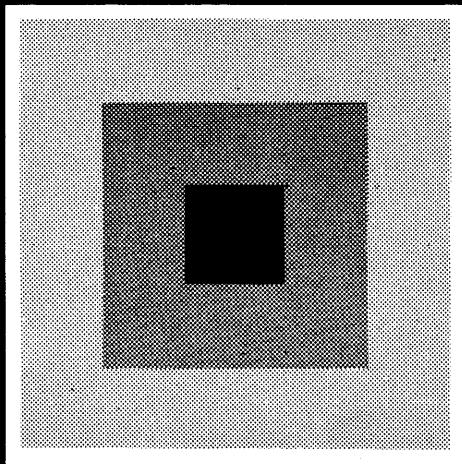
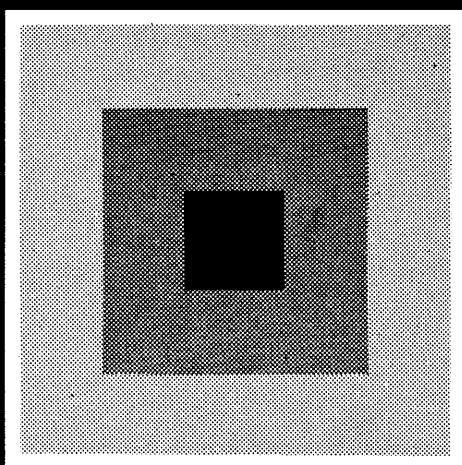
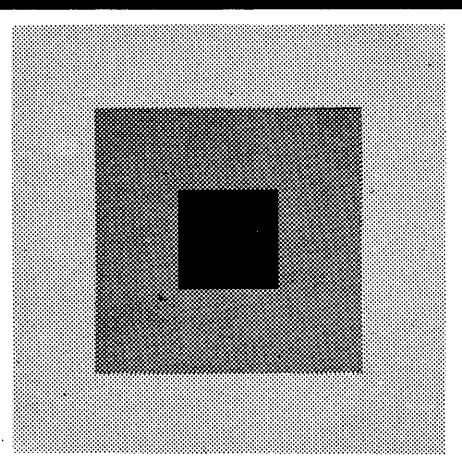
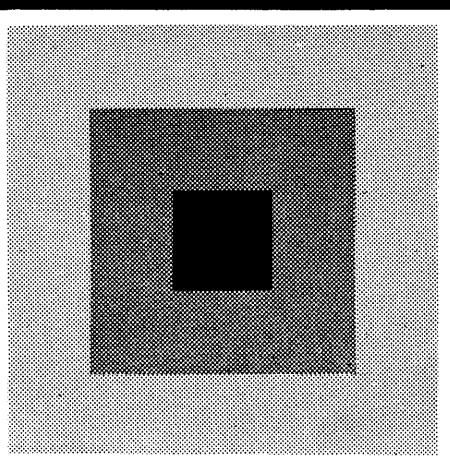
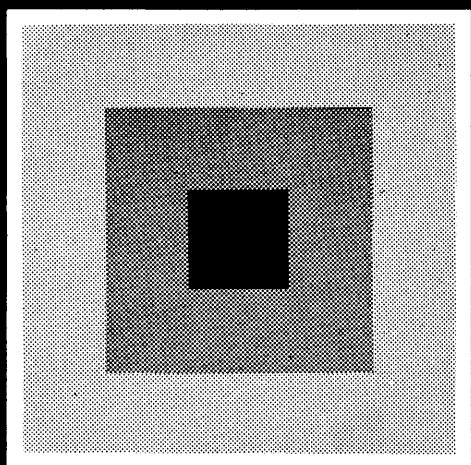
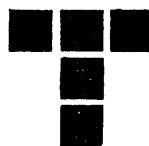


tribologija u industriji

YU ISSN 0351-1642
GODINA II
decembar 1980.

4





GODINA II
BROJ 4.
DECEMBAR 1980.

sadržaj contents содержание

UVODNIK
INTRODUCTION
ПЕРЕДОВИЦА

ISTRAŽIVANJA
RESEARCH
ИССЛЕДОВАНИЯ

B. IVKOVIC: Tribologija u funkciji održavanja sredstava rada u proizvodnim sistemima — Tribology as a Function of the Maintenance of Production Equipment in Manufacturing Systems — Трибология в функции поддерживания средств работы в производственных системах 3

S. JOKOVIC: Razvoj procesa habanja brega i podizača bregastog mehanizma u funkciji brzine brega — Development of Wearing Process on Cam and Sam Follower Mechanism as Function of Cam Speed — Развитие процесса износа кулачка и подъемника кулачкового механизма в функции скорости кулачка 4

M. MILOSEVIC: Uticaj sredstava za hlađenje i podmazivanje na povećanje proizvodnosti procesa odvalnog glodanja — The Influence of the Cooling and Lubricating Fluid on the Productivity of the Gear Milling Process — Влияние охлаждательно-смазочных средств на повышение производительности процесса нарезания зубчатых колес обкаткой 12

B. JEREMIC, R. MILIC, D. RADOVANOVIC: Izbor optimalnog sredstva za hlađenje i podmazivanje sa tribološkog i ekonomskog aspekta — Selection of Cutting Fluids Bearing in Mind Tribological and Economical Aspects — Выбор оптимального средства для охлаждения и смазки с трибологическим и экономическим аспектами 16

NOVOSTI
NEWS
ИЗВЕСТИЯ

KNJIGE I ČASOPISI
BOOKS AND JOURNALS
КНИГИ И ЖУРНАЛЫ

NAUČNI SKUPOVI
SCIENTIFIC MEETINGS
НАУЧНЫЕ СОБРАНИЯ

REZIMEA
ABSTRAKTS
РЕЗЮМЕ

3

4

12

16

20

22

25

26

Tribologija u funkciji održavanja sredstava rada u proizvodnim sistemima

Proaktivnost i ekonomičnost poslovanja proizvodnih sistema u metaloprerađivačkoj industriji biće u narednom srednjoročnom periodu predmet razmatranja ne samo radnih ljudi koji u njima stvaraju materijalnu proizvodnju već i naučnih institucija svih vrsta i društva u celini. Konstatacija o niskoj produktivnosti rada i nezadovoljavajućoj ekonomičnosti poslovanja na današnjem nivou tehnoloških procesa u industriji prerade metala ima više, mada se vrlo retko ulazi u istraživanje pravih uzroka ovakvog stanja.

Zastoje u proizvodnji u proizvodnim sistemima, na primer, nisu retki i oni često dovode do neispunjena planских zadataka, odnosno do stvaranja manjeg obima materijalne proizvodnje od planirane. Sa smanjenjem obima proizvodnje bitno se povećava deo troškova proizvodnje po jedinici proizvoda, što dovodi do smanjenja dohotka, a u mnogim slučajevima i do gubitaka u proizvodnom sistemu.

Uzroka u zastaju u proizvodnji ima više. Jedan od njih, veoma čest, je i zastoj prouzrokovani kvarovima nastalim na proizvodnim opremama (do kvarova na proizvodnoj opremi dolazi vrlo retko zbog lošeg ili nepropisnog rukovanja opremom), a redovno zbog pohabanosti nekih vitalnih delova. Broj kontaktnih kvarova, odnosno površina na kojima se razvijaju tribološki procesi u toku rada kod bilo koje projektnе mašine, je ogroman (preko 2.000), a posledica njihovog razvoja je habanje elemenata u kontaktu. Kada pohabanost ključnih elemenata bilo koje mašine dostigne kritičnu veličinu prestaje njeno funkcionisanje, ili ona ne može da ispunjava zahteve koje pred njom postavlja tehnički proces (ne daje, ga primer, dovoljnu tačnost obrade, dovoljan kvalitet površine i sl.). Intervencije koje se svode na zamenu pohabanih elemenata mašina mogu da traju veoma dugo u zavisnosti od toga da li se sa rezervnim elementom

raspolaze ili ne. Za sve to vreme proces proizvodnje može da bude izostavljen ako se proizvodna operacija ne može da izvede na drugoj mašini što se često dešava.

Potreba za održavanjem proizvodne opreme je nesumnjiva i odavno uočena u proizvodnim sistemima svih vrsta. U metaloprerađivačkoj industriji ne postoje proizvodni sistemi koji u svom sastavu nemaju danas već organizovanu službu održavanja bilo u sastavu osnovnih organizacija udruženog rada proizvodnog kadra, bilo kao posebnu osnovnu organizaciju u sastavu radne organizacije. Ovaj drugi vid organizovanja funkcije održavanja se sve češće javlja. Sredstva rada sa kojima ova funkcija raspolaže kao broj radnika koji obavljaju ovu vrstu indirektnog rada u proizvodnim sistemima više nisu mali. U nekim savremenim organizovanim proizvodnim sistemima koji se bave serijskom proizvodnjom srednjeg i većih obima učešća ove funkcije u svakom dinaru novostvorene vrednosti kreće se od 10% što nije malo (pod novostvorenom vrednošću podrazumeva se ukupan prihod umanjen za vrednost osnovnog materijala gotove robe).

Na kojim osnovama, međutim, ova funkcija razvija svoju delatnost u proizvodnom sistemu. Normalno bi bilo da se ukupna delatnost razvija na osnovu razrađene tehnologije održavanja proizvodne i druge opreme. Tehnologija održavanja treba, po pravilu, da sadrži identifikaciju kontaktnih parova na kojima se razvijaju tribološki procesi i procesi habanja na svakoj vrsti proizvodne opreme, uslove pod kojima se kontakti ostvaruju (pritisci, temperature, vreme trajanja kontakta, sredstava za podmazivanje, režim podmazivanja i sl.), identifikaciju razvoja procesa habanja u funkciji vremena rada proizvodne opreme (parametre habanja pojedinih elemenata, kritične vrednosti parametara habanja i sl.) i postupak zamene pohabanih elemenata.

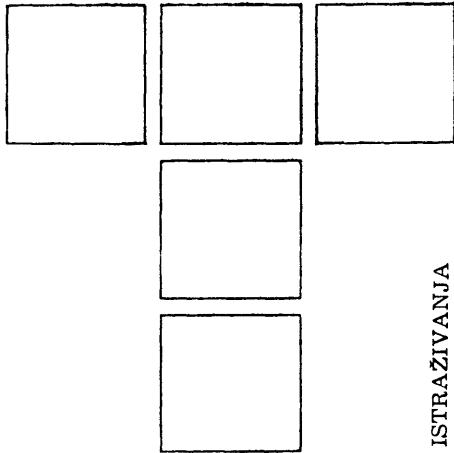
Tehnologija održavanja proizvodne i druge opreme sa navedenim elementima omogućava, pre svega, planiranje pravovremene zamene delova, praćenje razvoja procesa habanja na ključnim elementima uvođenjem optimalnih vrsta sredstava za podmazivanje, projektovanje optimalnog režima podmazivanja i pravovremeno preispitivanje dovoljnog broja rezervnih delova čija je nabavka u uslovima velikog platnog deficitia sa industrijski razvijenim zemljama iz kojih je oprema uglavnom i nabavljena, vrlo teška i dugotrajna.

Funkcije održavanja u proizvodnim sistemima posluju danas, međutim, bez razvijene tehnologije održavanja (koliko je autoru ovog teksta poznato) a na osnovu podataka koji su na ponekad sistematski, a češće nesistematski način prikupljeni u dužem vremenskom periodu o kvarovima pojedinih vrsta proizvodne i druge opreme. Drugi izvor podataka za planiranje rada na održavanju proizvodne i druge opreme je dokumentacija koju proizvođači opreme dostavljaju potrošačima zajedno sa mašinama.

Nepostojanje tehnologije održavanja posledica je, u osnovi nepostojanja triboloških istraživanja u laboratorijskim i proizvodnim uslovima u našoj industriji, odnosno nepostojanje bilo kakvih podataka o karakteristikama triboloških procesa i razvoju procesa habanja u proizvodnim uslovima. Tribološka istraživanja, dajući odgovor na pitanja vezana za tribološke karakteristike materijala elemenata u kontaktu, tribološke karakteristike maziva, optimalne uslove eksploracije proizvodne opreme sa gledišta minimizacije intenziteta habanja, stvaraju osnovne uslove za razvoj i projektovanje tehnologije održavanja.

Nepostojanje triboloških istraživanja ranijih godina i mali obim istraživanja ove vrste danas posledica su nepostojanja kadrova u ovoj grani. U Jugoslaviji još uvek ne postoji odsek ili smer za tribologiju na višim i visokim školama. Poslednjih godina uveden je predmet Tribologija na samo četiri od ukupno 19 Mašinskih fakulteta u zemlji (Ljubljana, Zagreb, Beograd, Kragujevac) i to u trajanju od jednog semestra. O nastavi Tribologije u okviru usmerenog obrazovanja ni danas još uvek nema ni pomena. U narednim godinama u ovom pravcu moraju se, očigledno, uložiti veći napori.

Funkcije održavanja u proizvodnim sistemima tražeći način da unaprede svoj rad i doprinesu podizanju opšte produktivnosti rada i poboljšanju ekonomičnosti poslovanja moraju da izmeđe svoj položaj rada, podignu njegov nivo kroz razvoj i projektovanje tehnologije. Napor u ovom pravcu stvorice potrebu i za tribološkim istraživanjima u proizvodnim i laboratorijskim programima, čiji će rezultati omogućiti veći kvalitet i veću efikasnost proizvodnje u metaloprerađivačkoj industriji.



Razvoj procesa habanja brega i podizača bregastog mehanizma u funkciji brzine brega

ISTRAŽIVANJA

UVOD

U mašinskoj praksi je često neophodno projektovati mehanizam kod koga se vođeni član kreće po unapred određenom zakonu. Ovaj zadatak se jednostavno rešava pomoću bregastih mehanizama, koji nam obezbeđuju željene zakone kretanja, brzine i ubrzanja sa mogućnošću ostvarivanja pauza u kretanju vođenog člana. Lakoća ostvarivanja zadatak kretanja je razlog vrlo široke primene bregastih mehanizama.

Kod bregastog mehanizma član sa složenim profilom radne površine nazivamo bregom, član koji sa bregom obrazuje viši kinematski par nazivamo šipom ili podizačem a član koji sa bregom i podizačem obrazuje niže kinematičke parove nazivamo nepokretnim članom ili postoljem. U teoriji mašina i mehanizama proučavaju se dva osnovna zadataka kada su u pitanju bregasti mehanizmi:

Analiza rada bregastih mehanizama; kada se pri zadatim merama članova i zadanom profilu brega utvrđuje zakon kretanja vođenog člana.

Sinteza bregastih mehanizama; kada se na osnovu zadatih zakona kretanja vođenog člana vrši projektovanje novih mehanizama.

Uzimajući u obzir da bregasti mehanizmi ulaze u sastav mnogih savremenih mašina a najčešće se javljaju kao jedna od slabijih karika kada je u pitanju izdržljivost na habanje, nameće se potreba proučavanja problema veka trajanju pri njihovom projektovanju.

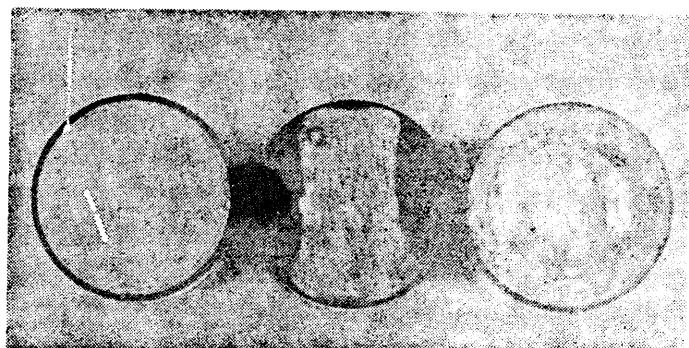
Dok je pouzdano i efikasno korišćenje različitih mašinskih elemenata kao što su zupčanici, ležajevi i bregovi već dugo priznato kao bitan zahtev u radu industrijskih mašina, tek u poslednjih dvadesetak godina zahvaljujući boljem razumevanju onoga što se dešava između površina u kontaktu omogućeno je postepeno poboljšanje u njihovoj konstrukciji i radnim osobinama. Ta su poboljšanja uglavnom proistekla iz višedisciplinarnog pristupa tribološkim problemima mašinskih elemenata. Što se tiče bregastih mehanizama, veliki deo znanja koje danas postoji za rešavanje problema na zupčanicima i ležajevima odnosi se i na probleme bregova i podizača. Danas postoje i radovi koji posebno obrađuju tribološke probleme bregova i podizača.

1. VRSTE HABANJA

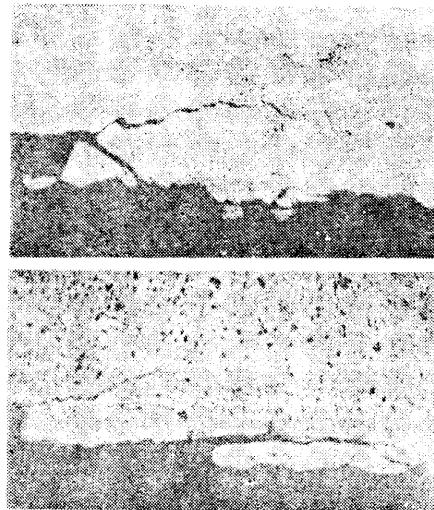
Iz proračuna debljine uljnog filma i saznanja o parametrima hraptavosti površina u kontaktu može se specificirati režim podmazivanja. Moguće je tada razmotriti verovatnoću oštećenja u odnosu na režim rada brega i podizača i radnu okolinu. Osnovni tipovi habanja pri radu brega i podizača su dobro definisani i dokumentovani. To su: zamorno habanje (pitting), atheziono habanje (sliding) i hemijsko habanje.

Atheziono i zamorno habanje je predmet isticanja već više godina. Mada je način na koji dolazi do habanja sasvim jasan, precizne mehanizme nije lako definisati. Atheziono habanje se javlja u situacijama gde postoji klizanje između delova u odsutnosti odgovarajućeg podmazivanja,

što dovodi do povećanog kontakta neravnina. Kontakt neravnina praćen visokim pritiscima i temperaturama dovodi do stvaranja »mikrovarova« koji se usled kretanja raspidaju i dovode do oštećenja kontaktnih površina. Ovaj vid habanja primetan je u početku rada kod loše obrađenih površina. Zamorno habanje (pitting) se javlja kao direktna posledica zamora površine gde se prskotina širi sa vremenom pod dejstvom uzastopnog naprezanja. Ovaj vid habanja se manifestuje stvaranjem jamica nepravilnog oblika na površini. Vreme za početak zamornog habanja zavisi uglavnom od nivoa naprezanja — selekcije materijala i kva-



Sl. 1. — Habanje athezionog tipa podizača



Sl. 2. — Habanje zamornog tipa
a) vrh brega; b) podizač

liteta površine. Hemijsko habanje se javlja kao posledica prisustva kiseonika iz vazduha koji sa kontaktnim površinama gradi oksidne spojeve, prisustva vode, prisustva pro-

dukata sagorevanja kod SUS motora itd. Dejstvom aditiva iz maziva, koje se ispoljava neutralizacijom kiselina, formiranjem zaštitnog sloja i blokiranjem molekula agresivnih produkata rastvorljivih u mazivu bitno se može smanjiti hemijsko habanje. Mehanizam koji definiše određeni tip habanja je složen. Specificiranje režima podmazivanja, mada korisno, daje samo deo onoga što je potrebno da se pronađu uslovi koji su potrebni da se izbegne ili upravlja kritičnom situacijom habanja.

2. PROGRAM ISPITIVANJA

Cilj ovih ispitivanja je da se sagleda uticaj broja obrtaja na razvoj procesa habanja brega i podizača kao i mogućnosti primenjene metode površinske aktivacije i istraživačkog uredaja. U tom smislu vršeno je ispitivanje:

- razvoja procesa habanja brega,
- razvoja procesa habanja podizača,
- uticaj broja obrtaja na razvoj procesa habanja pri čemu je ispitivanje vršeno sa brojevima obrta $n_1 = 1000$ o/min, $n_2 = 1500$ o/min i $n_3 = 2000$ o/min pri opterećenju na vrhu brega od 70 daN;

Količina ulja koja u toku ispitivanja pada na breg i podizač je $200 \text{ cm}^3/\text{min}$, a temperatura ulja u rezervoaru 323°K ;

— promene površinske hrapavosti na kontaktним površinama brega i podizača.

Da bi dati program bio realizovan potrebno je da se:

- a) konstruiše i realizuje odgovarajući istraživački uređaj,
- b) izvrši izbor i priprema uzoraka. Za ispitivanje su korišćeni breg i podizač automobilskog motora pri čemu je izvršeno isecanje brega iz bregastog vratila a zatim obrada prema sl. 4, tako da može da bude montiran na istraživački uređaj. Podizač (sl. 5), je bez bilo kakve pripreme moguće montirati na istraživački uređaj,
- c) obavi površinska aktivacija uzoraka. Na osnovu iskustva laboratorije Mašinskog fakulteta u Kragujevcu propisani su odgovarajući uslovi ozračivanja,
- d) utvrditi prirodnji pad radioaktivnosti ozračenih uzoraka,
- e) izvrši merenje pada radioaktivnosti ozračenih površina pri različitim uslovima rada. Merenje pada radioaktivnosti vršeno je na svaka 2 sata odgovarajućom instrumentacijom. Pre svakog merenja uzorci su čišćeni i odmašćivani da bi se odstranili produkti habanja koji bi izazvali eventualne greške u merenju. Pri merenju se uvek sonda i uzorci zaštićuju olovnim pločama kako bi se izbegao uticaj zračenja okolnih aktiviranih površina,
- f) Prati promenu hrapavosti na ispitivanim uzorcima brega i podizača. Merenje hrapavosti je izvršeno pre početka ispitivanja, posle 50 časova rada i posle 100 časova rada,
- g) Izvrši odgovarajuća matematička obrada rezultata ispitivanja.

3 ISTRAŽIVAČKI UREĐAJ

Za obavljanje istraživanja konstruisan je i realizovan uređaj koji omogućava ispitivanje habanja brega i podizača. U praksi se danas koristi izvestan broj uređaja za istraživanje bilo procesa habanja na bregu i podizaču bilo za procenu kvaliteta ulja. Testovi koje su razvili neki evropski proizvođači mogu da se podele na dve grupe:

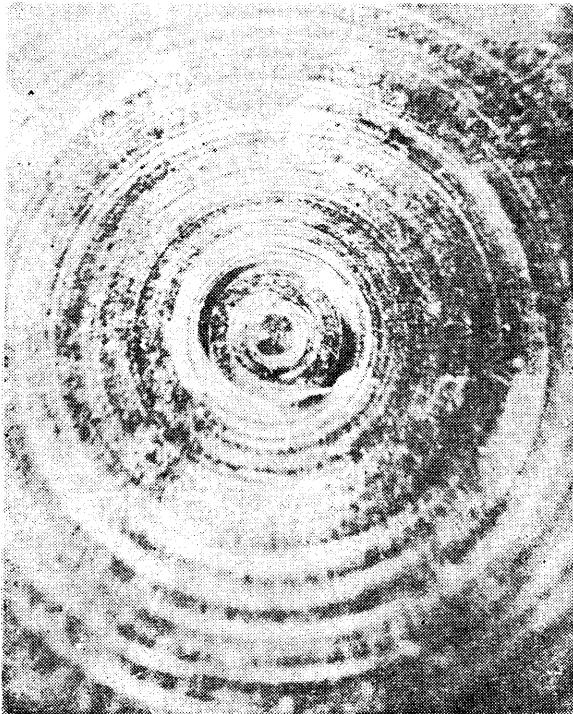
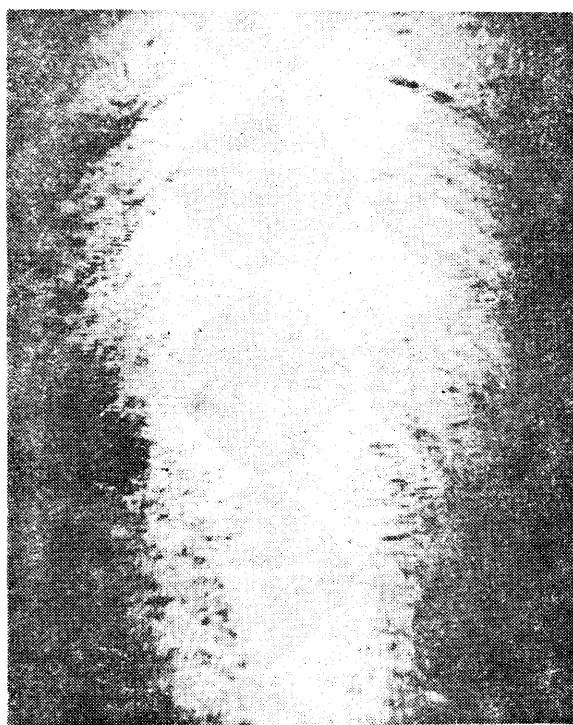
a) Testovi sa motorima na stolu:

- motor V8 Rols-rojs
- Ford Kortina
- Dajmler Benc OM 615

b) Testovi u laboratoriji (na laboratorijskim uređajima):

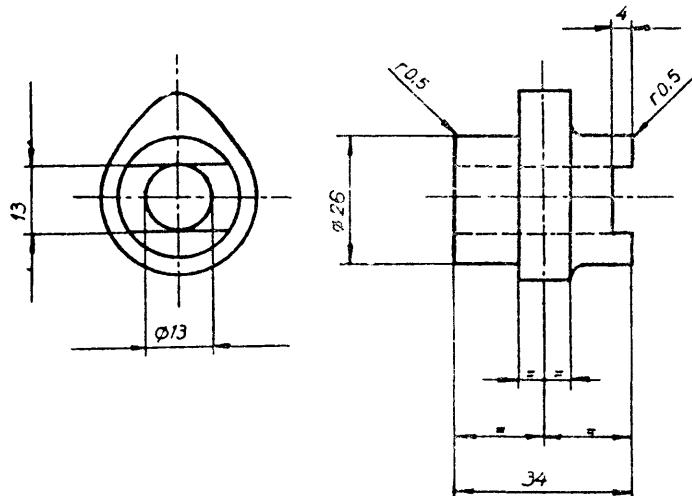
- Simka
- FIAT
- CFR
- MIRA
- BP

Uređaj izveden u Laboratoriji Mašinskog fakulteta u Kragujevcu je prikazan na sl. 6. Sastoji se od horizontalnog vratila koje se okreće u kugličnim ležajevima određenim brojem obrtaja pomoću elektromotora — varijatora. Na kraju vratila montira se breg koji se ispituje a na drugom kraju vratila je zupčasti kaišnik preko koga se zupčastim kaišem obezbeđuje veza sa elektromotorom. Radna površina



Sl. 3. — Kontaktne površine brega i podizača posle 50 h rada

brega je u kontaktu sa podizačem koji je vođen odgovarajućom čaurom. U unutrašnje se lište podizača smeštena je sipka čiji suprotni kraj pritiškuju zavojne opruge, odgovarajućim opterećenjem. Za ispitivanje na ovom uređaju korišćen je breg i podizač automobilskog motora pa je posebna pažnja posvećena tome da uslovi rada na uređaju budu što bliži uslovima rada u motoru. Vratilo sa ležajevima kao i breg i podizač smešteni su u odgovarajuće live-no kućište. Podmazivanje je obezbeđeno odgovarajućim cirkulacionim sistemom sa podešljivim protokom ulja čiji je mlaz usmeren na par breg-podizač u suprotnom smeru od smera okretanja brega. Na sl. 3. su prikazane kontaktne površine brega i podizača posle 50 h rada na kojima se vidi da je obezbeđeno pravilno naleganje dodirnih površina i rotacija podizača što je neophodno za pravilan rad bregastog mehanizma.



Sl. 4. — Uzerak brega pripremljen za ispitivanje

Laboratorijski uređaj koji je izведен u Laboratoriji Mašinskog fakulteta u Kragujevcu konstruisan je na osnovu nekih podataka o laboratorijskom uređaju FIAT. Razlika je u načinu dinamičkog zatvaranja brega i podizača. Dok je kod FIAT-ovog laboratorijskog uređaja to izvedeno jednom lisnatom oprugom ovde je zatvaranje izvedeno dvema oprugama koje se upotrebljavaju u eksploraciji ispitivanog mehanizma. Osetljivost metode površinske aktivacije omogućava ubrzana ispitivanja sa opterećenjima i dinamičkim zatvaranjem kao u eksploracijskim uslovima. Kod ostalih laboratorijskih uređaja u cilju ostvarivanja ubrzanih ispitivanja, uz korišćenje klasičnih metoda merenja habanja, mora da se ide sa znatno većim opterećenjima u oprugama od stvarnih.

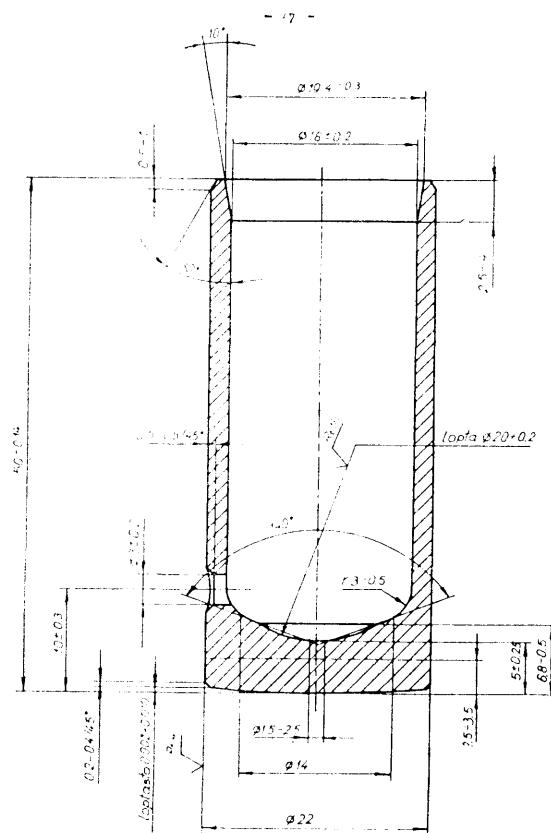
4. AKTIVACIJA UZORAKA

Pošto je za merenje habanja korišćena metoda površinske aktivacije potrebno je bilo prvo ozračiti uzorke. Da bi ozračivanje bilo izvedeno konstruisana su i dva pribora koji obezbeđuju ozračivanje brega i podizača na željenim mestima, sl. 7., sl. 8. Ozračivanje uzorka izvršeno je na mestima gde se očekuje najveće habanje, kod bega na vrhu brega a kod podizača u centru čone površine.

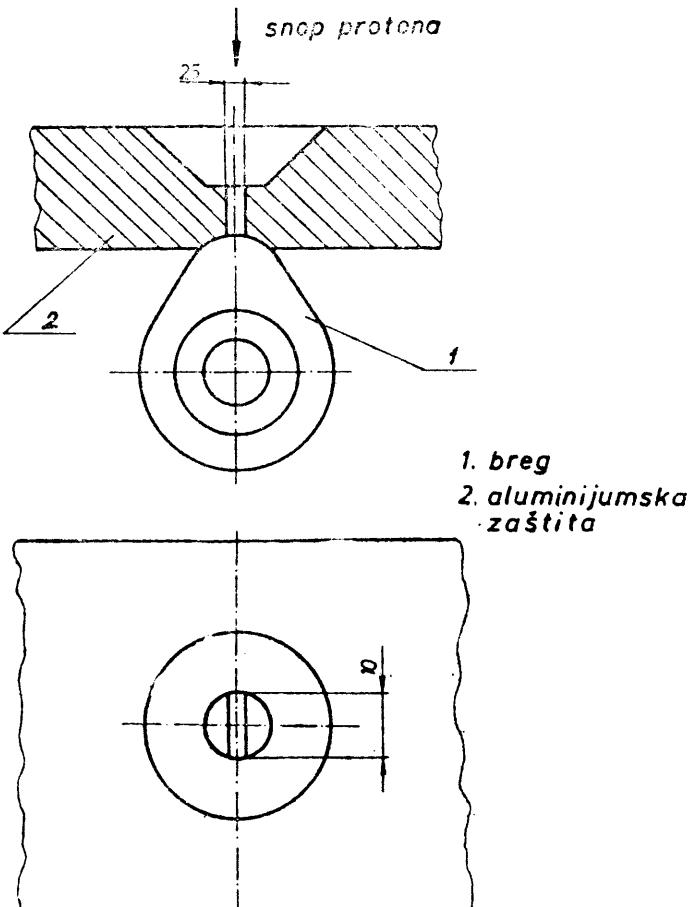
Ozračivanje uzorka je izvršeno u »Department of engineering production« u Birmingemu pod sledećim uslovima:

- | | |
|--|-----------|
| <input type="checkbox"/> energija snopa ozračivanja: | 8 MeV |
| <input type="checkbox"/> čestice snopa: | protoni |
| <input type="checkbox"/> jačina struje ozračivanja: | 5 μ A |
| <input type="checkbox"/> vreme ozračivanja: | 15 min. |

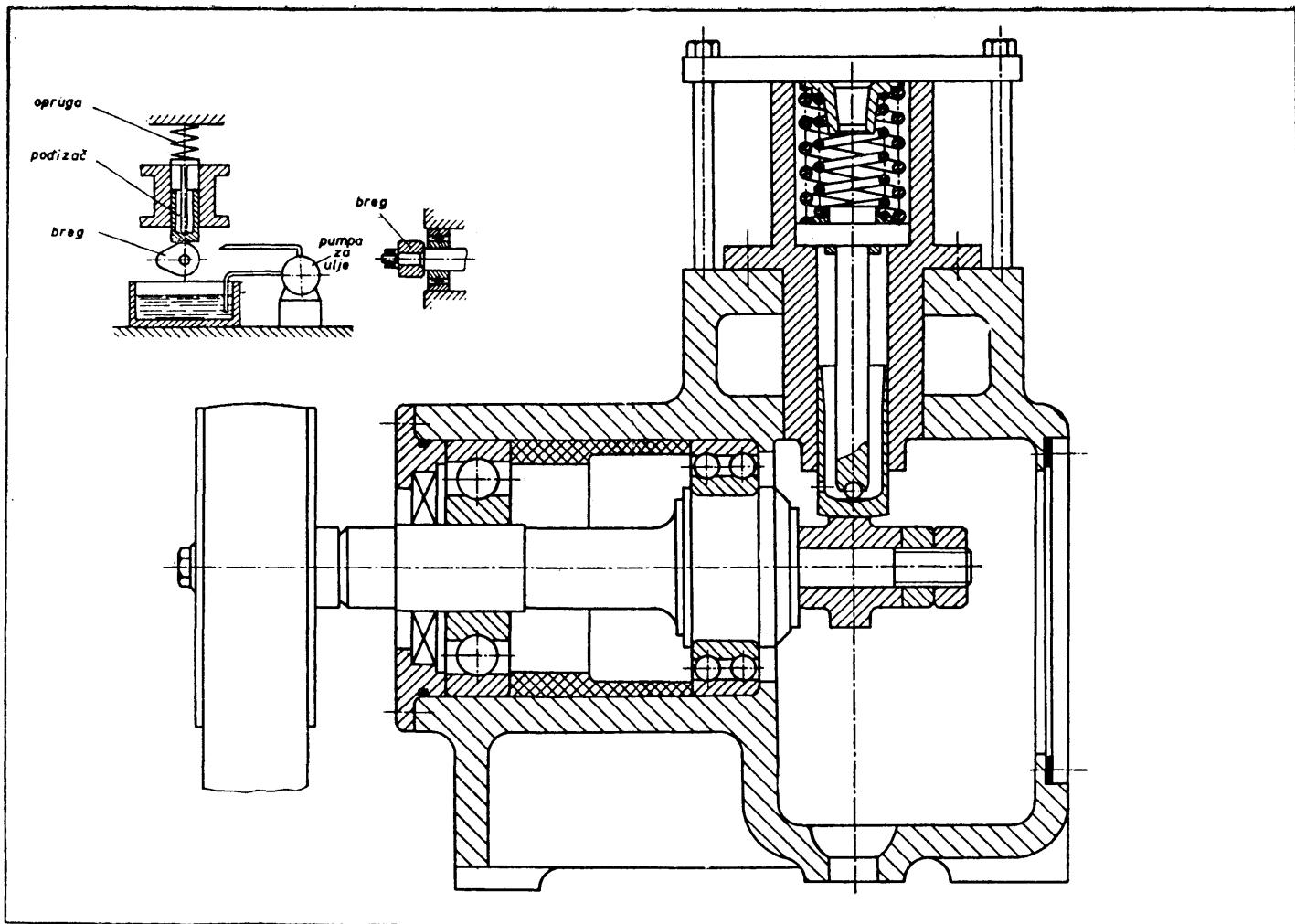
Pri ozračivanju uzorka pod navedenim uslovima pojavili su se izotopi C_0^{56} i C_0^{57} i neki kartkoživeći. Nakon ozračivanja uzorka potrebno je da prođe određeno vreme, da bi se kratkoživeći izotopi izgubili, pa tek onda pristupiti eksperimentu.



Sl. 5. — Uzerak ispitivanog podizača

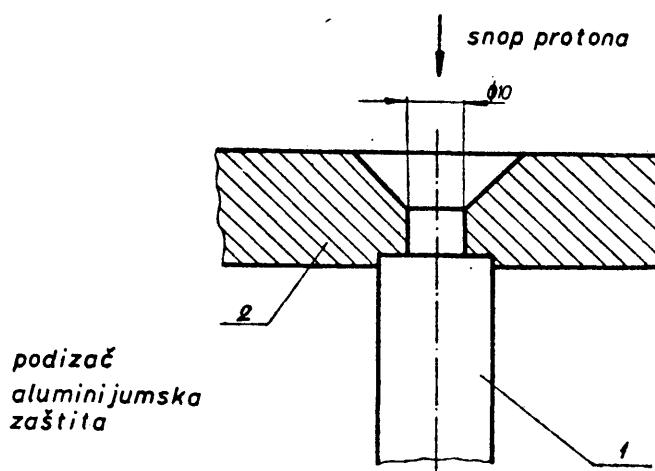


Sl. 7. — Način ozračivanja vrha brega



Sl. 6. — Sema istraživačkog uređaja

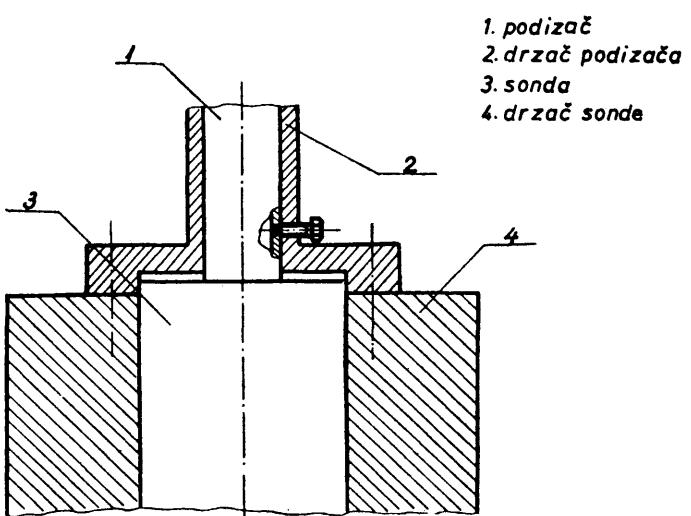
tati bili pouzdani i komparativni potrebno je obezbediti uvek isti položaj ozračenog mesta prema sondi. Zbog toga se uvodi pojam konstantne geometrije merenja. Konstantna geometrija merenja je obezbedena pomoću pribora prikazanih na sl. 9. i sl. 10.



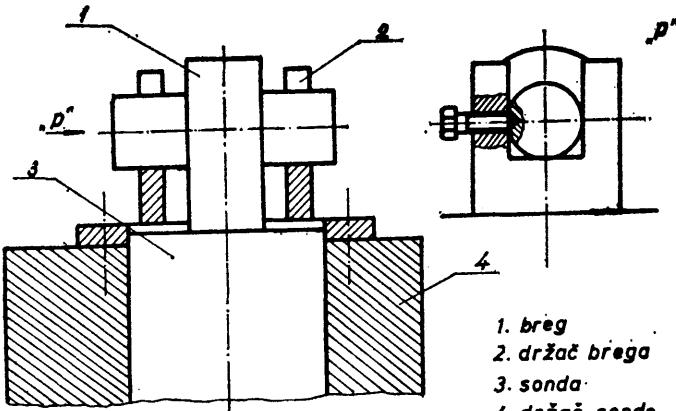
Sl. 8. — Način ozračivanja podizača

5. MERENJE RADIOAKTIVNOSTI I MATEMATIČKA OBRADA PODATAKA

Za izvođenje eksperimentalnog dela rada, merenja radioaktivnosti su vršena pomoću brojačkog kompleta STV-1 (proizvod Institut »Boris Kidrič« — Vinča). Da bi rezul-



Sl. 9. — Pribor za održavanje konstantne geometrije merenja radioaktivnosti podizača



Sl. 10. — Pribor za odražavanje konstantne geometrije merenja radioaktivnosti vrha brega

Pri obradi eksperimentalnih podataka utvrđujemo konstantu λ u jednačini prirodnog raspada

$$A = A_0 e^{-\lambda t} \quad (1)$$

gde je:

A_0 — radioaktivnost za $t=0$
 λ — konstanta, čija veličina zavisi od vrste izotopa
 A — radioaktivnost posle vremena t

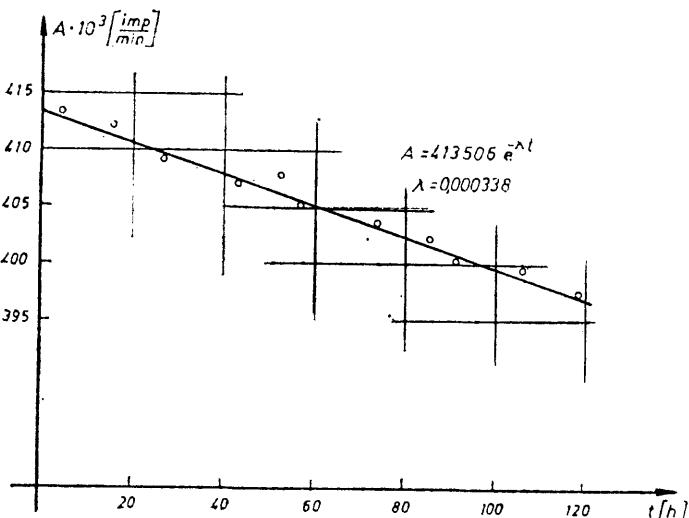
Merenjem radioaktivnosti na ozračenim mestima brega i podizača i odgovarajućom obradom podataka dođija se jednačina za prirodni raspad (sl. 11, 12):

$$\begin{aligned} \text{za podizač: } & A = 413506 e^{-0,000338 t} \\ \text{za breg: } & A = 391301 e^{-0,00034 t} \end{aligned}$$

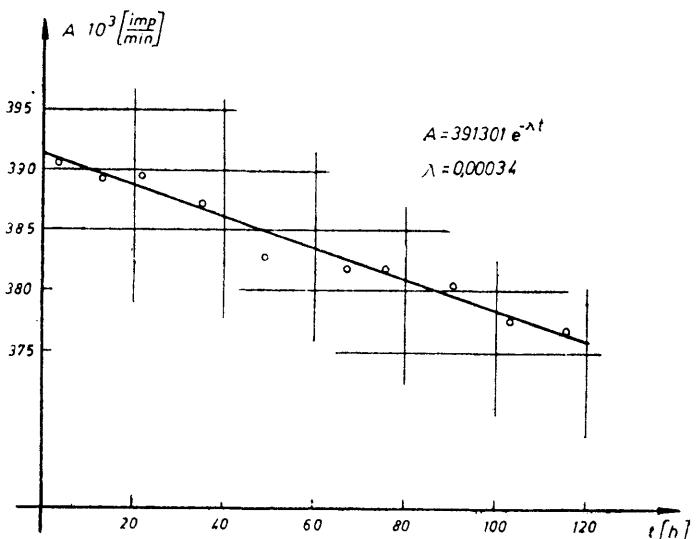
Srednja vrednost izmerenih radioaktivnosti na određenom mestu je:

$$\bar{A} = \frac{\sum_{i=1}^n A_i}{n} \quad (2)$$

A_i — (imp/min) — vrednost pojedinih merenja
 n — broj merenja na jedan minut



Sl. 11. — Prirodni pad radioaktivnosti ozračenog brega



Sl. 12. — Prirodni pad radioaktivnosti ozračenog podizača

Navedenu srednju vrednost treba korigovati zbog mrtvog vremena brojačkog kompletata, pri čemu se dobija:

$$A_k = \frac{\lambda}{1 - \lambda \cdot t_m} \quad (3)$$

Mrtvo vreme se određuje pomoću dva radioaktivna izvora:

$$t_m = \frac{A_1 + A_2 - A_{1,2} - A_f}{2(A_1 - A_f)(A_2 - A_f)} \quad (4)$$

gde su: A_1 , A_2 , $A_{1,2}$ i A_f (imp/min) — odgovarajuće radioaktivnosti prvog, drugog, prvog i drugog izvora, kao i nivo fona. Greške nastale zbog mrtvog vremena kod scintilacijskih detektora su veoma male u poređenju sa drugim greškama, tako da ne utiču na konačan rezultat. Iz tih razloga može se uzeti da je $t_m = 0$ i tada je $\bar{A} = A_k$.

Radioaktivnost od ozračenog mesta bez fona je:

$$A = \bar{A} - A_f \quad (5)$$

gde je: A_f — vrednost fona.

Prava vrednost radioaktivnosti jednog radioaktivnog izvora ne može da se odredi. Kod eksperimentalnih istraživanja uvek se operiše sa srednjim vrednostima dobijenim iz niza merenja. Tako dobijena srednja vrednost razlikuje se od prava srednje vrednosti. U zavisnosti od toga sa kolikom verovatnoćom će eksperimentalna srednja vrednost odgovarati pravoj srednjoj vrednosti određuje se greška merenja. Da je merena srednja vrednost tačna 90% pouzdana greška iznosi:

$$\sigma = \pm 1,645 \sqrt{\frac{\bar{A}}{t_m}} \quad (6)$$

pri čemu je:

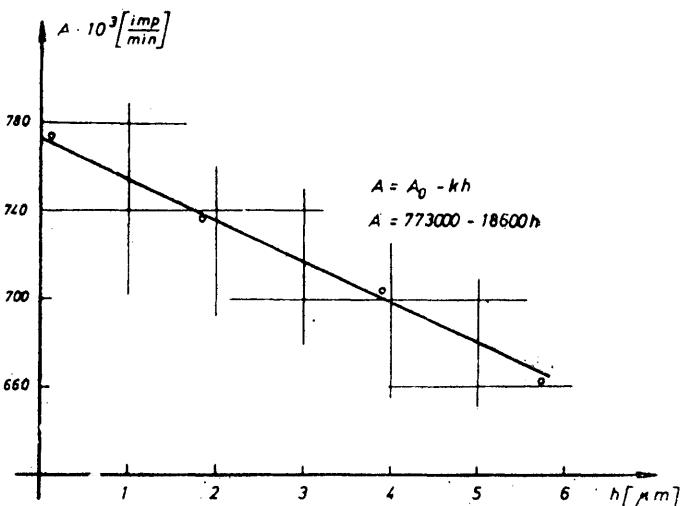
$$t_m = n \cdot t_1$$

t_m — vreme merenja radioaktivnosti
 t_1 — 1 (min) — vreme jednog merenja
 n — broj merenja na jedan minut

Prema tome stvarna srednja vrednost je:

$$A = \bar{A} - A_f \pm 1,645 \sqrt{\frac{\bar{A}}{t_m}} \quad (7)$$

Najbolje sagledavanje razvoja triboloških procesa na ispitivanim uzorcima u zavisnosti od režima rada je preko veličine habanja u dužinskim jedinicama (μm). To znači da rezultate merenja radioaktivnosti treba preračunati u veličine habanja u mikronima. U tom slučaju radioaktivnost mesta na kome se prati habanje je samo jedan operator. Veza između promene radioaktivnosti i debljine skinutog sloja za ozračene uzorke je oblika (sl. 13, 14):

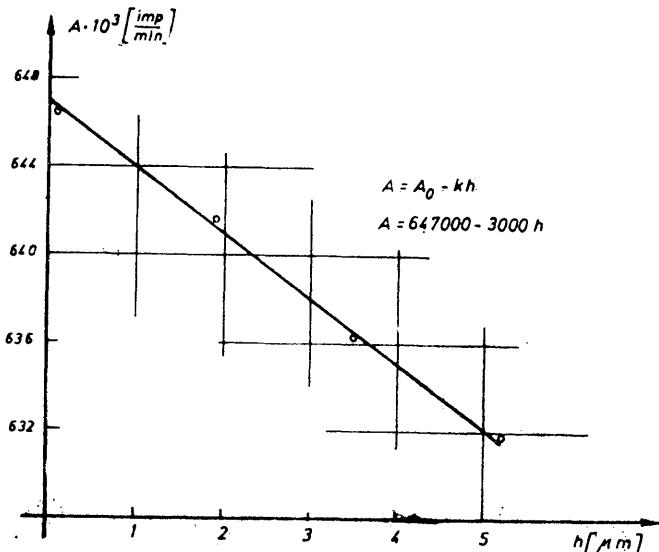


Sl. 13. — Raspored radioaktivnosti po dubini brega

$$A_h = A_0 - kh \quad (8)$$

gde je: $k = \tan \alpha$ koeficijent nagiba krive.

To znači da za izračunavanje habanja u (μm) na ozračenom mestu gde se prati habanje treba znati početnu vrednost radioaktivnosti A_0 , radioaktivnost A_h koja je manja a posledica je habanja i karakteristiku k rasporeda radioaktivnosti po dubini.



Sl. 14. — Raspored radioaktivnosti po dubini podizača

Radioaktivnost zbog habanja na određenom mestu merna posle vremena t od početka eksperimenta je:

$$A_h = A \cdot e^{\lambda t} \quad (9)$$

ili

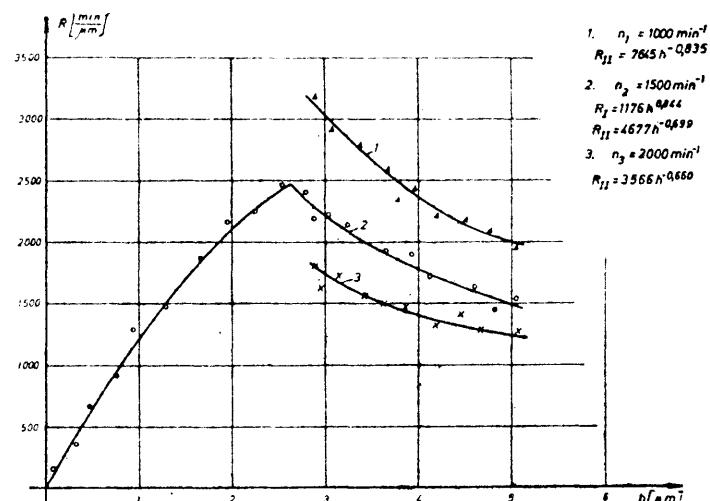
$$A_h = (\bar{A} - A_f \pm 1,645 \sqrt{\frac{\bar{A}}{t_m}}) e^{\lambda t} \quad (10)$$

Veoma pogodan način upoređenja habanja pri različitim režimima eksploatacije je preko otpornosti na habanje, tj.:

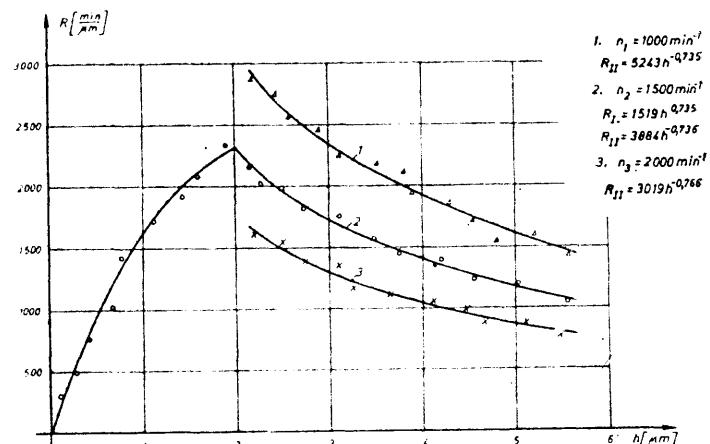
$$R = \frac{\Delta T}{\Delta h} \frac{\text{min}}{\mu\text{m}} \quad (11)$$

Navedeni odnos pokazuje koliko je vremena potrebno da bi se na posmatranom mestu ostvarilo habanje od jednog mikrona.

Na sl. 15. dati su rezultati ispitivanja otpornosti na habanje vrha brega a na sl. 16. rezultati ispitivanja otpornosti na habanje podizača pri različitim brojevima obrta brega.



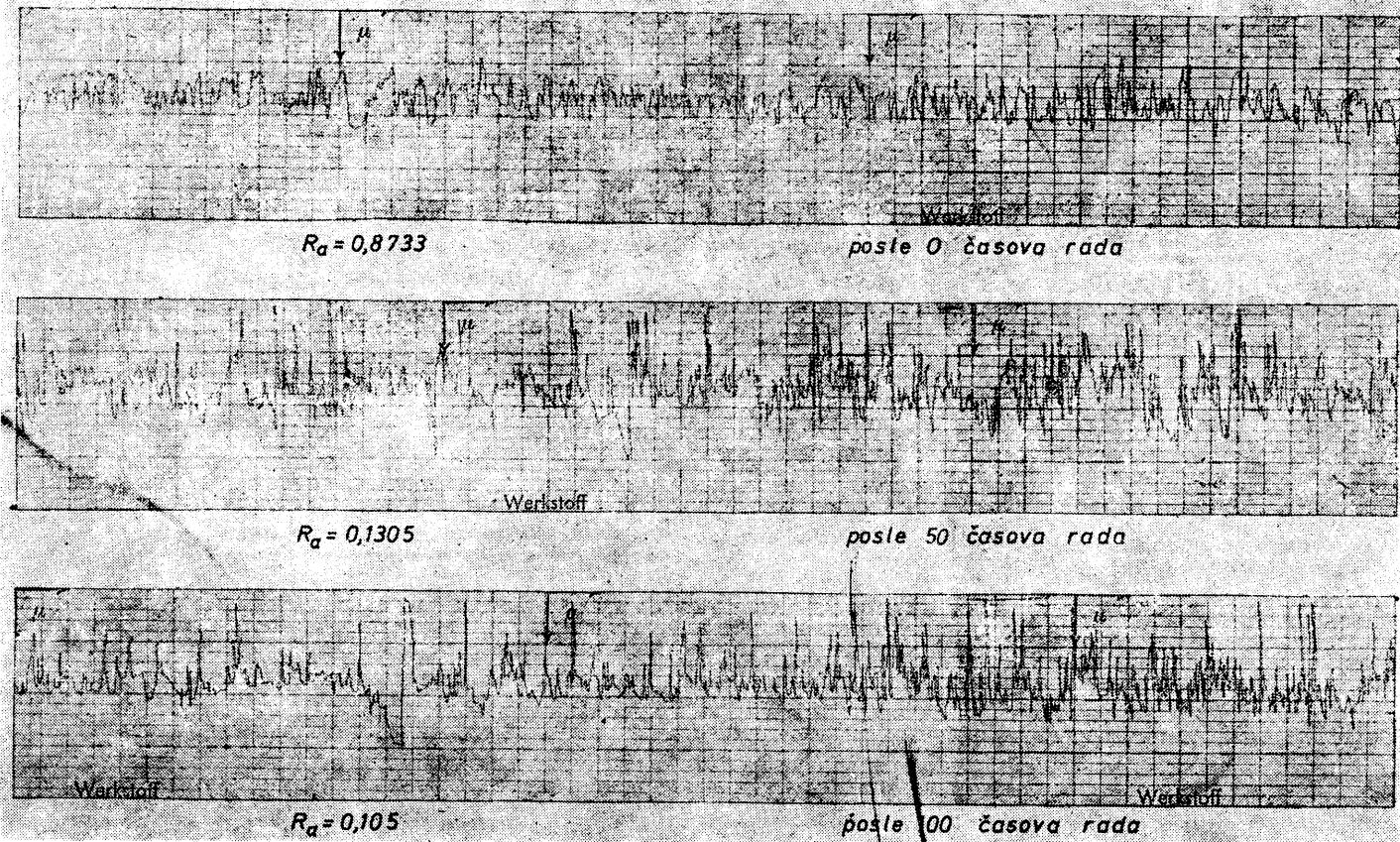
Sl. 15. — Otpornost na habanje vrha brega za različite brojeve obrta brega



Sl. 16. — Otpornost na habanje podizača za različite brojeve obrta brega

Osim praćenja procesa habanja na bregu i podizaču je snimana i hrapavost kontaktnih površina. Na sl. 17. dati su rezultati snimanja hrapavosti kontaktnе površine brega a na sl. 18. rezultati snimanja hrapavosti kontaktnе površine podizača. Na osnovu dobijenih rezultata se vidi da je u prvih 50 h rada došlo do znatnog smanjenja srednjeg odstupanja od profila R_a , koje je najčešće korišćeni parametar kriterijuma hrapavosti.

breg



ZAKLJUČAK

Habanje bregastih mehanizama zavisi od velikog broja različitih parametara: fizičkih, hemijskih i mehaničkih svojstava materijala, karakteristika sredstva za podmazivanje, agresivnosti sredine, uslova opterećenja, temperature, dodirnih površina, itd. Zbog toga je neke prethodne proračune habanja i uticaja pomenutih faktora moguće dati samo približno. Tribologija kao visoko empirijska nauka zasniva svoje postavke u većem delu na eksperimentima. Sa tog aspekta treba i posmatrati nova kretanja u prognoziranju veka trajanja u kojima se kombinuju dobro aproksimirani eksperimentalni rezultati, poznati teoretski zakoni i fizičko-mehaničke osobine kontaktnih površina.

Kvalitet i kvantitet dobijenih rezultata pri eksperimentalnom ispitivanju triboloških procesa pre svega zavise od primenjene metode za merenje habanja. Vrsta primenjene metode zavisi od cilja i zadatka istraživanja. Sve metode koje se mogu primeniti imaju svoje prednosti i nedostatke kao i oblasti primene uslovljene kako tehničkim mogućnostima tako i ekonomskim efektom. Upotreba metode površinske aktivacije u mašinogradnji je dobila povećanu važnost u poslednjim godinama. Osim usavršavanja elektronskih aparata i mernih uređaja koji su potrebni za merenje habanja, ovo je uglavnom nastalo zbog razvoja i uspešnog eksperimentalnog korišćenja metode. Metoda je zasnovana na utvrđivanju habanja pomoću razlike u aktivnosti aktiviranog dela koji je izložen habanju. Da bi se izbeglo utvrđivanje habanja na malim diferencijama između velikih brojeva, sa dovoljnom osetljivošću i tačnošću, uzorci moraju da se aktiviraju u tankim slojevima ispod površine. Za dobijanje linearног odnosa između debljine skinutog sloja materijala i gubitka ukupne aktivnosti potrebno je odabrat određene uslove aktivacije uzorka.

Na osnovu rezultata dobijenih ispitivanjem procesa habanja na bregu i podizaču može da se vidi da je otpornost

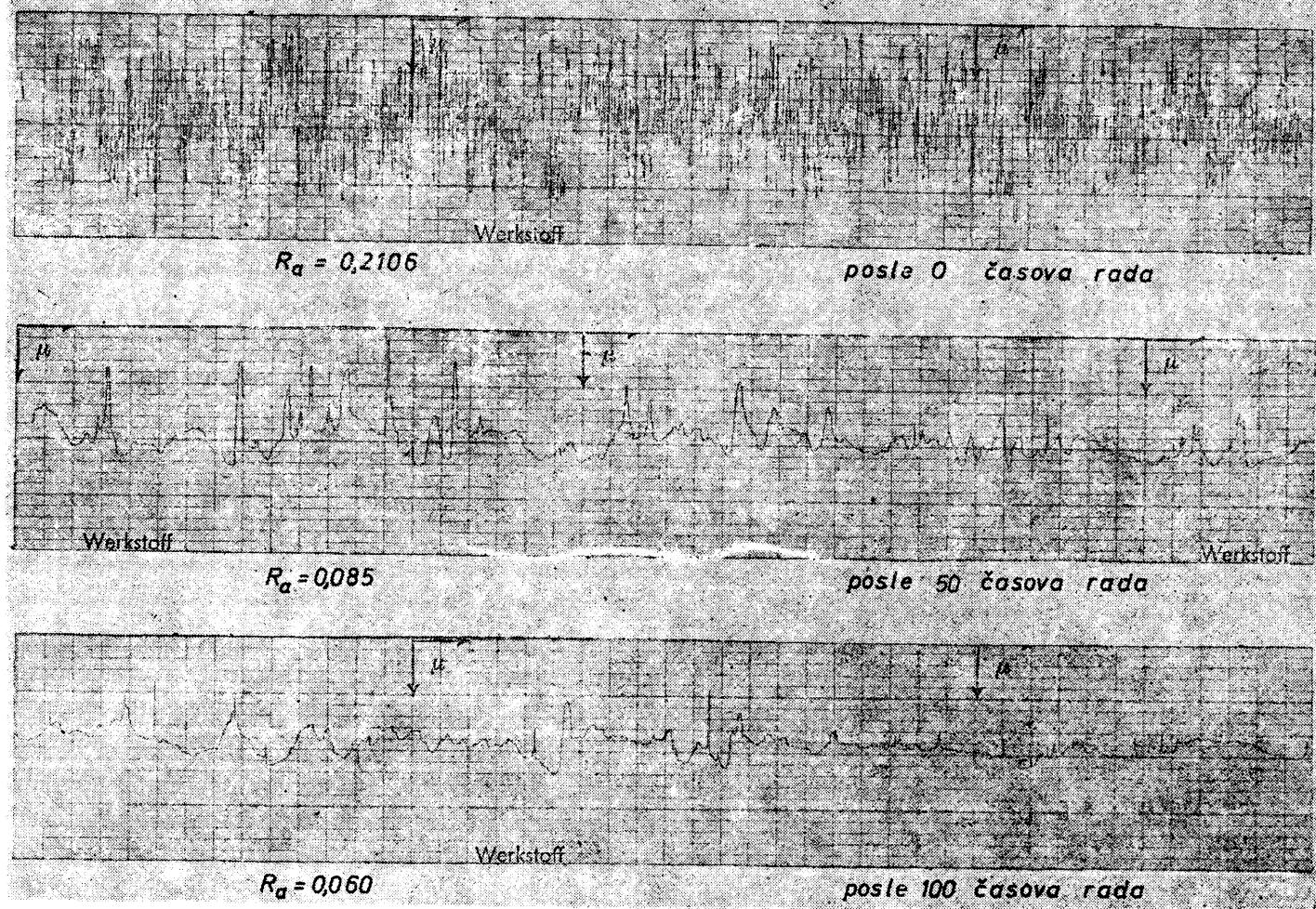
na habanje brega veća od otpornosti na habanje podizača izuzev u početku ispitivanja (period razrade). Nešto veće habanje brega u početnom periodu može da se objasni većom površinskom hrapavošću i manjom tvrdćom brega. Otpornost na habanje opada sa povećanjem broja obrtaja ali je takođe evidentan povoljan uticaj brzine na smanjenje habanja po jednom ciklusu. Ovo može da se objasni povoljnim uticajem brzine na debljinu uljnog filma.

Na habanje ne utiču samo radni uslovi, oblik i sparivanje materijala već takođe i upotrebljeno mazivo igra važnu ulogu. Mogućnost korišćenja uređaja i metode površinske aktivacije za praktičnu procenu kvaliteta maziva je cilj daljih ispitivanja.

Dalja ispitivanja koja će verovatno biti vršena treba da ukažu na niz promenljivih koje utiču na razvoj triboloških procesa kod bregastog mehanizma.

LITERATURA

1. I. V. KRAGELJSKI, Trenie i iznos, »Mašinostroenie«, Moskva, 1968.
2. G. A. ROTBART, Kulačkovji mehanizmi, »Sudpromgiz«, Lenjingrad, 60.
3. N. N. POPOV, Rasčet i projektirovanie kulačkovi mehanizmov »Mašinostroenie«, Moskva, 1965.
4. A. SCHILLING, Automobile engine lubrication scientific publications (G. B.) LTD, England, 1972.
5. M. J. NEALE, Tribology handbook, London, 1973.
6. E. I. VOROBLJEV, K Voprosu ob iznosostoikosti i projektirovani kulačkovi mehanizmov, Sb. Analiz i sintez mašin, Nauka, 1965.
7. J. HOLLAND, Zur Ausbildung eines tragfähigen Schmierfilms zwischen Nocken und Stössel; MTZ Motor-technische Zeitschrift 39 (1978) 5.



Sl. 18. — Promena hrapavosti na kontaktnoj površini podizača u toku rada

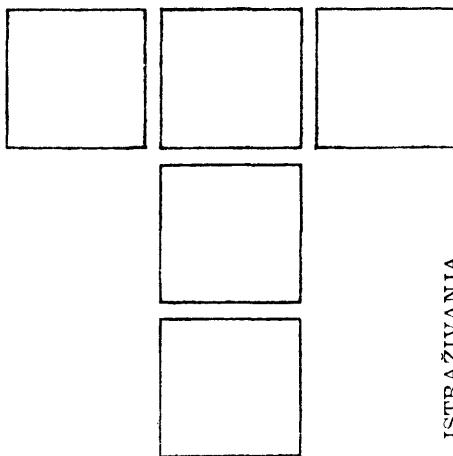
- 8. D. B. CHITTY, A Rig Test Approach to the Investigation of Valve Train Failures in Automotive Engines, Montreux, Switzerland, 2—6 April 1973.
- 9. M. GAIRING, Motorenöler probung im OM 615; Technischer dienst MZV — UNIT 11, 1974.
- 10. B. IVKOVIĆ, Razvoj radioaktivnih metoda za tribološka istraživanja u obradi metala rezanjem; X Saveto-vanje proizvodnog mašinstva, Beograd, 1975.
- 11. B. GLIGORIĆ, Tribološka tribometrijska studija translatornog kretanja klizača po vodicama alatnih mašina; Mašinski fakultet u Kragujevcu, 1972. god.
- 12. M. LAZIĆ, Definisanje uticaja brzine i opterećenja na razvoj triboloških pojava kod zupčastih parova primenom radioaktivne metode; Magistarski rad, Mašinski fakultet, Kragujevac, 1972.
- 13. S. TANASIEVIC, Ispitivanje habanja cilindričnih zupčanika sa pravim zupcima pri različitim opterećenjima; Magistarski rad, Mašinski fakultet, Kragujevac, 1976.
- 14. S. ARSOVSKI, Analiza mogućnosti adaptivnog upravljanja alatnim mašinama na osnovu merenja intenziteta habanja reznih elemenata alata; Magistarski rad, Mašinski fakultet, Kragujevac, 1978.
- 15. D. MIHAJLOVIĆ, Modelska ispitivanja triboloških procesa na kliznim ležištima metodom površinske aktivacije; Magistarski rad, Mašinski fakultet, Kragujevac, 1979.
- 16. Z. PALUNČIĆ, Tribološke pojave na elementima kotrljajnih ležajeva; Magistarski rad, Mašinski fakultet, Kragujevac, 1978.
- 17. B. JEREMIĆ, Tribološki procesi na kontaktnim površinama kliznih vodica alatnih mašina, Magistarski rad, Mašinski fakultet, Kragujevac, 1977.

**Mr JOKOVIC SVETOLIK, dipl. inž.
asistent Mašinskog fakulteta u Kragujevcu**



Roden 1946. Diplomirao 1969. godine na Mašinskom fakultetu u Kragujevcu. Do 1972. godine radio je u Institutu Zavoda »Crvena zastava«. Od 1972. godine radi na Mašinskom fakultetu u Kragujevcu kao asistent za predmet Mehanizmi.

M. MILOŠEVIĆ*



Uticaj sredstava za hlađenje i podmazivanje na povećanje proizvodnosti procesa odvalnog glodanja

UVOD

Izrada cilindričnih zupčanika i ožljebljenih vratila, u serijskoj proizvodnji, vrši se najviše odvalnim glodanjem. Pored ugradnje u putničke automobile, koji se danas izrađuju u vrlo velikim serijama, cilindrični zupčanici i ožljebljena vratila se ugradjuju i u vrlo veliki broj drugih konstrukcija i sklopova (alatne mašine, teretna vozila, reduktori i dr.).

Zbog velikog obima proizvodnje cilindričnih zupčanika i relativno visokih vrednosti obrade proizvodnih operacija ozbljenja potrebno je обратити veliku pažnju problemu optimizacije i povećanju proizvodnosti procesa odvalnog glodanja. U procesu odvalnog glodanja javljaju se visoki pritisci između kontaktnih površina alata sa strugotinom i predmetom obrade i visoke temperature rezanja, što je naročito izraženo na mestima prelaza od temenog ka bočnom sečivu. Na ovom mestu je smanjen ledni ugao (sa 120° na 40°) što izaziva povećano trenje a proces rezanja sa izvodi, zbog malih debljina strugotine i radijusa zaobljenja rezne ivice, sa velikim negativnim grudnim uglovima, zbog čega nastaju plastične deformacije materijala predmeta obrade, pojačano trenje, oslobadanje veće količine toplove a time i pojačan intenzitet habanja.

Kao sredstvo za hlađenje i podmazivanje pri odvalnom glodanju primenjuju se isključivo čista ulja za rezanje srednje i jako aditivirana sa EP dodacima aktivnog i neaktivnog tipa. Ulja za rezanje imaju dobro podmazujuće svojstvo

TABELA 1

	Vrsta reznog ulja								
	aktivno					neaktivno			
	U-1	U-2	U-3	U-4	U-5	U-6	U-7	U-8	U-9
Viskozitet na 323 K [mm ² /s]	11,8 do 15,7	19,4 do 22,8	19,4 do 23,8	25,1	22,6	11,8 do 13,9	23,8 do 27,0	25,4 do 33,4	24,65
Relativna gustina na 293 K	0,870	0,890	0,880	0,885	0,870	0,870	0,875	0,880 do 0,900	0,910
Saponifikacioni broj [mg KOH/g]	2,5 do 3,5	7,5 do 9,5	16 do 19,5	14,33	6,89	min 2,2	min 7	min 14	23,2
Temperatura paljenja max [K]	453	448	458	—	—	463	462	463	—
Korozija na Cu traci 3 h/373 K	4 c	4 c	4 c	4 b	4 c	1 a	1 a	1 a	1 a

* Biografija autora objavljena u br. 4. god. I — 1979.

Takođe su ispitivane četiri vrste emulzija, koje su označene slovima: A, B, C i D. Emulzije A i B su napravljene od jednog, a emulzije C i D od drugog polusintetičkog mineralnog emulgirajućeg ulja. Emulzije A i C su napravljene sa koncentracijom 12%, a emulzije B i D sa koncentracijom 6%.

Uporedna ispitivanja čistih ulja za rezanje (U-1, U-2, U-3, U-6, U-7, U-8) izvedena su radioaktivnom metodom čija je osnova data u radovima [1 i 2] a koja je detaljno razrađena u radovima [3/4/5/6 i 7]. Ispitivanja su izvedena u Laboratoriji za obradu metala i tribologiju Mašinskog fakulteta u Kragujevcu na odvalnoj glodalici PFAUTER RS — 1/2 sa modificiranim pogonom snage 4 kW.

Kao rezni alat korišćena su standardna odvalna glodača od brzoreznog čelika DIN 8002 proizvodnje »Jugosalata« iz Novog Sada. Pošto je uporedno ispitivanje grupe ulja za rezanje izvedeno sa tri odvalna glodala, da bi se eliminisao uticaj alata, pri ispitivanju svakim alatom korišćeno je ulje za rezanje U-7 kao referentno. Na jednom reznom elementu svakog glodala izvršeno je aktiviranje temene leđne površine bombardovanjem ubrzanim protonima na ciklotronu. Za aktiviranje je izabrana temena leđna površina, jer se širina pojasa habanja na njoj približno konstantno povećava. Pad radioaktivnosti ozračenog reznog elementa tokom ispitivanja meren je brojačkim kompletom MS 310 sa kristalom od 2". Odvalno glodalo je pri merenju tako bilo pričvršćeno u specijalnom priboru da je aktivirana površina reznog elementa zauzimala uvek isti položaj u odnosu na sintelacionu sondu. Da bi se utvrdila zavisnost pada radioaktivnosti ozračenog reznog elementa od širine pojasa habanja na temenoj leđnoj površini, tokom ispitivanja izvedeno je merenje pojasa habanja na univerzalnom mikroskopu UIM 21. Na mašini je ugrađen poseban sistem za cirkulaciju sredstva za hlađenje i podmazivanje koje omogućava lak i brz prelaz sa ispitivanja jednog, na ispitivanje ostalih sredstava za hlađenje i podmazivanje. Predmet obrade su bili otkovci od Č.7422 izotermalno žareni koji su namenjeni za proizvodnju zupčanika u Zavodima »Crvena zastava«. Otkovci su uzeti iz iste šarže i prethodno obrađeni na strugu. Ispitivanja su izvedena brzinama rezanja 44 i 55 m/min sa konstantnim pomoćnim kretanjem alata $S = 0,6 \text{ mm/ob. pred.}$ i konstantnim protokom sredstva za hlađenje i podmazivanje. Analitičke zavisnosti pada radioaktivnosti, otpornosti na habanje i postojanosti alata od širine pojasa habanja su dobijene obradom eksperimentalnih rezultata pomoću metode najmanjih kvadrata.

Uporedna ispitivanja triboloških karakteristika reznih ulja U-4, U-5, U-8 i U-9 izvršena su modeliranjem procesa odvalnog glodanja jednozubnim alatom. Modeliranje procesa odvalnog glodanja izvodi se tako što je tangencionalni korak jednozubog alata jednak akcijalnoj pomerenoosti stvarnog glodala zbog čega rezni element jednozubog alata prolazi kroz sve faze opterećenja i adekvatno je opterećen kao i najopterećeniji rezni element odvalnog glodala [8]. Ispitivanja su izvedena na odvalnoj glodalici »TOS« — Čehoslovačka, model FO-6 sa pogonom snage ($n = 1400/2800 \text{ o/min}$) $3/4 \text{ kW}$, na kojoj je moguće izvođenje tangencionalnog posmaka. Ispitivanja su izvedena u sledećim uslovima obrade:

a) modeliran je proces odvalnog glodanja sa jednohomodim odvalnim glodalom koji ima broj češljeva $n = 12$, modul $m = 3 \text{ mm}$, spoljašnjeg prečnika $D_{\text{c,s}} = 119 \text{ mm}$, sa desnom spiralnom reznih elemenata čiji je akcijalni korak $s = 0,7857 \text{ mm}$.

b) polufabrikat predmeta obrade je otkovak od Č.7422, izotermalno žaren, koji je prethodno obrađen struganjem na kopirnom strugu.

c) brzine rezanja

— $V = 71 \text{ m/min sa reznim uljima U-8 i U-9}$

— $V = 55 \text{ m/min sa reznim uljem U-9}$

— $V = 35,5 \text{ m/min sa reznim uljima U-4, U-5 i U-9}$

d) aksijalni korak $s=2 \text{ mm/ob. pred.}$

e) protok reznog ulja $Q=8 \text{ l/min.}$

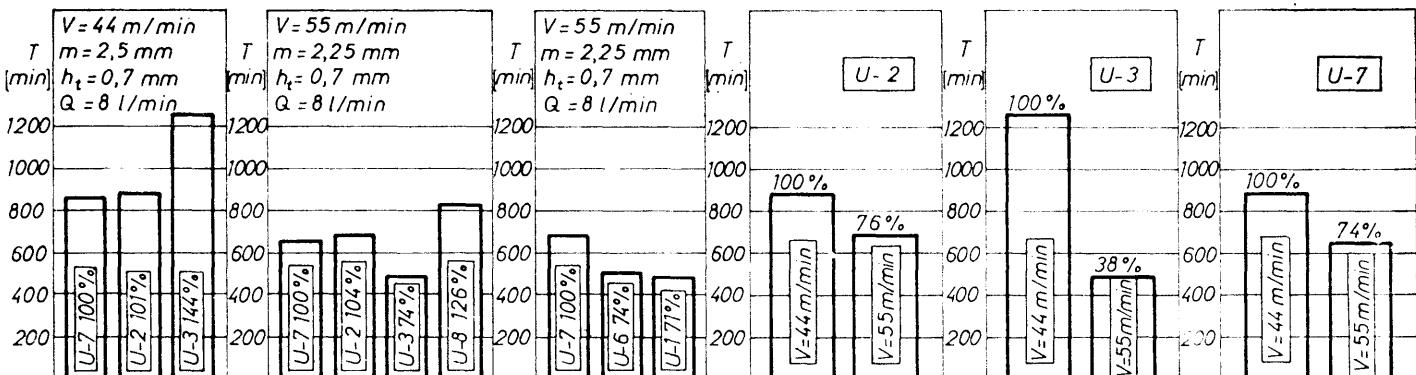
Merenje pojasa habanja izvršeno je na alatnom mikroskopu. Praćen je razvoj procesa habanja na ulaznom i izlaznom boku.

REZULTATI ISPITIVANJA

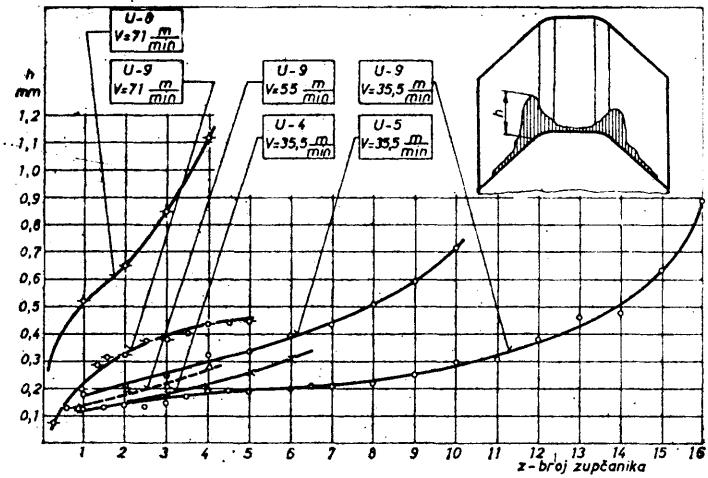
Uporedna ispitivanja triboloških karakteristika reznih ulja U-1, U-2, U-3, U-6, U-7 i U-8 izvršena su preko otpornosti na habanje. Usled nedostatka prostora prikazani su samo dobijeni rezultati odnosno postojanosti alata (sl. 1) pri upotrebi ispitivanih vrsta reznih ulja.

Analizirajući dobijene rezultate može se doći do zaključka o uticaju povećanja brzine rezanja na postojanost alata. Sa povećanjem brzine rezanja sa $44 \text{ na } 55 \text{ m/min}$ smanjuje se postojanost alata. Odnosi triboloških karakteristika pojedinih vrsta reznih ulja se menjaju sa promenom brzine rezanja. Rezno ulje U-3 koje je na brzini $V=44 \text{ m/min}$ imalo najbolje tribološke karakteristike na brzini $V=55 \text{ m/min}$ ima lošije tribološke karakteristike od reznog ulja U-7.

Na slici 2. prikazane su krive habanja reznog elementa jednozubog alata na ulaznom boku pri upotrebi ispitivanih reznih ulja: U-4, U-5, U-8 i U-9. Na maloj brzini rezanja $V=35,5 \text{ m/min}$ najbolje tribološke karakteristike pokazalo je jako EP aditivirano rezno ulje U-9. Sa povećanjem brzine rezanja na 71 m/min postojanost alata naglo opada. Tribološke karakteristike reznih ulja U-8 i U-9 se na povišenoj brzini $V=71 \text{ m/min}$ znatno razlikuju. Rezno ulje U-9, koje ima znatno bolje svojstvo hlađenja daje znatno veću postojanost alata. Pri maloj brzini rezanja $V=35,5 \text{ m/min}$ pojave krzanja rezne ivice, sagorevanja (»pušenje«) reznih ulja i odgrevanja reznog elementa (»oplavljanje«) bile su najmanje izražene pri upotrebi ulja U-9 a, najviše kod U-5. Pri brzini rezanja $V=55 \text{ m/min}$ rezno ulje U-9 je više sagorevalo. Pri visokoj brzini rezanja $V=71 \text{ m/min}$ pri upotrebi reznih ulja U-8 i U-9 pojavi sagorevanja je bila još više izražena. Naročito veliko »oplavljanje« se javilo pri upotrebi reznog ulja U-8 na visokoj brzini rezanja od 71 m/min.

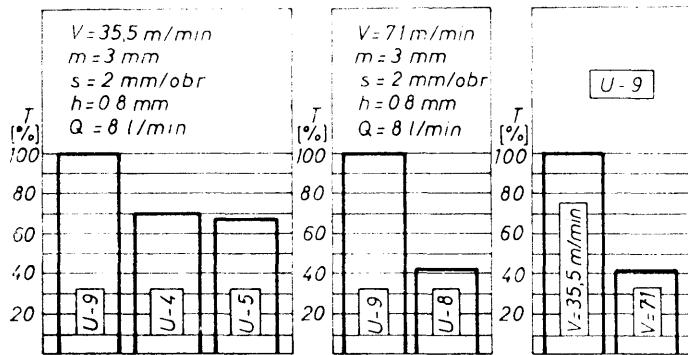


Sl. 1. — Odnosi postojanosti odvalnog glodala pri upotrebi ulja za rezanje



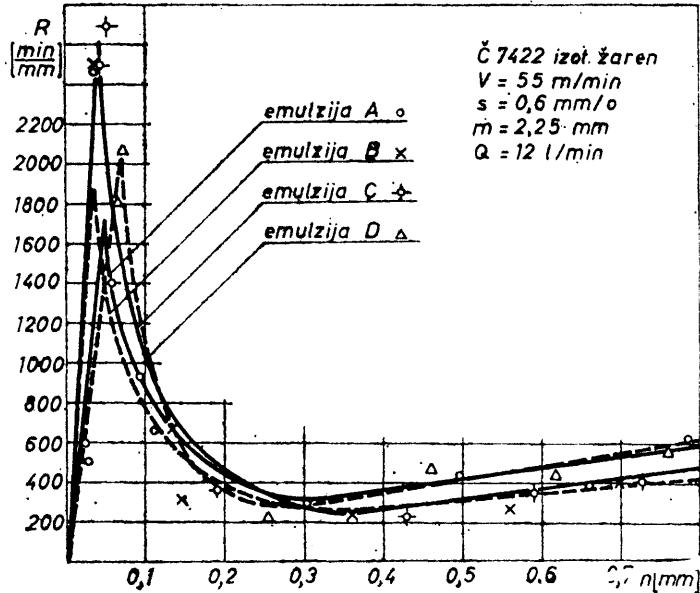
Sl. 2. — Krive habanja jednozubog alata pri modeliranju procesa odvalnog glodanja

Na slici 3. su prikazani odnosi postojanosti jednozubog alata dobijeni za kriterijum zatupljenja $h=0,8 \text{ mm}$.



Sl. 3. — Odnosi postojanosti jednozubog alata pri modeliranju procesa odvalnog glodanja

Rezultati uporednih ispitivanja četiri vrste emulzija prikazani su na slici 4.



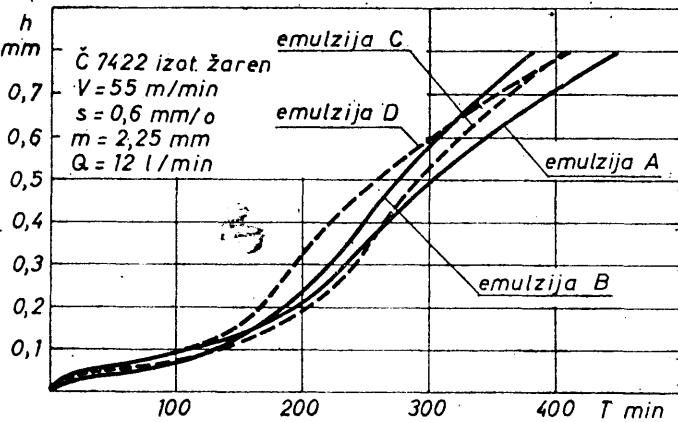
Sl. 4. — Otpornost na habanje odvalnog glodala pri upotrebi emulzije

Na osnovu dobijenih rezultata može se zaključiti da se kriva otpornosti na habanje sastoji iz tri dela:

- u prvoj fazi otpornost na habanje alata naglo raste
- u drugoj fazi otpornost na habanje alata naglo opada
- u trećoj fazi otpornost na habanje alata ima tendenciju porasta.

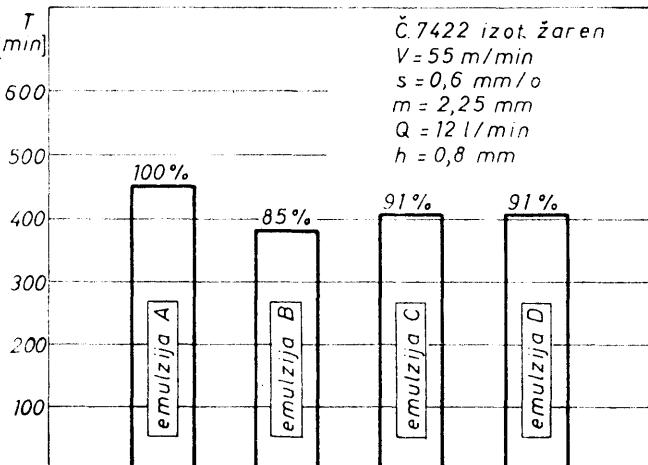
U prve dve faze otpornost na habanje je aproksimirana parabolom oblika $R=C_0 h^n$, a u trećoj fazi pravom $R=C+k h$.

Na slici 5. prikazane su krive habanja odvalnog glodala, koje su dobijene integriranjem izraza otpornosti na habanje.



Sl. 5. — Krive habanja odvalnog glodala pri upotrebi emulzija

Odnosi postojanosti odvainog glodala pri upotrebi četiri vrste emulzija prikazani su na slici 6.



Sl. 6. — Odnosi postojanosti odvalnog glodala pri upotrebi emulzija

ZAKLJUČAK

Na osnovu rezultata ispitivanja čistih ulja za rezanje mogu se izvesti sledeći zaključci:

- Ulja za rezanje koja su aktivna i neaktivna srednje i jako EP aditivirana, imaju dobro podmazujuće svojstvo ali relativno slabo svojstvo hlađenja.
- Pri nižim brzinama rezanja (do 50 m/min), kada se javljaju relativno niske temperature rezanja od sredstva za hlađenje i podmazivanje se zahteva prvenstveno podmazujuće svojstvo. Aktivna rezna ulja, jako EP aditivirana, zbog toga imaju u ovim uslovima najbolje tribološke karakteristike (rezno ulje U-3 pri $V=44 \text{ m/min}$).
- Pri nešto višim brzinama rezanja najbolje tribološke karakteristike imaju neaktivna jako EP aditivirana ulja za rezanje (rezno ulje U-8 pri $V=55 \text{ m/min}$).

- Pri visokim brzinama rezanja, kada se javljaju višoke temperature rezanja, pošto ne mogu uspešno da odvedu stvorenu količinu topote, čista ulja za rezanje menjaju svoj viskozitet i svoje tribološke karakteristike, sagorevaju (javlja se pojava »pušenja« reznog ulja), rezni elementi odvalnog glodala se održavaju tij. javlja se pojava »oplavljivanja« (rezna ulja U-8 i U-9 na 71 m/min).

Na osnovu rezultata preliminarnih ispitivanja mogućnosti primene emulzija u procesu odvalnog glodanja mogu se doneti sledeći zaključci:

- Obrada odvalnim glodanjem sa brzinama rezanja 55 m/min uz prisustvo emulzija sačinjenih od polusintetičkih mineralnih emulgirajućih ulja je moguća.
- Postojanost alata pri korišćenju ispitivanih emulzija na brzini rezanja 55 m/min je nešto manja nego pri korišćenju čistih ulja za rezanje.
- U prvoj fazi habanja $h < 0,2$ mm javljaju se do sada neuobičajene zakonitosti promene otpornosti alata na habanje pri rezanju sa emulzijama tako da ovaj problem ostaje za dalje izučavanje.
- Sa porastom habanja $0,3 < h < 0,8$ otpornost na habanje se povećava što je takođe pojava koja zahteva dalje razmatranje.
- Pri rezanju uz prisustvo emulzija odvalno glodalo i zupčanik su na vrlo niskim temperaturama, nema sagorevanja, dima i neprijatnih mirisa.
- Uticaj koncentracije emulzija koje su ispitivane (6% i 12%) nije veliki. Kod jedne vrste emulgirajućeg ulja ostvarene postojanosti alata su približno iste, dok je kod druge vrste emulgirajućeg ulja ostvarena nešto veća postojanost alata pri upotrebi emulzije nešto veće koncentracije (12%). Ova pojava zahteva takođe dalja istraživanja.

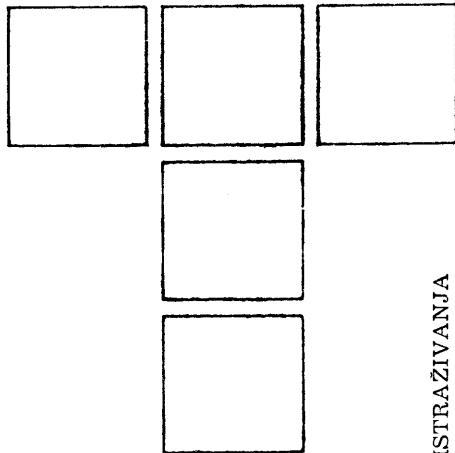
Na osnovu napred iznetog moguće je izvesti opšti zaključak koji glasi:

Pri obradi odvalnim glodanjem moguće je koristiti emulziju polusintetičkih emulgirajućih mineralnih ulja i na njihovom uvođenju u narednom periodu treba intenzivno raditi, jer primena emulzije obezbeđuje mogućnost primene visokih brzina rezanja a time i povećanje proizvodnosti procesa odvalnog glodanja.

LITERATURA

1. N. F. KAZAKOV, »Issledovanie iznosostojkosti rezecov metodom radioaktivnih izotopa«, Izveštaj A. N. SSSR, broj 1 (1954).
2. E. R. NODENSKAJA, »Issledovanie iznosa režuščego instrumenta s pomoćju radioaktivnih izotopov«, Izveštaj A. N. SSSR, broj 1, (1954).
3. B. IVKOVIĆ, »Definisanje uslova habanja cilindričnih glodala pri suprotnosmernom i istosmernom glodanju pomoću radioaktivnih izotopa«, disertacija, Mašinski fakultet u Beogradu (1969).
4. B. IVKOVIĆ, »Razvoj radioaktivnih metoda za tribološka istraživanja u obradi metala rezanjem«, X savestovanje proizvodnog mašinstva, Beograd (1975).
5. B. IVKOVIĆ, »Određivanje obradivosti konstrukcijskih materijala i eksploatacijskih karakteristika glodala merenjem habanja pomoću radioaktivnih izotopa«, Mašinstvo, broj 8 (1967).
6. B. IVKOVIĆ, »Definisanje habanja višesečnih alata pomoću radioaktivnih izotopa«, monografija, Mašinski fakultet u Kragujevcu, (1970).
7. B. IVKOVIĆ, »Eksperimentalna istraživanja radioaktivnim metodama u proizvodnom mašinstvu«, Obrada metalova i tribologija 4 (8), 43, (1977).
8. R. MITROVIĆ, »Modelska ispitivanja procesa odvalnog glodanja«, disertacija, Fakultet strojarstva i brodogradnje u Zagrebu (1977).

B. JEREMIĆ*
 R. MILIĆ
 D. RADOVANOVIC



ISTRAŽIVANJA

Izbor optimalnog sredstva za hlađenje i podmazivanje sa tribološkog i ekonomskog aspekta**

UVOD

Stvaranje materijalnog proizvoda u metaloprerađivačkoj industriji na svakom proizvodnom radnom mestu gde se vrši obrada metala rezanjem praćeno je pojmom čitavog niza troškova koji su u direktnoj funkcionalnoj vezi sa primjenom sredstvom za hlađenje i podmazivanje (SHP).

Intenzitet razvoja triboloških procesa na kontaktnim površinama između alata i radnog predmeta zavisi od parametara režima obrade (dubina, brzina rezanja i brzina pomoćnog kretanja).

U današnjim uslovima ostvarivanja materijalne proizvodnje kada se zahteva povećanje produktivnosti, mora se ići na podoštavanje režima obrade a samim tim i na svesno intenziviranje procesa habanja alata. To znači da troškovi alata rastu sa porastom produktivnosti i to kao posledica triboloških procesa na kontaktnim površinama alata i predmeta obrade.

Vrednost rada proizvodnog radnika po jedinici proizvoda (iznos bruto ličnog dohotka), međutim, opada sa porastom produktivnosti rada, jer zbog intenzivnijih režima obrade metala na proizvodnoj mašini smanjuje se utrošak rada radnika preko smanjenja njegovog vremenskog angažovanja.

Sa povećanjem produktivnosti povećava se i dohodak u uslovima smanjenih troškova proizvodnje. To znači da bi se razvila proizvodnja sa većom produktivnošću i smanjenim troškovima poslovanja, neophodno je intenzivnije raditi na usporavanju triboloških procesa na elementima alata kroz optimalni izbor SHP i način njegove primene.

Projektovanje uslova obrade metala rezanjem sa gledišta ekonomičnosti i produktivnosti nameće zahteve za pravilnim izborom vrste SHP, istraživanjem njegovih triboloških karakteristika i detaljnog analizom ekonomskog aspekta opravdanosti primene odabranog SHP kao elementa koji bitno utiče na vrednost obrade.

KRITERIJUMI PRI IZBORU OPTIMALNOG SHP

Pri obradi metala rezanjem generiše se topotna energija uz pojavu visokih specifičnih pritisaka na kontaktnim površinama alata i strugotine sa jedne strane i alata i predmeta obrade sa druge strane. Razvoj triboloških procesa zavisi u velikoj meri od količine generisane topote i pritisaka između kontaktnih površina.

Sredstva za hlađenje i podmazivanje imaju ulogu da odvode topotu koja se generiše u zoni rezanja (vrše hlađenje), smanje trenje na kontaktnim površinama alata i materijala (vrše podmazivanje) i kod određenih operacija odvedu strugotinu i produkte habanja alata iz zone rezanja (vrše ispiranje).

Analizirajući proizvodnu operaciju ili grupu proizvodnih operacija dolazi se do prvog kriterijuma pri izboru SHP u zavisnosti od efekta koji treba da ostvari (rashladni, podmazujući, ispirajući).

* Rad je izložen na simpozijumu JUGOMA '80 u Splitu.
 ** Biografija autora objavljena u br. 2. god. I — 1979.

Tako npr. pri obradi zupčanika od SHP se zahteva visokopodmazujuće svojstvo, kod razvrtanja podmazujuće i inspirajuće svojstvo, pri obradi struganjem titanovih legura visokorashladno svojstvo, pri unutrašnjem finom honovanju visokoinspirajuće svojstvo zbog zahteva u pogledu kvaliteta obrade, itd.

Osim ograničenja koje treba da zadovolji izabrano SHP, u nekim slučajevima pažnju treba posvetiti i problemima difuzije komponenata SHP, pri čemu dolazi do pojave sekundarnih struktura ispod obrađene površine, a koje bitno utiču na eksploracioni vek takvog dela, ili otežavaju sledeću obradu.

Istovremeno realan je i zahtev za otklanjanje razarajućeg uticaja prirodne sredine (kiseonika) u slučajevima kada nastupa destrukcija tvrdih metala ili kada oksidne prevlakе otežavaju obradu površine brušenjem. Intenzivno stvaranje i razaranje oksidnih prevlaka na obrađenoj površini može ispoljiti veoma jako abrazivno dejstvo i ubrzati habanje reznog alata.

Iz napred izloženog može se zaključiti da je za kompleksnu analizu pri pravilnom izboru SHP neophodno sagledati:

- vrstu proizvodne opreme
- specifičnosti proizvodnje
- tehnologiju izvođenja operacije
(ili grupe operacija)
- svojstva i vrstu obrađivanog materijala
- alat i vrstu materijala alata
- karakteristike geometrije alata
- režim rezanja.

U drugu grupu kriterijuma koje mora da zadovolji izabrano SHP spada:

- a) Jednostavna i brza priprema emulzije (brzo i dobro emulgovanje u svim vrstama vode), ako se radi o vodorastvornim koncentratima.
- b) Dobra bakteriološka stabilnost tj. dugotrajno održavanje SHP eksploraciono sterilnim. Kako bakteriološka slika ima najveći uticaj na kvalitet SHP jer su pH vrednost, zaštita od korozije, uticaj na čoveka i okolinu itd. uglavnom samo posledice mikrobioljnog delovanja to pri izboru optimalnog SHP navedenom problemu treba posvetiti odgovarajuću pažnju.
- c) Da ne utiče negativno na radne uslove i radnika. Ova problematika je takođe u neposrednoj vezi sa bakteriološkom stabilnošću. Treba izabrati SHP i znatno lošijih triboloških karakteristika ali da ne izaziva kožna oboljenja radnika i pojavu otrovnih gasova ili gasova neprijatnog mirisa.
- d) Dobra zaštita od korozije i međuoperacijska zaštita.
- e) Dobra stabilnost pri uskladištenju u relativno dugom vremenskom periodu pod promenljivim temperaturskim uslovima.
- f) Dobra degradabilnost. Ovoj problematiki se u poslednje vreme posvećuje značajna pažnja. Sve veće zaganjenje čovekove okoline nametnulo je zahtev za jednostavnu, brzu i potpunu razgradnju SHP nakon eksploracije.

Treba napomenuti da se prvenstveno eksperimentalnim istraživanjem u laboratorijskim uslovima daje odgovor na pitanje, koju vrstu SHP primeniti za zahtevane proizvodne uslove? (uljnu emulziju, čisto ulje za rezanje ili sintetičko sredstvo) kao i način njegove primene (protok, koncentracija, itd.). Nakon laboratorijskih istraživanja i utvrđivanja triboloških karakteristika kao i izvođenja detaljne analize o ekonomskom efektu prelazi se na eksplataciona istraživanja u proizvodnim uslovima.

U daljem radu izbor optimalnog SHP se vrši sa tribološkog i ekonomskog aspekta jer su ostali kriterijumi navedeni velikim delom zadovoljeni.

REZULTATI ISPITIVANJA I IZBOR OPTIMALNOG SHP SA TRIBOLOŠKOG ASPEKTA

Izbor optimalnog SHP sa tribološkog aspekta zahteva određivanje triboloških karakteristika svih SHP koja bi mogla da se primene u određenom slučaju. Ispitivanjem se utvrđuje u koliko meri svako od ispitivanih SHP utiče na intenzitet razvoja triboloških procesa. U Laboratoriji za obradu metala i tribologiju Mašinskog fakulteta u Kragujevcu razvijena je metoda praćenja razvoja triboloških procesa na reznim elementima alata, koja se zasniva na utvrđivanju otpornosti alata na habanje u funkciji stepena pohabanosti reznih elemenata. Poznajući funkcionalnu zavisnost između otpornosti na habanje i pohabanosti reznih elemenata alata moguće je izračunati odgovarajuću postojanost alata za određeni kriterijum zatupljenja.

Otpornost na habanje definiše se izrazom:

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

Funkcionalna veza $R=f(h)$ dobija se praćenjem širine pojasa habanja na lednoj površini reznog klina (Δh) posle određenih vremenskih perioda rezanja (ΔT). U principu, dovoljno je odrediti po tri tačke funkcije $R=f(h)$ u prvom (inicijalnom) i drugom periodu (stabilisanom) habanja.

Postojanost se izračunava prema izrazu:

$$T = \int_{0}^{h_0} R_1(h) dh + \int_{h_0}^{h_k} R_2(h) dh \quad (2)$$

Praćenje razvoja širine pojasa habanja na lednoj površini reznog klina vrši se radioaktivnim putem. Deo mase ispod ledne površine reznog klina i to one koja neposredno učestvuje u kontaktu sa obrađivanim materijalom u toku obrade, ozračuje se teškim česticama. Proizvodi habanja, koji odlaze sa ledne površine usled triboloških procesa, odnose se sa sobom deo radioaktivnih čestica ozračene mase, čime se radioaktivnost alata smanjuje. Posle relativno kratkih perioda rezanja (oko 0,5 — 1 min) merenjem radioaktivnosti može se odrediti promena širine pojasa habanja. Zahvaljujući velikoj osetljivosti navedene metode moguće je pod istim uslovima uporediti veći broj različitih SHP i izabrati ono koje ima najbolje tribološke karakteristike.

Izbor optimalnog SHP sa tribološkog aspekta je izvršen za sledeće uslove pod kojima je izveden i eksperimentalni program:

a) Mašina

Ispitivanje je obavljeno na univerzalnom strugu VDF velike krutosti, pogonske snage 10 kW.

b) Rezni alat

Kao rezni alat primenjena je izmenljiva pločica od tvrdog metala ISO oznake SPUN 120312 proizvod firme Coromant kvaliteta GC 1025 (P25) sa jednostrucom prevlakom od TiC debljine sloja od 0,08 mm.

c) Obradivani materijal

Materijal na kome je vršeno struganje pri određivanju triboloških karakteristika SHP je čelik Č.1730 u poboljšanom stanju, tvrdoće 250 HB. Zbog uticaja primesa u čeliku Č.1730, kinetika transformacije austenita u fazi kaljenja pomera se ka kraćim i dužim vremenima, tako da se zakaljivost ovog čelika menja u jako širokim granicama, što je posledica vrlo različitih strukturnih komponenti dobivenih pri kaljenju. Kod popuštanja na željenu tvrdoću onih šarži kod kojih se kao produkt transformacije austenita pri kaljenju dobiva heterogena struktura, dobivena tvrdoća je rezultat integralnih vrednosti tvrdoća pojedinih strukturnih komponenti. Ovakva heterogena tvrdoća, zajedno sa različitom obradljivošću pojedinih strukturnih komponenti, daje vrlo loše rezultate obradivosti čelika Č.1730 na makro planu, te se zbog navedenog ovaj čelik može uzeti kao predstavnik jedne grupe čelika.

d) Sredstva za hlađenje i podmazivanje

Kod izvođenja eksperimentalnog programa korišćena su tri polusintetička emulgirajuća ulja proizvodnje FAM — Fabrike maziva iz Kruševca, sa karakteristikama prikazanim u tabeli 1.

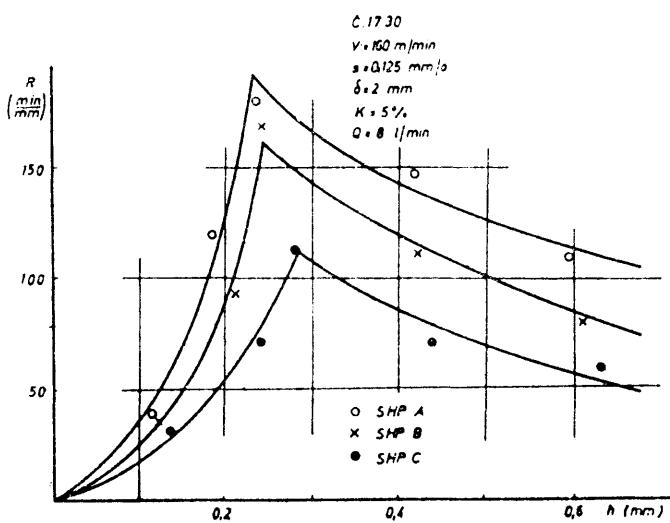
TABELA 1.

Fizičko hemijske karakteristike

	SHP A	SHP B	SHP C
Relativna gустина na 293 K	0,955	0,998	0,990
Neutralizacioni broj mg KOH/g	7,9	10,6	6,7
pH 5% emulzije	9,83	9,45	9,95
Korozija 3% emulzije po DIN 51360	0/0	0/0	0/0
Izgled 5% emulzije	semi transparentna	transparentna	transparentna

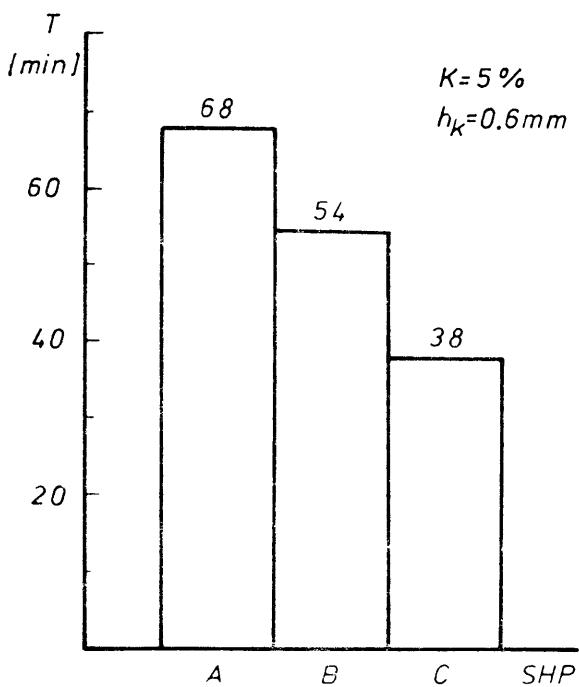
Neophodno je napomenuti da je SHP A jače aditivirano u odnosu na SHP B i SHP C, dok je SHP C nešto blaže aditivirano u poređenju sa SHP B.

Izvođenjem eksperimentalnog programa i obradom rezultata pri ispitivanju triboloških karakteristika tri vrste SHP dobijene su zavisnosti otpornosti na habanje prikazane na slici 1. Parametri režima obrade, koncentracija i protok SHP su prikazani na navedenoj slici.



Sl. 1. — Otpornost na habanje u funkciji pohabanosti pri obradi struganjem

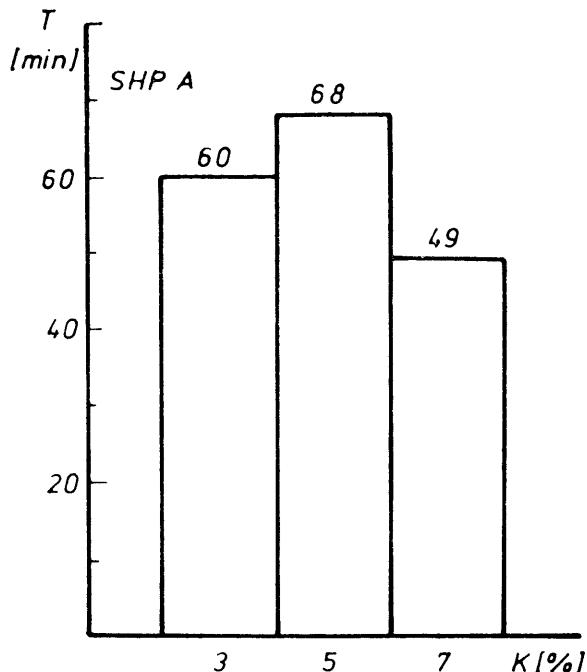
Na osnovu jednačine (2) i rezultata sa slike 1. dobijene su vrednosti postojanosti alata prikazane na slici 2. do postizanja kritičnog pojasa habanja od 0,6 mm po leđnoj površini.



Sl. 2. — Postojanost alata za ispitivanja SHP

Koncentracija od 5% nije slučajno izabrana već je to optimalna koncentracija za sva tri SHP. Ona je prethodno eksperimentalno odredena sa parametrima režima obrade datim na slici 1.

Kao primer na slici 3. se navode rezultati ispitivanja uticaja koncentracije na postojanost alata pri korišćenju SHP A.



Sl. 3. — Postojanost alata u funkciji koncentracije

Na osnovu Tajlorovog izraza za brzinu rezanja može se napisati:

$$v = \frac{K_{SHP} c}{T_c^m} = \frac{K_{SHP} i}{T_i} \quad (3)$$

Ako se uzme da je korekcioni faktor koji uzima u obzir uticaj kvaliteta sredstva za hlađenje i podmazivanje za SHP C $K_{SHP} C = 1$ dobija se da je $K_{SHP} B = 1,17$ i $K_{SHP} A = 1,29$.

Indeks kvaliteta nekog SHP se uslovno može odrediti iz izraza:

$$I_{Ki} = \frac{K_{SHP} i}{K_{SHP} C} \cdot 100 \quad (4)$$

Ako se SHP C uzme kao etalon dobijaju se indeksi kvaliteta:

$$\begin{aligned} I_{KA} &= 129 \\ I_{KB} &= 117 \\ I_{KC} &= 100 \end{aligned}$$

Sa tribološkog aspekta kao optimalno, tj. najkvalitetnije SHP primenilo bi se za napred navedene uslove SHP A.

IZBOR OPTIMALNOG SHP SA EKONOMSKOG ASPEKTA

Interesantan slučaj kod izbora optimalnog SHP je analiza zavisnosti između kvaliteta i vrednosti SHP. Zbog toga je uslovno definisan indeks vrednosti jednog litra SHP preko izraza:

$$I_{Ci} = \frac{C_i}{C_C} \cdot 100 \quad (5)$$

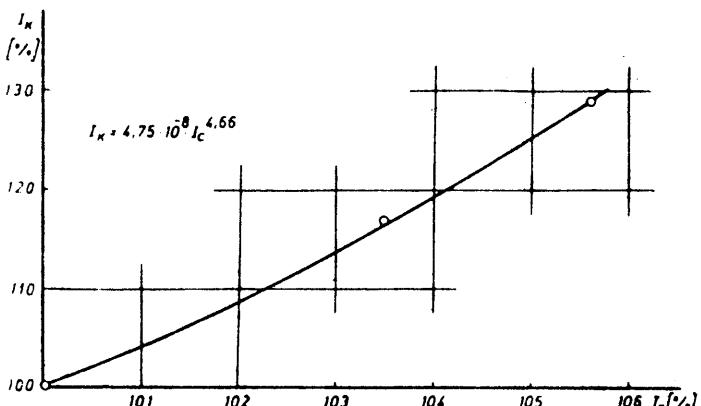
gde je:

C_C — vrednost jednog litra SHP C (etalona), din.
 C_i — vrednost jednog litra SHP za koje se određuje indeks vrednosti, din.

Na osnovu jednačine (5) za pojedina SHP indeksi vrednosti su:

$$\begin{aligned} I_{CA} &= 105,6 \\ I_{CB} &= 103,5 \\ I_{CC} &= 100 \end{aligned}$$

Pomoću izračunatih rezultata za indeks kvaliteta i indeks vrednosti prikazana je na slici 4 funkcionalna zavisnost za ispitivanja SHP.

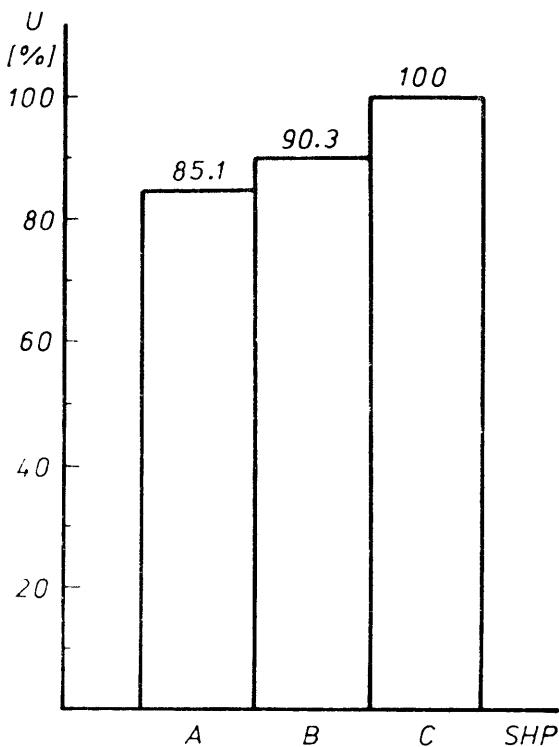


Sl. 4. — Veza između indeksa kvaliteta i indeksa vrednosti SHP

Sa slike 4. se vidi da kod ispitivanih SHP porast vrednosti prati porast kvaliteta.

Da bi se dobila prava predstava o uticaju svakog od ispitivanih SHP na ekonomičnost izvođenja proizvodne operacije i izvršio optimalni izbor SHP, izvršen je proračun vrednosti obrade. Podaci za proračun uzeti su iz proizvodnih uslova za prosečnu operaciju struganja.

Izračunavanjem vrednosti rada, troškova mašine, troškova alata i troškova SHP dobijene su vrednosti obrade (U) prikazane na slici 5. za sva tri SHP.



Sl. 5. — Vrednost obrade u funkciji primjenjenog SHP

Sa ekonomskog aspekta optimalno SHP je ono čijom se primenom ostvaruje najniža vrednost obrade, u analiziranom slučaju to je SHP A.

ZAKLJUČAK

Tendencija povećanja produktivnosti u metaloprerađivačkoj industriji na svakom proizvodnom radnom mestu kao i povećanje dohotka zahtevaju minimiziranje vrednosti obrade. S obzirom da na komponente strukture vrednosti obrade veoma bitno utiče vrsta i kvalitet primjenjenog SHP, opravdane su težnje za kompleksnom analizom problema njegovog optimalnog izbora.

Kako je pokazano u navedenom primeru na operaciji predstavniku, istraživanjem se može odrediti optimalno SHP sa tribološkog aspekta. Rezultati ukazuju da iako se radi o SHP koja pripadaju istoj vrsti, među njima kod primene u određenim uslovima (materijal, alat, režim obrade, itd.) postoje bitne razlike sa tribološkog aspekta.

Primenom najkvalitetnijeg SHP (SHP A) ostvaruje se najmanja vrednost obrade što i uslovjava njegov izbor kao optimalnog.

Takođe se nameće i zaključak da na vrednost obrade odlučujući uticaj ima kvalitet SHP, dok je njegova cena koštanja od manjeg značaja.

LITERATURA

1. B. IVKOVIĆ, »Produktivnost i ekonomičnost u funkciji triboloških procesa«, Tribologija u industriji (4), 3 (1979).
2. Z. PALUNČIĆ, »Uticaj sredstva za hlađenje i podmazivanje na vrednost obrade«, Tribologija u industriji (2), 22 (1980).
3. B. JEREMIĆ, »Tribološke karakteristike SHP pri obradi bušenjem«, Obrada metala i tribologija (10), 15 (1978).
4. B. JEREMIĆ, »Optimum concentration of mineral oil in cutting fluid«, Second International Conference, IIT Research Institute, Chicago, 1979.