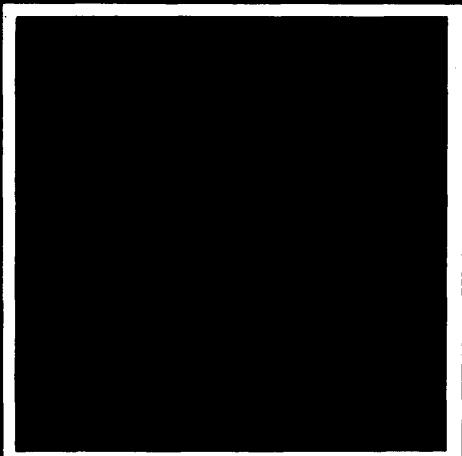
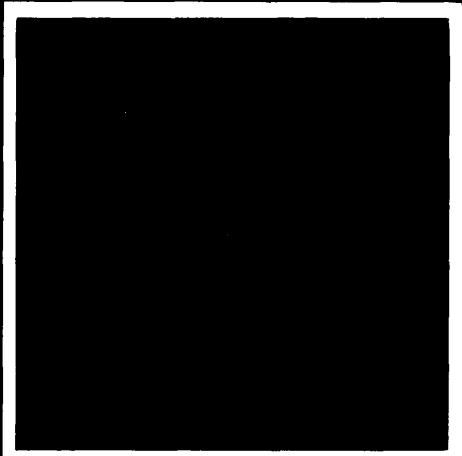
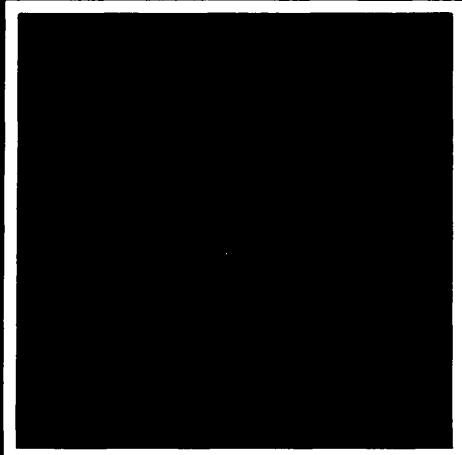
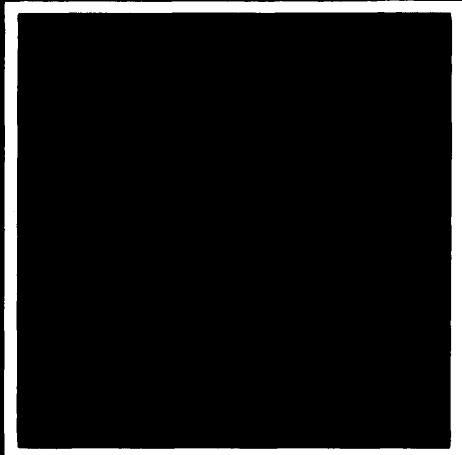
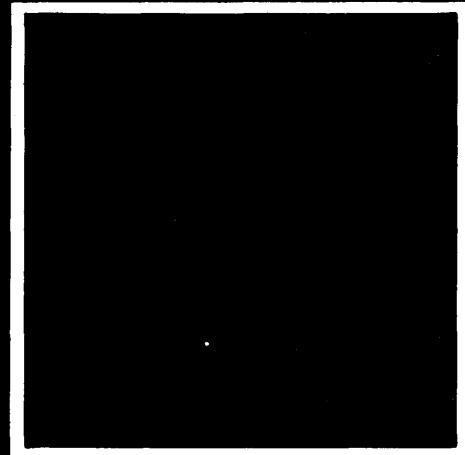


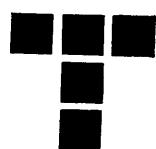
# tribologija u industriji

YU ISSN 0351-1642  
GODINA III  
AVGUST 1981.

2



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



GODINA III  
BROJ 2  
AVGUST 1981.

# tribologija u industriji

## sadržaj    contents    содержание

### UVODNIK INTRODUCTION ПЕРЕДОВИЦА

**B. IVKOVIĆ:** Tribologija u obrazovanju — Tribology in Education — Трибология в просвещении — — — — — 33

### ISTRAZIVANJA RESEARCH ИССЛЕДОВАНИЯ

**БЕЛЫЙ В. А., СВИРИДЕНOK А. И., ХОЛОДИЛОВ О. В., КРАГЕЛЬ СКИЙ И. В.:** O mehanizmu obrazovanja slojeva, pri prenosu mase kod polimera — On mechanism of formation of friction transfer layers of polymers — О механизме образования слоев трения при переносе полимеров — — — — — 34

**Z. KNEŽEVIĆ, S. ARSOVSKI:** Obradivost sivog liva u funkciji uslova livenja, hemijskog sastava i modificiranja pri obradi struganjem — Machinability of cast iron in turning as a function of casting conditions, chemical composition and modification — Обрабатываемость чугуна в функции условий литья, химического состава и модификации при обработке точением — — — — — 38

**BLAŠKOVIC P., STRANSKI K., SCHWAB P.:** Prilog proučavanju osobina kontaktnih površina pri trenju metala po metalu — Contribution to the study of contact properties of surfaces in solid friction metal-metal — К изучению свойств контактных поверхностей при трении металла по металлу — — — — — 46

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

**S. TANASIJEVIĆ:** Uticaj režima završne obrade brušenjem na brzinu širenja pittinga i dubinu razorenih površina cilindričnih evolventnih zupčanika — Influence of regime of the rate of pitting propagation and on the depth of destroyed surface on cylindrical gears — Влияние режимов чистовой обработки шлифованием на скорость распространения пittingа и глубину разрушенной поверхности цилиндрических эвольвентных зубчатых колес — — — — — 51

### NOVOSTI NEWS ИЗВЕСТИЯ

— — — — — 54

### KNJIGE I ČASOPISI BOOKS AND JOURNALS

— — — — — 56

### КНИГИ И ЖУРНАЛЫ

— — — — — 58

### NAUČNI SKUPOVI SCIENTIFIC MEETINGS НАУЧНЫЕ СОБРАНИЯ

— — — — — 60

### REZIMEA ABSTRAKTS РЕЗЮМЕ

— — — — — 61

# Tribologija u obrazovanju

Od 1966. godine kada je postavljen osnovni kontakt pojma tribologije u Engleskoj ova naučna disciplina širi se veoma brzo kroz industrijski svet. U našim jugoslovenskim prostorima tribologija počinje da se pominje i da se na nju obraća veća pažnja početkom 70-tih godina. U oblasti obrazovanja tribologija se u našoj zemlji prvo javlja na postdiplomskim kursevima za sticanje zvanja magistra tehničkih nauka i to na Mašinskom fakultetu u Kragujevcu i Strojarsko-brodograđevnom fakultetu u Zagrebu, a kasnije i na Mašinskom fakultetu u Beogradu. U ovom trenutku tribologija se kao jednosemestarski predmet nalazi u nastavnim planovima za sticanje zvanja diplomiranih mašinskih inženjera na mašinskim fakultetima u Ljubljani, Zagrebu, Beogradu i Kragujevcu. Na svim ostalim mašinskim fakultetima i njihovim odjeljenjima (preko 20) u zemlji tribologija kao naučna disciplina još uvek nije sadržana eksplicitno u nastavnim planovima, mada se pojedina poglavlja iz nje predaju kroz druge nastavne predmete (mašinski elementi npr. i sl.).

Tribologija kao naučna disciplina nalazi svoje mesto u industrijskom svetu i oblasti materijalne proizvodnje i u oblasti obrazovanja, pre svega, zato što omogućava:

— smanjenje utroška energije u svim oblastima materijalne proizvodnje i transporta,

— povećanje pouzdanosti i veka trajanja sredstava rada, transportnih sredstava i svih ostalih uređaja i aparatova koji se nalaze u svakodnevnoj upotrebi,

— izbor optimalnih vrsta materijala elemenata mašina i uređaja koji su u procesu njihove eksploatacije u kontaktu,

— izbor optimalnih vrsta i kvaliteta obrade elemenata mašina i uređaja koji su u procesu eksploatacije u kontaktu,

— izbor optimalne vrste sredstava za podmazivanje i režima podmazivanja tribomehaničkih sistema sadržanih u mašinama i uređajima svih vrsta,

— projektovanje i realizaciju tehnologije održavanja mašina i uređaja svih vrsta, itd.

Razvojem osnovnog koncepta tribologije kao naučne discipline, razvijen je u industrijskom svetu i sistem obrazovanja radnika odnosno svih učesnika u procesu proizvodnje i transportu. U osnovi, obrazovanje u oblasti tri bologije vrši se na tri načina i to:

— permanentnim obrazovanjem kroz organizovanje i izvođenje jednodnevnih i višednevnih seminara na kojima se slušaoci informišu o mogućoj primeni triboloških znanja u njihovom svakodnevnom radu. Ovi kursevi (seminari) imaju po pravilu specijalistički karakter i održavaju se namenski za one koji npr. rade na održavanju

mašina alatki, održavanju pojedinih vrsta transportnih sredstava, održavanju alata, itd.

Višednevni seminari sadrže u sebi često, i opštu problematiku tribologije izloženu u sažetoj formi. Na jednodnevnim kursevima se obično slušaocima ukazuje na nove materijale i nova sredstva za podmazivanje koji usporavaju proces habanja elemenata u kontaktu i proizvajaju vek trajanja mašina, uređaja i transportnih sredstava. Ova vrsta obrazovanja obuhvata sve nivoe slušalaca počev od onih koji imaju osnovno obrazovanje pa preko radnika sa srednjim, višim i visokim obrazovanjem do magistara i doktora tehničkih nauka. Materijali koji se izlažu uvek su prilagođeni i nivou znanja slušaoca.

— Obrazovanjem na nivou srednje stručne spreme (redovno školovanje) koje se najsporije razvijalo, jer je procedura oko uvođenja novih predmeta i naučnih disciplina uopšte u nastavne planove i programe srednjeg obrazovanja veoma složena i dugotrajna. Ovaj proces još uvek teče i u industrijski razvijenim zemljama i sve više je školski institucija srednjeg obrazovanja koje su uvele i tribologiju kao jedan od fundamentalnih stručnih predmeta.

— Obrazovanjem na nivou više i visoke spreme kroz uvođenje jednog ili više predmeta iz oblasti tribologije u nastavne planove i programe. U Engleskoj, u početku, izabrana su dva univerziteta na kojima je organizovana nastava iz oblasti tribologije. Danas se ona u ovoj zemlji izvodi na velikom broju politehnik i univerziteta koji školuju kadrove iz oblasti mašinske tehnike. Na višim školama i fakultetima uvođenje nastave iz tribologije išće u industrijskom svetu najlakše jer je procedura oko uvođenja novih nastavnih disciplina u ovoj oblasti obrazovanja relativno jednostavna.

Obrazovanje u oblasti tribologije koje se stiće na postdiplomskim studijama organizованo je, po pravilu, na onim institucijama na kojima je organizovan i naučno-istraživački rad u ovoj oblasti. Pored sticanja zvanja magistra tehničkih nauka iz oblasti tribologije na ovim institucijama postoji i mogućnost daljeg usavršavanja i sticanje zvanja doktora tehničkih nauka jer su istraživački projekti i programi dovoljno široki pa mogu da omoguće i dolaženje do novih saznanja o prirodi i tehnologiji kontakta dva tela.

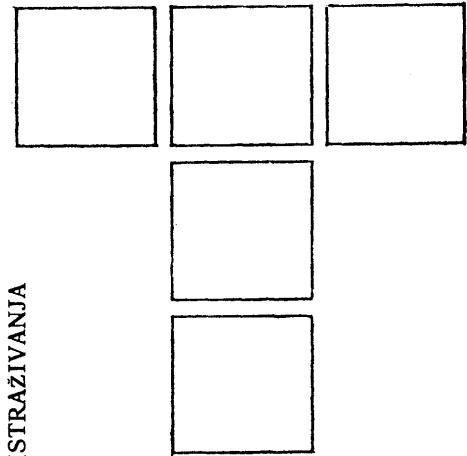
U našoj zemlji permanentno obrazovanje iz oblasti tribologije nije se, praktično, razvilo, a pokušaji koji su ranijih godina činjeni u tom pravcu nisu doveli do ozbiljnijih rezultata. Osnovni problem koji se javlja je vezan za neinteresovanje radnika u udruženom radu za ovim vidom inovacije postojećih i sticanje novih znanja jer se posle održanog kursa ili seminara ne dobija nikakav sertifikat (diploma) koja bi u postojecem sistemu raspodele

ličnih dohodata imala uticaja na vrednovanje odgovarajućih vrsta poslova. Drugi razlog zbog koga u ovom trenutku imamo nerazvijeno permanentno obrazovanje iz oblasti tribologije je veoma sužen prostor za istraživanja u ovoj oblasti. Mogu se na prste izbrojati naučne institucije i naučno istraživački projekti u našoj zemlji u kojima se ova problematika tretira na sistematski način. Permanentno obrazovanje, naročito na nivou visoke spreme, moguće je organizovati samo ako postoji razvijena naučno istraživačka delatnost kroz koju se dobijaju nova saznanja sa kojima treba da se informišu na prigodan način svi oni koji se ovom problematikom bave.

U srednjoročnom periodu 1981/1985. god., po saznanjima autora, nekoliko naučno-istraživačkih projekata iz oblasti tribologije treba da bude finansirano i od strane Republičkih zajednica nauke SR Srbije, SR Bosne i Hercegovine i SR Hrvatske. Realizacijom ovih istraživanja biće stvorena i veća mogućnost za organizovanjem permanentnog obrazovanja za nivo više i visoke spreme. Međutim, već izvedena istraživanja u oblasti tribologije daju mogućnost da se sa ovom vrstom obrazovanja otpočne već ove jeseni. Redakcija časopisa »Tribologija u industriji« učiniće poseban napor u ovom pravcu i pokušati da ovu vrstu obrazovanja uvede kao svoju stalnu aktivnost.

Reforma srednjeg obrazovanja koja se vrši u našoj zemlji već duže vremena, još uvek nije obratila pažnju i na obrazovanje iz oblasti tribologije. Razloga ima više, a osnovni je nedostatak stručnih kadrova koji bi ovaj program mogli i da izvode i nedostatak odgovarajuće literature. Na srpskohrvatskom jeziku ne postoji ni jedna knjiga koja bi mogla da posluži u ove svrhe. Kako reforma srednjeg usmernog obrazovanja neprekidno teče, to se nameće potreba da u narednim godinama i ovo pitanje bude pokrenuto na prikidan način i da, u početku u nekoliko usmerenja, bude uvedena i ova naučna i stručna disciplina. Sve veći broj inženjera koji završavaju poslediplomske kurseve iz oblasti tribologije treba i u ovom pravcu da usmere svoje napore narednih godina.

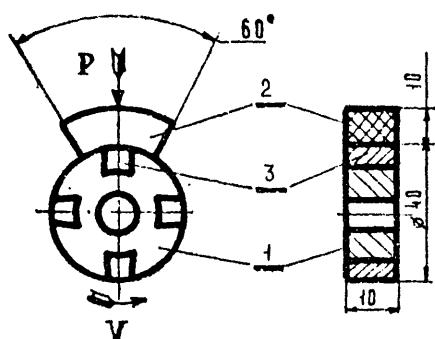
Uvođenje tribologije kao posebnog predmeta u nastavne programe nekoliko mašinskih fakulteta u zemlji predstavlja prvi značajni korak ka širenju obrazovanja iz ove oblasti. Kada u narednim godinama budu štampani i prvi univerzitetski udžbenici iz ove oblasti biće stvorena veća mogućnost i za uvođenje ovog predmeta i u nastavne programe ostalih fakulteta i viših škola. Autor se nuda da će u ovom srednjoročnom periodu publicistička delatnost iz oblasti tribologije biti znatno povećana i da će pored časopisa »Tribologija u industriji« biti štampane i posebne publikacije u vidu udžbenika i priručnika različitih vrsta i nivoa.



БЕЛЫЙ В. А., СВИРИДЕНОК А. И., ХОЛОДИЛОВ О. В.,  
КРАГЕЛЬСКИЙ И. В.

## UVOD

Pojava koja ima suštinski uticaj na procese trenja i habanja metalno-polimernih parova predstavlja obrazovanje slojeva pri prenosu masa sa polimera na metal. Ovi slojevi poboljšavaju frikcione karakteristike friкционog para (teflon, polietilen i drugi kristalizirajući polimeri), ali i pogoršavaju (polikaprolaktam, poliacetal, organsko staklo i dr.). Shodno savremenim predstavama [1], obrazovanje slojeva pri prenosu masa (»treće telo«) koji imaju specifičnu strukturu i svojstva, nastaje zahvaljujući athenzionom dejstvu. Uzimajući u obzir ovu složenost mehanizma obrazovanja prenesenih slojeva, neophodno je zapaziti da prenos masa nastaje uvek kao posledica razaranja kontaktnih površina. Karakter razaranja, a takođe i prateće pojave, određeni su fizičko-mehaničkim osobinama kontaktirajućih materijala, njihovom strukturoom kao i uslovima sredine u kojoj rade. Mnogobrojna ispitivanja su pokazala da prenos masa nastaje u svim uslovima klizanja [2]. U dosadašnjim istraživanjima određivani su: dimenzije i oblik prenesenih fragmenata [3], stepen njihove krističnosti [4], pravac orientacije [5]. Međutim, dinamika procesa prenosa malo je istražena, što ne dozvoljava davanje potpune karakteristike pojavama koje nastaju pri friкционom kontaktu.



Sl. 1. Shema trenja  
1 — osovina, 2 — papuča, 3 — umetak

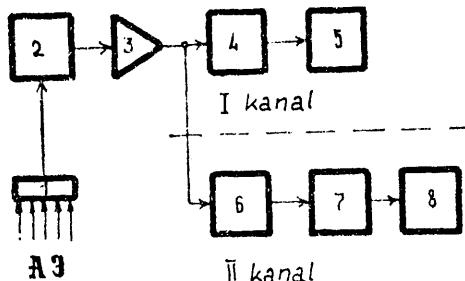
U datom radu pokušano je istraživanje kinematike obrazovanja slojeva pri prenosu masa, neposredno u procesu trenja. Ranije [6—10] pokazana je principijelna mogućnost ispitivanja dinamičkih pojava, nastalih pri spoljašnjem trenju polimera, putem analize akustičke emisije (A9). Obrazovanje slojeva pri prenosu masa nastaje kao posledica dinamičkih prestrojavanja i razaranja površinskih graničnih slojeva kontaktirajućih materijala, što izaziva akustičko emitovanje širokih dijapazona frekvencije. Analizirajući akustičku emisiju moguće je oceniti dinamiku lokalnih razaranja na nivou strukturnih defekata.

# O mehanizmu obrazovanja slojeva pri prenosu masa kod polimera

Sa ruskog preveo Mr Z. PALUNCIC

## METODIKA EKSPERIMENTA

Za ispitivanje su korišćeni kompozicioni materijali od kojih je u jednom slučaju bio polikaprolaktam (IIKA), a u drugom fenolformaldehidna smola napunjena staklenom vunom (АГ4В). Kao dodatak u oba slučaja korišćen je polietilen niskog pritiska (ПЭНД). Materijali su dobijeni livenjem pod pritiskom (I) i metodom presovanja na toplo (II). Trenje je ostvarivano po principu »osovina — papuča« na mašini trenja СМЦ-2 i pri specifičnom opterećenju  $P = 0,5 \text{ MPa}$  i brzini relativnog klizanja  $v = 0,68 \text{ m/s}$ . Polazna hrapavost polimernih uzoraka i metalnog (Cr 45, HRC = 45—50) kontratela, iznosila je  $0,25 \mu\text{m}$ . Ispitivanje prenesenih slojeva vršeno je elektronskim mikroskopom sa rasterom JSM — 50A. U osovinu su ubacivani specijalni umetci, koji su se na određenoj etapi vadili, prekrivali tankim slojem zlata (oko  $200 \cdot 10^{-10} \text{ m}$ ) u cilju obrazovanja elektroprovodljivog sloja na kontaktnim površinama. Ovako pripremljeni ispitivani su na elektronskom mikroskopu. Ispitivanje parametara akustičke emisije vršeno je na uređaju čija je blok-shema data na sl. 2. Prijem signala akustičke emisije vrši se piezopretvaračem ЦТС-19, koji ima konstantnu osetljivost u intervalu 0,2—1,5 MHz. Pretpostavilo se da će se u ovom intervalu frekvencija nalaziti osnovni deo frekventnog spektra akustičke emisije. Za pojačanje dobijenog signala napravljen je prepojačavač i pojačavač, koji postojano radi u intervalu 0,2 ÷ 10 MHz. Analizirali su se: intenzivnost akustičke emisije  $\delta N$  (broj impulsa u jedinici vremena) i zbirna akustička emisija  $W$ , koja predstavlja deo energije friкционog uzajamnog dejstva nastalog na kontaktu u obliku akustičkog zracenja:



Sl. 2. Blok — shema uređaja za registraciju A9 pri trenju  
1 — piezodavač, 2 — prepojačavač, 3 — filter V4,  
4 — pojačavač — formirač impulsa, standardnih amplituda i dužine, 5 — merač broja impulsa, 6 — pojačavač — formirač impulsa amplitude proporcionalne amplitudi ulaznih impulsa, 7 — integrator, 8 — pisač

sije vršeno je na uređaju čija je blok-shema data na sl. 2. Prijem signala akustičke emisije vrši se piezopretvaračem ЦТС-19, koji ima konstantnu osetljivost u intervalu 0,2—1,5 MHz. Pretpostavilo se da će se u ovom intervalu frekvencija nalaziti osnovni deo frekventnog spektra akustičke emisije. Za pojačanje dobijenog signala napravljen je prepojačavač i pojačavač, koji postojano radi u intervalu 0,2 ÷ 10 MHz. Analizirali su se: intenzivnost akustičke emisije  $\delta N$  (broj impulsa u jedinici vremena) i zbirna akustička emisija  $W$ , koja predstavlja deo energije friкционog uzajamnog dejstva nastalog na kontaktu u obliku akustičkog zracenja:

$$W \approx \sum_{i=1}^n A_i \left( \frac{\delta N}{\delta t} \right)_i \quad (1)$$

gde je:

$A_i$  — stvarna vrednost amplitude akustičkog impulsa

Za registrovanje ovih parametara uređaj je imao dva merna kanala i to — I kanal: sa pojačavačem — formiračem impulsa standardnih amplituda i dužinc, meračem broja impulsa, II kanal: sa pojačavačem — formiračem impulsa amplitude proporcionalne amplitudama izlaznih impulsa, integratorom i uređajem za zapisivanje signala.

Na ulazu u pojačavač uključen je filter visoke frekvencije, koji ograničava frekventni spektar signala ispod 0,2 MHz u cilju eliminisanja akustičkih šumova industrijskih uređaja.

## REZULTATI EKSPERIMENTA I NIHOVA ANALIZA

Rezultati eksperimenta dati su na sl. 3—5. U tabeli 1 dati su podaci o mehaničkim, friкционim i emisionim svojstvima ispitivanih materijala.

Poznato je [2] da je trenje takvih dvofaznih sistema, kod kojih je jedna od komponenata polietilen sa niskim termofizičkim svojstvima (temperatura topljjenja  $T_{top} = 403\text{ K}$ ) i niskim koeficijentom trenja, a druga komponenta tvrdna osnova, praćeno obrazovanjem tankih slojeva kako na površini osnove, tako i na površini metalnog kontratela. Obrazovanje ovih slojeva predstavlja svojevrsno uhoodavanje kontaktnih površina u čijem rezultatu se menja hraptavost kontratela. Kao posledica termo-oksidacione i mehaničko-destrukcione obrazovanje sloj se periodično razara i ponovo uspostavlja. Fazu postojanosti obrazovanog sloja moguće je utvrditi registrovanjem momenta stabilizacije intenziteta akustičke emisije (sl. 3a). U tom periodu intenzitet akustičke emisije znatno je niži

nego pri razaranju i uspostavljanju sloja. Prema tome, utvrđujući vreme između dva perioda povišene akustičke emisione aktivnosti, moguće je oceniti vreme života slojeva.

TABELA 1. — **Mehanička, frikciona i emisiona svojstva ispitivanih materijala.**

Broj kompozicije	I	II
Materijal osnove	PKA	AG4V
Sadržaj polietilena, mas. %	20	20
Modul elastičnosti MPa	500—700	850—1200
Tvrdoča, HB MPa	90—120	160—210
Koeficijent trenja	0,10	0,41
Zapreminska temperatura u uslovima opita, K	373	423
Intenzivnost akustičke emisije, $10^3 \text{ S}^{-1}$	A <b>8,4</b> B      3,2	14,3    5,4
Vreme života slojeva, KS		

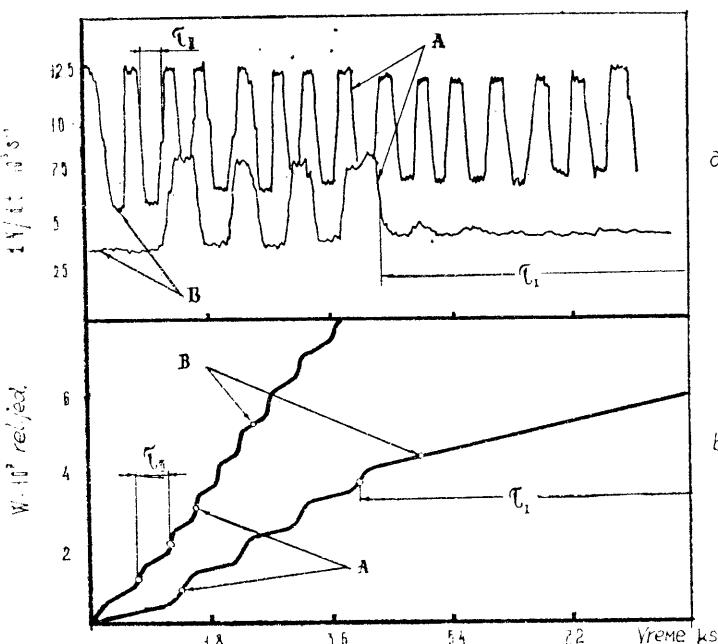
Vreme života slojeva moguće je takođe odrediti merenjem zbirne energije akustičke emisije. U periodu stacionarnog habanja energija  $A_E$ , koja se oslobađa u jedinicama vremena, minimalna je i postojana u vremenu. Pri razaranju i obrazovanju slojeva ova energija raste što se odražava na zavisnost  $W = f(t)$  u obliku karakterističnih preloma, koji odgovaraju različitom energetskom nivou zračenja. (sl. 3b). Vreme života sloja pri tome se određuje kao vreme između prelomnih tačaka.

Analiza dobijenih zakonitosti dokazuje da proces formiranja slojeva pri prenosu masa, za ispitivane materijale ima različit mehanizam. Tako na primer, ako se za materijal (I), u čijoj osnovi je PKA, kroz neko vreme javi stabilizacija slojeva, koji imaju visoku otpornost na habanje i prema tome i parametre akustičke emisije, to pri trenju materijala (II) na osnovi AG-4B ovaj proces ostaje nepostojan i praćen periodičnim promenama akustičke emisije (sl. 3b).

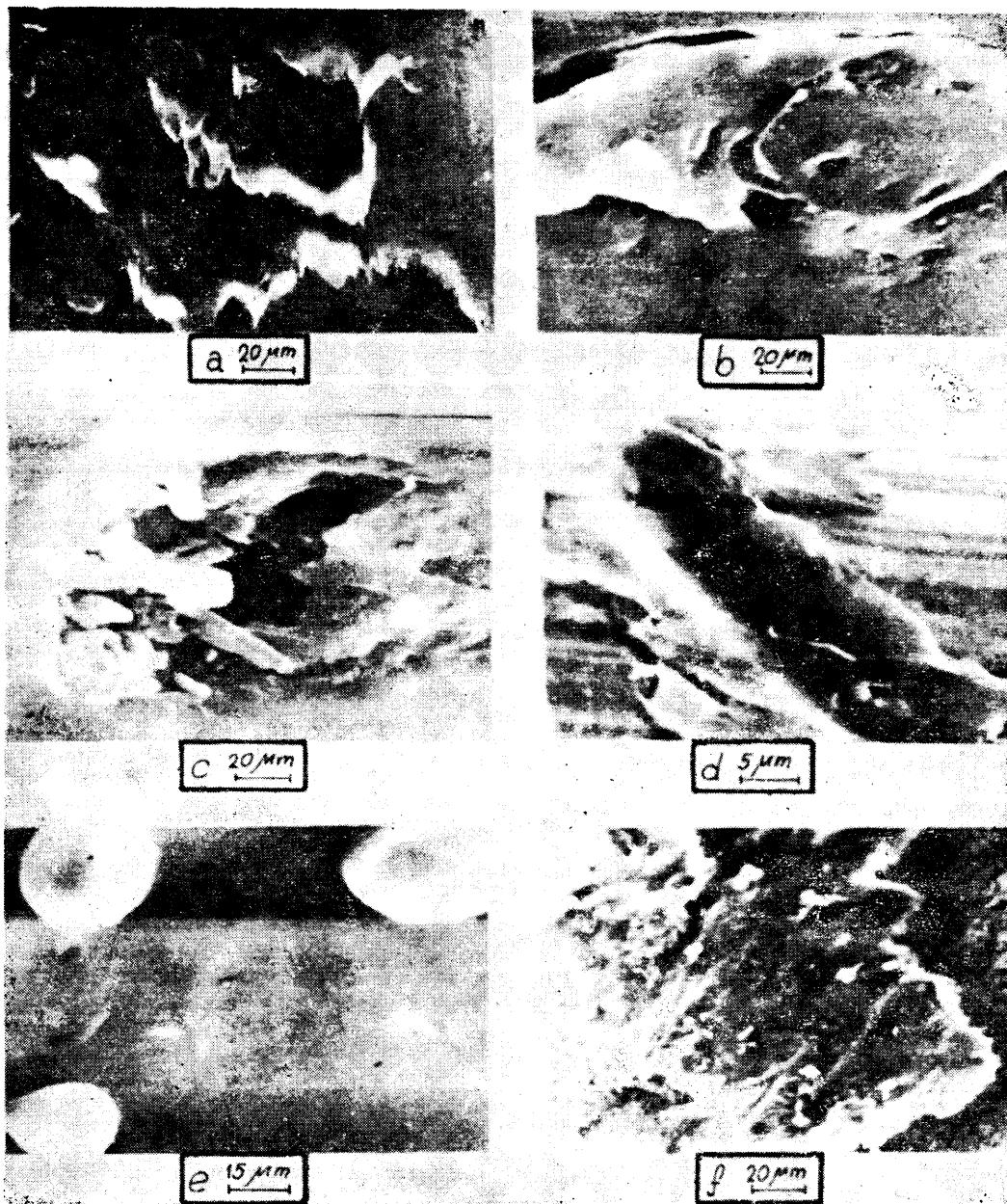
»Vreme života« trećeg tela, definisano kao period između nastanka i razaranja slojeva obrazovanih prenosom masa, za ispitivane materijale pokazalo se suštinski različitim (tabela 1) i u značajnom stepenu zavisnim od uslova eksperimenta: materijala osnove, parametra mikrogeometrije površine kontratela, parametara opterećenja i režima, sredine u kojoj kompozicije rade.

Pri trenju kompozicije (I) nastaje zamorno razaranje površinskog sloja (sl. 4a — c). Od polietilena sa nastankom čestica veličine  $4\text{--}6 \mu\text{m}$  i oblika elipse čija je duža osa u pravcu klizanja i dimenzijama  $a = 20 \div 40 \mu\text{m}$   $b = 50 \div 100 \mu\text{m}$ . Ove čestice se prenose na površinu kontratela, obrazujući sloj, čija je debljina srazmerna parametrima mikrogeometrije ove površine (sl. 4d).

Spoljašnji oblik sloja ukazuje da je u momentu obrazovanja sloj podvrgnut plastičnoj deformaciji. Ukoliko sloj polietilena ima nisku temperaturu topljjenja to već i pri laskim uslovima rada ( $[pv] < 0,04 \text{ MPa} \cdot \text{m/s}$ ) temperature nastale u kontaktu dovoljne su za prevođenje sloja u stanje topljenja. Zbog istrošenja površinskog sloja (ПЭНД) nastaju obnaženi delići osnove (ПКА). Visoka koncentracija napona u potpovršinskom sloju osnove dovodi do njegovog razaranja i stvaranja čestica habanja koje se ili lepe na površinu kontakta ili udaljuju iz zone trenja (sl. 4e). Pri oštrijim režimima trenja ( $[pv] \geq 0,2 \text{ MPa} \cdot \text{m/s}$ ) slika procesa se ne menja a površina metala dobija braon boju, što govori o termoooksidnoj destrukciji produkata prenosa masa. Neprekidno prisustvo tankoga sloja polietilena na kontaktним površinama, predstavlja uzrok niskog koeficijenta trenja (0,1) pri različitim uslovima eksploatacije. Kroz izvesno vreme, identičnom »vremenom života«, sloj se odnosi iz zone trenja u obliku produkata habanja (sl. 4f) i nastaje novi ciklus njegovog obrazovanja na obnaženim površinama kontratela.



Sl. 3. Zavisnost od vremena ispitivanja: a — intenziteta  $A_E$ , b — zbirne  $A_E$ .  
A — period razaranja i obrazovanja slojeva nastalih prenosom masa,  
B —  $\tau_I$ ,  $\tau_{II}$  — vreme života prenesenih slojeva  
I — ПКА + ПЭНД; II — АГ4В + ПЭНД



**Sl. 4. Mikrofotografije produkata habanja kompozicije**

**ПКА + 20% ПЭНД**

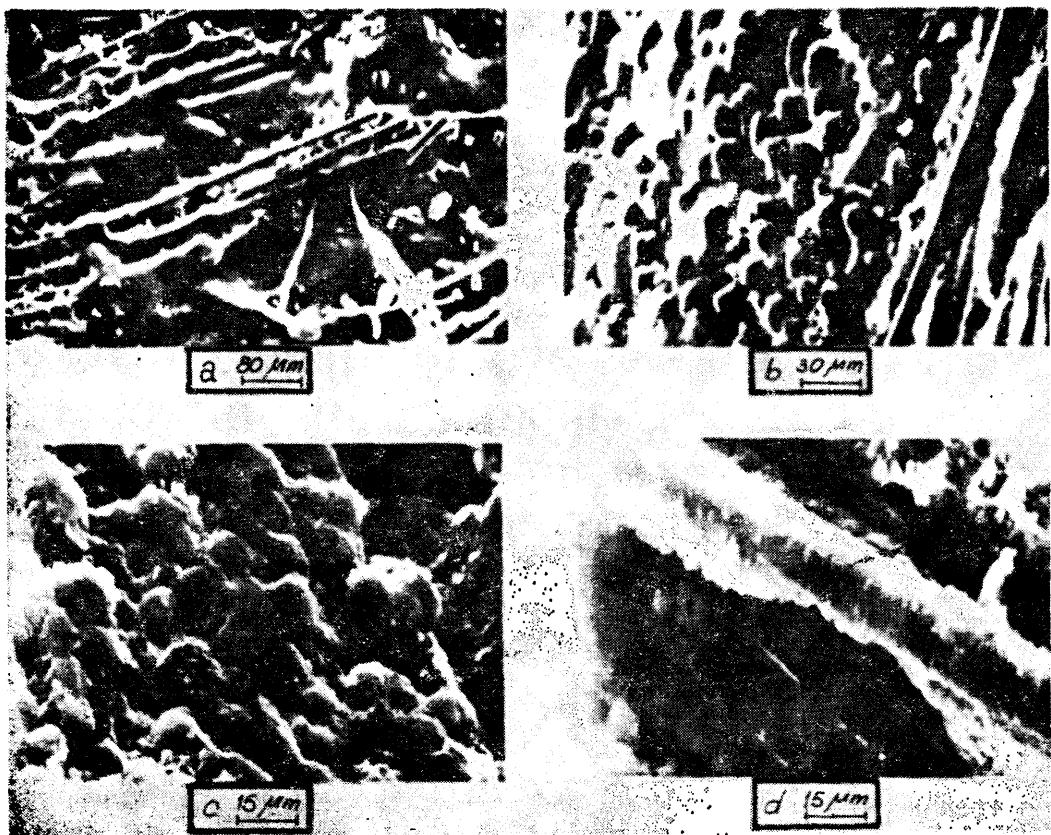
a, b, c — stupnjevi obrazovanja produkta habanja  
d — produkti habanja na površini metala  
e — čestica habanja iznesena iz zone trenja

U teškoopterećenim friкционim parovima primena kompozicionih materijala, sličnih ispitivanom, neefikasna je zbog njihovih termofizičkih osobina i niske udarne elastičnosti. Da bi se otklonili navedeni nedostaci, kao osnova koristi se materijal АГ4В (stakleno vlakno). Visoka mehanička čvrstoća materijala uslovljena je haotičnim rasporedom staklenih vlakana u vezivu. Posle presovanja na površinama uzoraka postoji tanak sloj, debljine do 100  $\mu\text{m}$ , polimera (ПЭНД) (sl. 5a), koji prekriva staklena vlakna. Kao što je već rečeno, u ovoj kompoziciji sloj ima vrlo kratak život. U procesu friкционog sadejstva nastaje habanje tankog površinskog sloja, stakleno vlakno se obnažuje i izlazi na površinu, menjajući karakter habanja. Ako je u početnom periodu postojalo zamorno trošenje graničnih slojeva ПЭНД, sa obrazovanjem delića prenesenih slojeva, to pri otkrivanju staklenog vlakna, u prvi plan dolazi njegovo abrazivno dejstvo na površinu kontratela. Pri tome koeficijent trenja i temperatura u kontaktu

rastu. U takvim uslovima preneseni sloj ima malo »vreme života« [9]. Povišene temperature u kontaktu prouzrokuju prelaz ПЭНД u viskozno-tečno stanje (sl. 5b, c), što pri visokoj temperaturi dovodi do njegove termooksidne destrukcije. (O tome govori braon boja na površini kompozicije). Istovremeno zbog slabog athezionog sadejstva ПЭНД sa osnovom nemoguće je potpuno prekriti stakleno vlakno i stvoriti uslove za unutrašnje trenje. Proizvodi habanja, primećeni u eksperimentima, predstavljaju dispergovana staklena vlakna, slepljena termoreaktivnim vezivom i delimično prekrivena polietilenom (sl. 5g).

#### ZAKLJUČAK

Sprovedeni eksperimenti su pokazali da kod ispitivanih kompozicionih materijala procesi obrazovanja slojeva prenosom masa suštinski se razlikuju. U ovom i drugim



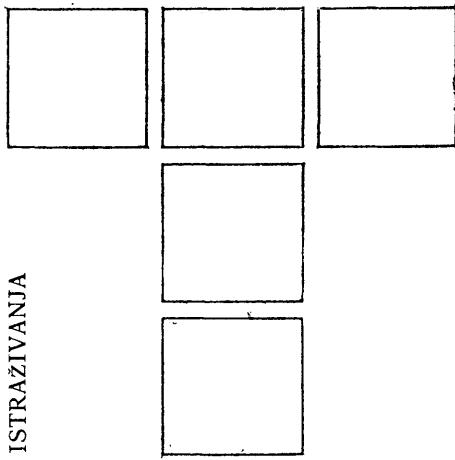
Sl. 5. Mikrofotografije površine trenja kompozicije  
 a — polazna, b i c — posle trenja  
 d — produkti habanja

slučajevima proces prenosa proizilazi u nekoliko etapa: obrazovanje »trećeg tela«, njegov postojan rad, razaranje. Jedna od važnih karakteristika predstavlja vreme života trećeg tela, koje može biti pokazatelj otpornosti na habanje obrazovanih slojeva prenosom masa.

Dobijeni podaci govore o perspektivnosti akustičke metode za ispitivanje nastanka i razvoja prenesenih slojeva i postavljenje teorije o formiranju »trećeg tela«.

#### LITERATURA

1. БЕЛЫЙ В. А., СВИРИДЕНOK А. И., ПЕТРОКОВЕЦ М. И., САВКИН В. Г. Трение и износ материалов на основе полимеров. Минск, „Наука и техника“, 1976, 432 с.
2. JAIN V. K., AND BAHADUR S. Material Transfer in Polymer-Polymer Sliding. In Wear of Materials — 1977, New York, ASME, 1977, p. 487.
3. СВИРИДЕНOK А. И., САВКИН В. Г., СМУРУГОВ В. А., БЕЛЫЙ В. А. О механизме переноса при фрикционном взаимодействии полимеров, Механика полимеров, 1973, № 4, с. 668.
4. GEIL P. H. Morphology of Amorphous Polymers. In Polymers Materials, Metals Park: American Society for Metals, 1974, p. 119.
5. STEIJN R. P. The Sliding Surface of Polytetrafluoroethylene: An Investig. with the Electron Microscope. Wear, Vol. 12 (1968), p. 193.
6. КАЛМЫКОВА Т. Ф., СВИРИДЕНOK А. И., БЕЛЫЙ В. А., ХОЛОДИЛОВ О. В. Об акустической эмиссии при трении металлополимерных пар. В сб.: Тезисы докладов у Всесоюзного симпозиума по механоэмиссии и механохимии твердых тел. Таллин, 1975, г. 41.
7. КАЛМЫКОВА Т. Ф., СВИРИДЕНOK А. И., ХОЛОДИЛОВ О. В. К вопросу о спектре акустического излучения при трении полимеров. В сб.: Доклады IX Всесоюзной акустической конференции, Москва, 1977, с. 179.
8. БЕЛЫЙ В. А., ХОЛОДИЛОВ О. В. Исследование приработки металлополимерных пар трения методом акустической эмиссии. В сб.: Тезисы докладов Всесоюзной конференции „Трение и износ в машинах“, Челябинск, 1979, с. 48.
9. ХОЛОДИЛОВ О. В. О кинетике образования слоев фрикционного переноса. Трение и износ. 1980, № 3, с. 510.
10. ХОЛОДИЛОВ О. В. Влияние типа износа полимеров на параметры акустической эмиссии. Известия АН БССР, серия физ.-техн. наук, 1980, № 4, с. 76.
11. BELYI V. A., SVIRIDYONOK A. I., SMURUGOV V. A., NEVZOROV V. V. Adhesive Wear of Polymers. Transactions of ASME, 1977, Vol. 99 (F), № 4, p. 396.



Ž. KNEŽEVIĆ, S. ARSOVSKI

# Obradivost sivog liva u funkciji uslova livenja, hemijskog sastava i modificiranja pri obradi struganjem

## UVOD

U savremenoj automobilskoj industriji često se kao polufabrikati koriste odlivci od sivog liva. Oni se uglavnom obrađuju na visokoproduktivnim mašinama i transfer linijama. U ovim uslovima proizvodnje varijacije hemijskog sastava, mehaničkih i strukturalnih osnova odlivaka prouzrokuju brže habanje alata, krzanje ili lom alata, velike troškove zastoja, škart obrade itd.

Moderne tehnologije proizvodnje odlivaka omogućuje proizvodnju velikih serija odlivaka pri konstantnim uslovima livenja i hlađenja, pa varijacije u obradivosti odlivaka od sivog liva nastaju usled primene različitog postupka topljenja i modificiranja. Postupak topljenja usvojen je izborom odgovarajuće peći za topljenje koja uslovejava određene sirovine i diktira određena svojstva sivog liva.

Uzroci različite strukture odlivaka su neadekvatno sproveden postupak modificiranja, podmodificiran ili nad-modificiran tečni metal itd.

U radu su dati rezultati ispitivanja obradivosti odlivaka od sivog liva koji su pre livenja modificirani sa 0,030 i 0,25% modifikatora. Tečni metal za ispitivane uzorce pripreman je u kupalnoj i indukcionoj peći.

## USLOVI PROIZVODNJE ODLIVAKA OD SIVOG LIVA ZA KOČIONE DOBOŠE

Za ispitivanje obradivosti modificiranog sivog liva kao polufabrikat je izabran kočioni doboš iz sledećih razloga:

- zbog teških uslova eksploatacije od materijala se zahteva visok nivo kvaliteta u pogledu mehaničkih i fizičkih karakteristika, uz istovremeno visoku otpornost na habanje i dobru obradivost,
- u eksploataciji su izloženi statičkim i dinamičkim naprezanjima pri različitim temperaturnim uslovima koji pogoduju razvijanju procesa korozije,
- nakon livenja odlivci kočionih doboša se obrađuju na visokoproduktivnim mašinama sa većim vrednostima brzine rezanja i koraka.

Svojstva kočionih doboša uslovljena su strukturom koja zavisi od hemijskog sastava metala, tehnologije topljenja, modificiranja, livenja i uslova hlađenja. Da bi se odredio uticaj ovih faktora na svojstva odlivaka kočionih doboša proizvedene su dve vrste optinih šarži u kupalnoj i indukcionoj peći.

Šarža za proizvodnju sivog liva pripremljena je u četvorotonskoj, niskofrekventnoj indukcionoj peći od:

- čeličnog lima i
- povratnog liva.

Za legiranje i naugljeničenje upotrebljeni su:

- karbdurit,
- ferosilicijum,
- feromangan i
- feroхром.

Sve sirovine za pripremanje ove šarže prethodno su detaljno ispitane u RÖ »Laboratorija« ZCZ u Kragujevcu. Rezultati ispitivanja hemijskog sastava sirovina za proizvodnju sivog ilva dati su u tablici 1.

TABELA 1.

Sirovine	C	Si	Mn	Cr %	P	S	Al
Čelični liv	3,30	2,60	0,78	0,042	0,051	0,07	—
Balirani lim	0,06	—	0,027	—	0,014	0,022	0,005
FeCr	0,5	1,5	—	66,2	0,3	0,15	—
Karburit	95,0	—	—	—	—	0,80	—
FeMn	8	1	78	—	0,3	—	—
FeSi	0,2	72	0,3	—	0,1	0,05	1,4
Sivo sirovo gvožđe	3,70	2,1	0,5	—	0,09	—	—

U peći zagrejanoj na temperaturi od 1773 K nalazio se 1300 daN tečnog liva. Zatim je vršeno dodavanje 84 daN karburita radi naugljeničenja. Nakon 10 minuta postepeno je vršeno šaržiranje 2000 daN baliranog lima vodeći računa da ne dođe do hlađenja šarže. Na kraju, u peći je ubaćeno 500 daN povratnog liva. Po završetku topljenja na temperaturi od 1653 K izvršeno je dodavanje 65 daN ferosilicijuma, 24 daN feromangana i 28 daN feroхroma.

Za sve vreme procesa šaržiranja peć je bila uključena na maksimalni stepen snage.

Nakon izvesnog vremena gvožđe prima legirajuće elemente i posle progrevanja u trajanju od 10 minuta pristupilo se kontroli hemijskog sastava, temperature liva i strukture pomoću klin probe. Brza kontrola hemijskog sastava vršena je na emisionom spektrometu PHILIPS PU 8300. Kontrola temperature vršena je pirometrom POTENTIOMETRIK INDIKATOR RTSORDER TIP 1067.

Za kontrolu strukture vizuelnim putem korišćen je klin poprečnog preseka oblika ravnonokrakog trougla sa osnovicom od 19 mm i visinom od 40 mm. Nakon što je postignut željeni hemijski sastav sivog liva pre modificiranja (tablica 2) izmerena je temperatura metala u peći (1743 K) i pristupilo se livenju prve serije kočionih doboša u količini od 30 komada. Temperatura metala u loncu neposredno pre izlivanja iznosila je 1731 K.

Korišćenjem kлина za kontrolu strukture dobijena je veličina odbela od 4 mm, koja je merena po liniji paralelnoj osnovici trougla.

Druga serija je odličena iz iste šarže samo je između livenja napravljena pauza od 40 minuta radi obavezne kontrole kalupa. I u ovom slučaju izvršena je kontrola hemijskog sastava (tablica 2), temperature (1743 K) i strukture korišćenjem kлина. U međuvremenu, zbog zadržavanja liva u peći na visokoj temperaturi došlo je do neznatne promene u hemijskom sastavu, a klin proba je pokazala da postoji veća sklonost ka odbelu koji je iznosio 8,3 mm (sl. 1 desno).

TABELA 2.

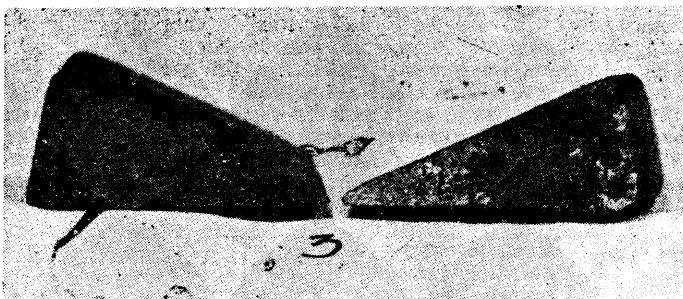
Serija br.	Hem ijs k i s a s t a v u %					
	C	Si	Mn	Cr	P	S
II	3,37	2,50	0,82	0,038	0,051	0,073
2I	3,36	2,51	0,84	0,040	0,052	0,073
3I	3,0	1,85	0,89	0,043	0,049	0,081

Procenat ugljenika određen je naknadno klasičnim putem.

Pri izradi druge serije tečni metal u loncu je modifisiran sa 0,30% CaSi. Klin proba izlivena na livnoj stazi neposredno pre livenja nije više pokazivala odbel (sl. 1 levo).

Pre odlivanja treće serije tečni metal u peći je zagrejan na temperaturi od 1783 K. Brza analiza je pokazala da ne postoje znatnija odstupanja u hemijskom sastavu (tablica 2), ali na klin probi veličina odbela je bila izrazitija nego u prethodna dva slučaja i iznosila je 10,4 mm.

Pre izlivanja u kalupe tečni metal je modifisiran u loncu sa 0,25% CaSi i izliven kao u prethodna dva slučaja. Klin proba izlivena posle modifikiranja nije pokazivala odbel (sl. 3 levo).



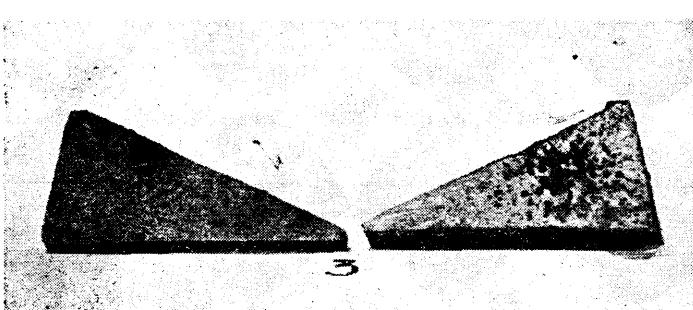
Sl. 3. Klin proba šarže 3I

Tečni liv odlivan je u peščane kalupe koji su proizvedeni na mašinama za kalupovanje FOROMAT 20 čija tvrdoća forme iznosi 90 GF jedinica. Veličina kalupnika je bila 630 x 500 x 150 mm.

Kaluparska mešavina, čije su osobine date u tablici 3, pripremana je na postrojenju koje se sastoji iz dve mešalice kapaciteta po  $2 \cdot 10^5$  N/h.

TABELA 3.

Šarža broj	Pritisna čvrstoća daN/cm <sup>2</sup>	Propustljivost cm/min	Aktivni bentonit %	Isprane materije %	Vлага %
II	1350	102			
2I	do	do	7,6 ÷ 7,8	13,1	4,3
3I	1420	108			
1k	1360	101			
2k	do	do	7,1 ÷ 7,3	12,8	4,1
3k	1400	104			



Sl. 1. Klin proba šarže 1I



Sl. 2. Klin proba šarže 2I

#### POZIVAMO VAS NA PRETPLATU PUBLIKACIJE

Produktivnost  
i  
ekonomičnost  
u industriji prerade  
metala

Uplatu izvršiti na žiro račun: Mašinski fakultet u Kragujevcu 61700-603-495 SDK Kragujevac.

Cena publikacije: 600 din.

Za pripremanje kaluparske mešavine upotrebljene su standardne sirovine koje zadovoljavaju u pogledu kvaliteta propisanog odgovarajućim standardima.

Ostali uslovi livenja i hlađenja bili su potpuno isti kod livenja sve tri serije. Nakon hlađenja u kalupu od 40 minuta i peskarenja dobijena je čista površina odlivaka bez površinske poroznosti i pripečenog peska.

Sledeće tri šarže za izlivanje kočionih doboša proizvedene su u kupočnoj peći, pri čemu su bile pripremljene od:

- sivog sirovog gvožđa,
- koksa i
- krečnjaka.

Za legiranje su upotrebljeni:

- ferosilicijum,
- feromangan i
- ferochrom.

Kvalitet sivog sirovog gvožđa i legirajućih elemenata dat je u tablici 1. Koks koji je upotrebljavan za ovu svrhu imao je sledeće osobine:

<input type="checkbox"/> vлага:	4,1%
<input type="checkbox"/> sadržaj S:	0,8%
<input type="checkbox"/> sadržaj pepela:	10,5%
<input type="checkbox"/> isparljive materije:	0,9% i
<input type="checkbox"/> veličina komada:	70 $\div$ 80 mm

Za topljenje je korišćena mala peć kapaciteta 500 daN/h tečnog metala, u koju se uduvava hladan vazduh. Tokom topljenja peć je radila kontinuirano za sve vreme provođenja eksperimenta. U peći je dodavano naizmenično 14 daN koksa, 83 daN sivog sirovog gvožđa, 3 daN ferosilicijuma i 1 daN feromangana. Livenje kočionih doboša u peščane kalupe čija je tvrdoča forme iznosila 85 gF jedinica vršeno je u trenutku kada je postignuta temperatura tečnog metala od  $1673 \div 1713$  K.

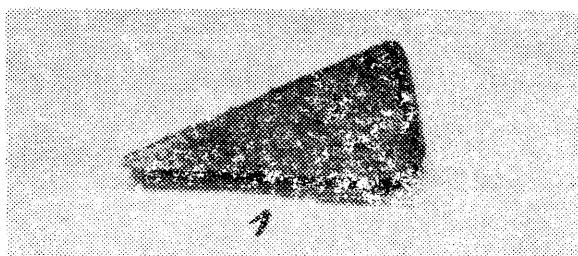
Prva serija od 18 komada kočionih doboša izlivena je bez dodatka modifikatora.

Za livenje druge serije izvršeno je modificiranje sa 0,20% CaSi.

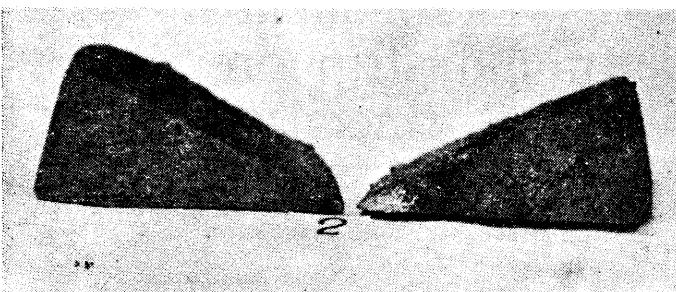
U trećoj seriji izvršeno je modificiranje sa 0,30% CaSi.

Pored modificiranja tečni metal u loncu je legiran sa ferochromom koji je za ovu priliku pripremljen u praškastom stanju.

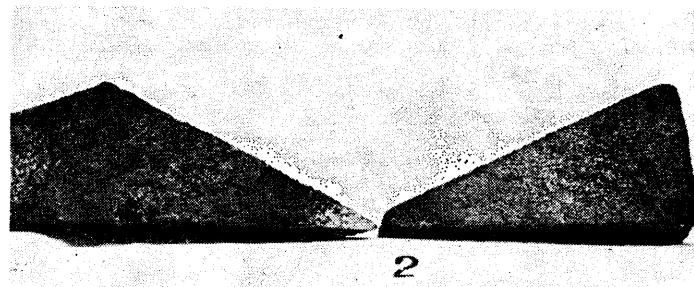
Pri livenju je kontrolisana temperatura koja je varirala u granicama  $1673 \div 1703$  K i vršena je kontrola strukture vizuelnim putem pomoću klin probe. Izgled klin probe za sve tri serije dat je na sl. 4, sl. 5 i sl. 6 respektivno.



Sl. 4. Klin proba šarže 1k



Sl. 5. Klin proba šarže 2k



Sl. 6. Klin proba šarže 3k

Nakon livenja opitnih šarži izvršena su detaljna laboratorijska ispitivanja hemijskog sastava, mehaničkih i strukturalnih osobina u RO »Laboratorija« ZCZ u Kragujevcu. U tablici 4 dati su rezultati laboratorijskih ispitivanja hemijskog sastava i mehaničkih osobina uzoraka kočionih doboša.

TABELA 4.

Oznaka šarže	Hemijski sastav u %						Zatezna čvrstoća [N/mm <sup>2</sup> ]	Rad udara [J]	Tvrdoča [HB]	
	Cuk	Cvez	Si	Mn	Cr	P				
1k	3,40	0,58	1,65	0,40	0,05	0,12	0,09	214	2	179
2k	3,52	0,40	1,97	0,43	0,07	0,14	0,09	252	4	166
3k	3,40	0,58	2,30	0,40	0,05	0,12	0,9	240	3	197
II	3,36	0,51	2,54	0,83	0,038	0,051	0,073	240	2	187
2I	3,38	0,68	2,51	0,83	0,040	0,051	0,073	250	2	226
3I	3,09	0,63	1,90	0,88	0,043	0,049	0,081	492	4	225

Zatezna čvrstoća određena je standardnim epruvetama prečnika 30 mm. Udarna žilavost po Sarpiju određena je epruvetama dimenzija 10 x 10 x 55 mm, koje nisu bile rezane.

Uzorci su zatim isečeni na komade radi ispitivanja:

- vrste strukturalnih konstituenata,
- rasporeda i oblika izlučenog grafita u metalnoj osnovi,
- kompaktnosti i homogenosti strukture i
- količine i rasporeda sekundarnog cementita u osnovnoj metalnoj masi.

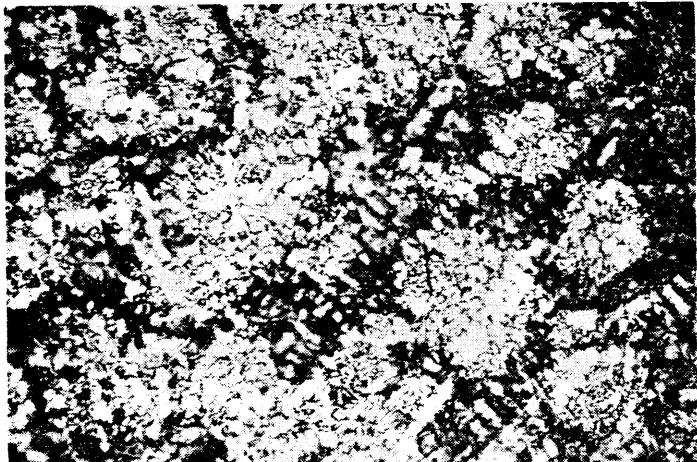
Na slikama 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16 i 17 prikazane su strukture navedenih uzoraka.

Metalografska ispitivanja su pokazala da postoje varijacije u strukturi kod različitih šarži, zavisno od toga

da li je liv modificiran ili nije i zavisno od toga da li je šarža pripremana u kupolnoj ili indukcionoj peći.

Struktura je ispitivana na poprečnom preseku vencu doboša tako da su obuhvaćene i ivice. Pri metalografskim ispitivanjima navedenih šarži je dobijeno:

1. ŠARŽA 1I — grafit tipa A, mestimično B i D, veličine lamela 4 do 5 u osnovi lamelarnog perlita, sa mestimičnim učešćem sitnih zrna ferita i grafitnog eutektikuma (sl. 7 i sl. 8).

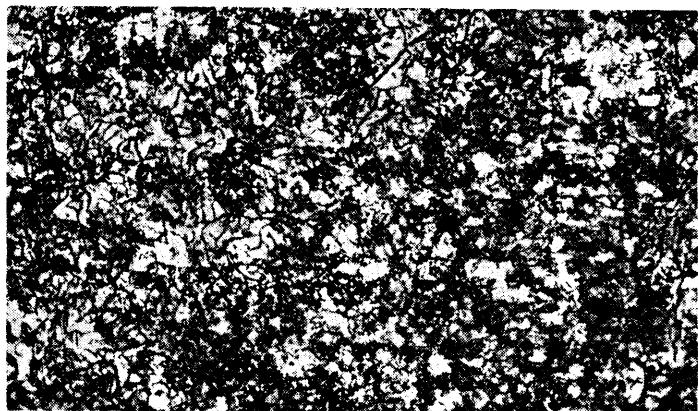


Sl. 7. Struktura šarže 1I. Uvećanje x 100

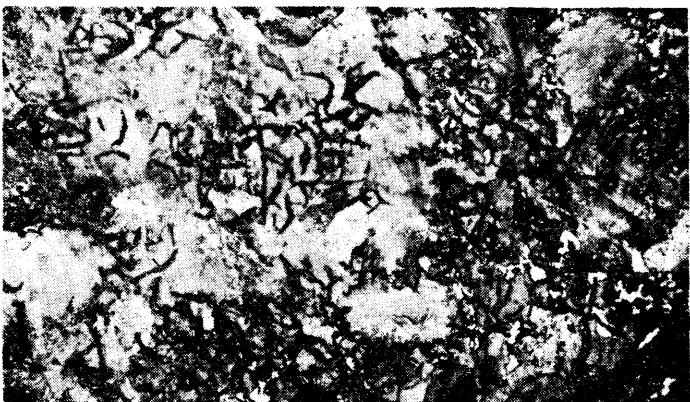


Sl. 8. Struktura šarže 1I. Uvećanje x 500

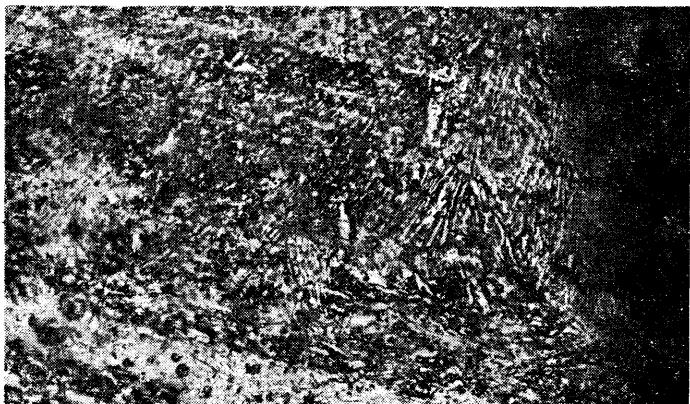
2. ŠARŽA 2I — grafit tipa A, mestimično B i D, veličina lamela 5, mestimično ferit u osnovi lamelarnog ferita, na najmanjem preseku ima ledeburita (sl. 9, 10 i 11).



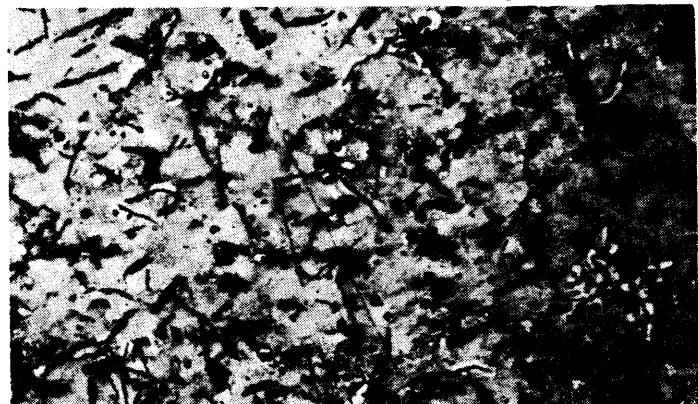
Sl. 9. Struktura šarže 2I. Uvećanje x 100



Sl. 10. Struktura šarže 2I. Uvećanje x 500



Sl. 11. Struktura šarže 2I. Uvećanje x 50



Sl. 12. Struktura šarže 3I. Uvećanje x 100



Sl. 13. Struktura šarže 3I. Uvećanje x 500

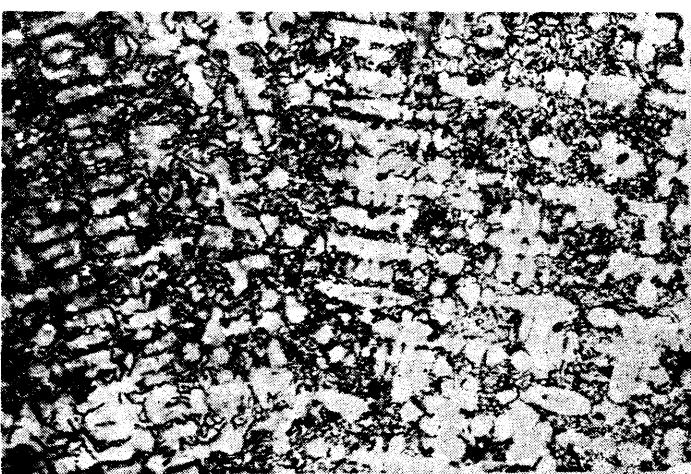
6. ŠARŽA 3k — grafit tipa A ili D veličine lamela  $4 \div 5$ , grafitni eutektikum i mestimično ferit u osnovi lamelarnog perlita (sl. 16, sl. 17 i sl. 18).



Sl. 16. Struktura šarže 3k. Uvećanje x 100



Sl. 14. Struktura šarže 1k. Uvećanje x 500



Sl. 17. Struktura šarže 3k. Uvećanje x 100



Sl. 15. Struktura šarže 2k. Uvećanje x 500



Sl. 18. Struktura šarže 3k. Uvećanje x 500

## REZULTATI ISPITIVANJA OBRADIVOSTI SIVOG LIVA PRIMENOM RADIOAKTIVNE METODE

Obradivost materijala predmeta obrade se najčešće definije kao »lakoća« sa kojom se može obraditi materijal. Definisanje obradivosti materijala predmeta obrade preko otpora rezanja, temperature ili topote koja se generiše u zoni rezanja je nedovoljno tačno, komplikovano, skupo i u najvećem broju slučajeva nedovoljno pouzданo. Obradivost se danas definiše isključivo preko postojanosti alata jer se smatra da materijal koji omogućava obradu sa reznim alatom duže vremena ili isto vreme sa većom brzinom rezanja je i »lakši« za obradu.

Postojanost alata zavisi od intenziteta razvoja triboloških procesa na koji utiče veliki broj faktora vezanih za proces rezanja. Postojanost alata je funkcija:

$$T = f(h, \sigma_m, HRc, SHP, v, s, \delta, \gamma, \alpha, \dots)$$

gde je:

- $h$  — parametar habanja,
- $\sigma_m$  — jačina na kidanje materijala predmeta obrade,
- $HRc$  — tvrdoća materijala alata,
- $SHP$  — vrsta sredstva za hlađenje i podmazivanje,
- $v$  — brzina rezanja u m/min,
- $s$  — korak u mm/o,
- $\delta$  — dubina rezanja u mm,
- $\gamma$  — grudni ugao reznog klina alata,
- $\alpha$  — leđni ugao reznog klina alata.

Pored navedenih faktora na postojanost alata utiču vrsta obrade, vrsta materijala predmeta obrade i njihova struktura, vrsta alata itd.

Radioaktivna metoda razvijena u Laboratoriji za obradu metala i tribologiju Mašinskog fakulteta u Kragujevcu omogućuje definisanje obradivosti materijala predmeta obrade sa tribološkog aspekta. Poznato je da se pri rezanju samo jedan deo reznog elementa alata nalazi u direktnom kontaktu sa predmetom obrade. Ozračivanjem ovog dela mase reznog elementa stvorena je mogućnost praćenja razvoja procesa habanja merenjem promene radioaktivnosti alata do koje dolazi usled prelaska radioaktivnih čestica sa alata u okolnu sredinu (preko SHP, strugotine ili predmeta obrade). Površina na kojoj se prate tribološki procesi bombarduje se teškim česticama (protoni ili deuteroni) usled čega dolazi do stvaranja radioaktivnih izotopa. Debljina ozračenog sloja zavisi od vrste čestica i energije snopa, a nivo radioaktivnosti istog od jačine snopa i vremena bombardovanja. Pri ozračivanju alata od tvrdog metalra između ostalih javlja se i izotop  $^{184}Re$ .

Veza između radioaktivnosti reznih elemenata alata i pohabanosti istog najčešće se može aproksimirati regresijonom krivom oblika:

$$A = A_o \cdot e^{-k \cdot h^n}$$

gde je:

- $A_o$  [imp/s] — radioaktivnost reznog elementa alata neposredno pre izvođenja eksperimenta,
- $h$  [mm] — parametar habanja (najčešće srednja širina pojasa habanja na leđnoj površini reznog elementa alata),
- $k$  i  $n$  — konstante koje se određuju metodom najmanjih kvadrata.

Ako je radioaktivnost pre rezanja iznosila  $A_i$ , a posle rezanja u trajanju  $t_i$  iznosi  $A_{i+1}$ , habanje alata će se po-

većati od vrednosti  $h_i$  na  $h_{i+1}$ . Na osnovu ranije izračunatih vrednosti konstanti  $k$  i  $n$  može se odrediti parametar habanja  $h_i$  koji odgovara izmerenoj radioaktivnosti  $A_i$ , tj.

$$h_i = \left( \frac{\ln \frac{A_o}{A_{i+1}}}{k} \right)^{1/n}$$

Na isti način se može odrediti veličina pohabanosti reznog elementa alata  $h_{i+1}$  koja odgovara izmerenoj radioaktivnosti  $A_{i+1}$ . Na osnovu prethodnog, može se odrediti porast habanja  $\Delta h_i = h_{i+1} - h_i$  za vreme  $t_i$ , odnosno, otpornost na habanje:

$$R_i = \frac{t_i}{\Delta h_i}$$

Na osnovu eksperimentalno dobijenih podataka o veličini radioaktivnosti reznog elementa alata pre i posle rezanja može se dakle odrediti otpornost na habanje. Pri određenim proizvodnim uslovima otpornost na habanje je funkcija stepena pohabanosti reznog elementa alata koja se sa dovoljnom tačnošću može predstaviti krivama oblika:

$$R_I = K_I \cdot h^{u_1^{-1}} \quad \text{za } 0 < h < h_1$$

$$R_{II} = K_{II} \cdot h^{u_2^{-1}} \quad \text{za } h_1 < h < h_k$$

Integraljenjem krivih otpornosti na habanje dolazi se do veličine postojanosti alata u inicijalnom i periodu ravnomernog habanja alata:

$$T_I = \int_0^{h_1} R_I \cdot dh$$

$$T_{II} = \int_{h_1}^{h_k} R_{II} \cdot dh$$

Ukupna postojanost alata predstavlja površinu ispod R-h krive u intervalu (0,  $h_k$ ). Veličina  $h_1$  se dobija iz uslova jednakе otpornosti na habanje za prvi i drugi period habanja reznog elementa alata.

Ovako izračunate postojanosti alata predstavljaju osnov za definisanje obradivosti materijala predmeta obrade (u ovom slučaju sivog liva). Često se za definisanje obradivosti koristi indeks obradivosti koji predstavlja odnos između postojanosti alata pri obradi izvesnog materijala predmeta obrade i postojanosti alata pri obradi materijala predmeta obrade uzetog za etalon:

$$I_m = \frac{T_x}{T_{etal}} \cdot 100\%$$

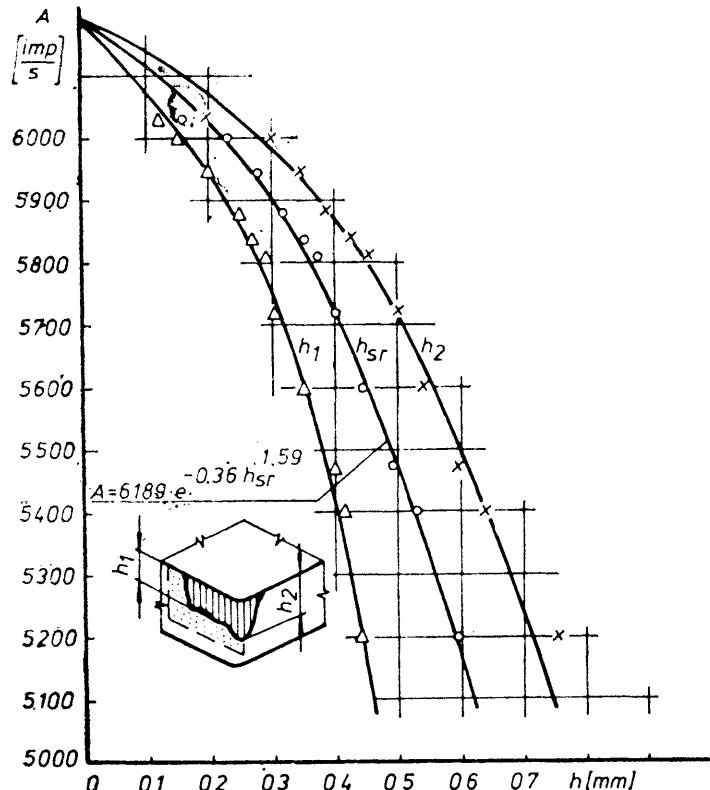
Ispitanje obradivosti uzorka od SL26 radioaktivnom metodom vršeno je na epruvetama izabranih metodom slučajnog izbora iz šarži 1I, 2I, 3I, 1K i 3K. Kod šarži

pripremljenih u indukcionoj peći varirana je količina modifikatora (0; 0,25 i 0,30% CaSi), kao i kod šarži pripremanih u kopolnoj peći (0; 0,20 i 0,30% CaSi). Hemski sastav, mehaničke osobine i oblik strukture ispitivanih uzoraka dati su u prethodnom poglavljiju.

Opitne operacije su izvedene na univerzalnom strugu proizvodnje »Prvomajska« Zagreb po licenci »VDF Böh-ringer« bez upotrebe sredstva za hlađenje i podmazivanje. Instalisana snaga struga je 11 kW. Kao alat korišćena je pločica od tvrdog metala GC 1025 kvadratnog oblika proizvodnje Corromant. Pločica je stegnuta u levi nosač poprečnog preseka q16. Režim obrade je u toku izvođenja opitnih operacija bio nepromenjen ( $v = 140$  m/min,  $s = 0,1$  mm/o i  $\delta = 1$  mm).

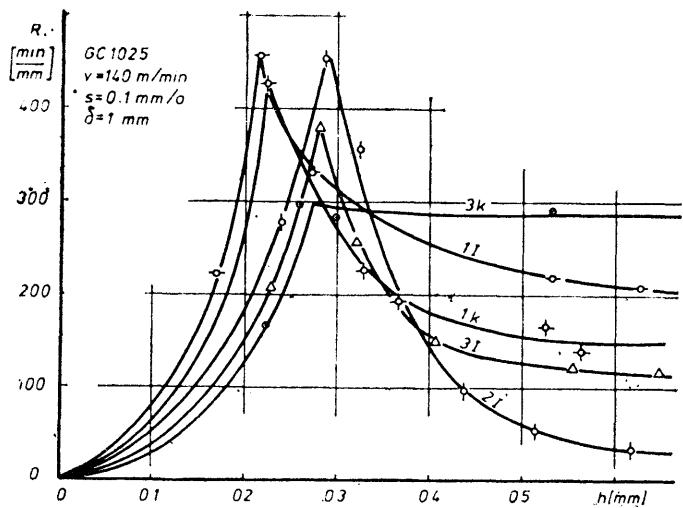
Vreme efektivnog rezanja u opitnim operacijama iznosilo je  $0,5 \div 2$  min. Širina pojasa habanja na lednoj površini reznog klina merena je pomoću univerzalnog alatnog mikroskopa sovjetske proizvodnje. Za merenje radioaktivnosti alata korišćen je merni instrumentarijum koji se sastoji od scintilacionog detektora zračenja (sonde), na koji se postavlja alat preko odgovarajućeg pribora za obezbeđivanje konstantne geometrije merenja i brojačkog kompleta engleske proizvodnje (J & F — Reading).

Praćenjem širine pojasa habanja na dva karakteristična mesta (parametri habanja  $h_1$  i  $h_2$ , odnosno srednja širina pojasa habanja  $h_{sr}$ ) i veličine radioaktivnosti  $A_i$  došlo se do krive prikazane na sl. 19.

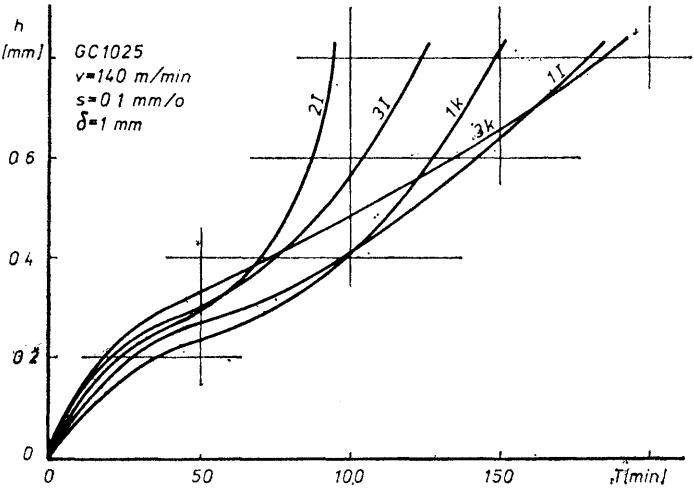


Sl. 19. Veza između radioaktivnosti alata i širine pojasa habanja na lednoj površini reznog klina

Variranjem uzoraka od SL26 pri ostalim nepromenjenim proizvodnim uslovima i uz poznavanje veze  $A = f(h)$  došlo se do veličine otpornosti na habanje alata. Na sl. 20 prikazane su krive otpornosti na habanje alata u funkciji stepena pohabanosti istog. Integraljenjem ovih krivih u intervalu ( $0, h_1$ ) i ( $h_1, h$ ) dobijene su krive habanja prikazane na sl. 21.

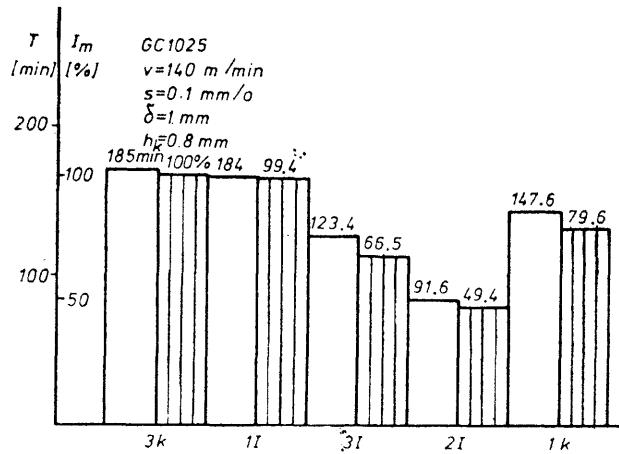


Sl. 20. Krive otpornosti na habanje alata



Sl. 21. Krive habanja alata

Za kriterijum zatupljenja  $h_k = 0,8$  mm određene su postojanosti alata i indeksi obradivosti uzoraka od SL26, pri čemu je kao etalon uzeta šarža 3k (sl. 22).



Sl. 22. Postojanosti alata i indeksi obradivosti ispitivanih uzoraka od SL26.

Iz sl. 22 se može uočiti da najbolju obradivost ima uzorak iz šarže 3k, dok najbolje mehaničke osobine ima

uzorak iz šarže 3I. Ovako visoka obradivost uzorka iz šarže 3k posledica je pre svega homogene strukture u svim presecima, pa se obrada odvijala normalno.

Uzorak iz šarže 2I ima najmanjan indeks obradivosti jer je njegova struktura u različitim presecima vrlo heterogena. Pažljivim metalografskim ispitivanjima ustanovljeno je da u osnovi lamelarnog perlita postoji sitno izlučen A (B i D) grafit i mestimično ferit, a na najmanjem preseku javlja se i ledeburit, (sl. 9) vrlo velike tvrdoće ( $HV = 507 - 551$ ). Pri obradi ovog uzorka primećena je pojava iskrenja i prodoran zvuk, što se objašnjava pojmom heterogene strukture po raznim presecima odlivka.

Na osnovu rezultata ispitivanja se može uočiti da uzorci izliveni iz liva proizvedenog u kupolnoj peći poseduju bolju obradivost u odnosu na uzorce izlivene iz liva proizvedenog u indukcionoj peći, ali su im pri istom hemijskom sastavu mehaničke osobine znatno slabije. Iz dijagrama (sl. 22) se vidi da je obradivost uzorka izlivenog iz nemodificiranog liva pripremljenog u kupolnoj peći solidna, ali su mu mehaničke osobine nedopustivo loše.

Na osnovu ranije navedenog može se zaključiti da obradivost sivog liva ne zavisi samo od tvrdoće i zatezne čvrstoće, nego u većoj mjeri od strukture materijala.

Analizom rezultata ispitivanja obradivosti uzorka od SL26, mikrostrukturalnih karakteristika i mehaničkih osobina uzorka, temeljnog praćenja obrade odlivaka na transfer linijama utvrdili smo da obradivost perlitnog sivog liva zavisi od:

- relativne zapremine perlita u metalnoj osnovi,
- sadržaja grafita i njegovog rasporeda u metalnoj osnovi,
- veličine i oblika lamela grafita,
- kompaktnosti i homogenosti mikrostrukturalnih konstituenata po svim presecima odlivka i
- sadržaja vezanog ugljenika.

Utvrđeno je da je kod uzorka sa krupnjim lamelama grafita ostvarena veća obradivost.

Iz iskustva je poznato da je obradivost odlivaka izlivenih od sintetičkog sivog liva čija tvrdoća prelazi 220 Brinelovih jedinica vrlo mala. Odlivci tvrdoće veće od 220 HB imaju vrlo fine lamele grafita i gustu perlitu osnovu što prouzrokuje brži razvoj triboloških procesa u oba kontaktna para.

Kočioni doboši izliveni iz šarže 3I imaju fine lamele grafita, finu perlitu strukturu, fino dispergovani ferit,  $Fe_3C$  u tragovima, relativno visoku tvrdoću i visoke vrednosti zatezne čvrstoće. Ispitivanja obradivosti su pokazala da je indeks obradivosti ovog uzorka neznatno niži od uzorka koje su imale znatno lošije mehaničke osobine. Ovo se objašnjava time što je kod ove šarže vrednost C — ekvivalenta veća nego kod šarži pripremanih u kupolnoj peći, bolje razlaganje unutrašnjih centara kristalizacije, veća temperatura pregrevanja tečnog metala, veća turbulentacija tečnog metala, kao i usled dejstva vrtložnih struja. Gvožđe iz indukcionih peći je »tvrdi« od gvožđa istog sastava iz kupolnih peći.

Gvožđe sa srednjom količinom ugljenika i malim sadržajem silicijuma (ispod 1,5%) usled velikog sadržaja vezanog ugljenika (cca 0,065—0,80%) daje cementitnu strukturu u malim i srednjim odlivcima u slučajevima kada nije adekvatan dodatak silicijuma. Ako se doda odgovarajuća količina silicijuma uočava se interesantan fenomen u odlivku. Tada se na površini može uočiti prisustvo ferita do određene dubine zavisno od veličine preseka. Ovaj feritni sloj se skida pri obradi rezanjem, pa ukoliko ima veću dubinu od dubine rezanja tada kočioni doboši ne zadovoljavaju u pogledu eksploracijskih karakteristika i brže se habaju. Zato se mora strogo voditi računa o postupku modifikiranja i količinu modifikatora koji se dodaju tečnom metalu.

Prisustvo ferita i grafita na površini odlivaka ređe je posledica nedovoljnog hlađenja, a češće je posledica neadekvatno sprovedenog postupka modifikiranja. Zbog vrlo značajne uloge procesa modifikiranja na strukturu sivog liva, a preko nje i na obradivost istog, teško je opredeliti se za jedan univerzalni postupak modifikiranja, već je potrebno za svaki tip odlivka izučiti ovaj postupak i iznaci optimalnu količinu modifikatora koju treba dodati tečnom metalu na određenoj temperaturi. Optimalne osobine kočionih doboša postignute su modifikiranjem tečnog metala sa 0,20% CaSi na temperaturi 1773 K.

## ZAKLJUČAK

Visok kvalitet odlivaka u serijskoj proizvodnji istih moguće je održati samo potpunim ovlađavanjem faktora koji utiču na proces topljenja, legiranja, modifikiranja, livenja i hlađenja.

Podešavanje svojstava livenih gvožđa svodi se na dobijanje određene strukture odlivaka izborom hemijskog sastava, temperature pregrevanja tečnog metala i temperature livenja.

Rezultati ispitivanja obradivosti uzorka od sivog liva ukazuju na sledeće zaključke:

- preporučuje se korišćenje indukcionih peći za pripremanje tečnog metala gde god za to postoje uslovi, jer se njihovom primenom daleko lakše postiže željeni hemijski sastav i temperatura livenja, odnosno pregrevanja,
- uzorci izliveni iz metala pripremljenog u kupolnoj peći imaju veći indeks obradivosti u odnosu na uzorce koji su izliveni iz metala pripremljenog u indukcionim pećima, ali lošije mehaničke osobine pri istom hemijskom sastavu,
- optimalna šarža sa aspekta mehaničkih osobina i obradivosti je šarža II.

## LITERATURA

1. C. R. LOPER, M. J. LALCH, H. K. PARK, A. M. GYARMATY, Microstructure — mechanical property relationship in compacted graphite cast iron, 46-t international foundry congress, 1977.
2. H. T. ANGUS, Cast Iron — Physical and Engineering Properties, Butterworth Co Ltd, 1976.
3. B. IVKOVIĆ, Tribološke karakteristike elemenata tribomehaničkog sistema u obradi metala rezanjem, Tribologija u industriji, 1/1981. Mašinski fakultet Kragujevac, 1981.
4. S. ARSOVSKI, Ispitivanje obradivosti grupe domaćih čelika za obradu zupčanika pri obradi struganjem, Obrada metala i tribologija br. 9, Kragujevac, 1977.

**KNEŽEVIC ŽIVKO**, dipl. ing. met. tehnički direktor OOUR — Livnica ZCZ u Topoli.

Završio Metalurški fakultet 18. januara 1972. u Zenici. Radio na proizvodnji i preradi čelika u RMK — Zenica do 1978. godine, a od 1978. radio na problematičnoj proizvodnji prerade i primeni sivog i temper liva, sa posebnim angažovanjem na poboljšanju konstruktivnih osobina livenih gvožđa.

BLAŠKOVIC P., STRANSKI K., SCHWAB P., LESNAK Š.

# Prilog proučavanju osobina kontaktnih površina pri trenju metala po metalu

Prevod sa čehoslovačkog: Dr M. JOVANOVIC

**UVOD**

Proučavanje kontaktnih osobina materijala pri trenju metala po metalu ima veliki značaj.

U poslednje vreme bila je pre svega usredsređena pažnja na proučavanje grešaka u kontaktnoj oblasti i naročito na razvijanje grešaka (vakancija i dislokacija) u procesu trenja. Veća pažnja je posvećena proučavanju dislokacija. To su radovi Rybalkova i Kusenkova u kojima se proučava trenje bakra po čeliku na uređaju 77-MT-1 [1] u glicerinu i rad Bušeja [2], koji tvrdi da se gustina dislokacijske mreže u procesu trenja povećava, a time raste i tvrdoča, što prouzrokuje krtost površinskih slojeva i njihovo krzanje. Naši radovi [3] su dotakli proučavanje dislokacione strukture  $\alpha$  — Fe u procesu suvog trenja čelik-čelik, pri čemu gustina dislokacija lako raste od vrednosti  $1,8 \cdot 10^9 \text{ cm}^{-2}$  na vrednost  $1,3 \text{ do } 1,6 \cdot 10^{11} \text{ cm}^{-2}$ .

U priloženom materijalu izloženi su rezultati proučavanja kontaktnih osobina austenitnog materijala ČSN 17346 pri suvom trenju i pri podmazivanju na uređaju »Osovina i disk« (Pin and Disc, pre svega radi istraživanja promena na kontaktnim površinama u zavisnosti od parametara usvojenih pri ispitivanju kontaktnog trenja.

Izvršeno je niz rentgenostrukturalnih merenja površine uzoraka, pri čemu je i potvrđena mogućnost primene te metode za ispitivanje površinskih pojava pri datim uslovima trenja.

**METODIKA RADA — KARAKTERISTIKE MERENJA**

Za eksperiment su bili izabrani uzorci od austenitnog materijala ČSN 17346 koji su ispitivani na uređaju TE 97 A (»Pin and Disc« firme Plint and Partners Ltd.).

Hemijski sastav materijala uzorka (osovinice — plin) je bio: 0,075% C; 1,18% Mn; 0,22% Si; 0,017% P; 0,022% S; 17,54% Cr; 11,88% Ni; 2,20% Mo.

Dimenzije uzorka su bile  $\varnothing 8 \times 53$  mm. Proučavana je čeona površina valjka. Uređaj TE 97 A radi na principu pritiskivanja dva valjka (osovinice) na rotirajući čelični disk sa čeone strane.

Materijal disk-a je bio čelik kvaliteta ČSN 120 40 i tvrdoće 100 HV.

Merjenje je bilo izvedeno na rentgenskom difraktometru u čijem je središtu fokusirano profiltrirano zračenje Fe K $\alpha$ ; bili su izabrani difrakcioni spektri linijski raspoređeni. Pritom su bile uvedene sledeće veličine:

 $a^*$  — parametar mreže $\delta_L$  — srednji kvadratni napon na udaljenju $L = 50 \cdot 10^{-10} \text{ m}$  $(\varepsilon^2)^{1/2}$  — srednja kvadratna mikrodeformacija $x$  — mera anizotropije elastičnosti $\alpha$  — gustina grešaka u slojevima ravnii 111 $V_\alpha$  — zapreminska učešće  $\alpha$  faze u % $V_\gamma$  — zapreminska učešće  $\gamma$  faze u %.

Za vreme ispitivanja uzorka na uređaju TE 97 A bila je merena temperatura uzorka 2 mm ispod površine kontakta.

Uzorci su bili ispitivani u uslovima suvog trenja i pri podmazivanju čvrstom mazivom.

Bilo je primenjeno čvrsto mazivo MOLYKOTE 321 R (firme DOW CORNING).

**REZULTATI MERENJA**

Primjenjeni parametri pri tribološkim ispitivanjima na uređaju TE 97 A su dati u tabeli 1. Istovremeno su date maksimalne temperature ispitivanih uzoraka, koje su bile izmerene u radnom ciklusu za vreme ispitivanja uzorka.

Iz tabele se uočavaju jasno razlike u temperaturama pri ispitivanju uz prisustvo maziva pri suvom trenju. Pri suvom trenju na povećanje temperature najviše utiče opterećenje, dok se taj uticaj pri primeni maziva ne pojavljuje.

Pregled rezultata difrakcione analize je dat u tabeli 2. Uočeno je da je struktura uzorka (osim uzorka br. 16) površinski centrirana kubna rešetka, parametra  $3,595 \cdot 10^{-10} \text{ m}$  (austenit) sa jako izraženom osnom strukturu u smjeru (110) (ravnii 111 su orientisane upravno na površinu). Stepen usmerenosti u svim uzorcima je praktično isti i ne zavisi od načina opterećenja. U uzorcima označenim 1 do 7 nastaje u površinskim slojevima za vreme opterećenja delimični preobražaj kubne površinski centrirane rešetke na prostorno centriranu rešetku sa parametrom  $2,868 \cdot 10^{-10} \text{ m}$  (martenzit) čija zapremina u strukturi zavisi od sile opterećenja i vremena opterećenja.

Na uzorcima 8 do 16 je više ili manje tamnih masa; u spektru se pojavljuju refleksije sa međuravanskim rasetojanim 2,05 .  $10^{-10}$  m, 1,97 .  $10^{-10}$  m, 1,68 .  $10^{-10}$  m i 1,54 .  $10^{-10}$  m, koje u najvećoj meri odgovaraju heksagonalnom grafitu koji, razume se, potiču od sabijene mase maziva u uzorak u procesu trenja.

Ako se menjaju veličine  $a_\gamma$ ,  $x$ ,  $\alpha$ ,  $\delta_L$ , pa i  $a_\alpha$  i  $V_\alpha$  to se uticaj tih promena na tribološke probe vidi na sl. 1 i 2. Može se odatle videti da se znatno menjaju srednji kvadratni napon  $\delta_L$  sa opterećenjem i vremenom njegovog delovanja.

Slično je i sa promenom anizotropije modula elastičnosti  $x$ , naročito u uzorcima serije 8 do 15.

Naročito se menja parametar mreže  $a_\gamma$  u uzorcima 1 do 7. Pri malim opterećenjima vrednost  $\gamma$  raste sa vremenom dejstva opterećenja, pri čemu pri višim opterećenjima ( $F = 90$  N) ima izraziti minimum pri vremenu  $t = 75$  s. Promena anizotropije elastičnih modula  $x$  u uzorcima 1 do 7 je uglavnom osetljiva na opterećenje.

Gubitak mase uzorka nakon ispitivanja dat je na sl. 3 i 4.

Red. br. uzorka	Martenzit $10^{-10}$ m $a^*/s a^*$	$10^{-10}$ m $a^*/s a^*$	$x$	Austenit $\delta_L/s\delta_L$	$(\varepsilon^2)^{1/2}$ [110]	$\alpha$	$V_\gamma$ $V_\alpha$
1	<u>2,86911</u> <u><math>1,54 \cdot 10^{-3}</math></u>	<u>3,59256</u> <u><math>4,4 \cdot 10^{-4}</math></u>	<u><math>9,8 \cdot 10^{-5}</math></u>	<u>2675,5</u> <u>99,3</u>	<u>0,0026944</u>	<u>0,50</u>	<u>70,533</u> <u>29,467</u>
2		<u>3,59432</u> <u><math>1,15 \cdot 10^{-4}</math></u>	<u><math>2,08 \cdot 10^{-4}</math></u>	<u>2546,6</u> <u>231,9</u>	<u>0,0025762</u>	<u>0,49</u>	
3	<u>2,86783</u> <u><math>2,07 \cdot 10^{-3}</math></u>	<u>2,59438</u> <u><math>7,5 \cdot 10^{-4}</math></u>	<u><math>1,89 \cdot 10^{-3}</math></u>	<u>2561,2</u> <u>104,8</u>	<u>0,0025793</u>	<u>0,50</u>	<u>83,453</u> <u>16,547</u>
4	<u>2,86799</u> <u><math>2,98 \cdot 10^{-4}</math></u>	<u>3,59499</u> <u><math>5,52 \cdot 10^{-5}</math></u>	<u><math>3,24 \cdot 10^{-3}</math></u>	<u>2439,9</u> <u>117,5</u>	<u>0,0022448</u>	<u>0,69</u>	<u>86,037</u> <u>13,963</u>
5		<u>3,59500</u> <u><math>1,19 \cdot 10^{-4}</math></u>	<u><math>2,5 \cdot 10^{-3}</math></u>	<u>2421,0</u> <u>83,8</u>	<u>0,0022828</u>	<u>0,64</u>	<u>88,589</u> <u>11,411</u>
6	<u>2,86905</u> <u><math>9,96 \cdot 10^{-4}</math></u>	<u>3,59478</u> <u><math>5,01 \cdot 10^{-4}</math></u>	<u><math>2,3 \cdot 10^{-3}</math></u>	<u>2424,9</u> <u>306,0</u>	<u>0,0022088</u>	<u>0,71</u>	<u>76,386</u> <u>23,614</u>
7	<u>2,86783</u> <u><math>2,58 \cdot 10^{-3}</math></u>	<u>3,59232</u> <u><math>1,59 \cdot 10^{-3}</math></u>	<u><math>8,01 \cdot 10^{-6}</math></u>	<u>2312,8</u> <u>159,1</u>	<u>0,0021596</u>	<u>0,66</u>	<u>81,413</u> <u>18,587</u>
8		<u>3,59693</u> <u><math>5,70 \cdot 10^{-4}</math></u>	<u><math>1,036 \cdot 10^{-2}</math></u>	<u>2621,7</u> <u>669,2</u>	<u>0,0025561</u>	<u>0,57</u>	
9		<u>3,59819</u> <u><math>1,53 \cdot 10^{-3}</math></u>	<u><math>1,65 \cdot 10^{-2}</math></u>	<u>2876,5</u> <u>413,1</u>	<u>0,0030813</u>	<u>0,36</u>	
10		<u>3,59781</u> <u><math>1,31 \cdot 10^{-3}</math></u>	<u><math>1,43 \cdot 10^{-2}</math></u>	<u>2656,9</u> <u>373,8</u>	<u>0,0020879</u>	<u>0,75</u>	
11		<u>3,59737</u> <u><math>9,03 \cdot 10^{-4}</math></u>	<u><math>1,43 \cdot 10^{-2}</math></u>	<u>2339,3</u> <u>79,8</u>	<u>0,0020879</u>	<u>0,75</u>	
12		<u>3,59650</u> <u><math>3,75 \cdot 10^{-4}</math></u>	<u><math>9,03 \cdot 10^{-3}</math></u>	<u>2607,5</u> <u>321,9</u>	<u>0,0024348</u>	<u>0,66</u>	
13		<u>3,59796</u> <u><math>1,08 \cdot 10^{-3}</math></u>	<u><math>8,61 \cdot 10^{-3}</math></u>	<u>2534,0</u> <u>369,6</u>	<u>0,0026448</u>	<u>0,42</u>	
14		<u>3,59349</u> <u><math>7,79 \cdot 10^{-4}</math></u>	<u><math>9,99 \cdot 10^{-6}</math></u>	<u>2747,6</u> <u>275,8</u>	<u>0,0027922</u>	<u>0,48</u>	
15		<u>3,59419</u> <u><math>4,49 \cdot 10^{-4}</math></u>	<u><math>1,0 \cdot 10^{-5}</math></u>	<u>2958,6</u> <u>117,8</u>	<u>0,0028981</u>	<u>0,56</u>	<u>79,344</u> <u>20,656</u>
16		<u>2,866149</u> <u><math>4,35 \cdot 10^{-4}</math></u>		<u>1578,7</u> <u>32,9</u>	<u>M</u>	<u>0,0019885</u>	<u>0,47</u>

TABELA 1 Parametri triboloških proba

Redni br. uzorka	F [N] Opterećenje	Vreme t [V]	Br. obrt. n [min. <sup>-1</sup> ]	Istrošenje W <sub>n</sub> [g]	Max. tem. peratura uzorka T max [°C]	Mazivo
1	25	15	763	0,0008	170	
2	25	45	763	0,0254	200	
3	25	75	763	0,424	220	
4	90	15	763	0,0106	300	
5	90	45	763	0,1113	300	
6	90	90	763	0,2583	300	
7	90	75	763	0,2401	380	
8	45	15	763	0,0000	38	321 R
9	45	45	763	0,0003	40	321 R
10	45	75	763	0,0006	33	321 R
11	125	15	763	0,0004	30	321 R
12	125	45	763	0,0003	38	321 R
13	125	90	763	0,0007	48	321 R
14	45	15	763	0,0129	—	321 R
15	25	15	763	0,0080	—	321 R
16	125	70	763	—0,0001	42	321 R

Poluprečnik ispitivanog uzorka:  $r = 0,04$  m

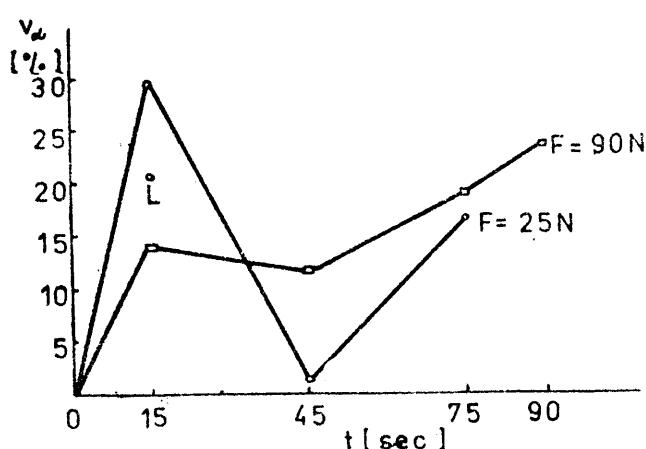
Temperatura okoline:  $T_0 = 23^\circ\text{C}$

Relativna vlažnost okoline:  $\psi = 56\%$

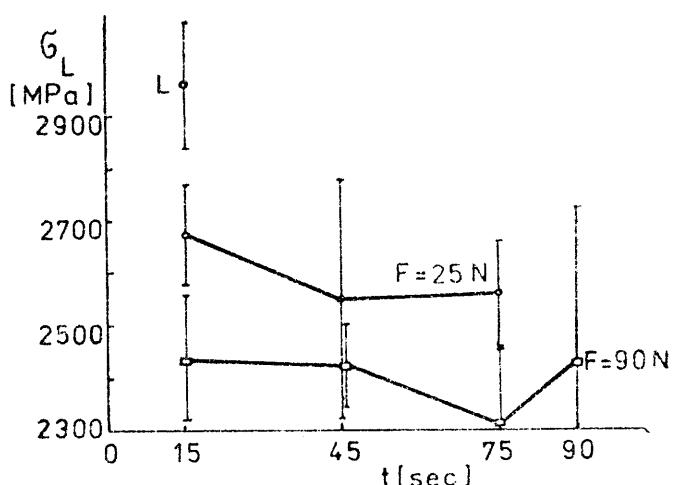
TABELA 2 Rezultati difrakcione analize

Red. br. uzorka	Martenzit $10^{-10}$ m $a^*/s a^*$	$10^{-10}$ m $a^*/s a^*$	$x$	Austenit $\delta_L/s\delta_L$	$(\varepsilon^2)^{1/2}$ [110]	$\alpha$	$V_\gamma$ $V_\alpha$
1	<u>2,86911</u> <u><math>1,54 \cdot 10^{-3}</math></u>	<u>3,59256</u> <u><math>4,4 \cdot 10^{-4}</math></u>	<u><math>9,8 \cdot 10^{-5}</math></u>	<u>2675,5</u> <u>99,3</u>	<u>0,0026944</u>	<u>0,50</u>	<u>70,533</u> <u>29,467</u>
2		<u>3,59432</u> <u><math>1,15 \cdot 10^{-4}</math></u>	<u><math>2,08 \cdot 10^{-4}</math></u>	<u>2546,6</u> <u>231,9</u>	<u>0,0025762</u>	<u>0,49</u>	
3	<u>2,86783</u> <u><math>2,07 \cdot 10^{-3}</math></u>	<u>2,59438</u> <u><math>7,5 \cdot 10^{-4}</math></u>	<u><math>1,89 \cdot 10^{-3}</math></u>	<u>2561,2</u> <u>104,8</u>	<u>0,0025793</u>	<u>0,50</u>	<u>83,453</u> <u>16,547</u>
4	<u>2,86799</u> <u><math>2,98 \cdot 10^{-4}</math></u>	<u>3,59499</u> <u><math>5,52 \cdot 10^{-5}</math></u>	<u><math>3,24 \cdot 10^{-3}</math></u>	<u>2439,9</u> <u>117,5</u>	<u>0,0022448</u>	<u>0,69</u>	<u>86,037</u> <u>13,963</u>
5		<u>3,59500</u> <u><math>1,19 \cdot 10^{-4}</math></u>	<u><math>2,5 \cdot 10^{-3}</math></u>	<u>2421,0</u> <u>83,8</u>	<u>0,0022828</u>	<u>0,64</u>	<u>88,589</u> <u>11,411</u>
6	<u>2,86905</u> <u><math>9,96 \cdot 10^{-4}</math></u>	<u>3,59478</u> <u><math>5,01 \cdot 10^{-4}</math></u>	<u><math>2,3 \cdot 10^{-3}</math></u>	<u>2424,9</u> <u>306,0</u>	<u>0,0022088</u>	<u>0,71</u>	<u>76,386</u> <u>23,614</u>
7	<u>2,86783</u> <u><math>2,58 \cdot 10^{-3}</math></u>	<u>3,59232</u> <u><math>1,59 \cdot 10^{-3}</math></u>	<u><math>8,01 \cdot 10^{-6}</math></u>	<u>2312,8</u> <u>159,1</u>	<u>0,0021596</u>	<u>0,66</u>	<u>81,413</u> <u>18,587</u>
8		<u>3,59693</u> <u><math>5,70 \cdot 10^{-4}</math></u>	<u><math>1,036 \cdot 10^{-2}</math></u>	<u>2621,7</u> <u>669,2</u>	<u>0,0025561</u>	<u>0,57</u>	
9		<u>3,59819</u> <u><math>1,53 \cdot 10^{-3}</math></u>	<u><math>1,65 \cdot 10^{-2}</math></u>	<u>2876,5</u> <u>413,1</u>	<u>0,0030813</u>	<u>0,36</u>	
10		<u>3,59781</u> <u><math>1,31 \cdot 10^{-3}</math></u>	<u><math>1,43 \cdot 10^{-2}</math></u>	<u>2656,9</u> <u>373,8</u>	<u>0,0020879</u>	<u>0,75</u>	
11		<u>3,59737</u> <u><math>9,03 \cdot 10^{-4}</math></u>	<u><math>1,43 \cdot 10^{-2}</math></u>	<u>2339,3</u> <u>79,8</u>	<u>0,0020879</u>	<u>0,75</u>	
12		<u>3,59650</u> <u><math>3,75 \cdot 10^{-4}</math></u>	<u><math>9,03 \cdot 10^{-3}</math></u>	<u>2607,5</u> <u>321,9</u>	<u>0,0024348</u>	<u>0,66</u>	
13		<u>3,59796</u> <u><math>1,08 \cdot 10^{-3}</math></u>	<u><math>8,61 \cdot 10^{-3}</math></u>	<u>2534,0</u> <u>369,6</u>	<u>0,0026448</u>	<u>0,42</u>	
14		<u>3,59349</u> <u><math>7,79 \cdot 10^{-4}</math></u>	<u><math>9,99 \cdot 10^{-6}</math></u>	<u>2747,6</u> <u>275,8</u>	<u>0,0027922</u>	<u>0,48</u>	
15		<u>3,59419</u> <u><math>4,49 \cdot 10^{-4}</math></u>	<u><math>1,0 \cdot 10^{-5}</math></u>	<u>2958,6</u> <u>117,8</u>	<u>0,0028981</u>	<u>0,56</u>	<u>79,344</u> <u>20,656</u>
16		<u>2,866149</u> <u><math>4,35 \cdot 10^{-4}</math></u>		<u>1578,7</u> <u>32,9</u>	<u>M</u>	<u>0,0019885</u>	<u>0,47</u>

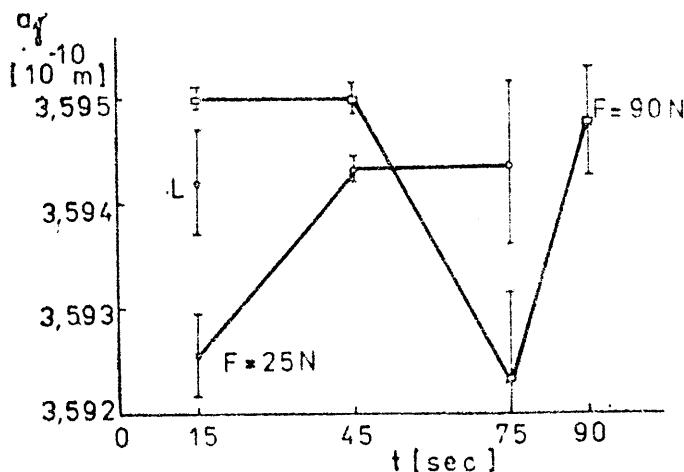
**Uticaj merenih veličina, difrakcionom analizom na parametre triboloških proba na uzorcima 1—7.**



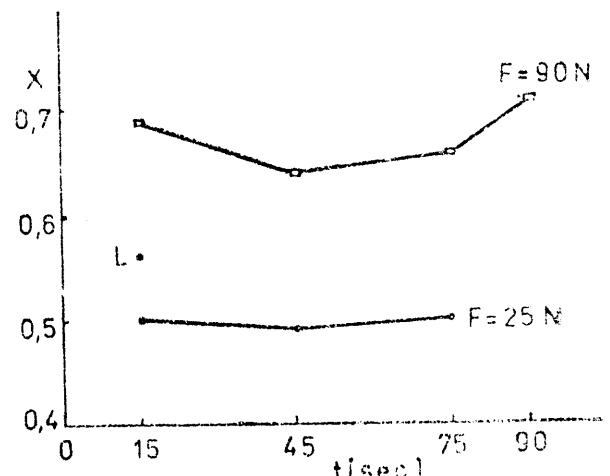
1a. Zapreminske udeo  $\alpha$  — faze u (%) u funkciji vremena i opterećenja



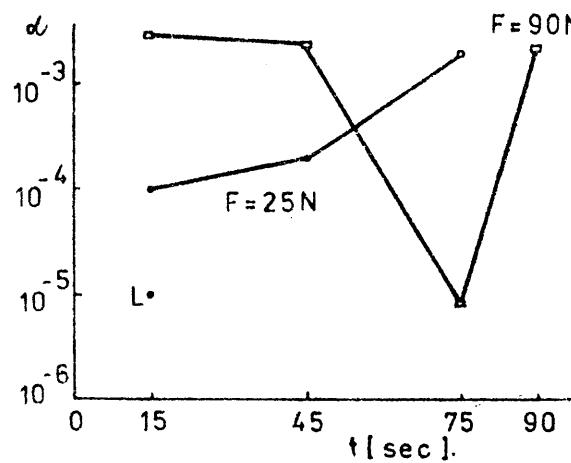
1b. Srednji kvadratni napon u funkciji vremena i opterećenja



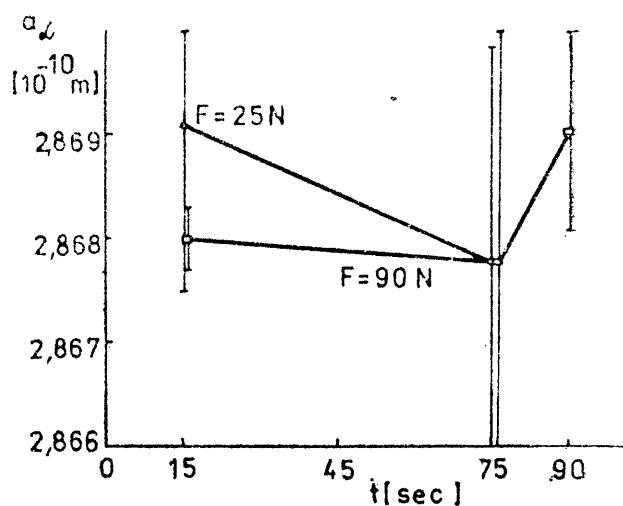
1c. Parametri mreža faza  $\gamma$  u funkciji vremena i opterećenja



1d. Mera anizotropije modula elastičnosti u funkciji vremena i opterećenja

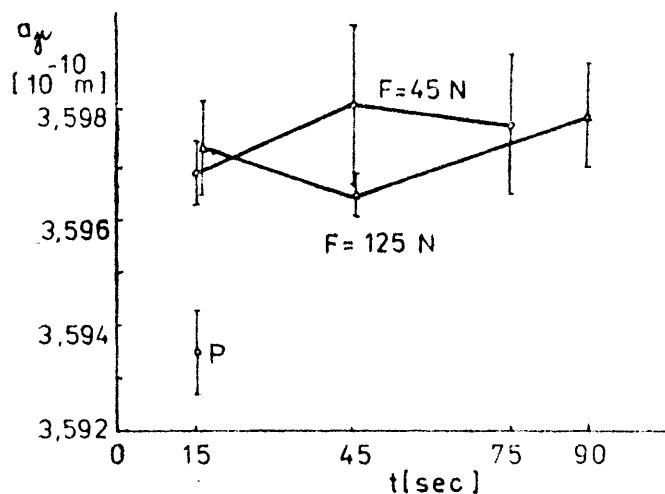


1e. Gustina površinskih grešaka u ravni 111 u funkciji vremena i opterećenja

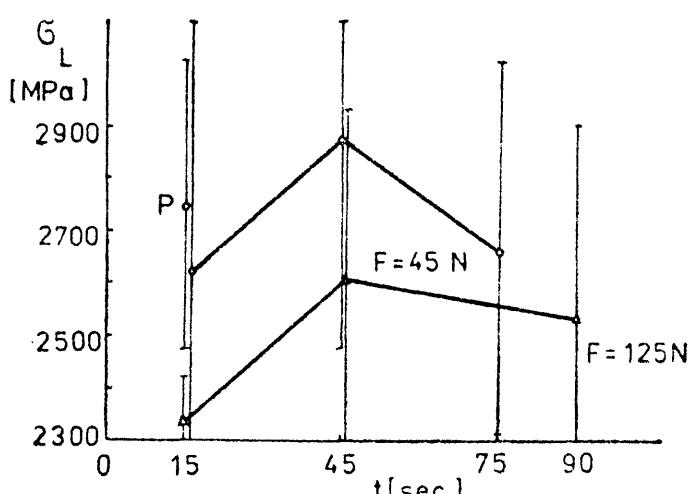


1f. Parametar rešetke faze  $\alpha$

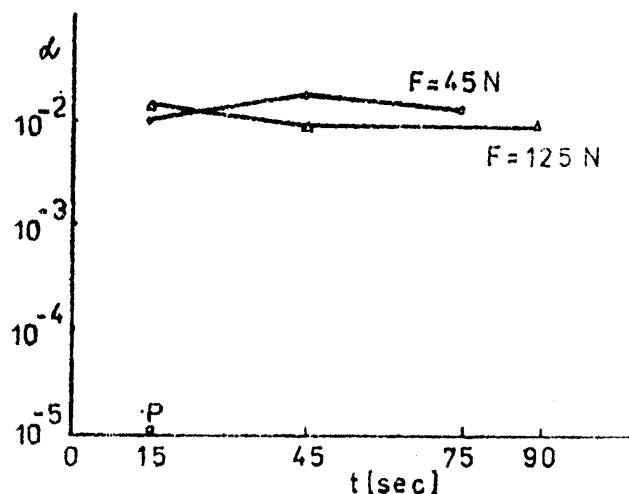
**2. Uticaj difrakcione analize merenih veličina na uzorcima 8—16**



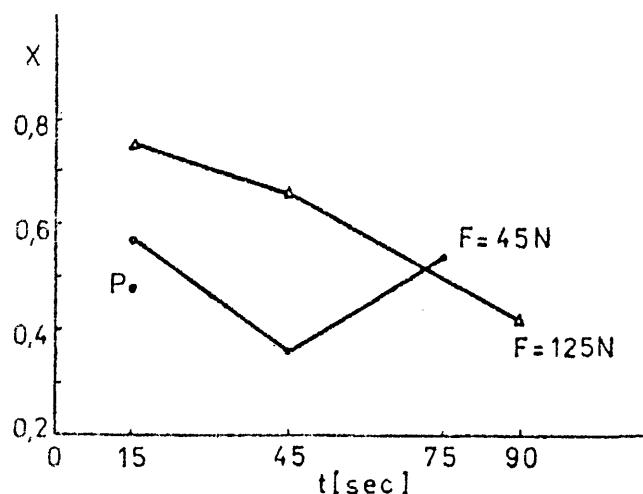
2a. Parametar rešetke faze  $\alpha$



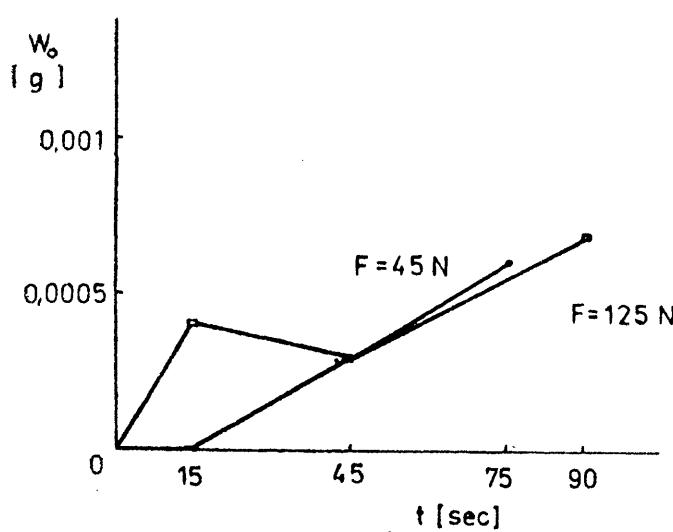
2b. Srednji kvadratni napon u funkciji vremena i opterećenja



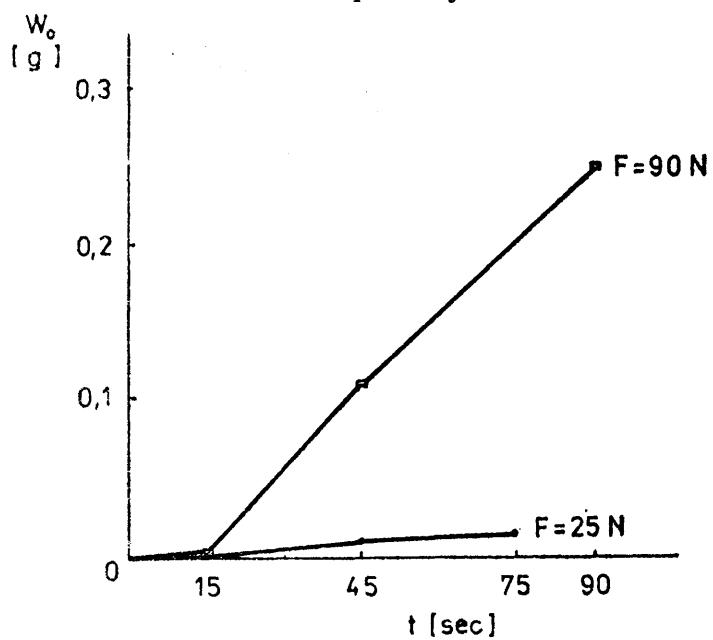
2c. Gustina površinskih grešaka u ravni 111 u funkciji vremena i opterećenja



2d. Mera anizotropije modula elastičnosti u funkciji vremena i opterećenja



3. Gubitak mase uzorka pri tribološkim ispitivanjima u funkciji vremena i opterećenja (uzorak 8—16, mazivo 321 R)



4. Gubitak mase pri tribološkim ispitivanjima u funkciji vremena i opterećenja (uzorak 1—7, bez maziva)

## PREGLED REZULTATA I ZAKLJUČAK

Rezultati ispitivanja kontaktnih osobina materijala 17 346 tribološkim probama na uređaju TE 97 A »Pin and Disc« su pokazali da se znatno menjaju uslovi ispitivanja pri primeni maziva, što izaziva promenu raspodele temperature na površini ispitivanih uzoraka pri svom trenju i pri primeni maziva. Pri ispitivanju na suvo na veličinu maksimalne temperature ima uticaj veličina opterećenja.

Iz sl. 3 i 4 i tablice br. 1 može se videti, da gubitak mase pri svom trenju je znatno veći nego pri primeni maziva.

Rezultati difrakcione analize pokazuju da su ispitivane veličine kao  $a^*$ ,  $\delta_L$ ,  $(\epsilon^2)/_2$ ,  $x$ ,  $\alpha$ ,  $V_\alpha$ ,  $V_\gamma$  osetljive na tribološke procese. Naročito se menjaju  $\delta_L$ ,  $x$ ,  $\alpha$ .

## Reagovanja

Uredništvo časopisa dobilo je dopis iz »Prvomajske« — Zagreb, koji je potpisao dipl. ing. strojarstva Ivan Brenčun, gde reaguje na izvesne detalje u članku dr Ratka Mitrovića, objavljenom u prvom broju časopisa »Tribologija u industriji« za 1981. godinu, a pod naslovom »Tribološke pojave na domaćim alatima za duboko bušenje«. To je i bio razlog uredništva da otvari rubriku REAGOVANJA, u kojoj će dati priliku našim čitaocima da iznesu svoj stav i činjenice u odnosu na objavljene radove u časopisu.

U ovakvim slučajevima pružaćemo priliku i autoru o čijem je članku reč da svoje stavove pojasni, odnosno da prezentira činjenice na kojima su zasnovani.

U časopisu: »Tribologija u industriju« od marta 1981. god. nalazi se na str. 13 članak pod nazivom: »Tribološke pojave na domaćim alatima za duboko bušenje«. Osim triboloških ispitivanja na alatu za duboko bušenje naveden je i podatak da se alat za duboko bušenje sa unutarnjim odvodom strugotine ne proizvodi u zemlji već da se uvozi i za što se troše devizna sredstva. Međutim taj podatak nije točan jer se kod nas u OOUR ALATNICA — SOUR »PRVOMAJSKA« taj alat uspješno serijski proizvodi već punih 17 godina uz korištenje domaćeg tvrdog metala (»SINTAL« Zagreb).

U usporedbi sa bušnim glavama firme HELLER nema nikakve razlike u izdržljivosti oštice. Proizvodimo dimenzije od  $\varnothing 17 \div \varnothing 68$  mm s time da su dimenzije od  $\varnothing 60$  na dalje sa umetnim noževima.

Prema tome konstatacija da se taj alat ne proizvodi u zemlji nije točna. Mi imamo potpuno razrađenu tehnologiju, potrebne alate za tu proizvodnju i osiguran domaći tvrdi metal, dobre kvalitete i domaćeg porijekla (»SINTAL«).

Napominjemo da mi jedino nismo vršili tribološka ispitivanja. Molimo da se sa time upozna i tehnička javnost putem vašeg cijenjenog časopisa.

Uz drugarski pozdrav.  
Ivan Brenčun dipl. inž.

## LITERATURA

1. RYBALKOVA, L. M.: Ob izmenenii perioda kristaličeskoj rešotki v pripoverchnostnykh slojach medi i lantu ni pri trenii. Fizika metallov i metallovedenie 1975, Tom 39, typ. 2, str. 362—366.
2. BUŠE, N. A.: K voprosu o processach, proischodjašchich na povrchnosti trenija metalličeskikh materialov. Kniga »O prirode trenija tvjordych tel« Minsk »Nauka i technika« 1971, str. 75—77.
3. BLAŞKOVIĆ, P., STRANSKY, K., SCHWAB, P.: The Study of Material Contact Prospectives at Sliding Friction. Proceedings »EUROTRIB 81« Warschau (to be published).

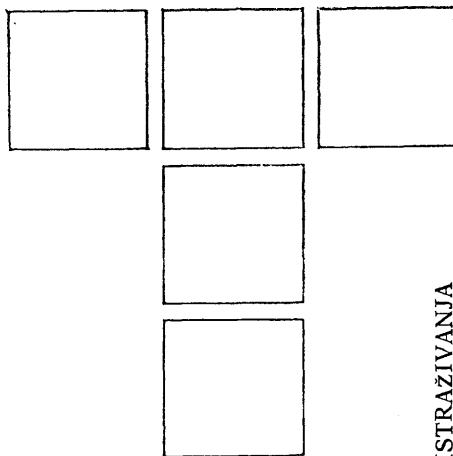
Poštovani druže Brenčun,

Potpuno ste u pravu da u pomenutom saopštenju »Tribološke pojave na domaćim alatima za duboko bušenje« iz časopisa »Tribologija u industriji« 1/81 od marta 1981. godine stoji konstatacija: »Za potrebe jugoslovenskog tržišta ovi specijalni alati su do sada u potpunosti obezbeđivani iz uvoza, pri čemu je vršen veliki odliv deviznih sredstava«. Međutim, konstatacija nije proizvoljna. Naime u 1978. godini Laboratorijskih za obradu metala i tribologiju Mašinskog fakulteta iz Kragujevca u zajednici sa OOUR-om »ALATNICA« Zavoda »Crvena zastava« iz Kragujevca uradila je detaljni »STUDIJU JUGOSLOVENSKOG TRŽIŠTA SPECIJALNOG ALATA« kojom su obuhvaćeni i alati za duboko bušenje. Tom prilikom anketirano je 47 jugoslovenskih potrošača među kojima se nalaze i oni koji su najviše zainteresovani za ovu vrstu alata. Uzgred rečeno među anketiraninima se nalaze i četiri OOUR-a Vašeg SOUR-a »PRVOMAJSKA« iz Zagreba. Između ostalih podataka anketni list je sadržao i podatke o proizvođaču alata. Svi odgovori su glasili da se snabdevanje vrši iz uvoza i to uglavnom od TBT-a i HELLER-a iz SR Nemačke, SIG-a iz Švajcarske i COROMANT-a iz Švedske.

U objavljenom radu se ne tvrdi da u Jugoslaviji niko ne može da napravi odgovarajući alat za duboko bušenje, ali je činjenica da se veliki jugoslovenski potrošači ovog alata snabdevaju iz uvoza.

To su bile motivacije da se OOUR »ALATNICA« ZCZ iz Kragujevca uz saradnju sa Laboratorijom za obradu metala i tribologiju takođe iz Kragujevca ozbiljnije pozabavi ovim problemom i stvari uslove za industrijsku proizvodnju ove vrste visokoproduktivnog i skupnog alata.

Dr Ing. Ratko Mitrović



# Uticaj režima završne obrade brušenjem na brzinu širenja pitinga i dubinu razorene površine cilindričnih evolventnih zupčanika

## UVOD

Visoki zahtevi savremenog mašinstva za kvalitet i pouzdanost mašina i mašinskih elemenata suštinski su izmenili prilaz u njihovom konstruisanju, tehnologiji izrade, preventivnim i remontnim radovima.

Mašina se sve više posmatra kao sistem koji »stari«. Njeni parametri se postepeno menjaju u procesu eksploracije, kao rezultat habanja njenih elemenata, zamora i »starenja« materijala. Mnoge pojave nastale u prethodnoj i završnoj obradi mašinskih elemenata, značajno će uticati na proces gubitaka radne sposobnosti mašine u eksploracionim uslovima.

Zadnjih godina, savremeno mašinstvo pokazuje sve veće interesovanje za ispitivanje tehnološkog nasleđa i njegovu vezu sa eksploracionim svojstvima mašinskih elemenata.

TABELA 1.

R. b.	Veličina	Oz.	Vrednost	R. b.	Veličina	Oz.	Vrednost
1.	Broj zuba	z	19	7.	Visina glave	$a_c$	2,69
2.	Modul	m	2,5	8.	Ugao dodirn.	$\alpha_c$	20
3.	Preč. pod. kruga	$d_o$	47,5	9.	Tet. deb. na pod. krugu	$S_c$	4,14
4.	Preč. tem. kruga	$d_t$	52,8	10.	Mera preko zuba	W	19,32
5.	Preč. podn. kruga	$d_f$	41,4	11.	Kružni zazor	g	0,1
6.	Preč. osn. kruga	$d_b$	44,6				

Režimi brušenja sa kojima su brušeni zubi zupčanika, dati su u sledećoj tabeli:

TABELA 2.

Broj zuba	Brzina pom. kretanja (mm/min)	Br. obrta rad. predm. o/min.	Dubina brušenja (mm)
1, 2, 3	gruba obr. 1200		gruba 0,02 x 2
	fina obr. 500		fina 0,01 x 1
4, 5, 6	gruba obr. 600		gruba 0,02 x 2
	fina obr. 300		fina 0,01 x 1
	gruba obr. 1800		gruba 0,02 x 2
7, 8, 9	fina obr. 900		fina 0,01 x 1
	gruba obr. 1200		gruba 0,03 x 1
10, 11, 12	fina obr. 500	130	fina 0,02 x 1
	gruba obr. 1200		gruba 0,02 x 1
13, 14, 15	fina obr. 500		fina 0,03 x 1
	gruba obr. 1200		gruba 0,05 x 1
16, 17, 18	gruba obr. 1200		
19	fina obr. 500		fina /

Danas se pod pojmom tehnološkog nasleđa podrazumevaju fizičko-mehaničke karakteristike obradenih površina mašinskih elemenata nastale kao rezultat prethodnih i završnih tehnoloških operacija.

U ovom radu dati su rezultati ispitivanja uticaja tehnološkog nasleđa na razvoj pitinga cilindričnih evolventnih zupčanika. Ispitan je uticaj režima završne obrade brušenjem na razvoj procesa habanja, brzinu širenja pitinga i dubinu razorene površine.

## PROGRAM I USLOVI ISPITIVANJA

Eksperimentalna ispitivanja su vršena na zupčaniku koji svojim dimenzijama i oblikom predstavlja jedan od često korišćenih zupčanika u prenosnicima mašina alatki. Osnovne geometrijske mere ispitivanog zupčanika, date su u tabeli 1.

Eksperimentalna ispitivanja, čiji su rezultati dati u ovom radu, obavljena su na uređaju za ispitivanje zupčanika koji radi po principu »zatvorenog kruga« snage i koji spada u uređaje kod kojih je moguće menjati opterećenje u samom procesu rada.

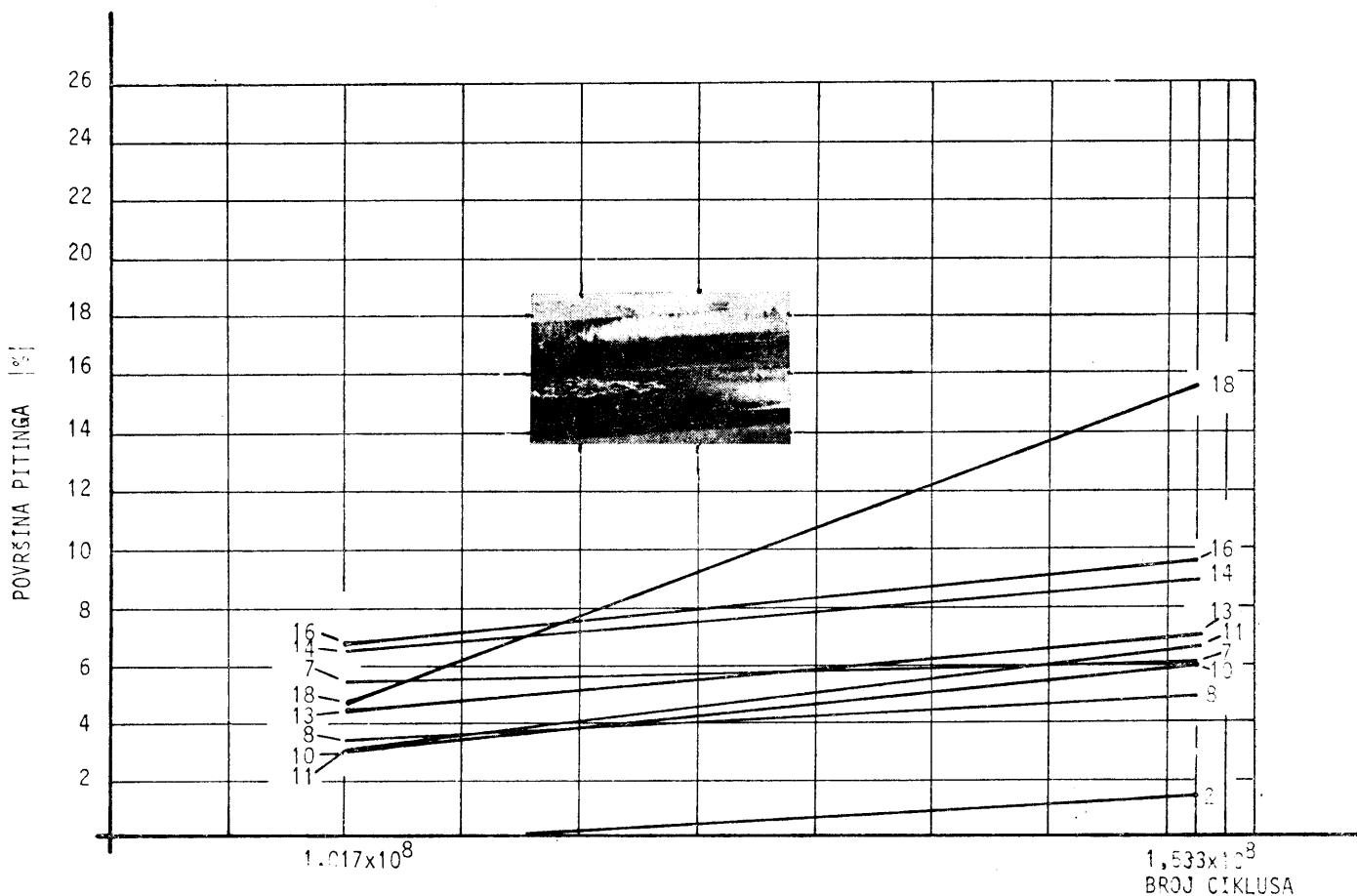
Aktivna površina zupčanika obuhvaćena pitingom, kao i dubina razorene površine, mereni su alatnim mikroskopom MMI.

## REZULTATI ISPITIVANJA

Razorni piting, kao oblik razaranja aktivne površine zuba, je dinamičan proces sa određenom brzinom širenja u posmatranom intervalu vremena.

Mnogi faktori utiču na intezitet širenja pitinga: materijal, uslovi podmazivanja, opterećenje, karakteristike sprezanja, itd. Kako su u našim ispitivanjima svi uslovi, za svaki od posmatranih zuba, bili isti ili približno isti, brzina širenja pitinga je posmatrana kao posledica naslednih osobina ispitivanih zuba.

Dinamika rasta površine pod pitingom posmatrana je u direktnoj zavisnosti režima završne obrade brušenjem.



Sl. 1. Dijagram brzine širenja pitinga

Rezultati ispitivanja pokazani su na slici 1, na kojoj je prikazana brzina širenja pitinga u zavisnosti od broja ciklusa.

Kao interval posmatranja brzine širenja pitinga, određen je ciklusi interval između  $1,017 \times 10^8$  i  $1,533 \times 10^8$  ciklusa. U periodu od  $1,017 \times 10^8$  ciklusa, površine pod pitingom zuba: 7, 8, 10, 11, 13, 14, 16 i 18, leže u granicama  $3,026 - 0,676\%$  ukupne aktivno spregnute površine. Ostali zubi (2, 4 i 5), još uvek se nalaze u periodu normalnog habanja. Razorno habanje u obliku inicijalnih jamica nastupiće kasnije na zubu 2.

Po završenih  $1,533 \times 10^8$  ciklusa, uočavaju se znatne razlike u veličini površine pod pitingom koje u ovom vremenskom intervalu leže u granicama  $1,347 - 27,42\%$  ukupne aktivne površine. Osobine najbržeg razaranja aktivne površine oblikom razornog pitinga pokazuju Zub 8, a najsporijeg zubi 4 i 5, na kojima se u ovom vremenskom intervalu uočava pojava tek prvih inicijalnih jamica.

Sa dijagraoma jasno uočavamo da se u vremenskom intervalu između  $1,017 - 1,533 \times 10^8$  ciklusa najviše povećala površina pod pitingom zuba 18 (3,559 puta), a najmanje površina zuba 7, samo 1,17 puta.

Razmatrajući brzinu promena širine piting-površina, uočavamo da se po formiranju klinaste površine, razorenova površina, veoma sporo i skoro nimalo ne širi. Dalji pravac razaranja usmeren je ka pojusu glave zupčanika, odnosno razaranje se prenosi na razaranje po visini.

Naglo povećanje širine piting-površine zapaža se samo u intervalu potpunog razaranja, posle pojave jamica većih dimenzija izvan već formiranog klini. Ovo je i logično ako se uzme u obzir da pojavi ovako krupniji jamicu ima veoma značajan uticaj na razaranje većeg dela aktivne površine zuba.

Najveća promena širine površine pod pitingom, primjećuje se kod zuba 16 i 18, gde je po završenom vremenskom intervalu od  $1,533 \times 10^8$  ciklusa, piting obuhvatio već skoro celu širinu zuba.

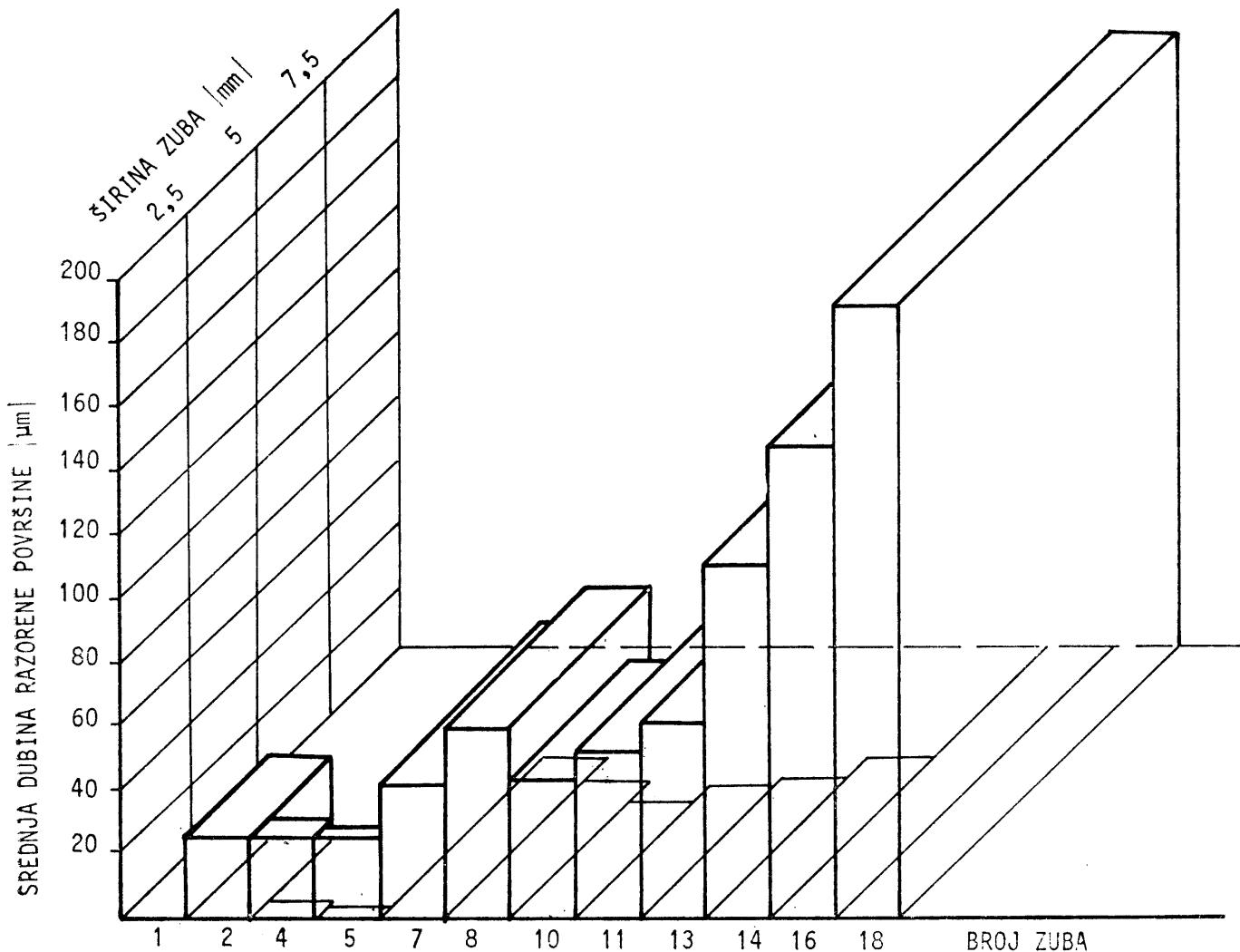
Razorena površina aktivnog dela zuba zupčanika, nastala kao rezultat povratnih kontaktnih naprezanja, je zavremenska veličina. Stoga, za ispravno poređenje više razorenih površina među sobom, pored površinskih veličina, važno je znati i dubinu razorenih površina.

U cilju boljeg poznавања pitinga i razorenih površina kao pojave, po završenom eksperimentu vršeno je mikroskopsko merenje dubine razorenih površina. Rezultati merenja prikazani su na sl. 2.

Analiziranjem dijagraoma, lako je zapaziti da najveću srednju dubinu razorenih površina ima Zub 18, kod koga ona iznosi približno 0,190 mm. Maksimalna dubina razorenih površina je nešto veća i kreće se oko 0,220 mm. Na mestima razorenih površina, cementirani sloj praktično ne postoji i potpuno je uništen pojmom pitinga. Širina razorenih površina je oko 10 mm, zapravo piting se širi po celoj širini zuba, pri čemu je samo polovina ove širine zahvaćena potpunim razaranjem.

Zubi 14 i 16 su takođe razoreni površinom velike dubine, koja se u svojoj srednjoj vrednosti kreće oko 0,111, odnosno 0,146 mm. Maksimalne vrednosti su nešto veće i kreće se oko 0,150 mm. Cementirani sloj je skinut razaranjem i praktično ne postoji. Razaranjem je obuhvaćena skoro celu širinu zuba 16, dok kod zuba 14 razorenu površinu nalazimo na širini od oko 6 mm.

Ostali zubi imaju manju srednju dubinu razorenih površina. Najmanja je kod zuba 4 i 5, gde za početne (inicijalne) jamice iznosi do 0,030 mm. Maksimalna dubina početnih jamica po završenih  $1,533 \times 10^8$  ciklusa je do 0,10 mm, najveće širine do 0,6 mm. I ostali zubi (7, 8, 10 i 11) imaju približno sličnu srednju dubinu razaranja, oko 0,05, maksimalnu do 0,10 mm. Izuzetak je Zub 13, znatno veće dubine razaranja, što je posledica faze razornog perioda u kome se ovaj Zub nalazi.



Sl. 2. Dijagram dubine razorenih površina

## ZAKLJUČAK

Analiza dijagrama brzine širenja pitinga, pokazuje da nasleđe fizičko-mehaničkih karakteristika defektnog sloja ima nesumljivo veliki uticaj na brzinu širenja pitinga. Kako se u našem slučaju različite nasledne fizičko-mehaničke karakteristike formiraju promenama režima brušenja, moguće je konstatovati da je njihov uticaj na dinamiku širenja pitinga od veoma velike važnosti.

Sa promenom režima brušenja u pravcu povećanja brzine pomoćnog kretanja ili dubine rezanja, povećava se brzina širenja pitinga, pri čemu je uticaj dubine rezanja znatno više izražen.

Analiza dijagrama dubine razorenih površina, pokazuje da je dubina u tesnoj vezi sa fazom razornog perioda u kojoj se zub nalazi.

Kako je brzina razaranja aktivne površine u tesnoj vezi sa naslednjim osobinama, sa kojima zubi započinju svoj eksploatacioni vek, logično je da u sličnoj vezi bude i razvoj dubine razaranja.

Valja napomenuti da praćenje perioda razaranja pokazuje, da je razvoj dubine razaranja znatno dinamičniji proces od razvoja površine obuhvaćene pitingom.

## LITERATURA

1. S. TANASIJEVIĆ, Prilog istraživanju uticaja uslova formiranja aktivnih površina zuba na razvoj porcela habanja cilindričnih evolventnih zupčanika, doktorska disertacija, Mašinski fakultet, Kragujevac, 1980. g.