

GODINA I
BROJ 4
DECEMBAR 1979.

tribologija u industriji

sadržaj contents содержание

UVODNIK INTRODUCTION ПЕРЕДОВИЦА

ISTRAŽIVANJA RESEARCH ИССЛЕДОВАНИЯ

B. IVKOVIĆ: Produktivnost i ekonomičnost u funkciji triboloških procesa — Productivity and Economy as the Function of Tribological Processes — Продуктивность и экономичность в функции трибологических процессов 3

R. MITROVIĆ, G. ŽIVKOVIĆ, D. NEŠIĆ: Tribološke pojave na domaćim alatima za hladno valjanje ozubljenih elemenata — Tribological Phenomenon on Local Manufactured Tools for Cold Rolling of Serrated Elements — Трибологические явления на инструменах отечественного производства для холодной накатки зубчатых деталей 4

M. MILOŠEVIĆ: Ispitivanja uticaja pojedinih faktora na razvoj habanja alata za provlačenje i određivanje optimalnih uslova obrade pri provlačenju — Investigation of Influence of Individual Factors to Wearing Process Development of Broaching Tools and Establishing of Optimum Broaching Conditions — Испытание влияния отдельных факторов на различные процессы износа протяжек и определение оптимальных условий обработки при протяжке 8

D. MIHAILOVIĆ: Tribološki procesi kod kliznog ležišta — Tribological Processes on Sliding Bearings — Трибологические процессы у скользящих подшипников 17

V. IVUŠIĆ: Utjecaj strukturnog stanja legiranog bijelog lijeva na lomnu žilavost i otpornost abraziji — Effect of the Microstructure of an Abrasion Resistant cast iron on its Fracture and Abrasion Resistance — Влияние структурного состояния легированного белого чугуна на ударную вязкость и абразивную стойкость 23

KNJIGE I ČASOPISI BOOKS AND JOURNALS КНИГИ И ЖУРНАЛЫ

NAUČNI SKUPOVNI SCIENTIFIC MEETINGS НАУЧНЫЕ СОБРАНИЯ

REZIMEA ABSTRAKTS РЕЗЮМЕ

3

4

8

17

23

28

30

31

Produktivnost i ekonomičnost u funkciji triboloških procesa

Stvaranje materijalne proizvodnje u osnovnim organizacijama udruženog rada proizvodnog karaktera praćeno je pojavom čitavog niza troškova među kojima troškovi koji nastaju kao posledica trošenja sredstava rada zauzimaju istaknuto mesto.

Pod sredstvima rada u metalopreträđivačkoj industriji podrazumevaju se, u užem smislu, proizvodna oprema, pribori i alati sa kojima se vrši prerada materijala u polufabrikate ili gotove proizvode. Pod sredstvima rada u širem smislu podrazumeva se i druga oprema sa kojom se ne vrši direktna prerada materijala ali se obavlja čitav niz drugih poslova indirektnog karaktera kojima se stvara uslov za stvaranje materijalne proizvodnje na tzv. proizvodnim radnim mestima.

U toku obavljanja svojih funkcija sredstva rada se troše, a osnovni uzrok pojavi trošenja je postojanje i razvoj triboloških procesa na kontaktним površinama velikog broja elemenata sadržanih u sredstvima rada. Broj kontaktnih parova na proizvodnoj mašini srednje složenosti kreće se i do 2.000.

Tribološki procesi javljaju se, pre svega, na svim elementima u pokretu na kontaktним površinama i to pod svim uslovima (opterećenja, temperature, brzine i sl.). Međutim, intenzitet razvoja ovih procesa zavisi veoma mnogo od uslova pod kojima se kontakt ostvaruje. Veće brzine relativnog kretanja parova u dodiru uslovljavaju, po pravilu, intenzivniji razvoj triboloških procesa, odnosno intenzivnije habanje elemenata po kontaktnim površinama što doprinosi bržem trošenju sredstava rada (mašine, alati, pribori). U istom pravcu deluje i povećanje opterećenja u zoni kontakta, povećane temperature i sl.

Do pojave većih relativnih brzina i većih opterećenja u zoni kontakta na svim elementima sredstava rada dolazi u slučajevima kada proizvodna oprema alati i pribori rade sa povećanim intenzitetom i povećanim opterećenjem. Na primer, ako se vrši obrada na strugu primenom većih brzina rezanja, većih dubina rezanja i većih brzina pomoćnog kretanja, onda se javljaju i veća opterećenja i veće relativne brzine na kontaktnim površinama između materijala predmeta obrade i rez-

nih elemenata alata, na kontaktnim površinama u kotrljajućim i kliznim ležištima, na kontaktnim površinama zupčastih prenosnika itd. Intenzivniji razvoj triboloških procesa na svim ovim kontaktnim površinama izaziva pojavu intenzivnijeg habanja odgovarajućih elemenata tako da dolazi brže do trošenja mašine i alata i do njihovog bržeg izlaska iz stanja funkcionalne upotrebe. Sa druge strane, međutim, primenom većih brzina rezanja, većih dubina rezanja i većih brzina pomoćnih rezanja količina prerađenog materijala se povećava, što znači da je produktivnost rada u ovim slučajevima veća.

Iz svega ovog se može zaključiti da pri radu sa velikom produktivnošću dolazi do bržeg trošenja proizvodnih mašina, alata i pribora, što je posledica intenzivnijeg razvoja triboloških procesa na ključnim elementima sredstava rada.

Obim proizvodnje u osnovnim organizacijama udruženog rada ograničen je po pravilu, godišnjim planom proizvodnje koji je sačinjen, pored ostalog i na osnovu raspoloživih proizvodnih kapaciteta. Godišnja amortizacija proizvodne mašine deli se na sve proizvode koji su u toku godine na njoj proizvedeni i predstavlja konstantnu vrednost za određeni obim proizvodnje bez obzira da li je proizvodnja ostvarena sa većom ili manjom produktivnošću. Međutim, troškovi održavanja proizvodne opreme biće u tekućoj i narednoj godini veći ukoliko se proces proizvodnje ostvaruje sa većom produktivnošću (većim brzinama rezanja, većim opterećenjima i sl.) jer proces habanja ključnih elemenata mašina teče brže.

Veća produktivnost procesa prerade materijala uslovljava takođe intenzivnije trošenje reznih alata jer se tribološki procesi i habanje ubrzano razvijaju pri radu sa većim brzinama rezanja i većim opterećenjem. Troškovi alata, dakle, sa porastom produktivnosti rastu i to kao posledica porasta intenziteta razvoja triboloških procesa na kontaktnim površinama između alata i predmeta obrade.

Vrednost rada proizvodnih radnika po jedinici proizvoda (iznos bruto ličnog dohotka), međutim, opada sa porastom produktivnosti rada, jer zbog većih brzina prerade materijala na pro-

izvodnim mašinama rad radnika koji upravlja procesom proizvodnje zahteva utrošak manjeg vremena.

Ostvarivanje godišnjeg plana proizvodnje u osnovnim organizacijama udruženog rada sa većom produktivnošću na proizvodnim radnim mestima izaziva kao posledicu povećanje trošenja alata i proizvodne opreme a smanjuje učešće bruto ličnih dohotaka proizvodnih radnika u vrednosti ostvarene proizvodnje. Očigledno je da pri projektovanju uslova obrade sa tendencijom povećanja produktivnosti prerade materijala mora biti uzet u obzir i ekonomski aspekt proizvodnje kako ne bismo došli u situaciju da proizvodimo sa većom produktivnošću i većim troškovima poslovanja.

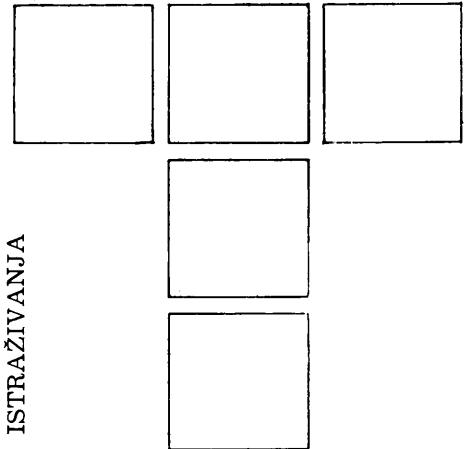
Da bi se razvila proizvodnja sa većom produktivnošću na poslovima prerade materijala (proizvodni rad) neophodno je razviti delatnost u pravcu usporavanja triboloških procesa na sredstvima rada (proizvodne mašine, alati, pribori) kroz izbor optimalnih uslova prerade materijala izbor optimalnih sredstava za hlađenje i podmazivanje, izbor optimalnih režima podmazivanja, definisanje tehnologije održavanja sredstava rada i sl.

Projektovanje optimalnih uslova prerade materijala na proizvodnim radnim mestima zahteva upoznavanje triboloških procesa na kontaktnim površinama ključnih elemenata sredstava rada i to upoznavanje njihove prirode, zakonomernosti njihovog razvoja u funkciji uslova pod kojima se kontakti ostvaruju i oblika i mehanizma posledica (habanje) koje se javljaju na sredstvima rada zbog njihovog postojanja.

Projektovanje optimalnih uslova prerade materijala zahteva i poznavanje triboloških karakteristika materijala predmeta u kontaktu, na primer, triboloških karakteristika materijala alata pri obradi različitih materijala predmeta obrade i pri rezanju u različitim uslovima. Takođe je neophodno poznavati tribološke karakteristike sredstava za hlađenje i podmazivanje koja su uvek prisutna u zoni kontakta jer tzv. suvog kontakta u praksi skoro da nema.

Projektovanje optimalnih uslova prerade materijala sa gledišta produktivnosti i ekonomičnosti zahteva, dakle, poznavanje čitavog niza podataka tribološke prirode do kojeg se može doći samo razvojem istraživanja u oblasti triboloških procesa i to u laboratorijskim i proizvodnim uslovima.

Povećanje produktivnosti i ekonomičnosti u industriji prerade metala nije moguće izvesti bez poznavanja triboloških procesa koji se javljaju na sredstvima rada u toku ostvarivanja proizvodnje, a osnovni uslov za poznavanje tribološke problematike u celini je intenzivan razvoj istraživanja u oblasti tribologije. Broj i obim istraživačkih programa u narednom petogodišnjem periodu mora biti, iz ove oblasti, znatno veći nego u prethodnom periodu da bi se ostvarili osnovni društveni ciljevi koji se odnose na stabilizaciju privrednog sistema, povećanje produktivnosti i dohotka privrede i društva u celini.



R. MITROVIĆ, G. ŽIVKOVIĆ, D. NEŠIĆ

Tribološke pojave na domaćim alatima za hladno valjanje ozubljenih elemenata*

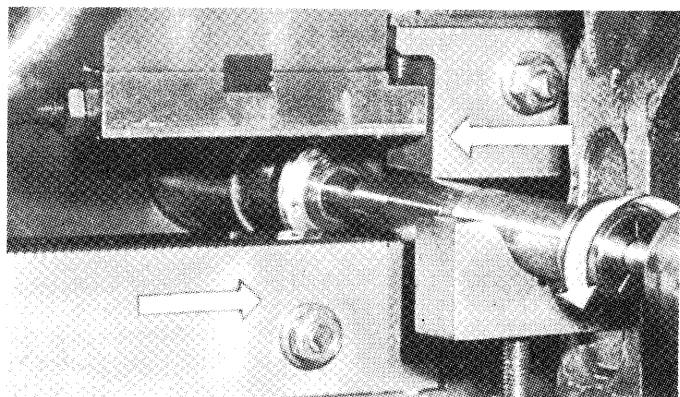
UVOD

Visokoproduktivne alate za hladno valjanje ozubljenih elemenata, kod nas poznate kao letve za »ROTO-FLO« postupak, najčešće koriste proizvođači putničkih vozila u proizvodnim jedinicama mehaničke obrade.

Ovi skupi alati do ove godine nabavljeni su isključivo u inostranstvu, pri čemu su trošena znatna devizna sredstva.

OOUR »Alatnica« Zavod »Crvena zastava« iz Kragujevca, koja spada među veće jugoslovenske proizvođače specijalnih alata, odlučila je da, sopstvenim snagama i uz pomoć Laboratorije za obradu metala i tribologiju Mašinskog fakulteta iz Kragujevca, razvija i proizvodi ovaj specijalni alat. Probni uzorci su dali izuzetno dobre rezultate. Naime, kvalitet domaćih alata za hladno valjanje ozubljenih elemenata, sa gledišta tačnosti i postojanosti, dostigao je nivo uvozne.

Cilj ovog rada je da bliže upozna stručnu javnost o metodologiji hladnog valjanja ozubljenih elemenata, da prikaže opravданost uvođenja ove vrste obrade u odnosu na ozubljenje postupkom odvalnog glodanja i da bliže rasvetli tribološke pojave na ozubljenim elementima alata.



OSNOVNI PRINCIP HLADNOG VALJANJA OZUBLJENIH ELEMENATA

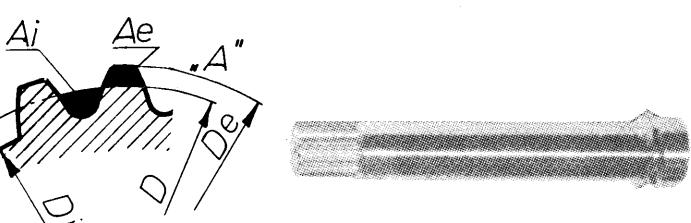
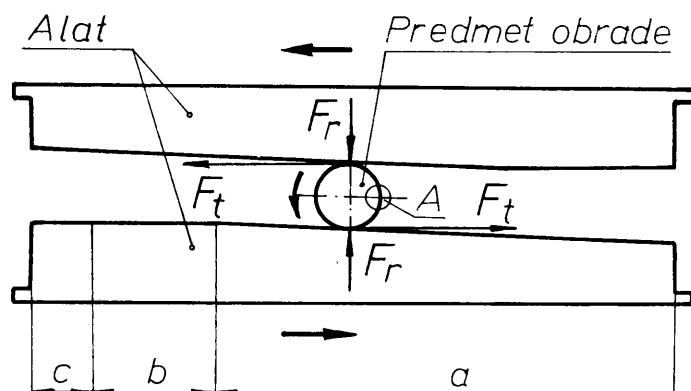
Operacija hladnog valjanja ozubljenih elemenata zasniva se na principu relativnog kotrljanja između zupčastih letvi (alata) i zupčanika (predmeta obrade).

Pod dejstvom radikalnih komponenti otpora F_r , koji deluju na predmet obrade, dolazi do postepenog utiskivanja zuba alata u materijal predmeta obrade. Pri tome se materijal plastično deformeše, tako da se od polaznog prečnika predmeta obrade D' formiraju zupci evolventnog profila stemenim i podnožnim prečnicima D_e i D_i (sl. 1).

Teorijski posmatrano, iz jednakosti površina A_i i A_e moguće je doći do približnog polaznog prečnika materijala predmeta obrade D_t .

$$D_t = \sqrt{F} [G (A^{3/2} - B^{3/2}) + \frac{\pi}{2} (\frac{\pi}{2} - A^{1/2} + C) + \\ + D_i^2 (B^{1/2} - E - \frac{T}{m \cdot z} - \text{inv } \alpha_t) - \\ - 3G (A^{1/2} - C - B - E)]^{1/2}$$

gde su: A , B , C , E , F i G funkcionalne zavisnosti od temenog i podnožnog prečnika D_e i D_i , modula m , broja zubaca ozubljenog elementa Z , ugla dodirnice α_t i veličine lučnog koraka na podeonu krugu T .



Sl. 1. — Shematski prikaz ozubljenja

S obzirom da je u zoni deformisanja materijal predmeta obrade nehomogen, to je i $A_i \neq A_e$, što dovodi do neophodnog uvođenja popravnog faktora K , koji u najvećoj meri zavisi od elastično-plastičnih karakteristika materijala. Konačno se dolazi do stvarnog polaznog prečnika predmeta obrade.

$$D' = K \cdot D_t$$

Veličina popravnog faktora K iznosi približno 0,35% od veličine prečnika D_t za obradu čelika namenjenih cemen-

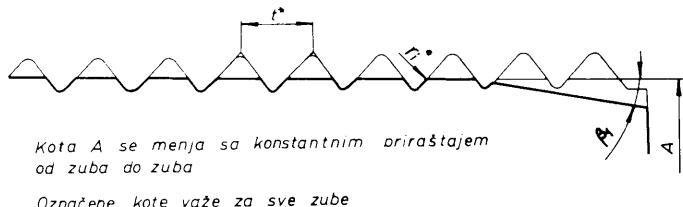
* Rad predstavlja deo rezultata istraživanja na naučno-istraživačkom projektu »Razvoj i usavršavanje reznih, preserskih i drugih specijalnih alata«, koji je finansirala OOUR »ALATNICA« ZCZ iz Kragujevca i OZ Nauke regiona Smederevske i Pomoravljane.

taciji i poboljšanju. Do faktora K se dolazi eksperimentalnim putem.

Zupčaste letve rade u garnituri od dva identična alata postavljena na radne klizače mašine, koji izvode sinhronizovano suprotosmerno glavno pravolinjsko kretanje. Relativno kotrljanje predmeta obrade po ozubljenim letvama izazivaju komponentni otpori F_t , koji su kolinearni sa vektorom brzine glavnog kretanja alata.

Operacija hladnog valjanja ozubljenih elemenata se izvodi uz obilno dovodenje sredstva za hlađenje i podmazivanje.

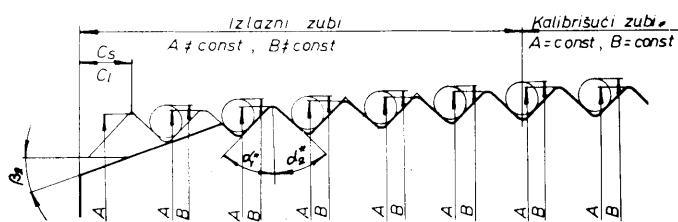
Formiranje zuba u materijalu predmeta obrade se obavlja postepeno usled konstantnog priraštaja visine zuba na ulaznim delovima alata (sl. 2). Bokovi zuba alata su pravolinijski.



Sl. 2. — Ulazni deo alata

Na letvama se razlikuju tri karakteristična dela:

a—ulazni, b—kalibrišući i c—izlazni. Konstantan priraštaj visine od korena prema vrhu zuba na ulaznim delovima alata, obezbeđuje se ravnim brušenjem pod odgovarajućim uglom β_1 pre formiranja zuba alata. Kalibrišući i izlazni delovi alata sadrže manji broj zuba (sl. 3). Kalibrišući zubi se po obliku i veličini međusobno ne razlikuju i služe za fino oblikovanje, dok su zubi na izlaznim delovima sa manjim temenim visinama, čime se obezbeđuje postepen izlazak predmeta obrade iz zahvata, odnosno postepeno rasprezanje sa alatom.



Sl. 3. — Kalibrišući i izlazni deo alata

OPRAVDANOST UVODENJA POSTUPKA HLADNOG VALJANJA OZUBLJENIH ELEMENATA U ODNOSU NA POSTUPAK ODVALNOG GLODANJA

Optimizacija proizvodnog procesa se ogleda u maksimalno mogućoj produkciji kvalitetnog proizvoda, uz minimalna ulaganja. U konkretnom slučaju, ozubljenja krajeva poluosovina teretnih i putničkih vozila moguće je izvoditi postupkom odvalnog glodanja i postupkom hladnog valjanja.

Kada se radi o malim serijama i većim modulima ozubljenih elemenata ($m > 1,5$ mm, što je tipičan primer kod preizvodnje teretnih vozila), ozubljenje se isključivo izvodi metodom odvalnog glodanja. Razlozi su u primeni univerzalnije opreme, gde se odvalne glodalice koriste i za druga ozubljenja.

Međutim, kada se radi o velikoserijskoj i masovnoj proizvodnji putničkih vozila, operacija odvalnog glodanja postaje izuzetno skupá u odnosu na operaciju hladnog valjanja. Pouzdano se zna da se operacija hladnog valjanja ozubljenih krajeva poluosovina svih vrsta zastavnih vozila svodi na cca 3 sekunde po komadu. Kod obrade odvalnim glodanjem ovo vreme iznosi i više od 3 minute. S druge strane, hladnim valjanjem se postiže visok kvalitet obradene površi i visok stepen tačnosti oblika i dimenzija. Daje, ovim postupkom ne dolazi do presecanja strukturalnih

vlakana na boku i u korenu zupca, što je posebno bitno za povećanje dinamičke izdržljivosti ozubljenih elemenata.

Sa ovakvim činjenicama lako se izvodi tehnico-ekonomска analiza u cilju sagledavanja opravdanosti primene postupka hladnog valjanja. Kao najbitniji pokazatelji koriste se vrednosti obrade jednog i drugog postupka. Polazeći od činjenice da proizvodna radna mesta sadrže tri osnovna elementa:

- M — proizvodnu mašinu, opremljenu specijalnim priborom,
- A — alat, sa kojim se izvodi obrada materijala i
- R — proizvodnog radnika, koji upravlja procesom obrade,

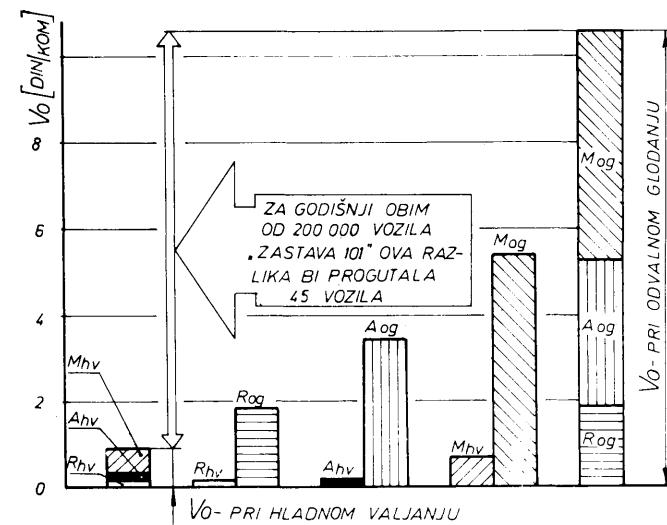
i koristeći već poznate modele za proračun vrednosti obrade (razvijene u LOMT-u Mašinskog fakulteta u Kragujevcu), dolazi se do elemenata strukturne vrednosti obrade za obe proizvodne operacije ozubljenja u uslovima rada OOUR-a »Mehanička obrada« ZCZ.

Dobijeni rezultati prikazani su u tabeli 1.

TABELA 1.

| OZNAKA ELEMEN-TA | ODVALNO GLODANJE OG | | HLADNO VALJANJE HV | | ODNOS OG/HV |
|------------------|---------------------|-------|--------------------|-------|-------------|
| | din/kom. | % | din/kom. | % | |
| R | 1,8 | 16,98 | 0,12 | 13,79 | 15,00 |
| A | 3,4 | 32,08 | 0,14 | 16,09 | 24,28 |
| M | 5,4 | 50,94 | 0,61 | 70,12 | 8,85 |
| V_0 | 10,6 | 100 | 0,87 | 100 | 12,18 |

Ako se dobijeni rezultati ilustruju u vidu histograma (na slici 4), dobija se vizuelno preglednija slika o opravdanosti primene operacije hladnog valjanja ozubljenih elemenata.



Sl. 4. — Pregled strukture vrednosti obrade

Sa gledišta vrednosti radne snage, alata i mašine, uvek je povoljnija operacija hladnog valjanja (HV).

Prema današnjim fabričkim cenama putničkog vozila »Zastava 101«, sa pretpostavljenim godišnjim obimom od 200 000 vozila (što je za veće svetske proizvođače zanemarljiv broj), nesmotreno uvođenje odvalnog glodanja umesto hladnog valjanja, značilo bi 45 vozila manje samo na ovoj operaciji.

Šta bi to značilo za ostale jugoslovenske proizvođače, moguće je relativno jednostavnim postupkom doći do zanimljivog i vrlo korisnog odgovora.

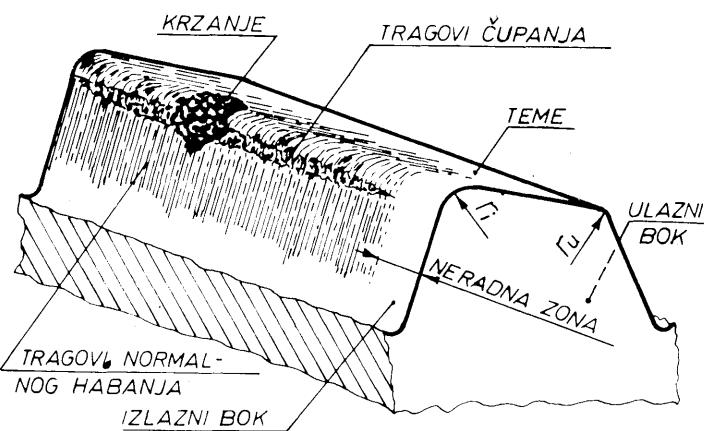
U navedenom primeru, dobijena vrednost obrade pri hladnom valjanju krajeva poluosovina je za 12,18 puta niža u odnosu na operaciju odvalnog glodanja.

TRIBOLOŠKE POJAVE NA KONTAKTNIM POVRŠINAMA ALATA SA PREDMETOM OBRADE

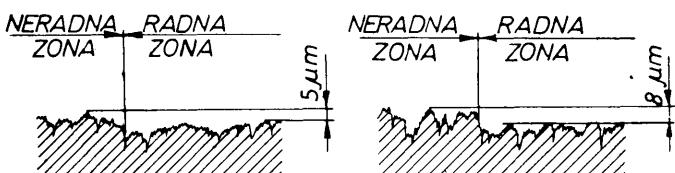
U procesu hladnog valjanja najveća opterećenja trpe zubi ulaznog dela, kod kojih je priraštaj visine od korena prema vrhu zuba konstantan. Kada se predmet obrade nađe u zoni kalibrišućih zuba, proces većeg deformisanja je već završen (priraštaj visina zuba više ne postoji), pa se praktično alat i predmet obrade sprežu pod približno istim uslovima sprezanja zupčanika i zupčaste letve, sa poveća- nijim opterećenjem.

Izlazni zubi su konstruktivno izvedeni tako da ne dozvoljavaju nagli silazak predmeta obrade sa alata, jer bi u protivnom usled elastične deformisanosti predmeta obrade u kalibrišućem području, došlo do pojave udarnog opterećenja, koje može negativno delovati na tačnost ozubljenja i pogonske elemente same mašine.

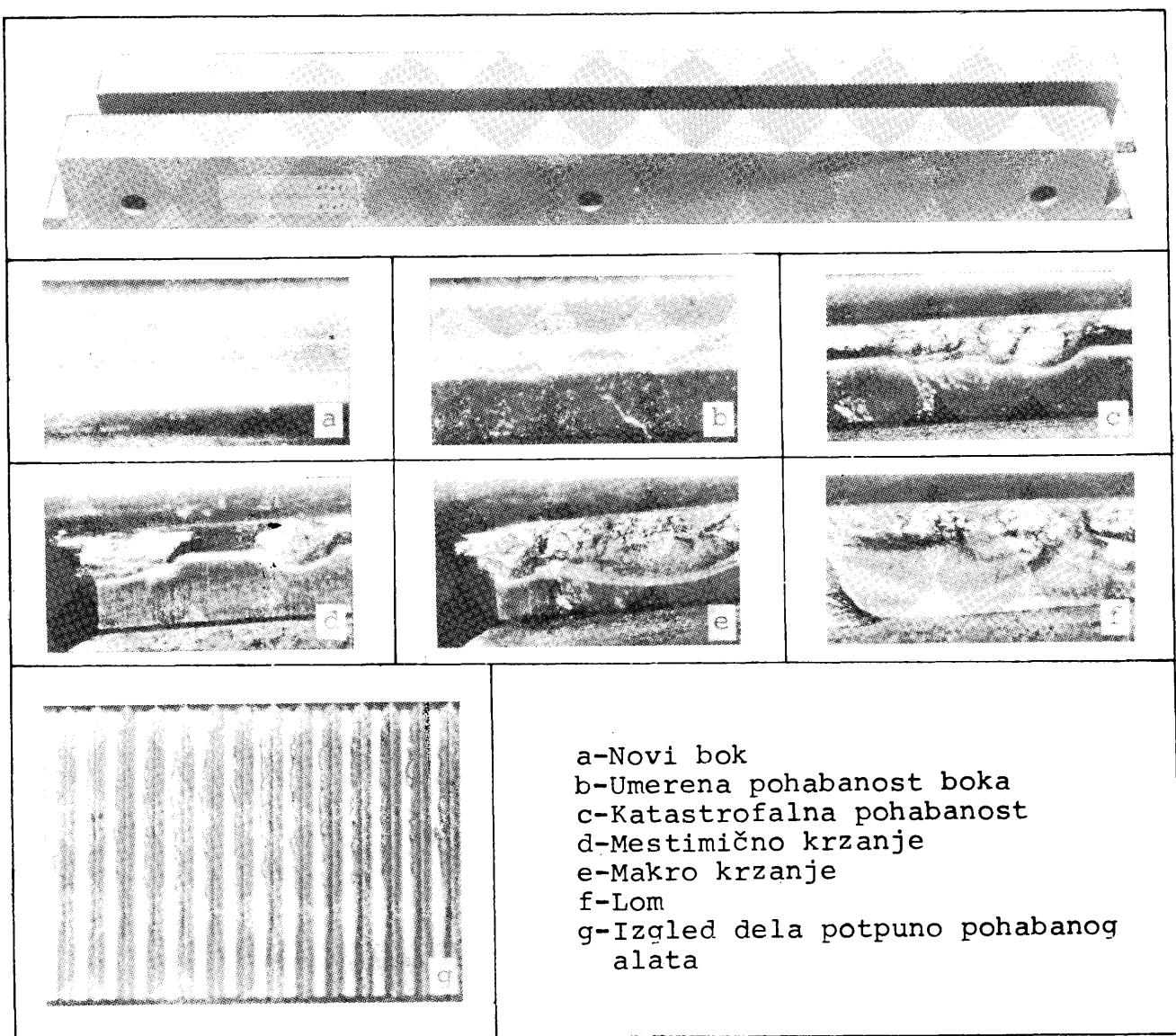
Posle eksploatacije zupčastih letvi, utvrđeno je da su tragovi pohabanosti na kalibrišućim i izlaznim zubima zanemarljivi u odnosu na tragove pohabanosti na ulaznim zubima. Karakterističan oblik pohabanog zuba na ulaznom području prikazan je na slici 5. Bok zuba koji prvi dolazi u kontakt sa materijalom predmeta obrade, predstavlja ulazni bok, dok se nasuprot njega nalazi izlazni bok. Ovi bokovi su povezani temenom površi preko prelaznih zaobljenja r_u i r_i . Pri konstrukciji i izradi zupčastih letvi posebna



Sl. 5. — Oblik pohabanog zuba ulaznog područja



Sl. 6. — Debljina pohabanog sloja na temenu ulaznog zuba



a-Novi bok
b-Umerena pohabanost boka
c-Katastrofalna pohabanost
d-Mestimično krzanje
e-Makro krzanje
f-Lom
g-Izgled dela potpuno pohabanog alata

Sl. 7. — Karakteristični oblici normalnog habanja i krzanja izlaznog boka zuba ulaznog područja alata

pažnja se poklanja veličini i tačnosti izrade zaobljenja od temena prema izlaznom boku r_1 , dok je zaobljenje r_2 znatno manje i od manjeg je značaja.

Na zubu alata se nalazi neradna zona (NZ) u veličini od 1–3 mm. U toku sprezanja sa predmetom obrade, u radnoj zoni dolazi do odnošenja čestica materijala alata, pri čemu se posle izvesnog perioda valjanja uočavaju tragovi normalnog habanja. U toku razvoja procesa habanja, razlike nivoa površi neradne i radne zone postaju sve veće. Ove razlike se identikuju mernom instrumentacijom za merenje hrapavosti i dostižu 5–8 μm posle uradenih 20 000 komada, odnosno posle 1 000 minuta hladnog valjanja Č.4732.

Rezultati merenja ekstremnih razlika temenih visina radne i neradne zone zuba na ulaznom području alata prikazani su na slici 6.

Sa povećanjem debljine pohabanog sloja na zubu alata dolazi do izlaženja predmeta obrade iz granica tolerancija, pa je neophodna korekcija međusobnog rastojanja zupčastih letvi.

Sa daljom eksploatacijom alata dolazi do pojave karakterističnog odnošenja i čupanja čestica materijala na izlaznom boku u području nastanka zaobljenja r_1 .

Površ na ovom mestu postaje izrazito hrapava i propraćena pojavom prskotina, koje se, uz prisustvo sredstava za hlađenje i podmazivanje, razvijaju u krzanje mestimično manjih i većih delića, ili pak čitavih zuba alata. Ovaj fenomen je već dobro poznat u literaturi.

Na slici 7. su prikazani karakteristična oblici habanja i makro krzanja izlaznih bokova zuba ulaznog područja alata za hladno valjanje.

U gornjem delu slike dat je izgled novog para alata za hladno valjanje proizvedenog u OOUR-u »Alatnica«.

Izgled izlaznog boka zuba alata, pre početka rada (novog zuba), prikazan je na slici 7a. Jasno se vide isključiva tragovi brušenja.

Na slici 7b dat je oblik habanja izlaznog boka zuba koji je još uvek u radnom stanju, sa zadovoljavajućom tačnošću reprodukcije na predmet obrade.

Na slici 7c prikazan je normalni oblik habanja zuba na kome je već nastupilo katastrofalno habanje sa zahvatanjem i malog dela temena.

Ovako pohabani zubi ne mogu davati željeni profil na predmetu obrade i uslovjavaju povećanje otpora deformisanja, tako da preti opasnost od krzanja većeg broja zuba.

Na nekim zubima gde je inicirana prskotina dolazi do pojave mikro ili makro krzanja, što ilustruju fotografije 7d, e, f. Mikro prskotine, čije veličine ne prelaze veličinu normalnog habanja, nisu od većeg značaja za kvalitet i tačnost profila predmeta obrade. Alat sa takvim oštećenjima može i dalje biti u eksploataciji u vremenu od 20% ukupne postojanosti. Međutim, makro krzanja i lomovi, koji zahvataju znatno veću masu zuba (tipični slučajevi pod 7e, f), dovode do pojave škarta na predmetu obrade i neminovine regeneracije alata.

Na fotografiji 7g dat je prikaz ulaznog dela alata sa vidnim oštećenjima zuba. U ovakvom stanju alat se šalje na regeneraciju. Na donjem delu iste fotografije uočavaju se tamniji krajevi zuba, koji se nalaze u neradnoj zoni i nemaju tragova oštećenja.

Pitanje kriterijuma potpune zatupljenosti ove vrste složenih alata definiše se na bazi tačnosti, kvaliteta obrade bokova zubaca predmeta obrade i zadovoljenja odgovarajućih granica tolerancija. Veličina koja definiše debljinu pohabanog sloja zuba alata (prema slici 6), ne može se uzeti kao kriterijum potpune zatupljenosti, jer se po izlasku predmeta obrade iz granica tolerancija vrši korekcija međusobnog rastojanja alata.

Slika 7. je pogodna za definisanje parametara pohabnosti i oštećenja zuba alata, ali uopšte nije od značaja ukoliko je predmet obrade u dozvoljenom tolerantnom polju.

Malo neuobičajena konstatacija u odnosu na rezne i druge alate kod kojih se za kriterijum pohabnosti uzima veličina pojasa habanja.

Specifičnost ovih alata je i u tome što su praktično na zubima uvek prisutne mikoprskotine. Regeneracija se izvodi tako da se najpre ravnim brušenjem uklanjaju svi zubi i skida defektni sloj, čija veličina prema iskustvenim procenama iznosi 0,05–0,1 mm. Potom se vrši formiranje novih zuba. Utvrđeno je da pri formiranju novih zuba, ukoliko se ne skida defektni sloj koji sadrži mikoprskotine, dolazi do njihovog krzanja još u fazi regeneracije. U tom slučaju je neophodno ponovno skidanje novoformiranih zuba.

Pored navedenih razloga pojave krzanja zuba alata u eksploataciji, češći je uzrok u nekontrolisanom ulazu materijala predmeta obrade u proces valjanja. Da bi se sa zadovoljavajućom tačnošću utvrdila postojanost ovih tehnički složenih i visokoproduktivnih alata, neophodna je stroga ulazna kontrola, kako mehaničkih svojstava, tako i strukture materijala predmeta obrade, što u našim uslovima proizvodnje još uvek nije sprovedeno.

ZAKLJUČAK

Rezultati početnih istraživanja nedvosmisleno ukazuju na opravdanost uvođenja operacije hladnog valjanja ozubljenih elemenata. Tendencija ka razvoju ekonomičnijeg postupka od obrade odvalnim glodanjem kod evolventnih ozubljenja manjih modula, čini ova istraživanja aktuelnim.

Na osnovu sopstvenih zapažanja, dolazi se do zaključka da je habanje zuba alata funkcija velikog broja faktora, od kojih se posebno ističu sledeći: geometrija zuba alata, kvalitet obradene površi zuba alata, broj izvedenih regeneracija, mehanička svojstva materijala alata i predmeta obrade, vrsta sredstava za hlađenje i podmazivanje, stanje mašine i dr. Ispitivanja uticaja navedenih parametara na postojanost i kvalitet ozubljenja su u toku, a deo rezultata će biti prezentirani stručnoj javnosti.

**DR RATKO MITROVIĆ, dipl. inž.
docent Mašinskog fakulteta u Kragujevcu**



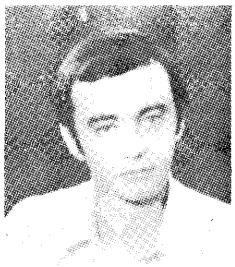
Rođen 1941. godine. Po završenom Mašinskom fakultetu radio je u Konstruktivno-razvojnoj službi ZCZ u Kragujevcu. Po prelasku na Mašinski fakultet od 1966. godine, pored nastavne dejavnosti, bavi se naučno-istraživačkim radom u oblasti obrade metala.

Bio je godinu dana na specijalizaciji u WZL RWTH — Aachen, SR Nemačka.

Ima 38 objavljenih radova na jugoslovenskom i internacionalnom nivou, vezanih za problematiku obrade metala i tribologiju.

Doktorirao je 1977. godine na Sveučilištu u Zagrebu na temi »Modelsko istraživanje procesa od valnog glodanja«.

**GRADIMIR ŽIVKOVIC, dipl. inž.
glavni konstruktor — tehnolog za razvoj alata za ozubljenje
u Službi razvoja OOUR-a »Alatnica« ZCZ u Kragujevcu**



Rođen 1951. godine. Mašinski fakultet završio je maja 1977. godine u Kragujevcu. Bavi se osvajanjem izrade rezogn alata.

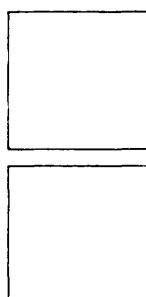
**DRAGIĆ NEŠIĆ, dipl. inž.
načelnik Službe razvoja OOUR-a »Alatnica« ZCZ u
Kragujevcu**



Rođen 1947. godine. Diplomirao je februara 1974. godine na Mašinskom fakultetu u Kragujevcu. Po završetku studija radio je na poslovima konstruktora preserskih alata u Industriji »Filip Kljajić« — Kragujevac.

U ZCZ je došao 1977. godine i pored ostalog radi na proširenju proizvodnog programa OOUR-a »Alatnica«.

M. MILOŠEVIĆ



Ispitivanje uticaja pojedinih faktora na razvoj procesa habanja alata za provlačenje i određivanje optimalnih uslova obrade pri provlačenju

UVOD

Razvoj industrije uslovjava sve veći obim proizvodnje. Zbog toga se sve više primjenjuju takvi tehnološki procesi obrade rezanjem, koji obezbeđuju visoku tačnost i veliku proizvodnost. Jedan od takvih proizvodnih procesa obrade rezanjem jeste provlačenje, kojim se postiže visoka tačnost mera, mala hrapavost obrađene površine i vrlo velika proizvodnost. Pri obradi spoljašnjih površina provlačenjem, proizvodnost je 5 — 10 puta veća nego pri obradi glodanjem, dok je pri obradi otvora provlačenjem proizvodnost 10 — 15 puta veća nego pri obradi klasičnim postupcima. Danas se provlačenje široko primjenjuje ne samo u masovnoj i velikoserijskoj proizvodnji, već i pri malim serijama. Provlačenje je odavno našlo široku primenu pri obradi unutrašnjih površina različitog oblika (cilindrični otvor, unutrašnje ozubljenje, otvor za ožljebljeno vratilo, fazonski otvor).

Zbog složenosti garniture alata za spoljašnje provlačenje, kao i složenosti pomoćnog pribora za fiksiranje predmeta obrade, prelaz na obradu otvorenih kontura provlačenjem bio je nešto sporiji. Spoljašnje provlačenje je u Evropi široko primjeno tek posle II svetskog rata.

Za obradu provlačenjem karakteristično je:

- vrlo visoka postojanost alata za provlačenje
- prosto rukovanje i niska kvalifikacija proizvodnog radnika, bez obzira na složenost oblika provučene površine.

Zbog relativno velikih troškova alata za provlačenje koji nastaju u slučaju male postojanosti alata potrebno je posvetiti veliku pažnju njihovoj optimalnoj eksploataciji.

VREDNOSTI OBRADE PROIZVODNIH OPERACIJA PROVLAČENJA

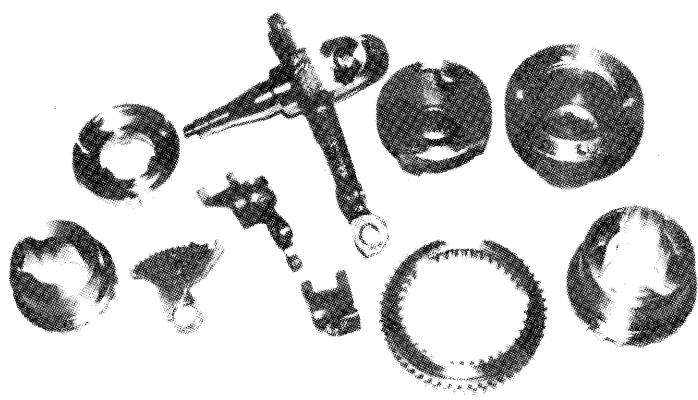
Vrednost obrade proizvodne operacije provlačenja sastoji se od troškova koji potiču od maštine (M), alata (A), ulja za hlađenje i podmazivanje (U) i vrednosti rada proizvodnog radnika (R).

U OOUR-u »Mehanička obrada«, Zavoda „Crvena zastava“ u Kragujevcu, utvrđene su vrednosti obrade 69 proizvodnih operacija koje se izvode na 16 maština za unutrašnje provlačenje i 6 maština za spoljašnje provlačenje.

Operacije provlačenja svrstane su u pet grupa:

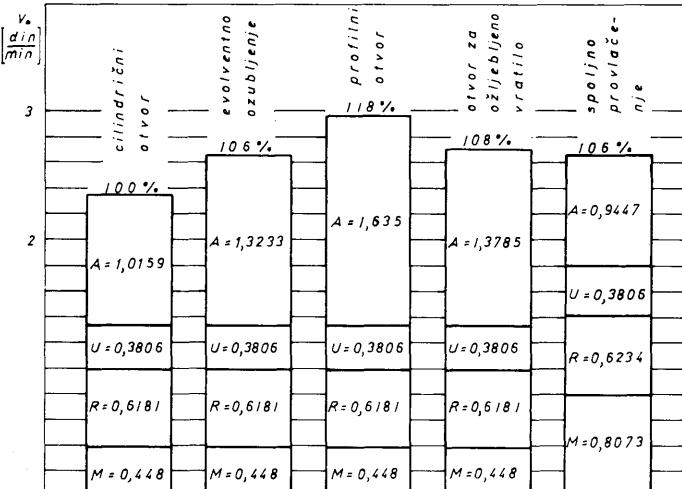
- provlačenje cilindričnog otvora
- provlačenje unutrašnjeg ozubljenja
- provlačenje otvora za ožljebljeno vratilo
- provlačenje profilnih otvora
- spoljašnje provlačenje

Na sl. 1. prikazano je više karakterističnih predmeta obrade obrađenih provlačenjem u OOUR-u »Mehanička obrada«.



Sl. 1. — Karakteristični predmeti obrade koji se obraduju unutrašnjim i spoljašnjim provlačenjem u OOUR-u »Mehanička obrada«

Za svaku grupu izračunate su srednje vrednosti pojedinih elemenata vrednosti obrade (sl. 2).



Sl. 2. — Vrednost obrade pojedinih grupa proizvodnih operacija provlačenja

Da bi se mogle porebiti pojedine proizvodne operacije provlačenja vrednosti obrade su svedene na 1 minut komadnog vremena.

Prema veličini programa proizvodnje vozila za 1979. godinu, a na osnovu srednjih vrednosti pojedinih elemenata vrednosti obrade, izračunate su ukupne vrednosti obrade svih operacija provlačenja (sl. 3).

Analizirajući dobijene rezultate, može se zaključiti da u ukupnim vrednostima obrade najveći udio imaju troš-

kovi koji potiču od alata, pa se njihovim smanjenjem može najviše uticati na vrednosti obrade proizvodnih operacija provlačenja. Zbog toga je vrlo značajno utvrditi optimalne uslove obrade, u kojima se ostvaruje maksimalna postojarost provlakača.

U više ispitivanih operacija provlačenja alati za provlačenje imaju veliku postojanost pa su troškovi alata mnogo manji od ostalih troškova obrade.

Vrednost rada proizvodnih radnika čine drugi po veličini ideo u vrednostima obrade operacija provlačenja. S obzirom da se provlačenje izvodi uobičajenim brzinama rezanja koje se kreću u intervalu 1 — 10 m/min (u OOUR-u »Mehanička obrada« najčešće 2 — 6 m/min), veliko je glavno vreme izrade. Ovo je naročito izraženo kod alata većih dužina koji imaju veći broj reznih elemenata. Pored glavnog vremena veliko je pomoćno i pripremno-završno vreme, pa se zbog velikog komadnog vremena dobija i velika vrednost rada proizvodnog radnika. Smanjenjem komadnog vremena tj. povećanjem proizvodnosti procesa provlačenja znatno bi se smanjila i vrednost obrade proizvodnih operacija provlačenja. Osnovni faktori za povećanje proizvodnosti procesa provlačenja jesu:

- povećanje brzine rezanja
- primena provlakača racionalnijih konstrukcija (sa grupnim shemama rezanja)
- smanjenje dužine radnog hoda i broja provlakača u garnituri što se postiže povećanjem porasta po reznom elementu
- primena pogodnijih sredstava za hlađenje i podmazivanje
- smanjenje nemašinskog vremena primenom brzodejstvujućih pribora za stezanje i automatskim dovodom predmeta obrade.

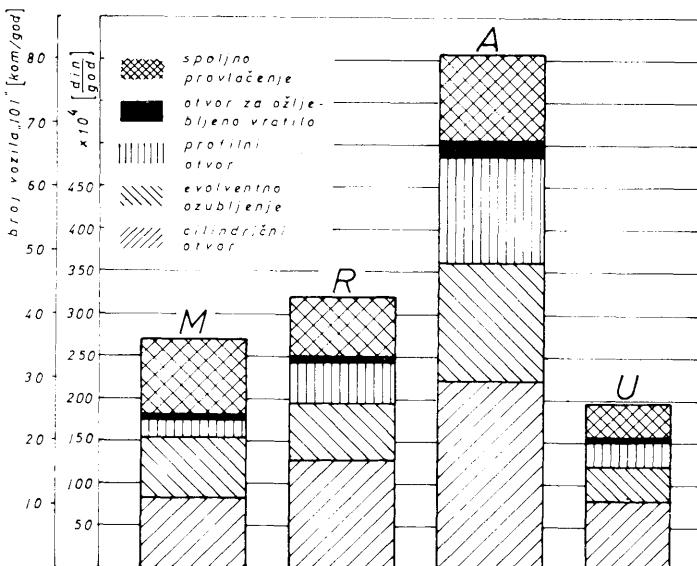
Prosečno vremensko iskorišćenje mašina za unutrašnje provlačenje je 14,12 čas., a mašina za spoljašnje provlačenje 13 čas., u toku radnog dana.

Mogućnost daljeg smanjenja troškova mašine svedenih na jedan minut komadnog vremena jeste dosta mala s obzirom da je vremenski stepen iskorišćenja mašina vrlo veliki. U uslovima potpunog iskorišćenja mašina, troškovi mašina po proizvodnoj operaciji provlačenja bi se smanjili povećanjem proizvodnosti procesa provlačenja.

Troškovi koji potiču od ulja za hlađenje i podmazivanje su vrlo visoki.

Velika potrošnja ulja za rezanje i njegova velika cena prouzrokuju ovako velike troškove.

Pri izvođenju proizvodnih operacija provlačenja ulje za rezanje pada na predmet obrade i vrši hlađenje i podmazivanje. Pri tome se izvesna količina ulja zadržava na samom predmetu obrade. Ulje za rezanje ima još jednu bitnu



Sl. 3. — Vrednost obrade proizvodnih operacija provlačenja izvedenih u 1979. godini

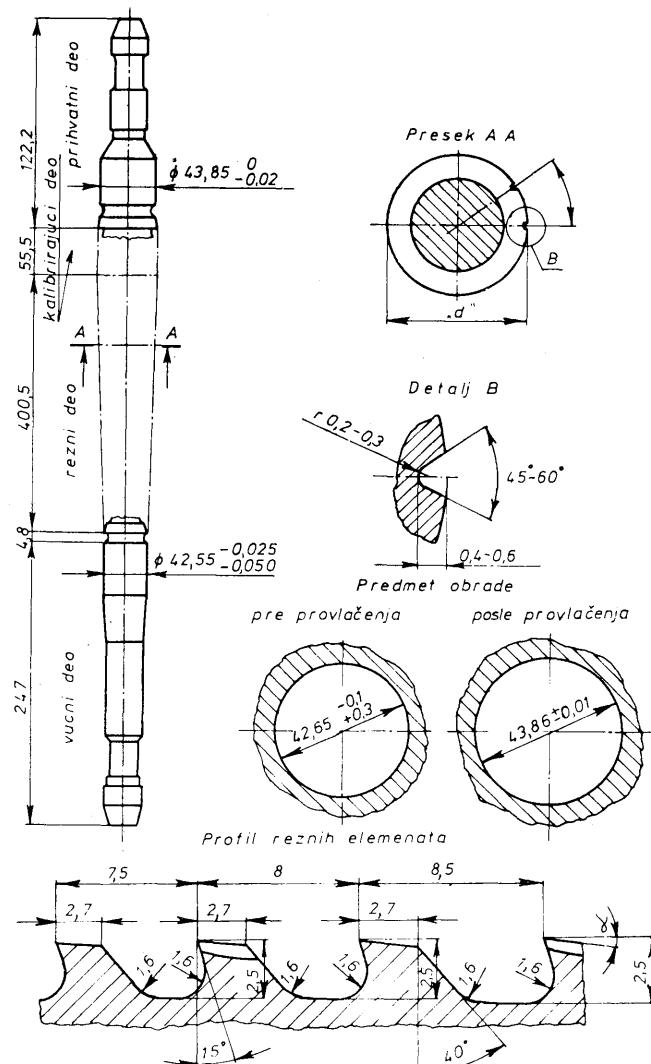
ulogu a to je da spira stvorenu strugotinu sa alata i olakšava njeno odvođenje. Pri tome se ulje lepi za strugotinu. Transporter izbacuje veliku količinu ulja za rezanje iz mašine. Zbog velikog rasturanja ulja za rezanje i njegove visoke cene, troškovi koji potiču od ulja su relativno vrlo visoki. Boljim odvajanjem ulja za rezanje od predmeta obrade i strugotine, znatno bi se smanjile vrednosti obrade proizvodnih operacija provlačenja.

UELOVI ISPITIVANJA

Ispitivanja su vršena u proizvodnim uslovima, na četiri proizvodna radna mesta, u OOUR-u »Mehanička obrada«, Zavoda »Crvena zastava« u Kragujevcu. U toku ispitivanja korišćena su:

četiri alata za unutrašnje provlačenje cilindričnog otvora zupčanika druge brzine 1.28.116, za menjač vozila »750«, izrađenih prema istom konstruktivnom crtežu. Dva su izrađena od brzoreznog čelika Č.7680 (označeni brojevima 1 i 2), a druga dva od Č.6880 (označeni brojevima 3 i 4).

četiri alata za unutrašnje provlačenje cilindričnog otvora zupčanika druge brzine 1.28.118, za menjač vozila »101«, izrađenih prema istom konstruktivnom crtežu (sl. 4). Dva su izrađena od Č.7680 (označeni brojevima 1 i 2), a druga dva od Č.6880 (označeni brojevima 3 i 4).



Sl. 4. — Alat za unutrašnje provlačenje cilindričnog otvora 1.28.118 za menjač vozila »101«

tri alata za unutrašnje provlačenje otvora za ožljebljeno vratilo, na prirubnici 1.45.124, za kardansko vratilo

vozila »1300« (sl. 5). Sva tri alata su izrađena od brzorez-
nog čelika Č.6880 i označena su slovima A, B i C.

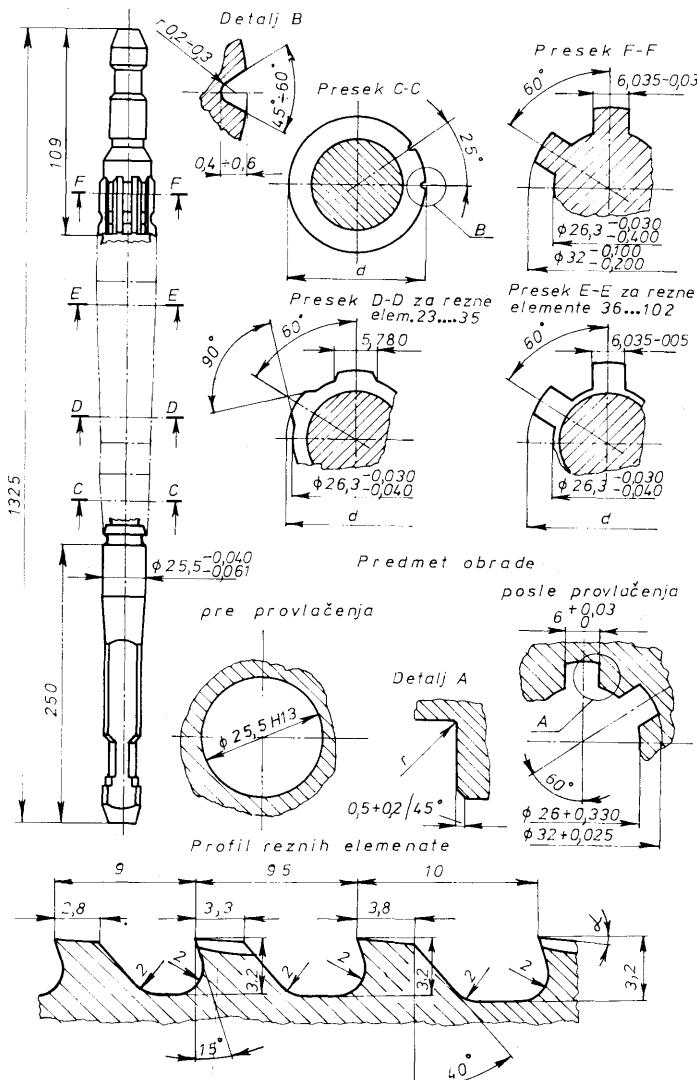
- alat za unutrašnje provlačenje cilindričnog otvora nosača za zupčanik brzinomera 1.30.002, vozila »101«.

Alati za provlačenje su proizvedeni u OOUR-u »Alatnica«, Zavoda »Crvena zastava« u Kragujevcu, po konstruktivnoj i tehnološkoj dokumentaciji, koja je ranije izrađena u saradnji sa Laboratorijom za obradu metala i tribologiju Mašinskog fakulteta u Kragujevcu. Materijali predmeta obrade su bili:

- 1.28.116 vozila »750« — Č.7422 izothermalno žaren
 - 1.28.118 vozila »101« — Č.7422 izothermalno žaren
 - 1.45.124 vozila »1300« — Č.1531 izothermalno žaren
 - 1.30.002 vozila »101« — Č.3131 izothermalno žaren

Provlačenje se izvodilo na mašinama za unutrašnje provlačenje:

- zupčanik 1.28.116 vozila »750« na mašini Forst Ri 16, čija je maksimalna brzina radnog hoda 12 m/min.
 - zupčanik 1.28.118 vozila »101« na mašini Varinelli BV—16/1320, čija je maksimalna brzina radnog hoda 9 m/min.
 - prirubnica 1.45.124 na mašini Varinelli BV—16/1320, čija je maksimalna brzina radnog hoda 9 m/min.
 - nosač 1.30.002 vozila »101« na mašini Varinelli BV—16/1000, čija je maksimalna brzina radnog hoda 12 m/min.



Sl. 5. — Alat za unutrašnje provlačenje otvora za ožljebljeno vratilo prirubnice 1.45.124 vozila »1300«

Na sva četiri proizvodna radna mesta stavljanje predmeta obrade na oslonu ploču i njegovo skidanje, izvodi se ručno, dok je vođenje alata za provlačenje pri radnom i povratnom hodu automatsko.

U toku ispitivanja pri provlačenju su korišćene dve vrste ulja za hladjenje i podmazivanje čije su karakteristike prikazane u tabeli 1. Ispitivane su baš ove dve vrste ulja jer je pokazano određeno interesovanje za njihovu primenu.

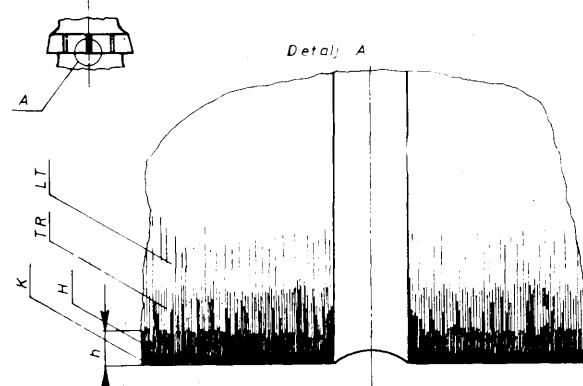
S obzirom da alat za provlačenje ima veliki broj reznih elemenata, praćenje razvoja procesa habanja na svim reznim elementima zahtevalo bi mnogo vremena i ne bi bilo opravdano, pošto rezni elementi koji rade pod istim uslovima rezanja imaju međusobno približan razvoj procesa habanja.

TABELA 1

| Karakteristike ulja za provlačenje | A | B |
|---|-------------------------|--------------------------|
| Viskozitet (323 K) [m ² /s] | (10,8) 10 ⁻⁶ | (18—21) 10 ⁻⁶ |
| Specifična težina (293 K) [g/cm ³] | 0,980 | 0,95—1,007 |
| Neutralizacioni broj [mg · KOH/gr] | 3,199 | 1,5 |
| Saponifikacioni broj [mg · KOH/gr] | 112,2 | 150—165 |

U operaciji provlačenja cilindričnog otvora zupčanika 1.28.118 vozila »101« na alatu broj 4, razvoj procesa habanja je praćen na reznim elementima broj 10, 11, 12, 13, 36, 37, 38, 39, 51, 52 i 54.

Razvoj procesa habanja je praćen na svakom izabranom reznom elementu na dva dijametralna mesta. Pri praćenju razvoja procesa habanja uočavani su različiti vidovi habanja (sl. 6):



Sl. 6. — Oblik habanja ledne površine reznog elementa

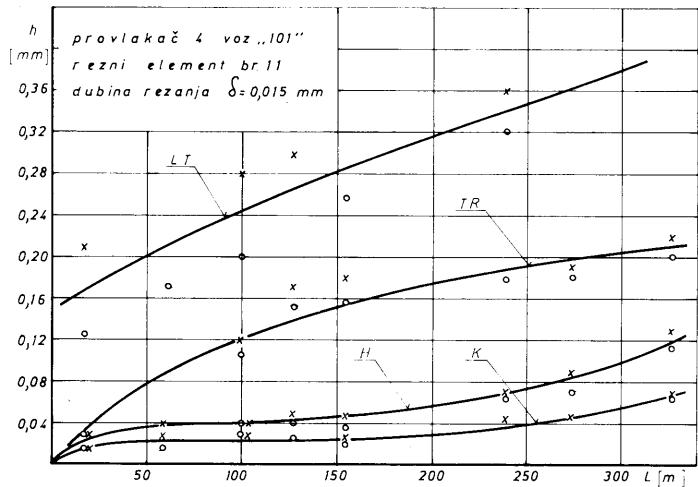
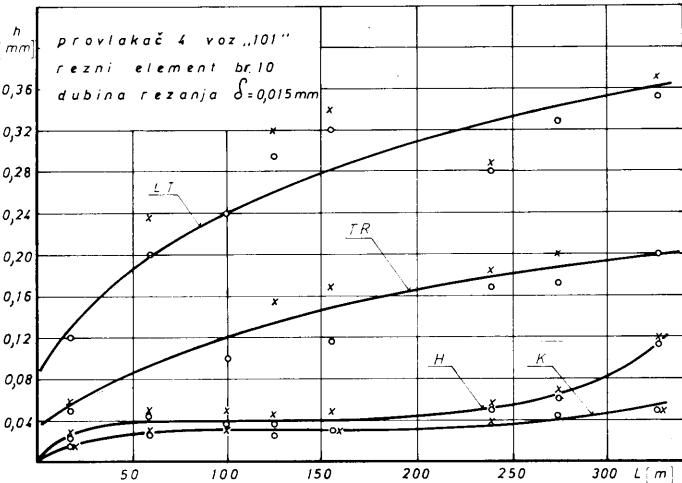
- zaobljenje rezne ivice i krzanje (oznaka K)
 - habanje (oznaka H)
 - izraženi tragovi koji potiču od dodira leđne površine reznog elementa i obrađene površine predmeta obrade (oznaka TR)
 - laki tragovi koji potiču od dodira leđne površine reznog elementa i obrađene površine predmeta obrade (oznaka LT).

Merenje pojasa habanja je vršeno na alatnom mikroskopu UIM — 21.

Analizirajući dobijene rezultate ispitivanja razvoja procesa habanja na izabranim reznim elementima alata broj 4, može se zaključiti da je razvoj procesa habanja vrlo sličan na onim reznim elementima koji vrše rezanje pod istim uslovima. Jedan deo ovih rezultata je prikazan na slikama 7 i 8., a na slici 9. prikazano je habanje svih reznih elemenata alata broj 4 posle 328 m proučene dužine.

Metod merenja otpora rezanja pri unutrašnjem provlačenju razvijen je na operaciji provlačenja otvora nosača 1.30.002 vozila »101«.

Pošto se otpor rezanja sa predmeta obrade prenosi preko oslone ploče na radni sto, oslona ploča se elastično deformeše. Oslona ploča je zamjenjena dinamometrom sa tenzometarskim elementima (sl. 10.), koji su povezani u pun Vistorianski kružnik.

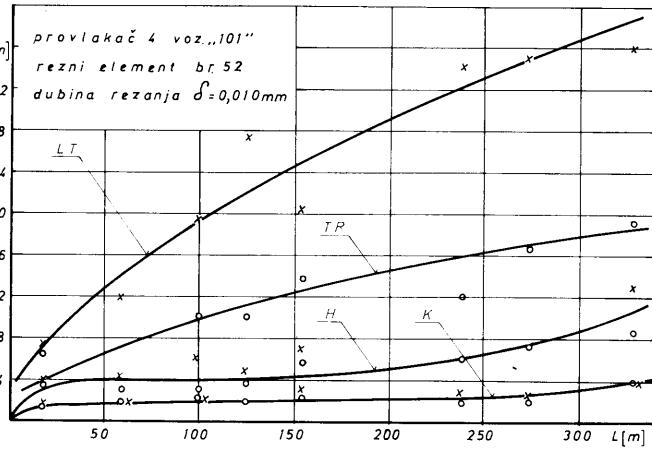
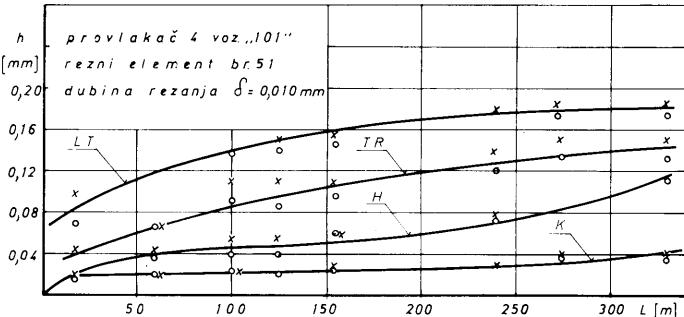


Sl. 7. — Krive nabanja

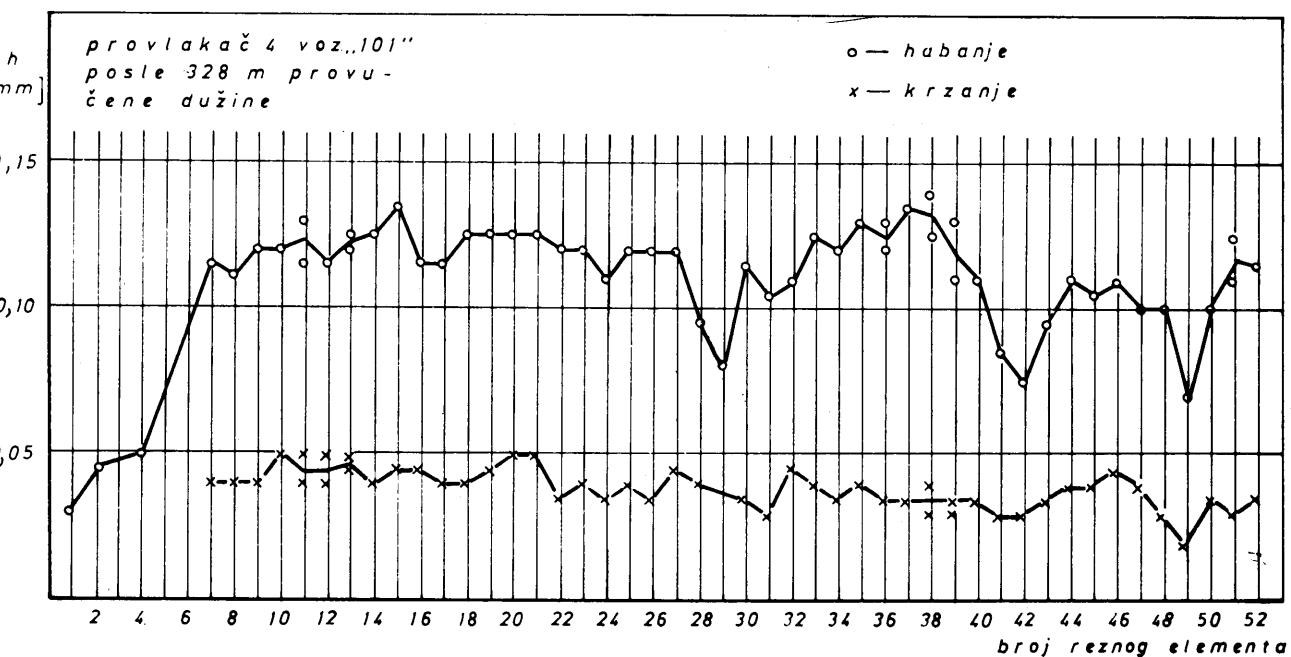
Sl. 9. — Stanje pohabanosti svih reznih elemenata

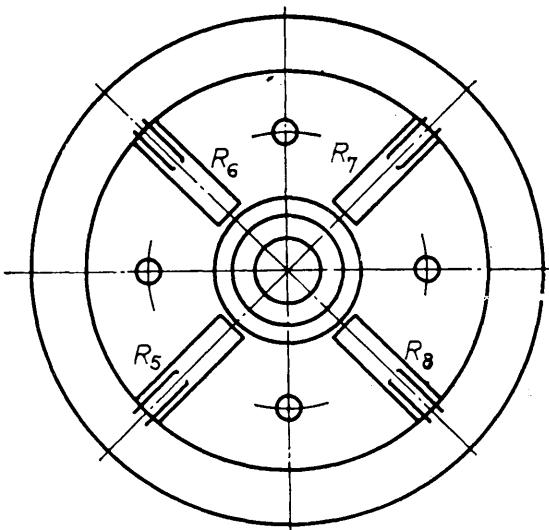
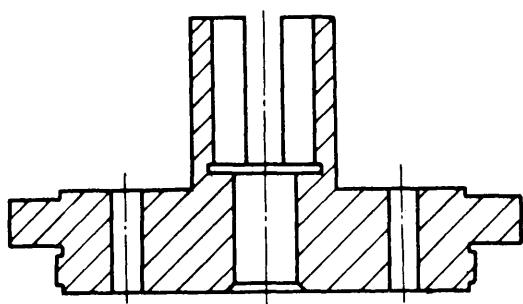
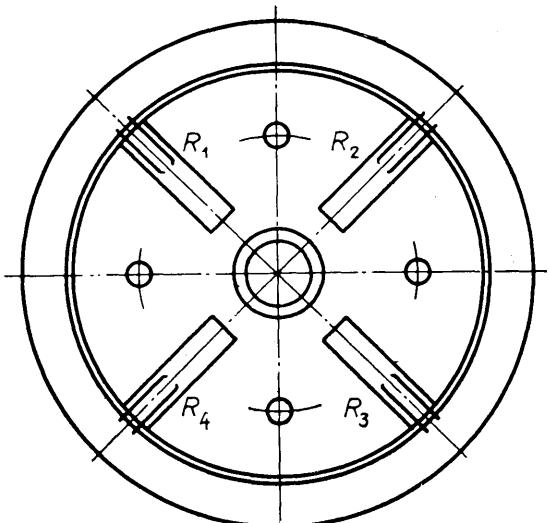
nov most (sl. 11.). Mere tela dinamometra su prilagođene otvoru za centriranje na radnom stolu mašine, gornjem kraјnjem položaju stezne glave i predmetu obrade, tako da su pri merenju obezbeđeni isti uslovi kao i u eksploraciji. Krutost tela dinamometra je manja od krutosti oslone ploče, čime je postignuta dovoljno velika osetljivost.

Kao pojačavač korišćen je jednokanalni mošt KWS/T proizvodnje HOTTINGER BALDWIN MESSTECHNIK, dok je za zapisivanje signala upotrebljen jednokanalni pisač. Za baždarenje dinamometra napravljen je specijalni pribor, a samo baždarenje je izvršeno na kidalici (pošto su bile potrebne veće sile). Korelativnost rezultata dobijenih baždarenjem je vrlo velika. Analizirajući rezultate merenja otpora rezanja može se zaključiti da je primenjena metoda vrlo osetljiva i tačna.



Sl. 8. — Krive habanja





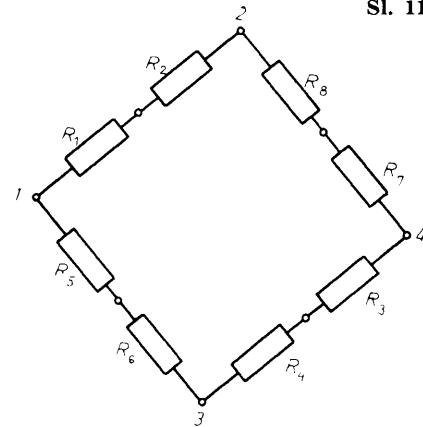
Sl. 10. — Telo dinamometra sa zlepiljenim mernim trakama

Za merenja otpora rezanja pri provlačenju zupčanika 1.28.118, vozila »101«, konstruisan je i napravljen dinamometar na istom principu.

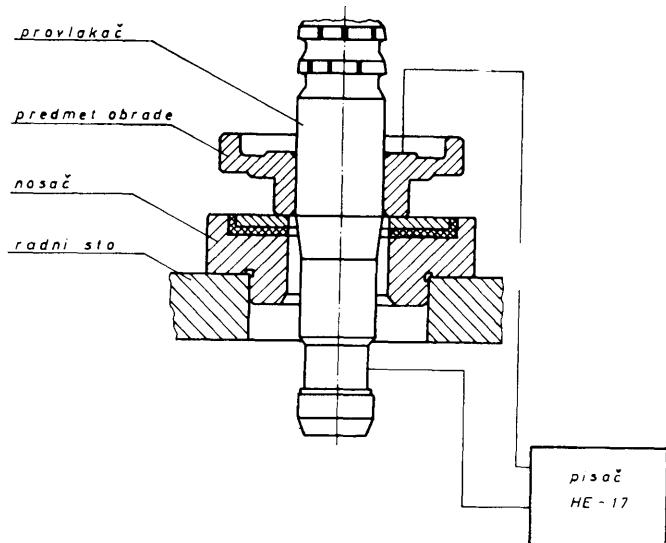
Za merenje srednjih temperatura rezanja pri provlačenju korišćena je metoda merenja prirodnim termoparovima. Ova metoda se zbog svoje jednostavnosti i tačnosti isključivo primenjuje za merenje srdnjih temperatura rezanja pri složenim uslovima obrade, kakvi su na primer pri obradi unutrašnjim provlačenjem.

Predmet obrade je bio izolovan od mase maštine, tako što je oslona ploča zamjenjena nosačem (sl. 12.).

Sl. 11. — Shema veze mernih traka



Oblik i dimenziije nosača odgovaraju oslonoj ploči, tako da su obezbedeni isti uslovi pri merenju kao i u eksploataciji. Ploča na koju se postavlja predmet obrade izolovana je od mase nosača izolaconom masom FIBROLIT proizvodnje firme CIBA. Ova masa ima i vrlo visoke mehaničke karakteristike tako da su deformacije nafijenog sloja neznatne.



Sl. 12. — Shema merenja srednje temperature rezanja

natne pri prenosu otpora rezanja. Na slobodnom kraju prirodnog termopara koji čine dva izvoda (jedan od predmeta obrade, drugi od alata), javlja se termonapon vrlo malog intenziteta.

Za registrovanje ovih termonaponova korišćen je četvorokanalni pisač HELCOSRIPTOR HE — 17 HELLIGE u koji su bila ugrađena dva pojačavača CHOPPER 19.

Baždarenje prirodnih termoparova koji čine Č.7422 i brzorezni čelici Č.6880 i Č.7680, vršeno je zagrevanjem u olovnom kupatilu u komornoj peći [7].

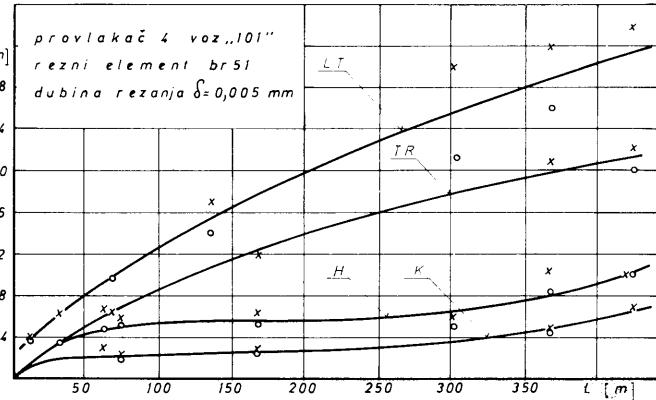
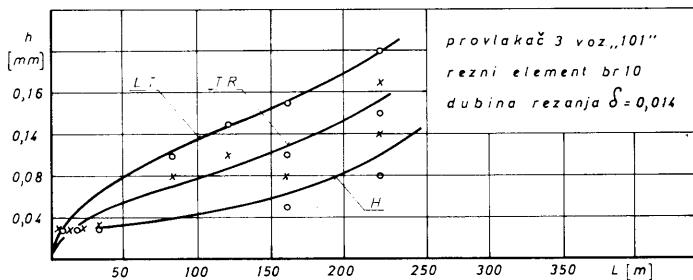
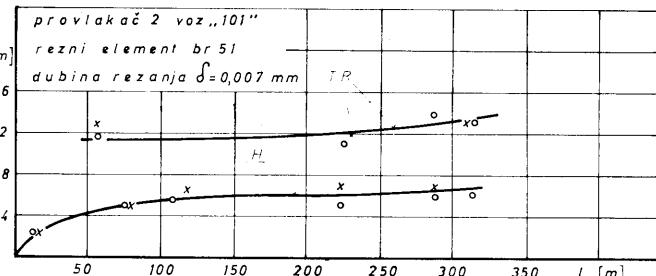
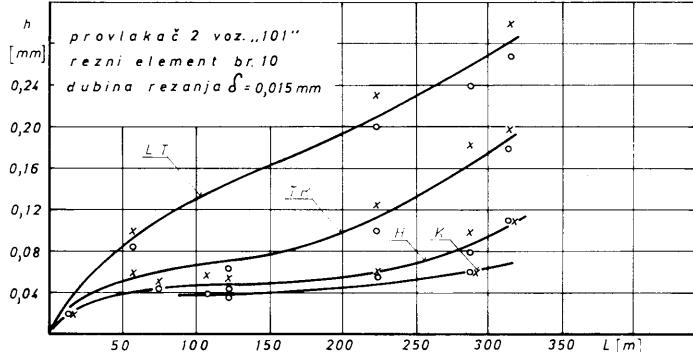
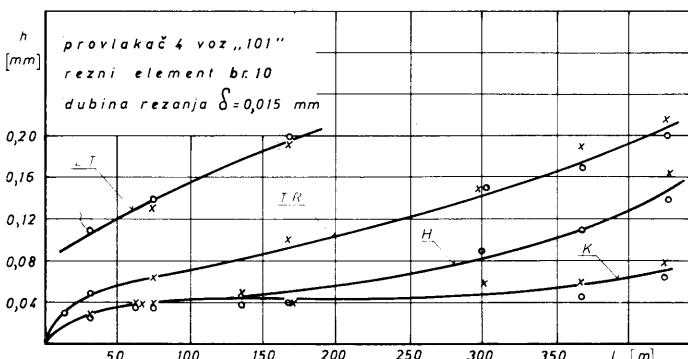
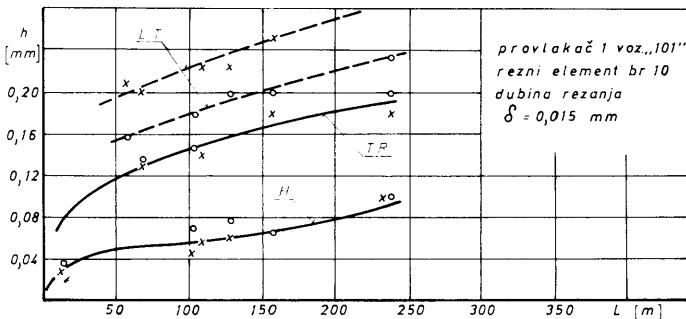
REZULTATI ISPITIVANJA

Rezultati ispitivanja razvoja procesa habanja

Razvoj procesa habanja praćen je na raznim elementima broj:

10, 36 i 51 sva četiri alata za provlačenje otvora zupčanika 1.28.118, vozila »101« pri upotrebi ulja za hlađenje i podmazivanje B i na istim reznim elementima na alatu broj 4 pri upotrebi ulja za hlađenje i podmazivanje A.

11, 21 i 31 sva četiri alata za provlačenje otvora zupčanika 1.28.116, vozila »750« uz primenu ulja za hlađenje i podmazivanje A.



Sl. 13. — Krive habanja

□ 70, 91 i 95 sva tri alata A, B i C uz primenu ulja za hlađenje i podmazivanje A.

Neki rezultati praćenja razvoja procesa habanja prikazani su na slikama 13, 14, 15, 16. i 17.

Na osnovu dobijenih krivih habanja utvrđene su postojanosti ispitivanih alata za provlačenje. Na slici 18 uporedno su prikazane postojanosti istih reznih elemenata alata od brzoreznih čelika Č.6880 i Č.7680. Nešto bolje eksploracijske karakteristike pokazali su alati od standardnog brzoreznog čelika 18—4—1 (Č.6880). Ovaj brzorezni čelik se uglavnom primenjuje za izradu provlakača. Molibdenski brzorezni čelik Č.7680 je 1,4 do 1,65 puta jeftiniji zavisno od dimenzija polufabrikata, pa bi se njegovom primenom učinile znatne uštede.

Analizirajući rezultate praćenja razvoja procesa habanja na reznim elementima alata broj 4 za provlačenje otvora zupčanika 1.28.118, vozila »101« pri upotrebi ulja za hlađenje i podmazivanje A i B, može se doći do zaključka da obe vrste ulja imaju slične tribološke karakteristike.

Na slici 17. prikazane su krive habanja reznog elementa broj 91 alata A, B i C za provlačenje prirubnice, vozila »1300«. Alati A i B su oštreni posle 78,5 m provučene dužine dok je sa alatom C nastavljen rezanje bez oštrenja.

Krive habanja se do trenutka oštrenja gotovo poklapaju što govori o istovetnom kvalitetu sva tri ispitivana alata.

Na reznom elementu 91, alata A, pojedinačni rez je potpuno, a na istom reznom elementu alata B, delimično uklonjen.

Sl. 14. — Krive habanja

Na osnovu dobijenih rezultata može se zaključiti da prevremeno oštrenje smanjuje vek alata i da pri oštrenju ne treba skidati potpuno pojas habanja da bi se izbegla zona početnog habanja.

Rezultati ispitivanja otpora rezanja

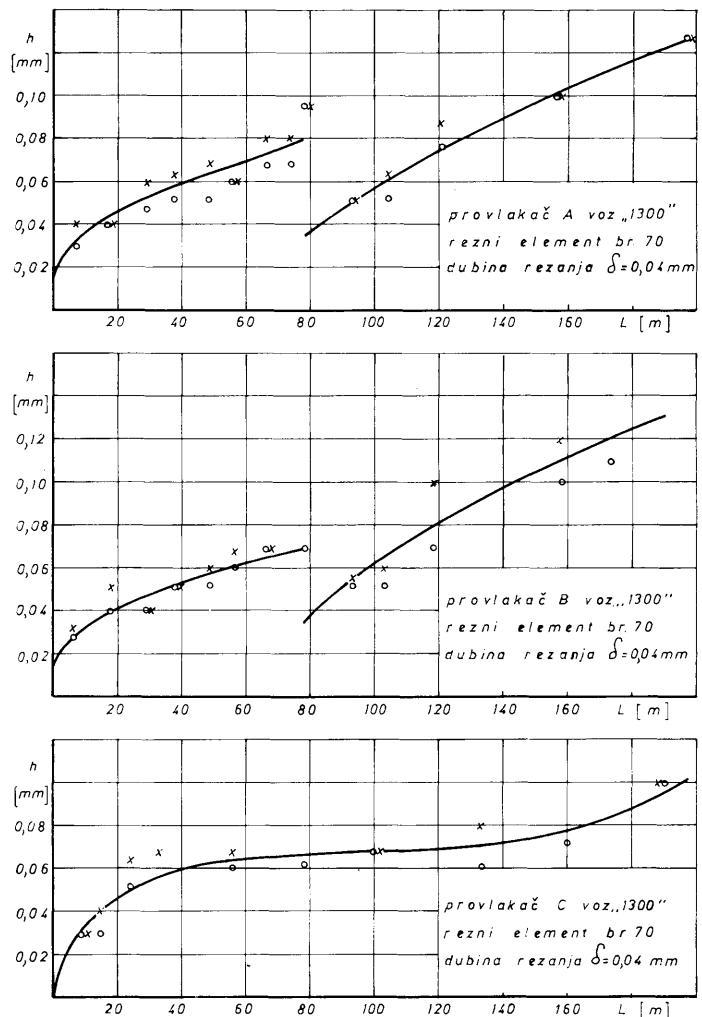
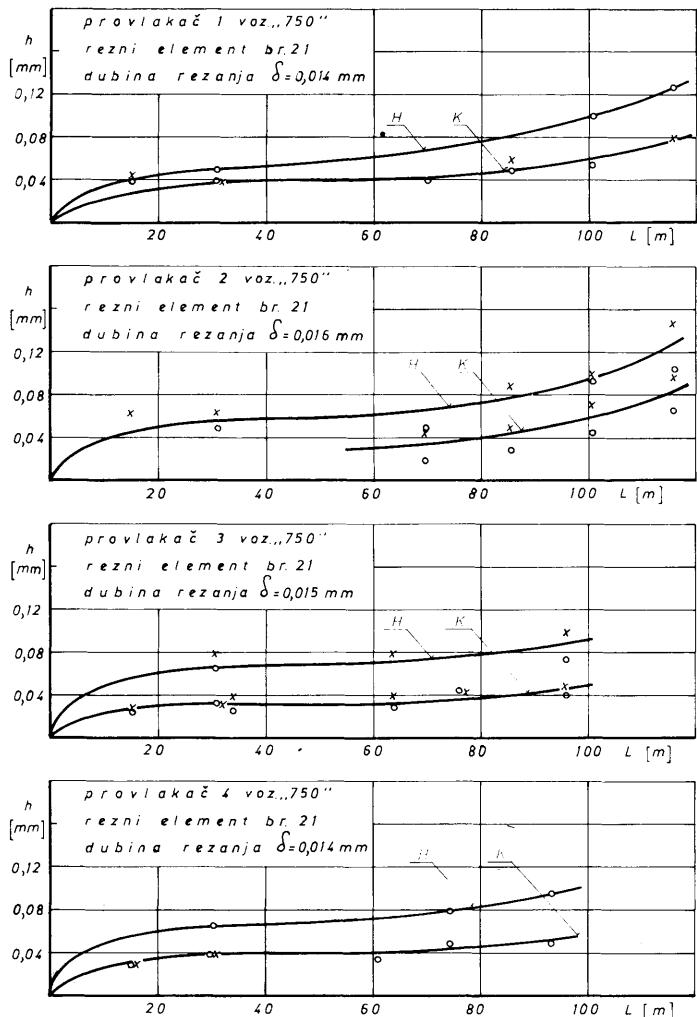
Ispitivanje otpora rezanja pri unutrašnjem provlačenju otvora zupčanika 1.28.118, vozila »101«, vršeno je alatima za provlačenje različitih stepena pohabanosti. Pri svakom stepenu pohabanosti alata izvršen je određeni broj eksperimentirana (oko 30), izračunate su srednje vrednosti na osnovu kojih je dobijena zavisnost promene otpora rezanja od provučene dužine (sl. 19).

Povećanje otpora rezanja se javlja već posle 60 m provučene dužine kada je veličina pojasa habanja $h = 0,04$ mm.

Naglo povećanje pojasa habanja nastaje posle 260 m provučene dužine. Veličina pojasa habanja, koja odgovara ovoj provučenoj dužini, jeste $h = 0,075$ mm a povećanje glavnog otpora rezanja 32%. Na slici 20. prikazani su rezultati ispitivanja uticaja primene ulja za hlađenje i podmazivanje na otpor rezanja.

Ukoliko između reznog elementa i predmeta obrade ne postoji film ulja koji vrši podmazivanje, otpori rezanja se znatno povećavaju (15,9%).

Sa povećanjem protoka ulja otpori rezanja nešto malo opadaju.

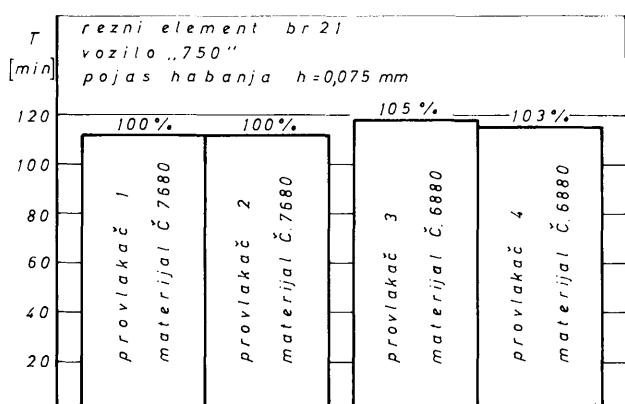
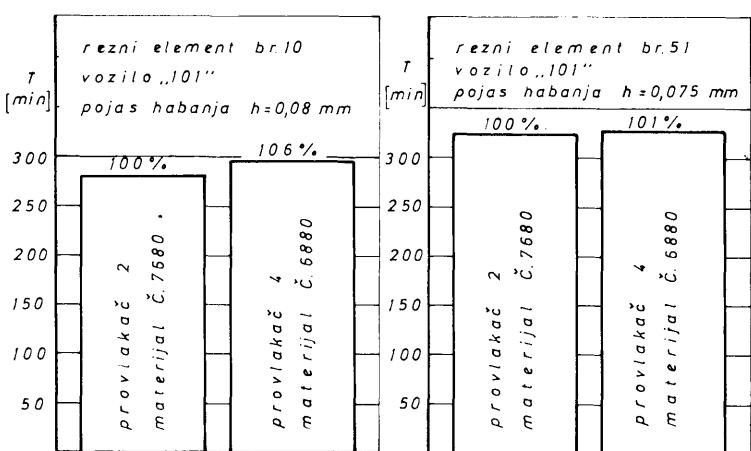


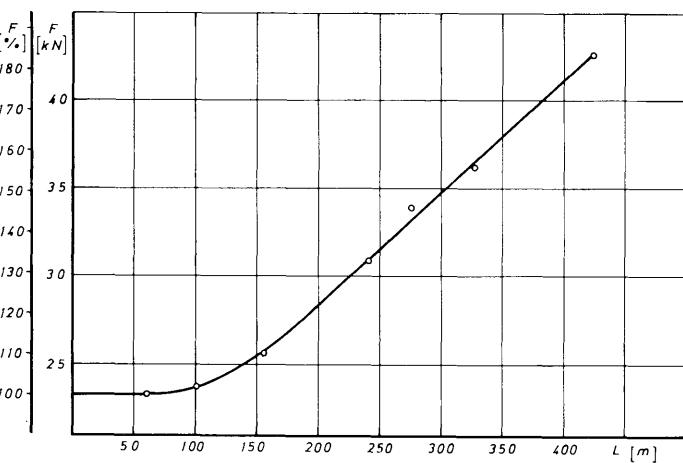
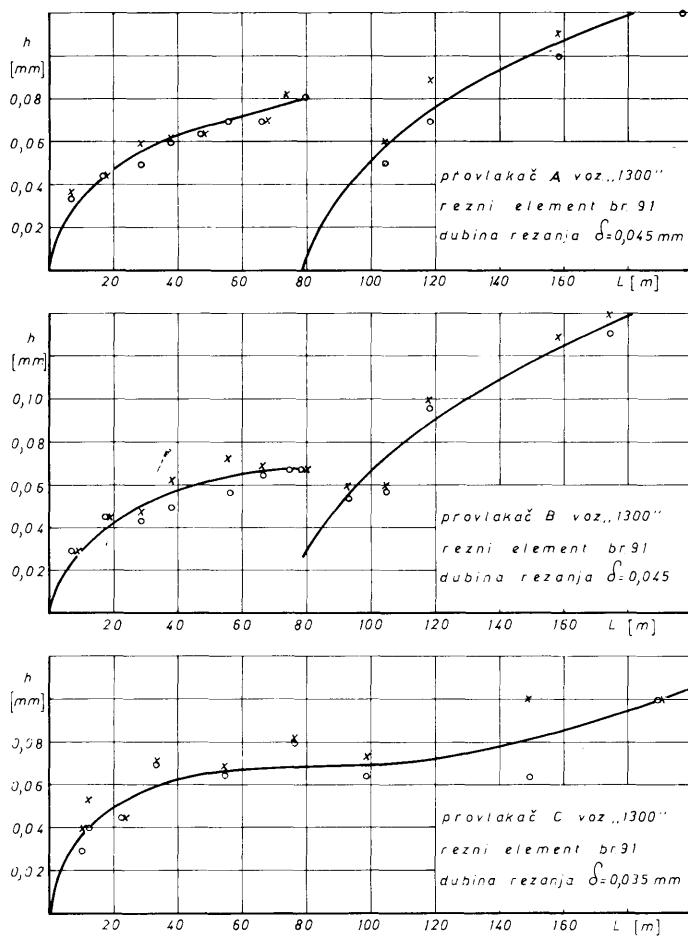
Rezultati ispitivanja srednjih temperatura rezanja

Ispitivanje srednjih temperatura rezanja vršeno je pri provlačenju alatom različitih stepena pohabanosti i u uslovima provlačenja različitih protoka ulja za hlađenje i podmazivanje. Uticaj pohabanosti alata na srednje temperature rezanja prikazan je na slici 21. Ispitivanje je vršeno sa uobičajenim protokom ulja za rezanje $Q = 1,7$ l/min.

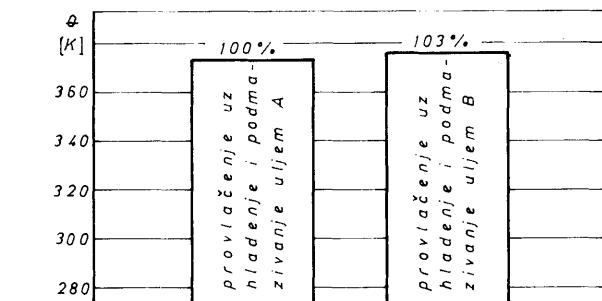
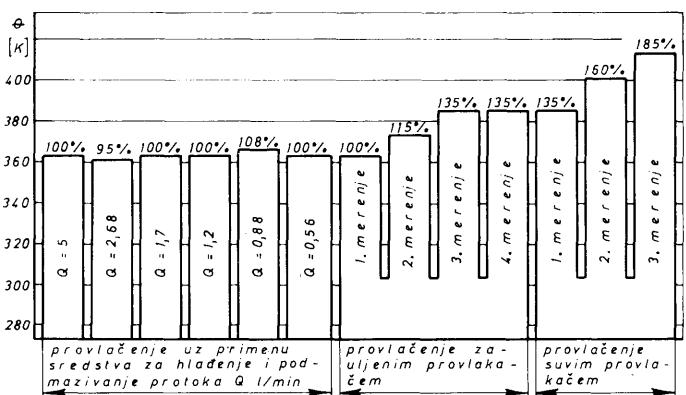
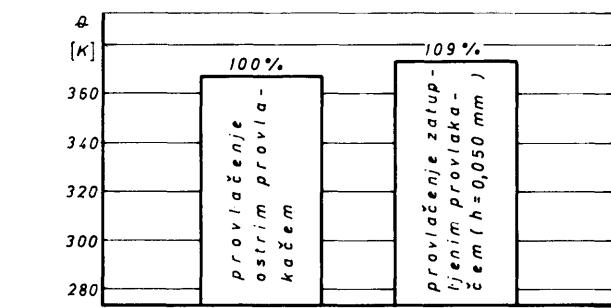
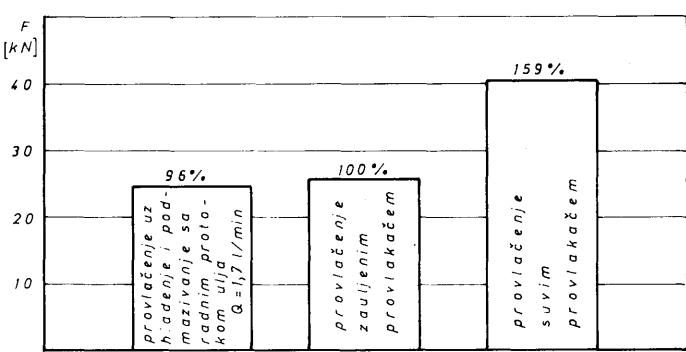
Uticaj protoka ulja za hlađenje i podmazivanje na srednje temperature rezanja prikazan je na slici 22. Ispitivanje je vršeno pri provlačenju oštrim alatom.

Analizirajući rezultate ispitivanja može se zaključiti da primena ulja za hlađenje i podmazivanje znatno smanjuje srednje temperature rezanja. Veličina protoka ulja nema mnogo uticaja na visinu srednjih temperatura rezanja. Ovo se može objasniti činjenicom da se, zbog malih brzina rezanja u ispitivanju proizvodnoj operaciji provlačenja, od sredstava za hlađenje i podmazivanje zahteva prvenstveno podmazujuće svojstvo.



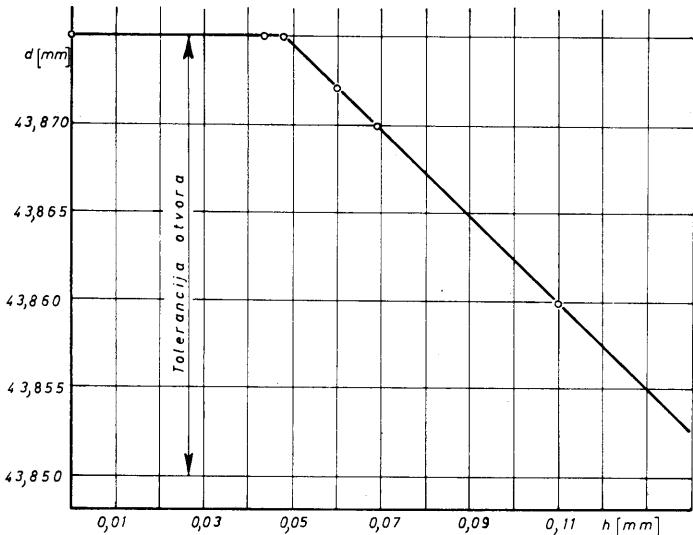


tribologija u industriji, god. I, br. 4. 1979.



Rezultati ispitivanja geometrije predmeta obrade

Na slici 24. prikazana je promena prečnika cilindričnog otvora zupčanika 1.28.118, za menjač vozila »101« obradenog provlačenjem u zavisnosti od veličine pojasa habanja provlakača. Delovanjem glavnog otpora rezanja nastaju elastične deformacije predmeta obrade u toku provlačenja. Po završenom provlačenju, pošto otpori rezanja više ne deluju na predmet obrade, nestaju i elastične deformacije.



Sl. 24. — Uticaj veličine pojasa habanja na smanjenje mere provučenog otvora

Zbog toga se prečnik otvora, koji je ostvaren u toku obrade provlačenjem, smanjuje. Za utvrđeni kriterijum zatupljenosti alata prema krivoj habanja $h = 0,075 \text{ mm}$ posle 260 m provučene dužine, pri čemu je povećanje otpora rezanja 132%, smanjenje prečnika otvora iznosi 0,007 mm, što se nalazi u okviru tolerancije izrade otvora. Pojava smanjenja prečnika otvora posle provlačenja naročito je izražena kod predmeta obrade sa tanjim zidovima i može često da predstavlja kriterijum zatupljenja alata.

ZAKLJUČAK

U domaćoj automobilskoj industriji, gde su sve veće serije (već danas su preko 200000 kom/god.) i gde se zahteva visoka proizvodnost i tačnost obrade, sve je veća primena procesa provlačenja. Obradu provlačenjem koja se danas primenjuje u domaćoj automobilskoj, a uopšte i metaloprerađivačkoj industriji karakterišu:

- male brzine rezanja
- primena alata od brzoreznog čelika koji rade sa profilnim i generatorskim shemama rezanja
- nedovoljno poznavanje optimalnih uslova obrade (termičko stanje predmeta obrade, vrsta sredstava za hlađenje i podmazivanje, kriterijum zatupljenja dr.)

upotreba mašina za provlačenje koje su dosta stare

Prema ispitivanjima koja su izvedena u proizvodnim uslovima OOOUR-a »Mehanička obrada«, Zavoda »Crvena zastava«, mogu se izvesti sledeći zaključci:

- Provlakači izrađeni od brzoreznih čelika Č.6880 i Č.7680 imaju slične eksploatacione karakteristike. Zbog velikih dimenzija alata, za njihovu izradu su potrebne veće količine materijala. Ovo je naročito izraženo kod alata većih prečnika. Cena brzoreznog čelika je dosta visoka, pa znatan deo cene alata potiče od troškova vezanih za materijal. Cena brzoreznog čelika Č.7680 je 1,4 do 1,65 puta manja od cene čelika Č.6880, pa bi se primenom Č.7680 učinile zнатне uštede.

- Primenom sredstva za hlađenje i podmazivanje znatno se smanjuju otpori i srednje temperature rezanja, a time i habanje alata. Sa povećanjem protoka sredstva za hlađenje i podmazivanje otpori i srednje temperature rezanja ostaju konstantni. Zbog malih brzina rezanja pri provlačenju od sredstva za hlađenje i podmazivanje se zahteva prvenstveno podmazujuće svojstvo, pa treba koristiti kao

sredstva za hlađenje i podmazivanje ulja za rezanje kojima se dodaju aditivi aktivnog i neaktivnog tipa.

Sa povećanjem pojasa habanja povećava se i otpor rezanja. Usled delovanja otpora rezanja predmet obrade se elastično deformiše što dovodi do pojave smanjenja mere provučenog profila. Ova pojava je naročito izražena kod predmeta sa tanjim zidovima. Smanjenje mere provučenog profila jeste često kriterijum zatupljenja alata za unutrašnje provlačenje.

Kvalitet provučene površine ostvaruju kalibrirajući rezni elementi. Na mestima gde dolazi do krzanja razne ivice kalibrirajućeg reznog elementa, nastaje naglo pogoršanje kvalitete obrađene površine. Oštrenje kalibrirajućih reznih elemenata treba izvoditi tako da se uklone tragovi krzanja rezne ivice.

Smanjenje vrednosti obrade proizvodnih operacija provlačenja može se ostvariti povećanjem proizvodnosti procesa provlačenja. Prelaskom na provlačenje sa visokim brzinama rezanja, pored povećane proizvodnosti procesa provlačenja, u mnogim slučajevima dobija se i bolji kvalitet provučene površine i veća postojanost provlakača. Provlačenje sa visokim brzinama rezanja danas je primenjeno u većem broju slučajeva u SAD i SSSR. Proizvođači mašina za provlačenje već proizvode mašine za provlačenje sa visokim brzinama rezanja. Prelaz na provlačenje sa visokim brzinama rezanja pored razvoja novih mašina zahteva i razvoj novih konstrukcija provlakača, primenu novih alatnih materijala i poznavanje uticaja pojedinih faktora obrade (vrsta materijala i termičko stanje predmeta obrade, vrste i način dovodenja sredstva za hlađenje i podmazivanje, geometrija reznog kline, dubina rezanja i dr.).

Prevremenim oštrenjem smanjuje se postojanost i povećavaju troškovi alata. Prilikom oštrenja ne treba uklanjati ceo pojas habanja, da bi se izbegla zona početnog habanja.

Troškovi koji potiču od ulja za rezanje su relativno vrlo veliki zbog velikog rastura ulja, pa bi bilo neophodno efikasnije odvajanje ulja za rezanje od strugotine i predmeta obrade. Treba razmotriti mogućnost primene pogodnijih sredstava za hlađenje i podmazivanje.

LITERATURA

- IVKOVIĆ B., Struktura troškova proizvodnje u obradi metala. Mašinski fakultet, Kragujevac, 1974.
- ЖИГАЛКО Н. И., Совершенствование конструкции прятажек, Минск, 1966.
- SCHÜTTE, M., Räumen mit erhöhter Schnittgeschwindigkeit. Diss. TH Aachen, 1965.
- OPITZ, H. KÖNIG, W. SCHÜTTE, M., Einfluss des Werkstoffes und der Werkstoff-vorbehandlung auf die Oberflächengüten Beim Räumen. Forschungsbericht des Landes Nordrhein — Westfalen Nr 1356 Köln und Opladen; Westdeutscher Verlag 1964.
- OPITZ, H. ROHDE, H. KÖNIG, W., Untersuchung des Räumforganges. Forschungsbericht des Landes Nordrhein — Westfalen Nr 928 Köln und Opladen; Westdeutscher Verlag 1961.
- MILOŠEVIĆ M., Merenje otpora rezanja pri provlačenju. Obrada metala i tribologija 4 (2), 63 (1974), Kragujevac.
- ZAHAR S., Termodynamika odvalnog glodanja. Magistarski rad, Mašinski fakultet Univerzitet u Beogradu, 1975.

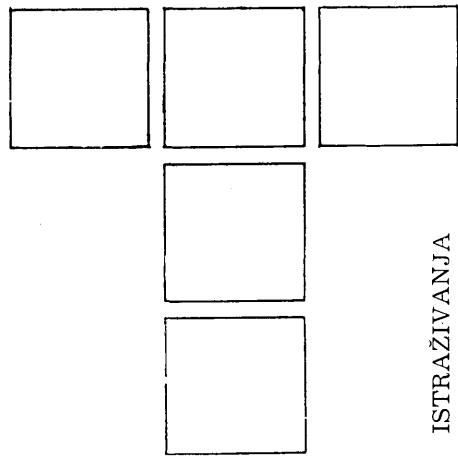
MIODRAG MILOŠEVIĆ, dipl. inž.

asistent na Mašinskom fakultetu u Kragujevcu



Roden 1944. Diplomirao 1968. godine na Mašinskom fakultetu u Kragujevcu. Do 1972. godine radio u Zavodima »Crvena zastava« u Kragujevcu.

Bavi se tribološkim istraživanjima u oblasti reznog alata.



Tribološki procesi kod kliznog ležišta

UVOD

Rad hidrodinamičkog kliznog ležišta mada je definisao još Reynolds poznatom jednačinom:

$$\frac{\delta}{\delta x} \left[\frac{h^3 \frac{\delta p}{\delta x}}{\eta} \right] + \frac{\delta}{\delta z} \left[\frac{h^3 \frac{\delta p}{\delta z}}{\eta} \right] = 6U \frac{\delta h}{\delta x} \quad (I)$$

ostao je predmet interesovanja istraživača u cilju potpunijeg definisanja realnih procesa koji se u radu jednog kliznog ležišta odvijaju.

Napomenimo samo neke od bitnih pretpostavki na kojima se zasniva Reynolds-ova jednačina:

debljina sloja maziva h je mala u poređenju sa širinom i dužinom dodira u ležištu, tako da se krivina dodirnih površina ležišta može zanemariti u poređenju s elementarnom zapreminom;

pritisak je konstantan kroz uljni film od ležišta do vratila;

proticanje tečnosti u ulnjom filmu je laminarno;

viskoznost maziva je konstantna u ulnjem filmu i ne zavisi od pritiska i temperature sloja maziva;

tečnost je nestišljiva tako da jedinična zapremina ostaje nepromenjena za vreme deformacije;

unutrašnje sile ne postoje;

sile inercije maziva su male u poređenju sa ostalim silama koje dejstvuju pa će mogu zanemariti;

površine vratila i ležišta su idealno glatke;

osa vratila i ležišta su paralelni;

vratilo i ležište su kruti;

nema klizanja u graničnom sloju između maziva i površine ležišta;

veličine više od drugog reda zanemarujuemo kao male veličine višeg reda;

uljni film je kontinualan;

opterećenje ležaja je stacionirano i po veličini i po smeru;

obrtanje ležišta je stacionarno;

rukavac i ležište su pravilnog valjkastog oblika;

debljina uljnog filma po celoj širini ležaja je jednaka i menja se samo po obimu.

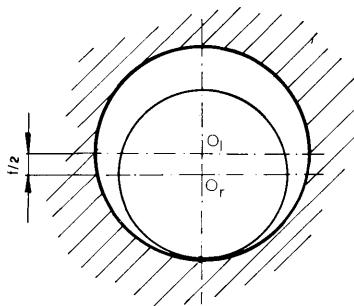
Dobijena rešenja jednačine (I) kao što su rešenja Cameron-a i Woda ili rešenja A. Raimondi i J. Boyd-a u vidu dijagrama, gde su sve bitne karakteristike rada kliznog ležišta date u funkciji Zomerfeldovog broja S_0 — jedne bezdimenzione karakteristike ležišta, našla su široku primenu u praksi proračuna i projektovanja kliznog ležišta.

Medutim, pogledamo li realnu makrogeometriju i mikrogeometriju realizovanog projektovanog kliznog ležišta susrećemo se sa bitnim odstupanjima od učinjenih pretpostavki od kojih kao najbitnije možemo uzeti: **hrapavost površina rukavca i posteljice, iskošenja osa rukavca i posteljice, odstupanje posteljice i rukavca od pravilnog geometrijskog**

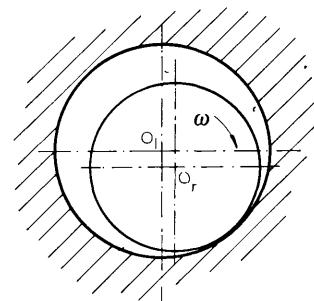
oblika, njihove deformacije, promenljivost obrtanja rukavca i opterećenja i dr., čime i objašnjavamo procese koji se odvijaju kod realnih kliznih ležišta.

OSNOVNE FAZE RADA KLIZNOG LEŽIŠTA

U radu kliznog ležišta razlikujemo tri osnovna stanja: stanje mirovanja, stanje graničnog suvog trenja i radno stanje. Položaj rupavca i posteljice u ovim fazama rada kliznog ležišta prikazan je na sl. 1, 2 i 3.



Sl. 1. — I faza — stanje mirovanja



Sl. 2. — II faza — položaj graničnog trenja

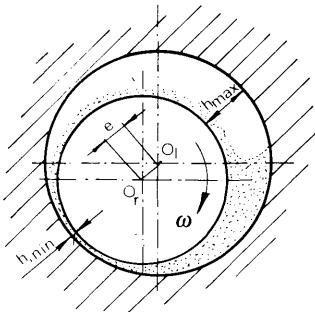
Stanje mirovanja (sl. 1) odlikuje se neposrednim mehaničkim kontaktom između površina rukavca i posteljice ležišta. Rukavac dodiruje posteljicu ležišta po pravoj liniji na najnižem mestu pri čemu je ekscentritet rukavca najveći.

Prilikom puštanja vratila u pogon, menja se položaj rukavca, tako što se rukavac pomera u smeru suprotnom smeru obrtanja i nastaje faza graničnog stanja suvog trenja koja se karakteriše uspostavljanjem kontakta rukavca i posteljice ležišta u onoj tačci ležišta u kojoj bi tangens ugla bio jednak koeficijentu trenja između dodirnih površina rukavca i posteljice ležišta, pri odgovarajućim uslovima klizanja (sl. 2). Ovaj režim rada karakteriše se visokom vrednošću koeficijenta trenja ($0,14 - 0,25$) što zavisi od vrste materijala dodirnih površina. Pri tom nastupa zagrevanje i veoma veliko istrošenje.

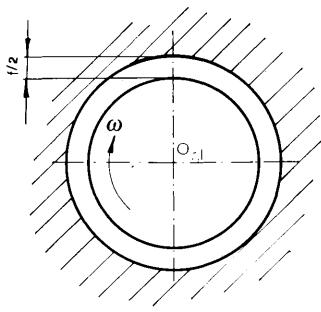
Treća faza (sl. 3), nastaje pri obezbedenom podmazivanju radnih površina ležišta i u ovoj fazi nastaje stanje hidrodinamičkog režima koje se karakteriše stvaranjem noseće zone ulja — uljanog klini i pomeranjem rukavca u smeru obrtanja.

Sigurno je da stanje hidrodinamičkog plivanja nije uvek osigurano u radu kliznog ležišta, jer je hidrodinamičko plivanje rezultat konstruktivnih i eksploatacijskih faktora, ali je sasvim sigurno da je ova faza jako poželjna. U ovoj fazi

rada, mazivo određene viskoznosti prijanja uz površine rukavca i ležista i pri daljem povećanju brzine rukavca zahvata mazivo i potiskuje ga u nazuš deo klinastog prostora usled čega se povećava pritisak koji vrši uravnotežavanje spoljašnjeg opterećenja, pri čemu se vrši odizanje rukavca i pomeranje u smeru obrtanja. Raspored pritiska u sloju maziva spoja rukavac — ležiste u ovoj fazi rada dato je na sl. 5.



Sl. 3. — III faza — hidraulično plivanje

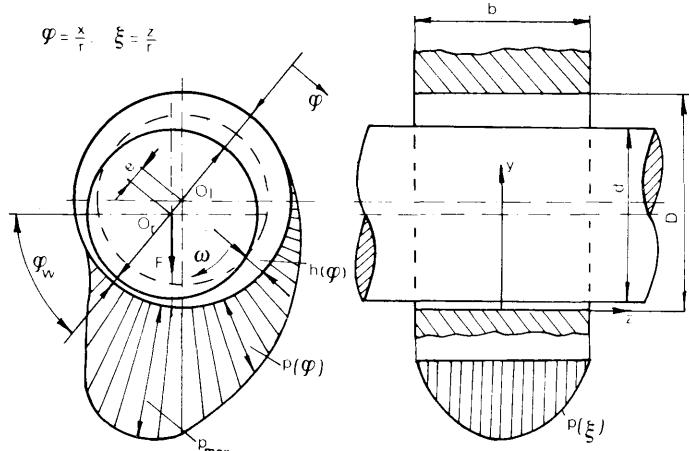


Sl. 4. — IV faza — granični položaj

Eksperimentalna i teorijska ispitivanja su pokazala da u procesu do uspostavljanja režima hidrodinamičkog plivanja centar rukavca opisuje krivu veoma blisku polukrugu sa radijusom koji je jednak polovini radikalnog zazora f .

Prelaz od prve ka drugoj fazi bez obzira što traje veoma kratko vreme, praćen je habanjem ležista, gubitkom snage na trenje i zagrevanjem. Upravo zbog toga je i veoma važno da rukavac i posteljica imaju što bolja antifrikciona svojstva.

Treća faza, koja je normalna za rad kliznog ležista, pravilnim izborom materijala, kvalitetom obrade, uslova i režima eksploracije karakterisana je trenjem okvašenih površina ili trenjem poluokvašenih površina.



Sl. 5. — Raspored pritiska u ležisu pri hidrodinamičkom plivanju

Trenje okvašenih površina, ili tečno trenje, javlja se samo onda kada film maziva potpuno razdvaja taruće površine, tako da između njih ne postoji direktni kontakt. Režim tečnog trenja karakteriše se malim gubitkom snage na savladavanje otpora trenja, pri čemu je koeficijent trenja veličine nekoliko hiljaditih ($0,0015 - 0,006$), a habanje nije prisutno. Kod ovog režima otpor trenja ne zavisi od vrste materijala delova u relativnom kretanju, već od viskoznosti sloja maziva, brzine klizanja, opterećenja, tačnosti izrade rukavca i ležista, količine maziva koja se dovodi u oblast trenja, prilagodavanja ležista, veličine deformacija tarućih površina i temperaturu ležista. I pored ostvarenja osnovnih uslova nemoguće je u praksi uvek postići režim tečnog trenja — potpuno podmazivanje, naročito zbog toga što se

pri promeni režima rada mašine menja broj obrta i opterećenje, kao i usled postojanja udarnih i promenljivih opterećenja, kako po smeru, tako i po veličini.

Mnogo češće u radu kliznog ležista je prisutno trenje poluokvašenih površina, ili polutečno trenje, upravo zbog netačnosti obrade rukavca i posteljice, nepravilno rešenih kanala za podmazivanje, zbog pojave promenljivih, ili velikih, opterećenja, kao i drugih razloga. Uzajamno dejstvo svih ovih faktora izaziva smanjenje minimalne debljine sloja maziva, što može dovesti do kontakta spoljnih neravnina tarućih površina. U ovoj fazi koeficijent trenja je $0,02 - 0,1$. Habanje tarućih delova u ovom režimu je neizbežno, a utoliko je veće — ukoliko je veća hraptavost spregnutih elemenata i ukoliko je veće opterećenje.

Možemo radu kliznog ležista dodati još jednu — četvrtu fazu sl. 4., kada se centar rukavca i ležista poklapaju i ona se naziva — granična faza. Ona može da nastupi pri veoma velikim brzinama rukavca (teorijski $v = \infty$), kad je spoljašnje opterećenje na rukavac jednako nuli. Teorijski se može dokazati da je u slučaju poklapanja centra rukavca s centrom posteljice — ležista, noseća sposobnost sloja maziva jednaka nuli zbog odsustva uljnog kline. Prema tome, u fazi pravilnog rada kliznog ležista položaj centra rukavca je ekscentričan u odnosu na ležiste.

Iste faze rada kliznog ležista, koje se javljaju u periodu puštanja u rad, prisutne su i u periodu zaustavljanja. One su prisutne kod svih kliznih ležista i ne mogu se izbeći nikakvim konstruktivnim, tehnološkim i drugim merama.

OBLICI HABANJA

Odstupanja između hidrodinamičke teorije podmazivanja kliznog ležista i stvarnih uslova rada izazivaju pojavu habanja kod kliznog ležista, koju tumačimo uzajamnim preplitanjem mehaničkih, fizičkih i hemijskih procesa u njegovom radu.

Prateći rad kliznog ležista sa gledišta praćenja istrošenja, u njegovom radu srećemo se sa sledećim vidovima habanja:

- kontaktno habanje,
- abrazivno habanje,
- koroziono habanje i
- habanje usled zamora.

KONTAKTNO HABANJE

Kao što je rečeno, normalni rad kliznog ležista treba da se odvija saglasno hidrodinamičkoj teoriji podmazivanja, za čiju je realizaciju potrebno da bude ispunjen uslov:

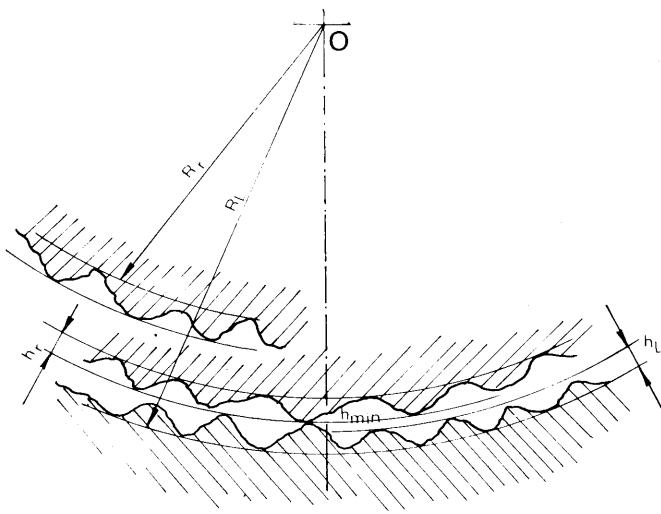
$$h \geq h_{\min} + h_R + h_L \quad (2)$$

tj. da vratilo i posteljica kliznog ležista budu razdvojeni dovoljno visokim uljnim filmom kao što prikazuje sl. 6.

Kada pri radu ležista iz bilo kog razloga nije ispunjen uslov (2) imamo prekid hidrodinamičkog režima rada ležista i pojavu kontaktnog habanja. Ono se javlja posebno kad imamo:

- nedovoljno podmazivanje i smetnje u dovodu ulja, i
- korišćenje ulja sa radnom viskoznosću koja je manja od viskoznosti koja odgovara zazorima, brzini i normalnom opterećenju odgovarajućeg ležista.

Pojava kontaktnog habanja proučavana je od niza autora i pokazano je da je proces kontaktnog habanja zasnovan na uzajamnom dodiru spregnutih delova na vrhovima neravnina, njihovom zavarivanju i odvajajanju zavarenih mostova između suprotnih neravnina koje stupaju u kontakt na mestu u kome se režim hidrodinamičkog podmazivanja prekida. Za vreme odvajanja zavarenih mostova javlja se obrazovanje novih čestica habanja koje svojim kretanjem u ulju pojačavaju mehaničko habanje.



Sl. 6. — Makrogeometrija tarućih površina

Ponekad se proces kontaktnog habanja odvija kao proces rezanja mekšeg metala tvrdim metalom, zbog toga što najveće izbočine hraptavosti tvrdog metala umesto da se deformišu u elastičnoj, ili plastičnoj oblasti, kidaju ili sekut meksi materijal s kojim se dodiruju.

Uticaj materijala

Osetljivost na kontaktno habanje tj. na zavarivanje dođnih tačaka spregnutih materijala jako zavisi od uzajamne saglasnosti dodirujućih metala, u zavisnosti od njihovih atomskih prečnika i njihovih sposobnosti da obrazuju substitucione i prelazne legure.

Izvršena istraživanja ukazuju na postojanje sledećih teorija koje objašnjavaju procese kontaktnog habanja:

- adsorpcione molekularne teorije atezije,
- električne teorije atezije,
- difuzione teorije atezije.

Difuziona teorija je jedna od najprihvatljivijih ali bez obzira na to proces kontaktnog habanja odvija se tako što atomi legirajućeg metala prodiru u rešetku osnovnog metala i dolazi do obrazovanja prelaznih legura. Ova pojava je moguća samo u tom slučaju ako prečnici legirajućih atoma nisu veći od 15% od atoma osnovnog metala i ako oba metala poseduju slične kristalne rešetke.

Ova činjenica utiče na izbor parova materijala koji se koriste za izradu ležajeva i koji omogućavaju optimalno ponašanje za vreme njihovog rada.

Uticaj opterećenja

U slučaju kontaktnog habanja uticaj opterećenja je dvojak:

- neposredno, opterećenje utiče na skidanje neravnina i povećava temperaturu kontakta između površina,
- posredno, opterećenje utiče na strukturalne promene u materijalu zbog kojih može bitno da se izmeni ponašanje materijala pri habanju.

U jednom od radova [1] pokazano je da je uticaj opterećenja tesno povezan sa kvalitetom površina i sa mikro i makro geometrijom delova, a takođe i sa geometrijom dela u celini.

Uticaj brzine

U kontaktnim procesima efekti brzine se javljaju uglavnom indirektno, kao rezultat porasta temperature. Utvrđeno je da su pri malim brzinama i velikim opterećenjima čestice odvojene od spregnutih delova veće i malobrojnije, dok u slučaju malih opterećenja, a velikih brzina, imamo sasvim suprotan efekat. Dalje je utvrđeno da se habanje smanjuje sa brzinom, a da se pri jednoj istoj brzini habanje vremenom smanjuje.

ABRAZIVNO HABANJE

Pod terminom abrazivno habanje podrazumeva se razaranje površina koje se taru pod dejstvom čvrstih čestica u zoni trenja. Na taj način javlja se habanje izazvano česticama koje se izdvajaju u procesu trenja ili u zoni trenja dospevaju sa sredstvom za podmazivanje. Proces abrazivnog habanja ima mehanički karakter i sadržan je iz procesa razaranja ili skidanja metala u zoni kontakta. Mehaničko dejstvo abrazivnih čestica na radne površine u velikoj meri zavisi od njihovog oblika, stepena pričvršćenosti i odnosa mehaničkih osobina abrazivnih čestica i habajućih površina i dejstvujućeg opterećenja. Zbog svega toga i sam mehanizam habanja može da se menja od elastičnog deformisanja do najopasnijeg mikrorezanja.

Uticaj materijala

Uticaj materijala radnih elemenata jedan je od osnovnih parametara koji utiču na nivo habanja i on se ogleda u plastičnosti materijala i tvrdoći. U prvom slučaju možemo da govorimo o sposobnosti materijala da absorbuje abrazivne čestice i time umanji efekat. Idealan je onaj materijal koji lako apsorbuje abrazivne čestice, a pri narušavanju kontakta oslobođa se od njih. Univerzalne osobine u tom smislu imaju elastomeri i polimeri. Baš se time i objašnjava činjenica da su oni, pri podjednakoj tvrdoći s metalom, efektniji od njih pri trenju u prisustvu abraziva.

Uticaj abraziva

Uticaj abraziva na proces habanja zavisi od karakteristika čvrstih čestica, a posebno od oblika, dimenzije i čvrstoće. Ove karakteristike određuju stepen procesa habanja i kvalitet novoobrazovnih površina.

U slučaju da su dimenzije čestica abraziva manje od minimalne debeline uljnog filma, one se kreću bez ikakvih prepreka između metalnih površina i nemaju nikakav štetan efekat. U protivnom slučaju, abraziv deluje na površine sa kojima se dodiruje, dovodeći do brzog habanja.

Dejstvo abraziva je kratkotrajno jer se za nekoliko sekundi vrše dve paralelne radnje: gubitak razornog dejstva abraziva (verovatno kao rezultat usitnjenja abraziva ili zbog zaobljenja ivica) i dodatno habanje na radnim površinama na kojima se odvija proces trenja obzirom da se pritisak smanjuje do vrednosti manje od one na kojoj se vrši trenje.

Što se tiče tvrdoće abraziva moguća su dva slučaja:

— ako je tvrdoća tarućih površina veća od tvrdoće abraziva, njegovo dejstvo je kratkotrajno i sa neznatnim posledicama ali — ako je tvrdoća abraziva veća od tvrdoće materijala sa kojima se dodiruje njegovo razorenje dejstvo je trajnije i sa težim posledicama.

Uticaj opterećenja

Uticaj opterećenja u procesu abrazivnog habanja ima primarno dejstvo i njegov efekt ogleda se u veoma oštom habanju bez obzira na njegovu kratkotrajnost.

Količina toplove obrazovana pri ovom habanju je manja nego u slučaju kontaktnog habanja, jer se deo energije troši za obrazovanje novih površina.

Po svojoj specifičnoj težini, abrazivno habanje, i kada se pojavi, mnogo je veće i ima znatno teže posledice od ostalih oblika habanja, umanjujući mnogo vek trajanja normalne eksploracije ležišta.

Korišćenjem čistijeg ulja tj. korišćenjem visokoefektivnih prečistača da bi se izbeglo priljanje ležišta različitim spoljašnjim nečistoćama je uslov koga se treba pridržavati ukoliko se želi duži vek rada ležišta.

KOROZIONO HABANJE

Koroziono ili oksidaciono habanje javlja se kada se par trenja nađe u sredini koja pogoduje hemijskim reakcijama. To znači da je paru trenja potrebno prisustvo kiseonika i vode ili prisustvo neke kiseline. Prvi zahtev imamo već i u

normalnom radu ležišta a drugi kod onih ležišta koja u ovom radu koriste maziva koja su već izradena.

Poznato je da se hemijske reakcije vrše s velikim intenzitetom, samo ako se raspolaže dovoljnom energijom za aktiviranje hemijskog procesa. U nekim slučajevima čak i ako postoji reakcija produkti reakcije mogu da izadu iz kristalne rešetke samo putem raskida atoma iz rešetke.

Zbog ogromne energije neophodne za raskid atoma iz rešetke dobijaju se vrlo izdržljive zaštitne opne pri velikim pritiscima i brzinama. Osim toga, i sami produkti reakcija mogu da dejstvuju kao mazivo izolirajući istovremeno površine.

Deterdžentne primese koje se nalaze u mazivu, takođe povećavaju opasnost korozionog habanja, zahvaljujući tome, što čuvajući uvek metalne površine čistim one postaju osetljivije na dejstvo različitih hemijskih agenasa. Bez obzira na sve to, mazivo predstavlja izvesnu zaštitu koja se ogleda u smanjenju efekta korozije u slučaju porasta potrošnje ulja u ležištu.

Uticaj materijala

Važan faktor u procesu hemijskih reakcija metala je njihov položaj sa elektrohemiske tačke gledišta i ukoliko postoji veća analogija između metala korišćenih kao materijal za ležišta sa elektrohemiske tačke gledišta, utoliko je manja korozija.

Na koroziju mnogo utiče i prisustvo u tom elektrolitu nekih neanalognih metala, pa čak i metala sa sopstvenim oksidom što pomaže obrazovanju galvanskih elemenata koji mogu da uključe čak i legirajuće elemente.

Zbog tih uzoraka, korozija je intenzivnija tamo gde postoji put za prodiranje elektrolita, kao na primer, mikroprskotine ravni klizanja, oblasti narušavanja reda u kristalu i dr. Osim toga, na proces korozije mnogo utiče stanje i stepen kvaliteta obradene metalne površine kao i stanje njegove napregnutosti.

U slučaju oksidacije čelika kako je već bilo navedeno dobijaju se svi oksidi gvožđa: na površini se dobija Fe_3O_3 (hematit) koji se na prelaznom sloju abrazuje u Fe_3O_4 (magnetit) i na dubinskom sloju u FeO (austit). Zbog toga što sloj Fe_3O_4 neprekidno raste, kiseonik difundira u Fe_3O_3 a gvožđe difundira u FeO .

Materijali, koji se obično koriste kao materijali za ležajeve (olovo, kadmijum, cink, kralj, bakar i dr.) osetljiviji su na koroziju od gvožđa, jer brzina njihovih reakcija se nalazi u direktnoj zavisnosti od prirode hemijskih agenasa sa kojima se oni dodiruju. Zbog toga u slučaju korišćenja ulja sa primesama za podmazivanje ležišta, treba uzeti u obzir, pri izboru primesa, osetljivost metala prema njihovom hemijskom dejstvu.

Uticaj temperature

Bitan faktor u korozionom habanju ležišta je temperatura. Zavisnost hemijskih reakcija od temperature data je zakonom Arrhenius-a, koji pokazuje da se zavisno od geometrije hemijski aktivni agensi ponašaju različito u odnosu na jedan isti materijal. Takođe se vidi da temperatura različito utiče na sposobnost hemijskih reakcija jednog istog hemijskog agensa u odnosu na različite metale.

Kao primer navedimo da je dejstvo fosfora na olovu maksimalno na $150^\circ - 170^\circ\text{C}$ a u isto vreme u slučaju čelika i bakra, procenat fosfora opada s porastom temperature. Za slučaj sumpora reakcija sa olovom javlja se i na temperaturi okoline, a dostiže maksimum na temperaturi $160^\circ - 180^\circ\text{C}$ a zatim slabi, dok za slučaj reakcije sa čelikom ista počinje na $\approx 100^\circ\text{C}$ i dostiže maksimum na $\approx 200^\circ\text{C}$.

Uticaj brzine rada ležaja

Kako je brzina rada ležišta direktno vezana za temperaturu rada ležišta, to je uticaj brzine rada na pojавu korozionog habanja sličan uticaju temperature.

HABANJE USLED ZAMORA

Pod terminom zamor, obično se podrazumeva poseban tip razaranja izazvan dejstvom cikličnog naprezanja, čija amplituda nije veća od granice elastičnosti materijala. Da bi se javilo habanje usled zamora dovoljno je istovremeno prisustvo samo dva faktora: promenljive sile i tečne sredine koja prenosi dejstvo te sile na radnu površinu.

Zamor, s tačke gledišta razmera pojave i razvitka oštećenja, je lokalni proces, koji povlači za sobom promene u mikrozapreminama materijala.

Za slučaj da se pri radu jave naprezanja veća od granice izdržljivosti primećena su tri stadijuma promene procesa mikronaprezanja: oblast njihove brze promene, oblast stabilnih vrednosti na kraju katastrofalno brzo povećanje koje dovodi do razaranja. Za slučaj naprezanja koja su manja od granice izdržljivosti treći stadijum nije prisutan.

Ispitivanja vršena u cilju dobijanja određenih zakonitosti pri habanju usled zamora, pokazala su da je pri prelasku sa većih opterećenja na manja primećen period u kome se habanje sasvim prekida. To se objašnjava sličnošću sa zakonitosti rasprostiranja prskotina usled zamora u zapremini materijala, kada pri prelazu od većih opterećenja prema manjim, prskotina privremeno prekida ovaj porast, a zatim se ponovo razvija.

Najvažniji oblici u kojima se ispoljava habanje usled zamora su sledeći [1]: stvaranje jamica, pojava raslojavanja i efekt kavitacije.

Stvaranje jamica javlja se u svim slučajevima kada se između dveju površina koje su dosta približene jedna drugoj da ne bi dopustile nezavisnost kretanja ipak javljajući kretanja sa malom amplitudom. Ovaj oblik habanja ogleda se u razaranju površina kombinovanim dejstvom klijanja, čak na atomskim rastojanjima, i korozije — obično oksidacije.

Pojava raslojavanja ogleda se u izdvajajujući ljudska sa metalnih površina. Izdvajene metalne čestice imaju veoma male dimenzije čije se granice kreću od $1 \mu\text{m}$ (za metalne čestice) do $\approx 0,01 \mu\text{m}$ (za čestice oksida).

Posledice zamora u ovom slučaju obično su izraženije na krtim materijalima ili kod materijala sa zaostalim naponima a takođe i kod materijala kod kojih se otvrđivanjanja radnih površina deformacijom postigne stanje krtosti površinskog sloja.

Kavitacija se javlja pod uticajem pulzirajućeg dejstva hidrodinamičkih sila kao rezultat pojačanja svih mikrogresaka na tarućim površinama. U slučaju da se radi o hemijski aktivnim materijalima, efekti kavitacionog habanja se pojačavaju, ostvarujući skidanje čestica habanja znatno brže nego što se to vrši mehaničkim putem.

U slučaju kliznih ležišta, efekt habanja usled zamora ispoljava se u obliku površinskih oštećenja koja se javljaju ili zahvaljujući površinskim mikroprskotinama, ili greškama rešetke koja se javlja u dubini a zatim se šire ka površini. U prisustvu disulfid molibdena na radnim površinama vreme do pojave oštećenja na radnim površinama raste približeno za 10^6 puta, zbog toga što disulfid molibdena na radnim površinama obrazuje čvrste, neprekidne opne sprečavajući pojавu faktora zamora.

Takođe je utvrđeno da putem elektrolitičkog udaljavanja površinskog sloja koji je pretrpeo proces zamora izdržljivost na zamor raste od 17 do 90% [1].

GEOMETRIJSKI ASPEKTI HABANJA LEŽAJEVA

Najvažniji oblici habanja koji se sreću u radu ležišta, dejstvuju različito dovodeći do specifičnog habanja, na osnovu koga možemo da ih raspoznamo. Može se smatrati da svaki vid habanja ostavlja specifične tragove na materijalu i moguće je po obliku, položaju, veličini i izgledu pohabane zone da se odredi mehanizam koji je izazvao odgovarajuće habanje.

Poznavanje tj. identifikacija mehanizma koji u određenom režimu rada kliznih ležišta izaziva habanje u svakom slučaju je neophodna, jer nam omogućava da dejstvujemo na stranu njegovog smanjenja kao i na identifikaciju kako

pojedini elementi bilo geometrijski, bilo radni, ili čak i konstrukcioni, utiču na utvrđeni vid habanja.

Ranije smo videli da se u radu ležišta javljaju tri faze rada. Pogledajmo sad habanje koja se javljaju u tim fazama rada sa glavnim karakteristikama.

STANJE MIROVANJA

Položaj dat na sl. 1. odgovara stanju mirovanja ili suvišnom smanjenju noseće zone pri odveć velikim opterećenjima, suviše malim brojevima obrta ili nedovoljne viskoznosti maziva. U tom slučaju habanje je neznačno, obzirom da mazivo obezbeđuje podmazivanje u graničnom sloju.

Ako ovom položajem dodamo dejstvo agresivnog agensa, korozionog ili abrazivnog, habanje dobija znatne veličine sa geometrijske tačke gledišta po pravcu dejstva sile i uslovljeno je sledećim uzrocima:

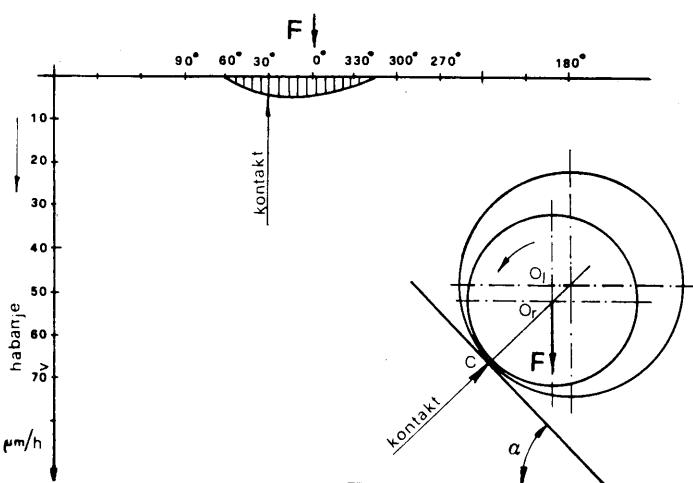
□ zbog nedovoljnog ili suviše tečnog ulja, ako je habanje malo po apsolutnoj veličini;

□ zbog prisustva u ulju korodirajućeg agensa, u kombinaciji sa više navedenim uzrokom, u slučaju ako je habanje veće, a oblik površine — gladak i blistav.

□ zbog prisustva abrazivnog agensa u ulju, takođe u kombinaciji sa prvim uzrokom, ako je habanje veće po veličini i pohabana površina ima mat ili istrošen izgled.

GRANIČNO STANJE SUVOG TRENJA

Kako je već rečeno, položaj na sl. 2. javlja se kao posledica odsustva podmazivanja, što omogućava pojavu kontaktnog habanja u prednjem delu ležišta u odnosu na položaj mirovanja. Veličina habanja i veličina pohabane zone u ovoj fazi rada prikazani su na sl. 7. [1].



Sl. 7. — Položaj kontaktnog habanja

Zbog neposrednog kontakta između metalnih površina, koeficijent trenja je veliki a takođe i lokalna temperatura, dovodeći čak do plastičnog tečenja i topljenja metala u tačkama dodira.

Ova pojava se potvrđuje i time što se većina zariba vanja vrši u prednjem delu ležišta u odnosu na položaj mirovanja.

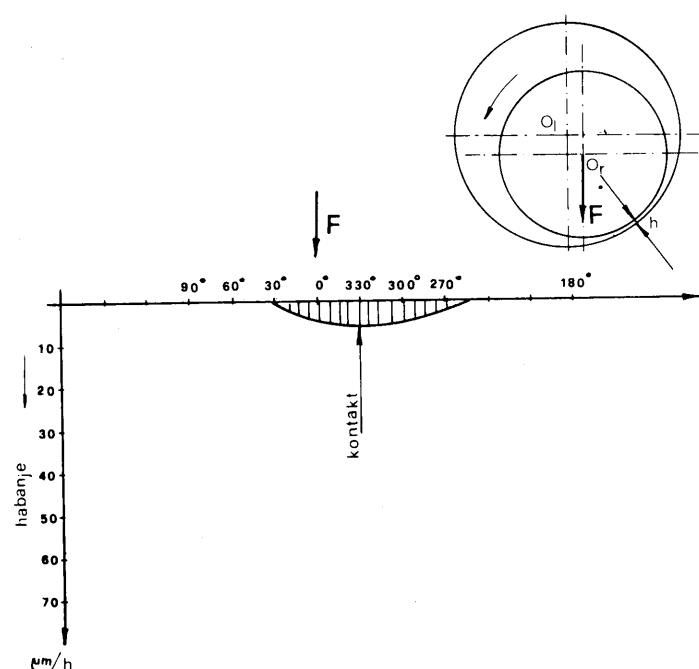
RADNO STANJE

U fazi radnog stanja, sl. 3, zaštitni sloj maziva između radnih površina u ležištu onemogućava pojavu kontaktnog habanja i u ovoj fazi imamo pojavu korozionog i abrazivnog procesa habanja koji se naročito pojačavaju u tački gde je debljina uljnog filma najmanja.

Analizirajući geometriju habanja u tom slučaju, lako može da se nađe tip habanja koji se javlja.

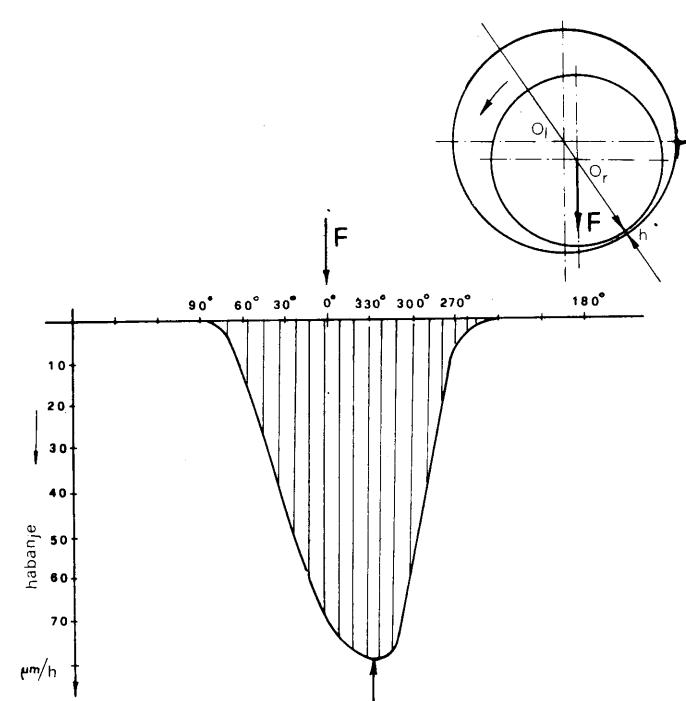
□ oscilacije ili kavitacija, kada po površini imamo specifične brazde, a u ostalim delovima površina ostaje glatka i sjajna;

□ korozija, kada je površina glatka i sjajna ili ima mat izgled, zbog toga što su iz rešetke iščezle lako reagujuće komponente (olovo na primer), pri čemu je po veličini ovo habanje kao i kontaktno habanje, kako prikazuje sl. 8.



Sl. 8. — Koroziono habanje — najintenzivnije u zoni u kojoj je debljina uljnog filma minimalna

□ abrazivno habanje kada površina ležišta ima relativno veliku pohabanu zonu sa rizevima; abrazivno habanje ima vrlo jak efekat, pri čemu je intenzitet abrazivnog habanja čak i do 30 puta veći nego u prethodnim slučajevima; pri tome je tačka najvećeg habanja smeštena u zoni najmanje debljine ulja, u zadnjem delu ležišta u odnosu na položaj mirovanja, slično kao i kod korozionog habanja, kao što prikazuje sl. 9.



Sl. 9. — Položaj abrazivnog habanja — najintenzivnije u zoni hidrodinamičkog plivanja

Kao što se iz iznetog vidi, najopasniji vid habanja za ležišta je oblik abrazivnog habanja koji dejstvuje znatno brže i čiji se efekti vide na znatno većoj dužini (skoro 180°).

Koroziono habanje može takođe da ima prvostepenu vrednost u slučaju prisustva kiselina ili nekih primesa u ulju iskorišćenih za podmazivanje kod ležišta od pojedinih metala, naročito osetljivih sa hemijske tačke gledišta. Efekt kontaktog habanja javlja se samo kao komponenta posle dužeg vremena rada. Međutim, pri izvesnim nenormalnim uslovima rada, ovi efekti predstavljaju plastičnost tečenja, topljenja posteljice ili zaribavanje površina, što dovodi do prerane zamene odgovarajućeg ležišta iz mašne.

ZAKLJUČAK

Prema hidrodinamičkoj teoriji rada kliznog ležišta kod pravilno projektovanog ležišta hidro-dinamički sloj ulja razvija površine rukavca i posteljice, i gledano na prvi pogled bio bi to i dovoljan zahtev da odsustvuje habanje kliznog ležišta. Međutim, kod realnih kliznih ležišta proces habanja je, zahvaljujući hrapavosti dodirnih površina, iskočnjima, odstupanju od pravilnog geometrijskog oblika, fizičkim i hemijskim procesima u radu, potom zahvaljujući promenljivim uslovima — opterećenju i broju obrta kako p. oveličini tako i po smeru, ipak prisutan. Tako na istraživačima i projektantima ostaje da pravilnim izborom materijala kliznog para rukavac-posteljica, pravilnim konstruktivnim rešenjem pri čemu će se voditi računa o eksploa-

tacijskim uslovima ovaj neželjeni efekt rada kliznog ležišta, svede na što je moguće manju meru.

LITERATURA

1. Н. ТИПЕИ, В. Н. КОНСТАНТИНЕСКУ: Подшипники скольжения, Бухарест, 1964.
2. DUDLEY D. F.: Theory and practice of lubrication for engineers, John Wiley, 1956.
3. WILCOCK D. F., BOOSER E. R.: Bearing design and application, Mc Graw-Hill Book Company, 1957.
4. SHIGLEY E. J.: Mechanical engineering design, Mc Graw —Hill Book Company, 1963.
5. CAMERAN A.: Basic lubrication theory, Ellis Horwood Limited, 1976.

**Mr MIHAJOVIĆ DRAGOSLAV, dipl. inž.
asistent pripravnik Mašinskog fakulteta u Kragujevcu**



Roden 1941. god. u Kragujevcu
gde je i diplomirao na Mašinskom
fakultetu. Od 1967. do 1973. godi-
ne radio je u Institutu Zavoda
»Crvena zastava«. Potom prelazi
na Mašinski fakultet gde radi na
predmetu mašinski elementi. Ma-
gistrirao je 1979. godine.

V. IVUŠIĆ*

ISTRAŽIVANJA

Utjecaj struktturnog stanja legiranog bijelog lijeva na lomnu žilavost i otpornost abraziji**

UVOD

Prema analizama triboloških gubitaka provedenim u nekim industrijskim razvijenim zemljama (Velika Britanija, USA, Japan) moguće uštude procjenjuju se na oko 1% od nacionalnog bruto proizvoda zemlje na koju se analiza odnosi, [1]. Radi se o ogromnim sredstvima koja je, samo primjenom postojećih znanja tribologije, moguće uštediti i u našoj privredi.

Od ukupnih triboloških gubitaka 50% pripisuje se djelovanju abrazijskog trošenja, [2], [3]. Kod abrazijskog trošenja uštude je moguće postići uz relativno mala ulaganja, budući da je procijenjeni omjer ulaganja prema uštadama čak 1:50, [3].

Sudeći prema ovim podacima, abrazijsko trošenje trebalo bi biti prioritetno područje djelovanja u okviru tribologije.

Od mogućih zahvata u cilju smanjenja troškova izvanjih abrazijskim, najveći efekti mogu se postići pravilnom upotrebom materijala otpornih abrazijskih. Jedan od takovih materijala je bijeli lijev s 15% Cr i 3% Mo (lijev 15-3), tip II prema standardu ASTM, [4], koji je izabran za pokusni materijal u ovom radu.

Budući da su žilavost i otpornost abraziji dva najvažnija zahtjeva na materijal u uvjetima abrazijskog trošenja, u radu je ispitana utjecaj struktturnih stanja lijeva 15-3 na ta dva svojstva, u svrhu iznalaženja kriterija za izbor materijala u uvjetima abrazijskog trošenja.

EKSPERIMENTALNI DIO

Eksperimentalni dio sastojao se iz testiranja lomne žilavosti i pokusa abrazijskog trošenja.

TABELA 1.

ELEMENTARNI SASTAV ODLJEVAKA 1 i 2

| Odljevak | Elementarni sastav, % | | | | | | | |
|----------|-----------------------|------|------|------|------|------|-------|-------|
| | C | Si | Cr | Mo | Mn | Ni | P | S |
| 1 | 3,27 | 0,74 | 17,5 | 2,62 | 0,63 | 0,13 | 0,024 | 0,022 |
| 2 | 2,43 | 0,99 | 17,1 | 2,48 | 0,69 | 0,13 | 0,024 | 0,024 |

* Biografija data u prvom broju časopisa (aprila 1979).

** Djelomičan prikaz magistarskog rada, Fakultet strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 1979.

Pokusni materijal dobiven je lijevanjem epruveta za lomnu žilavost dijelovi kojih su također korišteni za pokuse abrazijskog trošenja. Bile su odlijevane dvije serije epruveta od visokougljičnog (odljevak 1) i niskougljičnog (odljevak 2) lijeva 15-3 prema standardu, [4]. Elementarni sastav odljevaka 1 i 2 dan je u tabeli 1.

Obje serije epruveta bile su toplinski obrađene prema standardu [4] u svrhu dobivanja različitih struktturnih stanja, kako je prikazano u tabeli 2.

TABELA 2.

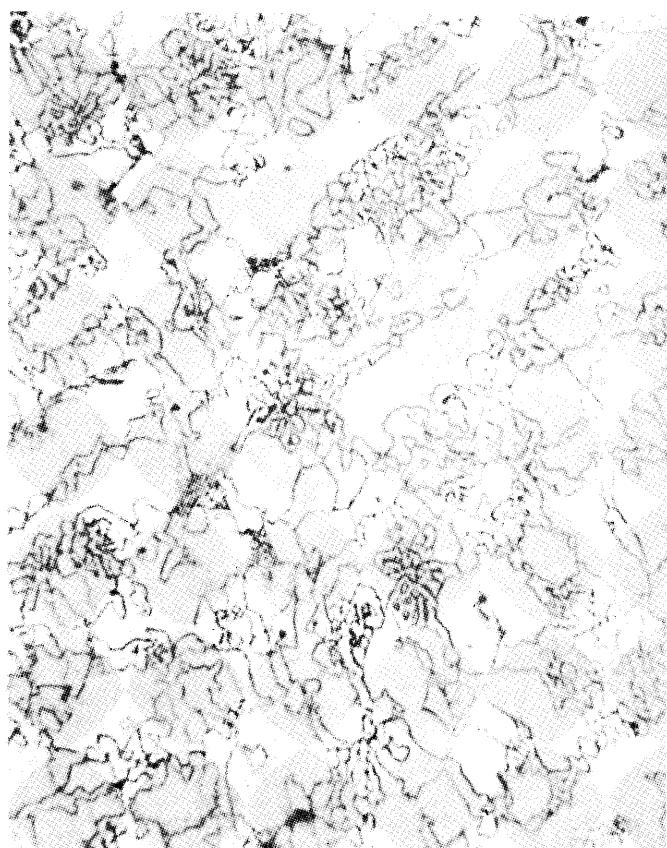
TOPLINSKA OBRADA EPRUVETA

| Odljevak | Oznake epruveta | Stanje | Toplinska obrada |
|----------|-----------------|---------------------|-----------------------|
| 1 | 1 L | lijevano | |
| | 1 LP | lijevano, popušteno | 250°C/3 h |
| | 1 K | kaljeno | 950°C/zrak |
| | 1 KP | kaljeno, popušteno | 950°C/zrak, 250°C/3 h |
| 2 | 2 L | lijevano | |
| | 2 LP | lijevano, popušteno | 250°C/3 h |
| | 2 K | kaljeno | 950°C/zrak |
| | 2 KP | kaljeno, popušteno | 950°C/zrak, 250°C/3 h |

Karakteristične mikrostrukture epruveta prikazane su na slikama 1 do 4.

500:1

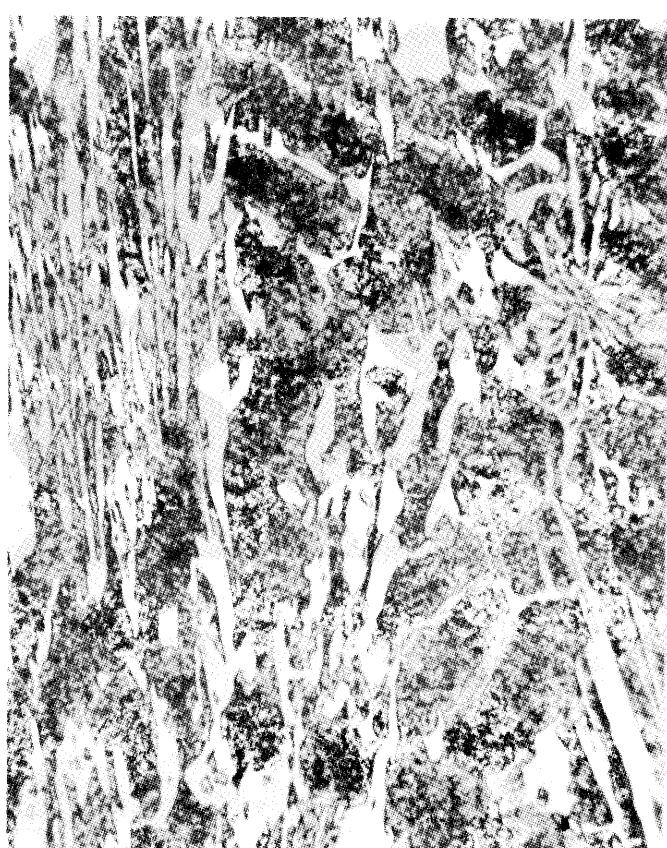
Vilella



Sl. 1. — Visokougljični lijev, lijevano stanje. Eutektički karbidi u austenitnoj osnovi.

500:1

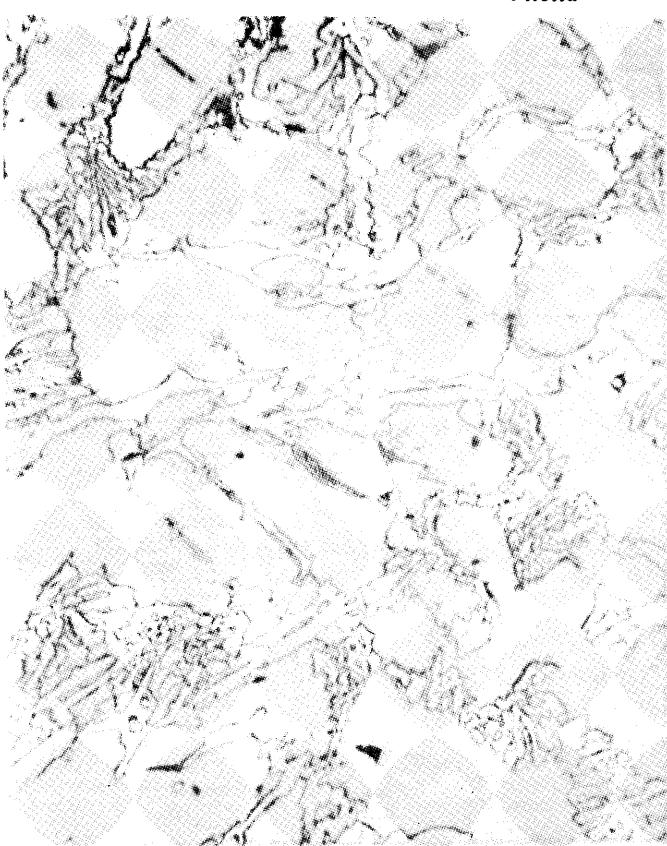
Vilella



Sl. 3. — Niskougljični lijev, lijevano stanje. Eutektički karbidi u austenitnoj osnovi.

500:1

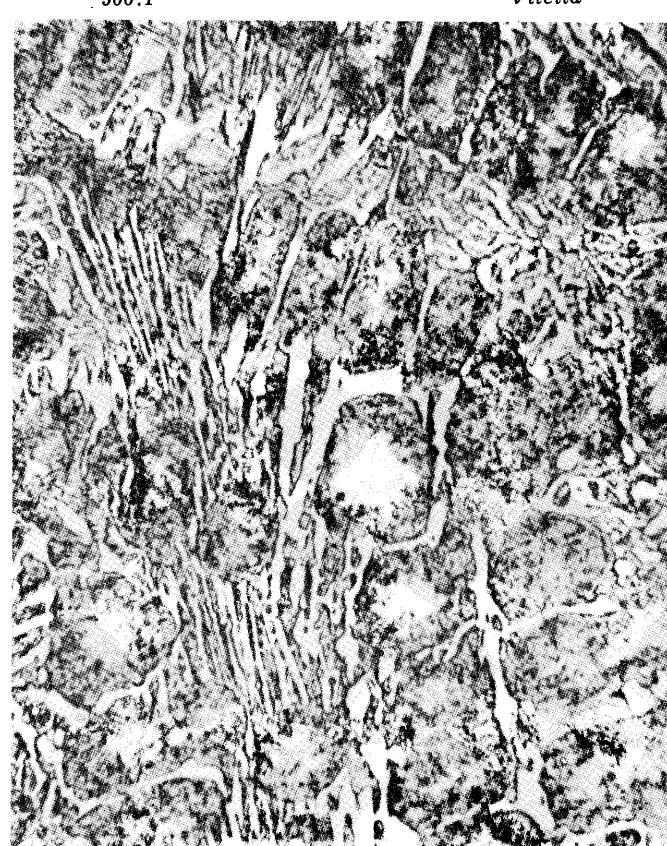
Vilella



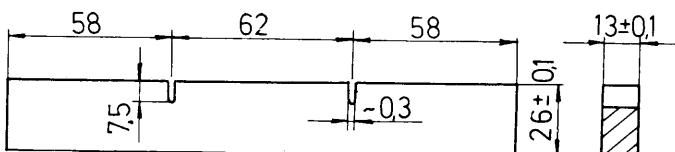
Sl. 2. — Visokougljični lijev, kaljeno stanje. Eutektički i sekundarni karbidi u martensitnoj osnovi.

500:1

Vilella



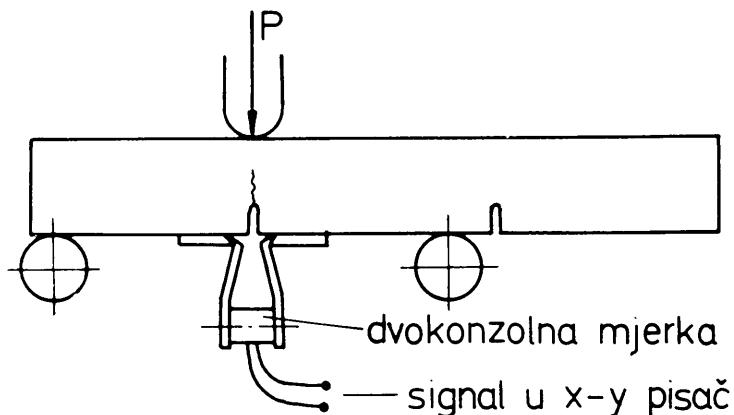
Sl. 4. — Niskougljični lijev, kaljeno stanje. Eutektički i sekundarni karbidi u martensitnoj osnovi.



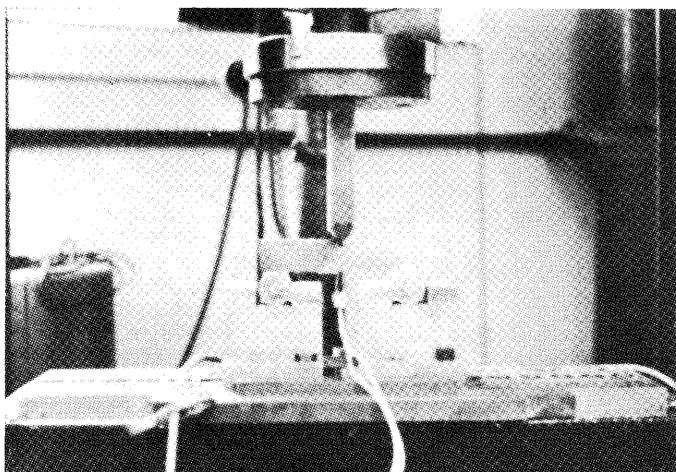
Sl. 5. — Epruveta za savijanje s dva zareza, prema standardu [5]

Testiranje lomne žilavosti

Testiranje lomne žilavosti obavljeno je prema standardu, [5]. Najprije su na umaralici izazvane oštreti pukotine propisane duljine, a zatim su epruvete opterećivane do loma, kako je prikazano na slikama 6. i 7.



Sl. 6. — Shema testiranja lomne žilavosti



Sl. 7. — Testiranje lomne žilavosti

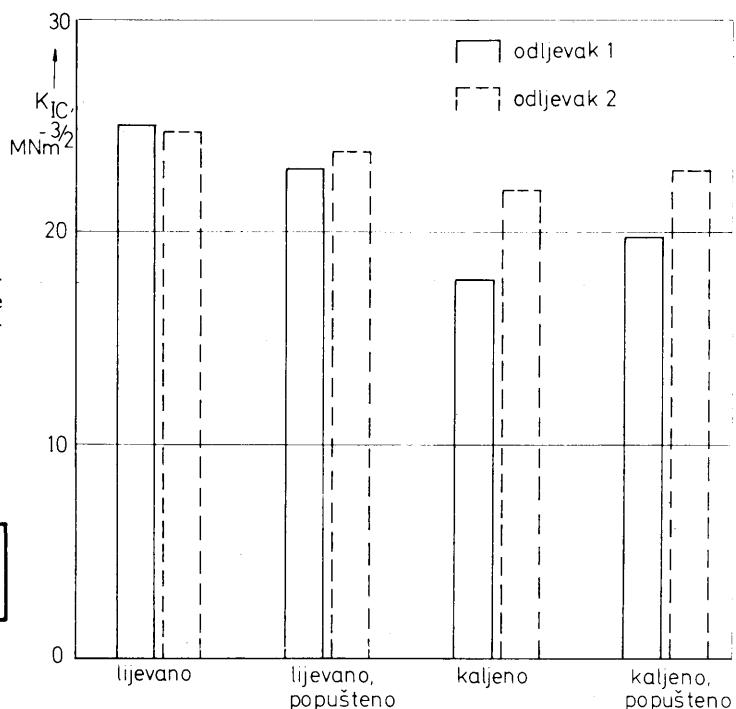
Na temelju snimljenih dijagrama sile P u zavisnosti o otvaranju pukotine izračunate su vrijednosti lomne žilavosti $K_I C$. Rezultati su prikazani histogramski na slici 8.

Pokusi abrazijskog trošenja

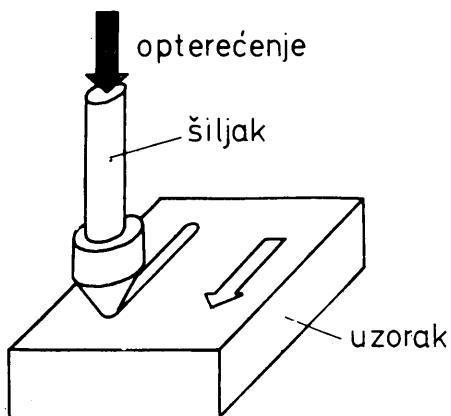
Pokusi abrazijskog trošenja bili su provedeni na uređaju s dijamantnim šiljkom, kako je prikazano na slikama 9. i 10.

Uzorci su bili pripremljeni iz polomljenih dijelova epruveta za lomnu žilavost. Radi usporedbе, uzet je i jedan uzorak od austenitnog manganskog čelika, oznaka A.Mn. Ispitivane površine bile su obradene poliranjem. Bila su primjenjena opterećenja 7; 17; 38; 78 i 156 N. Duljina hodа bila je 10 mm, a prosječna brzina gibanja uzorka iznosila je 3,3 mm/s. Siljak na uređaju potječe od Vickers tvrdo-

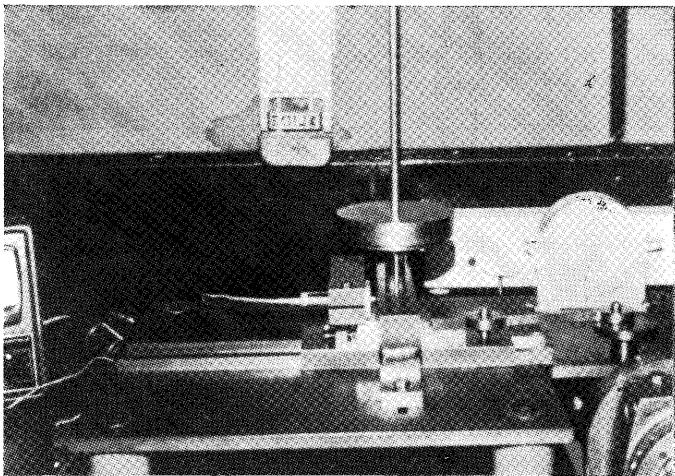
mjera, ali se vrh dijamantne piramide upotrebom istrošio, što se vidi po profilu brazde snimljenom na Perth-O-Metru, slika 11.



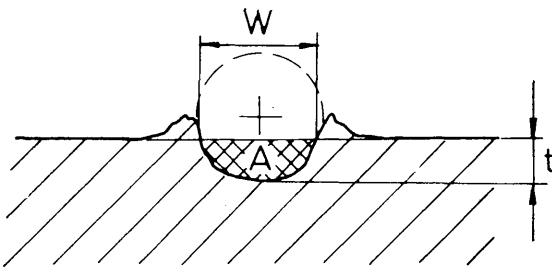
Sl. 8. — Srednje vrijednosti lomne žilavosti za različita struktura stanja lijeva 15—3



Sl. 9. — Shema rada uređaja sa šiljkom



Sl. 10. — Uredaj s dijamantnim šiljkom



Sl. 11. — Profil brazde u ispitivanom materijalu

Parametri W i t izmjereni su na Schmalzovom mikroskopu za sve brazde. Površina A aproksimirana je površinom kružnog odsječka duljine tetine W i visine t . Volumenski iznos trošenja V dobiven je množenjem površine A s 10 mm koliko je iznosila duljina svake brazde i zbrajanjem volumena za svih pet opterećenja. Rezultati su prikazani u tabeli 3. Relativni pokazatelji izračunati su u odnosu na uzorak A.Mn.

TABELA 3.

REZULTATI POKUSA ABRAZIJSKOG TROŠENJA

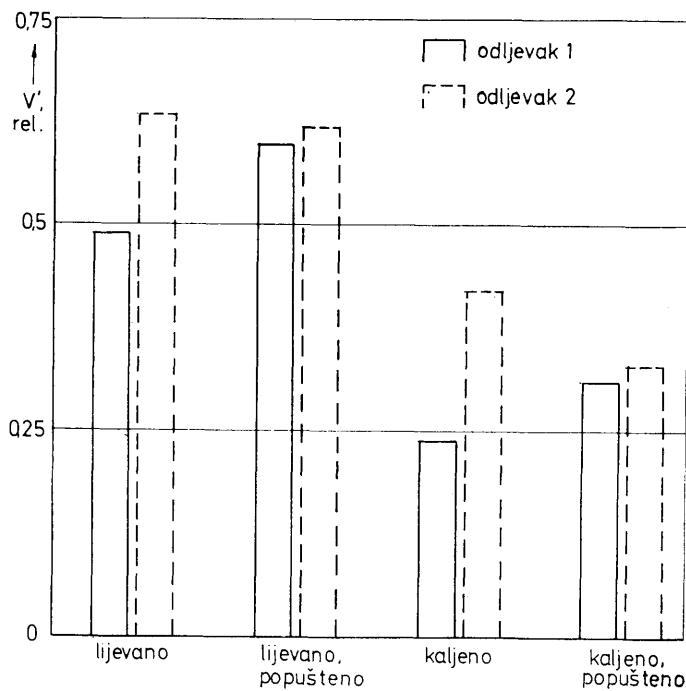
| Uzorci | V , mm^3 | V' , relativno | $\frac{1}{V'}$, relativno |
|--------|---------------------|------------------|----------------------------|
| 1 L | 0,045 | 0,49 | 2,0 |
| 1 LP | 0,054 | 0,60 | 1,7 |
| 1 K | 0,022 | 0,24 | 4,2 |
| 1 KP | 0,028 | 0,31 | 3,2 |
| 2 L | 0,058 | 0,64 | 1,6 |
| 2 LP | 0,056 | 0,62 | 1,6 |
| 2 K | 0,038 | 0,42 | 2,4 |
| 2 KP | 0,029 | 0,33 | 3,0 |
| A.Mn | 0,090 | 1,0 | 1,0 |

V — volumensko trošenje

V' — relativno trošenje, $A.Mn = 1,0$

$\frac{1}{V'}$ — relativna otpornost abraziji, $A.Mn = 1,0$

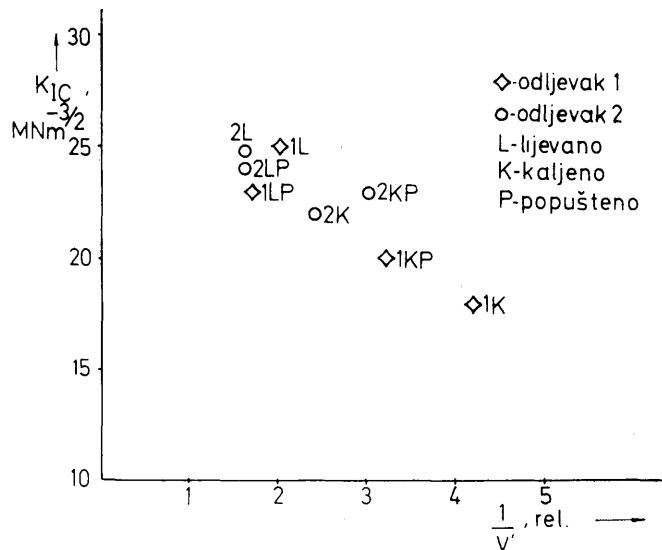
Relativno trošenje prikazano je u histogramskog obliku na slici 12.



Sl. 12. — Relativno trošenje uzorka, $A.Mn = 1,0$

DISKUSIJA REZULTATA

Usporedba rezultata pokusa lomne žilavosti i abrazivnog trošenja pokazuje da uglavnom vrijedi opća zakonitost: veća žilavost — manja otpornost abraziji i obrnuto, što je u dijagramskom obliku prikazano na slici 13.



Sl. 13. — Međusobna zavisnost lomne žilavosti i otpornosti abraziji za različita struktura stanja lijeva 15—3

Valja napomenuti da otpornost abraziji kako je ovdje definirana ne vrijedi općenito nego samo za slučajeve abrazije koji su po uvjetima slični pokusima na uređaju s dijamantnim šiljkom.

Lijev 15—3 ima najveću lomnu žilavost u lijevanom stanju, a najveću otpornost abraziji u kaljenom stanju.

Popuštanje lijevnog stanja izgleda da negativno utječe na lomnu žilavost, što je u skladu s [6].

U kaljenim stanjima niskougljični lijev ima veću lomnu žilavost nego visokougljični, što je posljedica manjeg sadržaja karbida.

Popuštanje kaljenog stanja utječe pozitivno na lomnu žilavost.

ZAKLJUČAK

Lomna žilavost lijeva 15—3 iznosi oko $20 \text{ MN m}^{-3/2}$, što je isti red veličine kao kod nekih brzoreznih čelika. Ovaj podatak se može koristiti pri predizboru materijala.

Kod izbora struktturnog stanja samog lijeva 15—3 treba procijeniti koji od dva zahtjeva (lomna žilavost — otpornost abraziji) je važniji u danom slučaju. Također treba imati na umu da lomna žilavost karakterizira samo otpornost propagaciji pukotina, dok na otpornost stvaranju pukotina u pravilu utječu mnogi drugi faktori. Stoga se može dogoditi da za slučajeve abrazije s većim udarnim opterećenjima valja birati materijal manje lomne žilavosti, to jest kaljena (i eventualno popuštena) stanja lijeva 15—3, što je na izgled paradoks. To je zbog toga što manja otpornost plastičnoj deformaciji lijevane strukture može uzrokovati veću brzinu stvaranja pukotina i na taj način smanjiti stvarnu otpornost konstrukcijskog dijela prema lomu.

Lijevano stanje (popuštanje se ne preporučuje) posjeduje veću otpornost propagaciji pukotina i zato ga treba birati u slučajevima kada su uvjeti takvi da ne izazivaju prekomjernu brzinu stvaranja pukotina, to jest sam proces trošenja ne uzrokuje makro-prijelom, a dio je u radu izložen povremenim ili slučajnim udarcima kakvi bi u kaljenoj strukturi mogli izazvati propagaciju makropukotine.

ZAHVALA

Eksperimentalni dio ovoga rada napravljen je uz pomoć Fulmer Research Institute, Slough i Brunel University, Uxbridge, Velika Britanija, te Laboratorijske za precizna me-

renja dužina, Fakultet strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu, na čemu se autor zahvaljuje.

Također se zahvaljuje prof. dr Ranku Zgagi na mnogim korisnim savjetima i diskusijama.

LITERATURA

1. Tribology International, 11 (1978), 34.
2. T. S. EYRE, Tribology International, 9 (1976), 203—212.
3. Bundesministerium für Forschung und Technologie, Forschungsbericht T 76—38, Tribologie, Zentralstelle für Luft — und Raumfahrt dokumentation und — information, München, 1976.
4. ASTM Designation: A 532—67 (1972) Standard Specification for Abrasion-Resistant Cast Irons.
5. BS 5447:1977 Methods of Test for Plane Strain Fracture Toughness (K_{IC}) of Metallic Materials.
6. W. FAIRHURST, K. RÖHRING, Abrasion-Resistant High-Chromium White Cast Irons, Foundry Trade Journal, May 1974.

ISPRAVKA

U trećem broju časopisa u radu Mr Mladena Stupnišeka, objavljenom pod naslovom

PRIMJENA SKENING MIKROSKOPA I ELEKTRONSKOG MIKROANALIZATORA U TRIBOLOŠKIM ISTRAŽIVANJIMA

došlo je do tehničkih grešaka koje mogu uticati na nejasnost teksta. Kako autor upozorava one su sledeće:

1. Na stranici 29, drugi stubac, osmi red odozgo stoji 1 m umjesto 1 µm.
2. U tekstu za sliku 2. izostavljeno je Y.
3. Slika 5. zaokrenuta je tako da ne korespondira slikama 3 i 4 sa kojima je u vezi.
4. Slika 7 je također zaokrenuta tako da ne korespondira slici 6 sa kojom je u vezi.

Redakcija časopisa zahvaljuje se autoru na inicijativi da se izvrši ova ispravka s obzirom da najneposrednije utiče na jasnost teksta i njegovu ukupnu vrednost.

POZIV NA SARADNU

Redakcija časopisa »Tribologija u industriji« poziva na saradnju sve naučne radnike koji se bave problematikom triboloških istraživanja i optimizacijom proizvodnje, kao i inženjere i tehničare iz neposredne proizvodnje, zainteresovane da svoja saznanja i iskustva saopštite široj javnosti. Imajući u vidu da se problematika dohotka, odnosno njegovog uvećanja u svim organizacijama udruženog rada neposredne proizvodnje, postavlja sve oštire i da se sve češće i upornije poziva u pomoć nauka, koja mora da bude u neposrednoj funkciji proizvodnje, to je redakcija časopisa »Tribologija u industriji« uverena da je nužna što tešnja veza između naučnih institucija i instituta, gde se obavljaju potrebna istraživanja, i industrije, gde se određena naučna saznanja najneposrednije primenjuju. Redakcija će biti zahvalna radnim organizacijama i pojedincima ukoliko izraze želju da se u časopisu obradi tema za koju su posebno zainteresovani.

Dakle, stranice časopisa su otvorene svim naučnoistraživačkim institucijama i pojedincima koji u oblasti triboloških istraživanja dolaze do određenih naučnih saznanja, interesantnih za unapređenje neposredne proizvodnje.

REDAKCIJA

PISMO NAŠIM PRETPLATNICIMA

Obraćamo Vam se na ovaj način u želji da Vam objasnimo nužnost izmene cene našeg časopisa.

Bitno poskupljenje štamparskih usluga u ovoj godini prinudilo je redakciju da razmišlja o načinima obezbeđenja sredstava za redovno izlaženje časopisa. Na žalost i pored svesrdnog nastojanja da obezbedimo vanredna sredstva kako ne bismo menjali cenu za naše preplatnike nismo uspeli da zberemo sredstva koja bi mogla da pokriju redovne štamparske troškove i minimum za rad redakcije. To praktično znači da i mi, na žalost, nismo mogli da mimoiđemo uvećanje cene časopisu, što samo predstavlja meru kojom se obezbeđuje redovno izlaženje časopisa.

Tako će, preplata iznositi u 1980. godini:
— za radne organizacije 600 dinara godišnje,
— za pojedince 320 dinara godišnje.

Istovremeno obaveštavamo naše cenjene preplatnike da je redakcija u 1979. godini utvrdila neekonomsku cenu, što se najjasnije vidi iz upoređenja sa cennama časopisa slične opreme i kvaliteta, koristeći deo fondovskih sredstava Laboratorije za obradu metala i tribologiju Mašinskog fakulteta u Kragujevcu, i istovremeno očekujući priliv sredstava iz komercijalno-propagandnih informacija radnih organizacija koje se bave proizvodnjom sredstava za hlađenje i podmazivanje pri obradi metala, zatim organizacija — proizvođača alata, mašina za obradu metala i čelika. Ukupne mere štednje, bez sumnje, uticale su na izostajanje prihoda časopisa iz ovih izvora. Takođe valja obavestiti preplatnike da je jedino Regionalna zajednica nauke Kragujevca pomogla izlaženje časopisa u 1979. godini sa 40.000 dinara. Sličnu pomoć redakcija očekuje i u 1980. godini.

Iz svega izложенog proizilazi da redakcija ne može i dalje da zadrži neekonomsku cenu časopisa, jer bi to bila najneposrednija pretnja njegovom daljem izlaženju.

Nadamo se da će korisnici časopisa, odnosno preplatnici, shvatiti nužnost nepopularne mere povećanja cene i svojom blagonaklonošću uticati da se ovaj časopis u narednim godinama razvija kako po sadržaju, tako i po opremi, koja ga svrstava u red bolje priređenih glasila u ovoj vrsti periodike.

Glavni i odgovorni urednik

OBAVEŠTENJE

Obaveštavamo sve naše preplatnike da je naš žiro račun kod Službe društvenog knjigovodstva u Kragujevcu promenjen. Broj našeg žiro računa sada glasi: 61700-603-495 SDK Kragujevac.

Molimo organizacije udruženog rada i pojedince, naše preplatnike, da preplatu za 1980. godinu šalju na gore navedeni broj žiro računa.