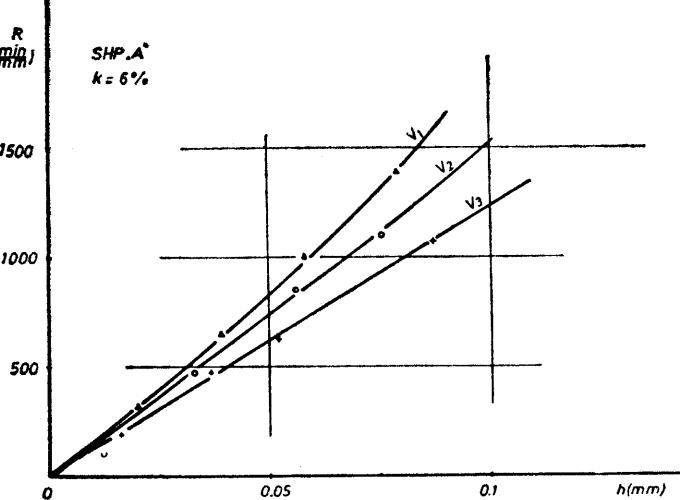
Postojanosti alata dobijaju se integraljenjem krive, otpornosti na habanje, odnosno:

$$T = \int c_1 h dh$$

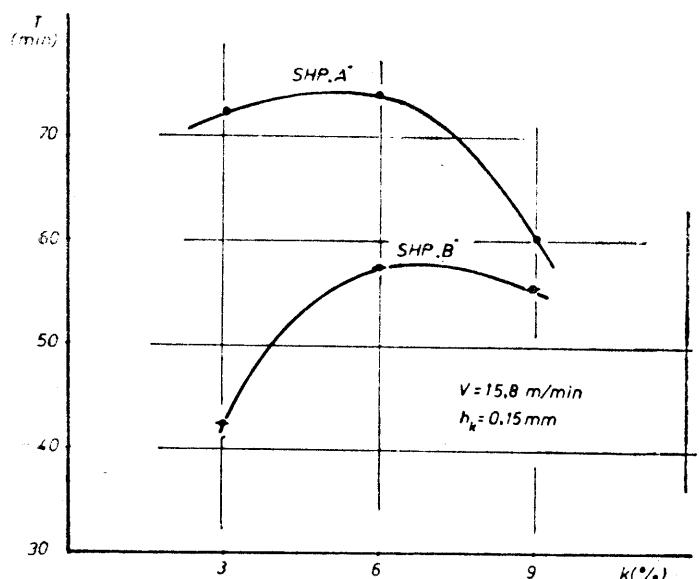
Na osnovu veličina postojanosti i habanja konstruisane su krive habanja prikazane na sl. 6. Za kriterijum pohabanosti  $h_{sr} = 0,1$  mm dobijene su odgovarajuće veličine postojanosti urezničkog alata.



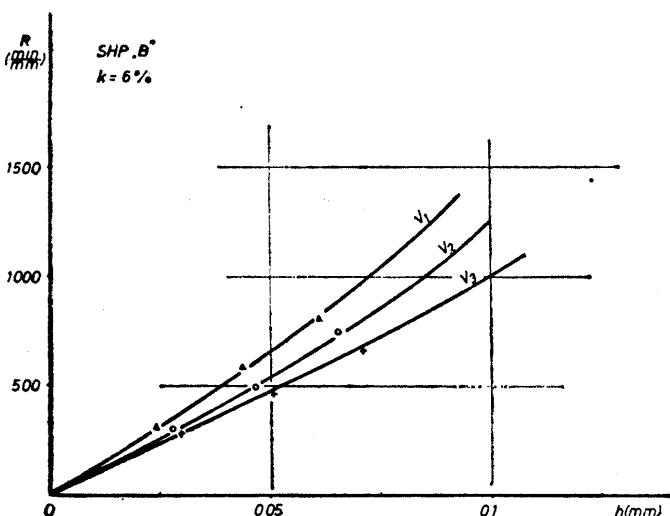
Slika 6.



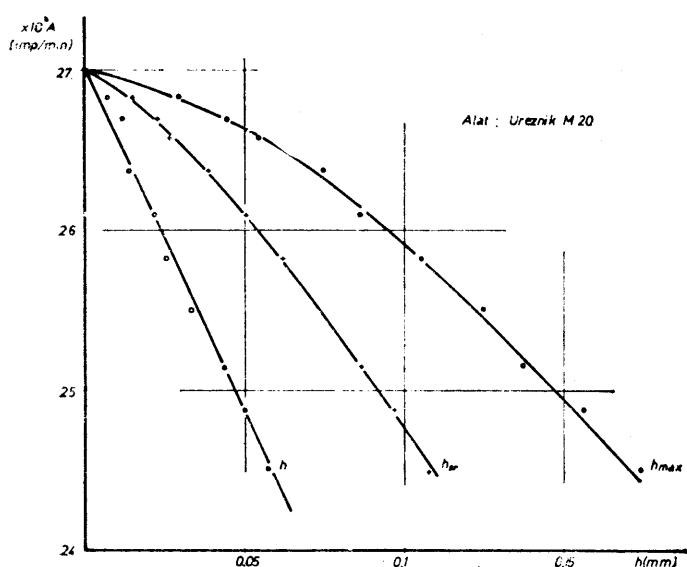
Slika 9.



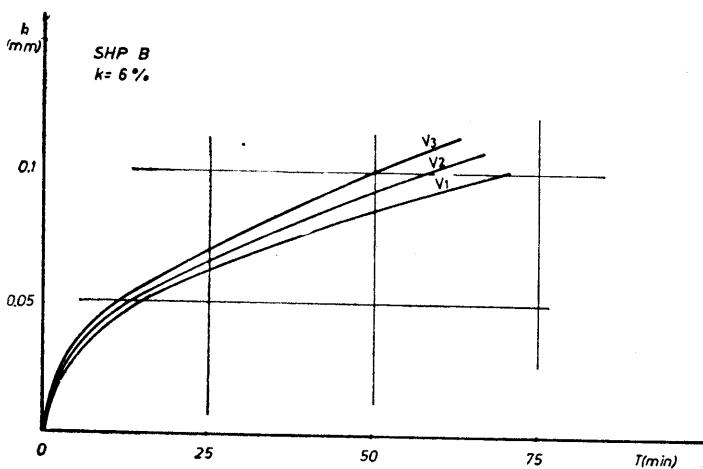
Slika 7.



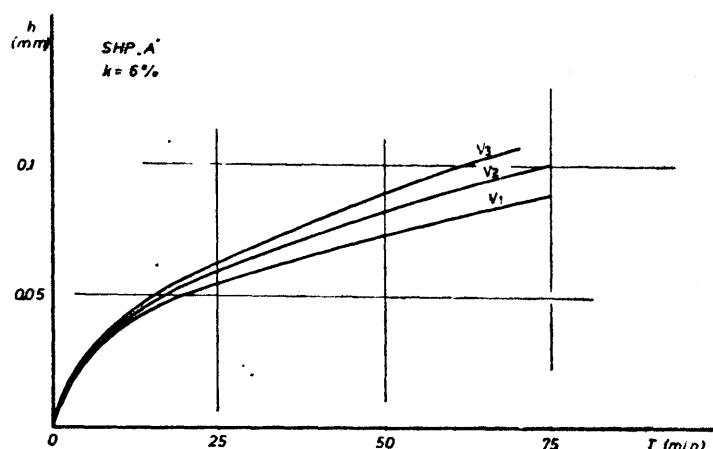
Slika 10.



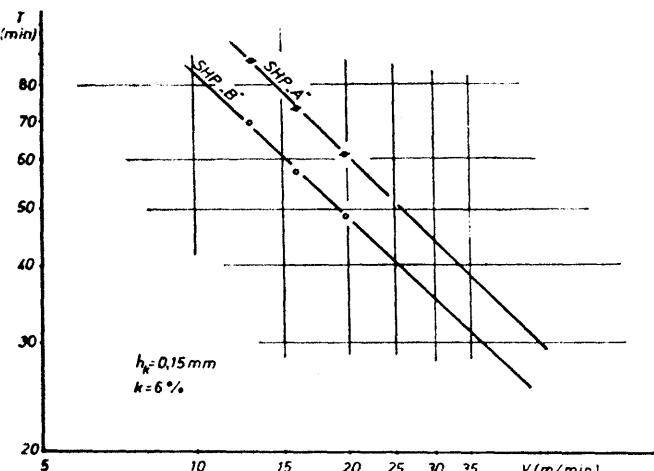
Slika 8.



Slika 11.



Slika 12.



Slika 13.

Na sl. 7. prikazane su zavisnosti postojanosti alata od koncentracije SHP.

Rezultati ukazuju da se pri optimalnoj koncentraciji od  $k = 6\%$  primenom SHP označenog kao »A« ostvaruje za 27% veća postojanost ureznika u odnosu na primenu SHP »B«.

#### REZULTATI ISPITIVANJA UREZNIKA M 20

Prema ranije definisanoj metodologiji dobijena je kriva  $A_r = f(h)$ , prikazana na sl. 8.

Na sl. 9. i 10. prikazane su zavisnosti  $R = f(h)$  za oba korišćena SHP.

Na osnovu ovih veličina konstruisani su dijagrami  $h = f(T)$  koji su prikazani na sl. 11. i sl. 12.

Za kriterijum pohabanosti  $h_{sr} = 0,1 \text{ mm}$  dobijene su zavisnosti  $T = f(v)$ , koje su prikazane na sl. 13. Izabrana je uža oblast varijacije brzina rezanja da bi se dobila monotonost ove funkcije, a ujedno izbegla opasnost pojavljivanja naslaga na reznim elementima ureznika.

#### ZAKLJUČAK

Analizom eksperimentalno dobijenih podataka mogu se izvući sledeći zaključci:

1. Pri ispitivanju je utvrđeno da optimalna koncentracija SHP »A« i SHP »B« iznosi 6%.

2. U oba ispitivanja je dobijena znatno veća postojanost ureznika pri obradi sa SHP »A«.

3. Postojanost alata dobijena ovim ispitivanjima je nešto viša od vrednosti koje se mogu naći u literaturi. Ovo je posledica niže tvrdoće polufabrikata, koja je prouzrokovala povećanu sklonost ka stvaranju naslage, odnosno, povjavu neravnomernosti rada ureznika i slabiji kvalitet obrada.

dene površine. Zbog pojave naslage je i prekinuta obrada sa ureznikom M20.

4. Zbog intenzivnijeg procesa stvaranja naslage nije se moglo ići na veće brzine rezanja od 20 m/min. Sa druge strane, izborom užeg opsega brzina rezanja (10–20 m/min) određena je zavisnost postojanosti alata od brzine rezanja u oblasti kad ona ima monoton karakter. Slike se vidi da je ista dobijena sa velikim koeficijentom korelacije za oba SHP.

5. Zbog nemogućnosti daljeg rada (u slučaju rada sa ureznikom M16 usled loma ureznika prouzrokovanih zagrušenjem strugotine usled pojave naslage, a u slučaju rada sa ureznikom M20 usled intenzivnog procesa stvaranja naslage) usvojen je kriterijum zatupljenja  $h_{sr} = 0,1 \text{ mm}$ , koji je niži u odnosu na preporučene vrednosti ( $h_{max} = 0,2 \text{ -- } 0,6 \text{ mm}$ ). Korekcija vrednosti dobijenih ovim ispitivanjima se može vrlo jednostavno izvesti množenjem faktorom  $K_h$  koji uzima u obzir veličinu kriterijuma zatupljenja alata.

6. Pravilnim izborom uslova ozračivanja i dobijanjem ozračenog sloja male dubine i konstantne specifične radioaktivnosti po dubini, omogućeno je dobijanje triboloških karakteristika SHP i ureznika sa visokom tačnošću i pruzdanošću, što se i vidi iz priloženih dijagrama.

#### LITERATURA

1. B. IVKOVIĆ, Tribološke karakteristike elemenata tribomehaničkog sistema u obradi metala rezanjem, Tribologija u industriji, br. 6, Kragujevac, 1981. god.
2. Z. NIKIĆ, Razvoj radioaktivne metode za tribološka ispitivanja reznih elemenata ureznika, Magistarski rad, MF Kragujevac, 1976. god.
3. Z. NIKIĆ, Identifikacija triboloških procesa pri urezivanju navoja, Doktorski rad, MF Kragujevac, 1979. god.