

tribologija u industriji

sadržaj contents содержание

UVODNIK INTRODUCTION ПЕРЕДОВИЦА	R. CEBALO: Tribologija u modernoj industriji - Tribology in Modern Industry - Трибология в современной промышленности	67
ISTRAŽIVANJA RESEARCH ИССЛЕДОВАНИЯ	T. SASADA: Klasifikacija metalnih materijala sa gledišta njihovih antihabajućih svojstava - Classification of Metallic Materials at a Viewpoint of Their Antiwear Properties - Классификация металлических материалов с точки зрения их износостойкости	69
	B. IVKOVIĆ: Tribo - ekonomski aspekt primene prevlaka na alatima i elementima mašina - Tribo - economical Aspect of Applying Coating on Tool and Machine Elements - Трибо-экономический аспект применения покрытий на элементах инструмента и станков	76
ZA NEPOSREDNU PRAKSU FOR DIRECT PRACTICE ДЛЯ НЕПОСРЕДСТВЕННОЮ ПРАКТИКУ	D. JEŠIĆ: Otpornost na trošenje nodularnog liva NL 420 i NL 600 u uslovima abrazionog trošenja - Wear Resistance of Nodular Casting NL 420 and NL 600 in Abrasive Wear Conditions - Износостойкость чугуна НЛ 420 и НЛ 600 в условиях абразивного износа	81
NOVOSTI NEWS ИЗВЕСТИЯ	B. NEDIĆ: Razmatranje uticaja pohabanosti spiralne burgije na osnovne parametre procesa bušenja -	86
KNJIGE I ČASOPISI BOOKS AND JOURNALS КНИГИ И ЖУРНАЛЬ	Centar za tribologiju u Sofiji Automatizovani sistem za analizu topografije tvrdih tela	90 91
NAUČNI SKUPOVI SCIENTIFIC MEETINGS НАУЧНЫЕ СОБРАНИЯ	92
REZIMEA ABSTRACTS РЕЗЮМЕ	94
	96

Tribologija u modernoj industriji

Na prvi pogled izgleda da sva nastoja-
nja za povećanje produktivnosti i
kvalitete proizvodnje imaju za cilj
povećanje profita, ali to je samo
djelomično tačno. Ostvarenje profita
proističe iz objektivne težnje kvalitet-
njem življenju, i to kako pojedinca
tako i sveukupnog društva. Iz ove
težnje zapravo proistiće sve ono
pozitivno na području istraživanja i
razvoja, a kao konačni cilj se postavlja
računalom integrirana proizvodnja u
sklopu "tvornice budućnosti".

Kvalitetnije življenje je teško definirati
jer to može biti individualno osjećanje.
Ipak, sve ono što čini život lepšim i
udobnijim može bar jednim dijelom
zadovoljiti osjećaj sreće. Da bi se
omogućilo prihvatanje "boljeg života"
u svim njegovim aspektima potrebno je
promijeniti način mišljenja i rada, od-
nosno usvojiti jedan sasvim novi men-
talitet. Osnova ovog novog mentaliteta
je u kvalitetnijem radu pri čemu će
radni ljudi dovoljno zaradjavati da bi se
ostatak vremena mogli posvetiti
zadovoljenju intelektualno "viših"
životnih potreba.

Osim toga, uvjete rada je također
potrebno poboljšati do nivoa
zadovoljstva, kako bi do izražaja došla
kreativnost svih sudionika u pro-
vodnji. Ovome može puno pridonijeti
uvodjenje modernih tehnologija i
automatsko upravljanje proizvodnjom.

Pri tome je potrebno napomenuti da
uvodenje novih tehnologija ne djeluju
samo na proizvodnju nego i na društvo
uopće jer se mijenja pristup radu i or-
ganizaciji, a ostvareno povećanje
profita značajno poboljšava uvjete
življenja.

Automatizacija, a posebno fleksibilna
automatizacija, oslobadja čoveka
fizičkog i monotonog rada, te mu
omogućava da se bavi kreativnim
radom. Ovo normalno ima veliki uticaj
na školovanje stručnih i znanstvenih
kadrova i tjera kompletno obrazovno
osoblje na nove pristupe i metode
obučavanja. Pri tome se ne smije
zaboraviti na preobrazovanje pos-
tojećih kadrova, kao i na prestrukturiranje sadašnjih profila stručnjaka
(kako po pitanju nivoa obrazovanosti,
tako i po pitanju specijalnosti odnosno
područja rada).

Ekološki pristup postavljanja pitanja
trošenja energetskih resursa, zaga-
dživanje okoline i istrošenja samih
sirovina. Postoji velika vjerojatnost da
će čovječanstvo doći do filozofije u
kojoj je potrebno proizvoditi samo ono
što je nužno (u širem smislu te riječi),
ali takve kvalitete da je proizvod što
trajniji i pouzdaniji. Ovakva filozofija
proizvodnje nameće intezivno
izučavanje pojave trošenja. Ovo
dovodi do toga da je proizvod kvalitetniji,
ali su osim toga kvalitetniji i alati,
pa im je trošenje manje. Uz to, da bi se
eliminirale greške čovjeka, uvodi se
fleksibilna automatizacija u sklopu
računalom integrirane proizvodnje, uz

ostvarenu visoku kvalitetu proizvoda,
dovodi do visoke produktivnosti. Pri
ovakvom konceptu proizvodnje smanjuju se i troškovi neproizvodnih radnika
(administracije) i troškovi izrade
dokumentacije (i projektne i tehnološke)
što uzrokuje značajno smanje-
nje troškova proizvodnje. Visoka
kvaliteta proizvoda opet značajno utiče
na smanjenje troškova eksploracije.
Time se proširuje lepeza proizvoda do-
stupnih kupovnoj moći, odnosno
kvalitetnijem zadovoljenju životnih
potreba čovjeka.

Upravo tribologija ima izuzetno važnu
ulogu pri smanjenju troškova proiz-
vodnje i eksploracije. Vrijeme će
pokazati da je rentabilnije očuvanje
postojećeg od proizvodnje novog. Pri
tome je važan faktor osiguranje
kvaliteta proizvoda, čemu se u pos-
lednje vrijeme posvećuje sve veća, ali
još uvijek nedovoljna pažnja.
Povećanje kvalitete proizvoda bitno
doprinosi poboljšanju triboloških
svojstava strojeva, uređaja i alata.
Time je moguće bitno doprinjeti bol-
jem materijalnom položaju budućeg
društva. Pri osiguranju kvalitete veoma
značajnu ulogu ima tribologija, odnosno
izučavanje triboloških karakteristika
procesa i postrojenja.

Izučavanje triboloških procesa dovodi
do novih materijala i novih tehnolo-
gija. Novi obradni materijali uz-
rokuju razvoj i novih alatnih materijala
i novih postupaka obrade, a tribološka
istraživanja ukazuju na optimalne
vrijednosti hrapavosti obradjenih

*Prof. Dr Roko Cebalo
Katedra za alatne strojeve
Fakultet strojarstva i brodogradnje
Sveučilišta u Zagrebu*

površina i to posebno onih koje su u medjusobnom kontaktu i kretanju. Osim toga, tribologija je izuzetno važna pri konstrukciji i eksploraciji alata za obradu odvajanjem čestica. Pri tome je potrebno posebno istraživati mehanizme trošenja to jest tribološke mehanizme. Matematičko modeliranje ovih mehanizama stvara bazu potrebnu za optimiranje i efikasnu eksploraciju postojećih obradnih i reznih materijala, te za razvoj novih materijala i novih tehnologija.

Iz svega ovoga vidljivo je da predстоji vrlo intezivan stručni i znanstveni rad na izučavanju i unaprijedjenju tehnologije sa tribološkog aspekta. Pri tome se nikad ne smije smetnuti s umna interdisciplinarnost triboloških pojava, pa se i samo izučavanje treba tako provoditi. U stadiju smo da je tribologija kao pojam nedovoljno uvedena i u našu svakodnevnu praksu i u znanstveno-istraživački rad. Iz prethodno navedenog je jasno koliki značaj ima

tribologija u konceptu računalom integrirane proizvodnje. Zbog toga je potrebno uložiti velike napore sa ciljem dubljeg i kvalitetnijeg razumevanja triboloških pojava. Iz ovako temeljitog poznavanja tribologije svakako bi proistekli kvalitetniji i proizvodi i alati, a isto bi uzrokovalo veću kupovnu moć radnog čovjeka te poboljšanje uvjeta rada i kvalitete življenja.

*Da li ste prijavili
svoje saopštenje za
YUTRIB 91. ?*

Na majskom susretu američkih inženjera održanom u San Francisku od 20. do 25. maja na Simpozijumu o stvaranju triboloških modela za mašinske inženjere, izložen je i rad profesora Tadashi Sasade sa Tokijskog instituta za tehnologiju. Zbog veoma aktuelne problematike prevlaka i njihovih triboloških karakteristika smatramo korisnim štampanje ovog rada i na srpskohrvatskom jeziku.

Redakcija

UDK 699.13.620.1.004.63

T. SASADA

Klasifikacija metalnih materijala sa gledišta njihovih antihabajućih svojstava

ISTRAŽIVANJA

1. UVOD

Jedan od najvažnijih ciljeva u istraživanju habanja je da se pronađe vodeći princip u "antihabajućoj karakteristici" materijala. Dobro je poznato da je kod abrazivnog habanja glavni faktor kod otpora habanja materijala njihova tvrdoća, (1, 2, 3). S druge strane kod adhezionog habanja, iako je dosad mnogo truda tome posvećeno, materijalni faktor kojim se određuje gubitak habanja nije razjašnjen u prošlosti.

Široko je prihvaćeno mišljenje da se adheziono habanje metala može podeliti na dve podvrste, a to su intenzivno habanje i usporeno habanje. Termini "intenzivno habanje" i "usporeno habanje" su prvi put upotrebili Archard i Hirst 1956. (4). Međutim slične klasifikacije su prvo predložili Okoshi i Sakai 1941. (5) i Mailander i Dies 1943. (6) koristeći druge termine. Mada klasifikacija na intenzivno i usporeno habanje ne potiče od mehanizma habanja, već od fizički vidljivog izgleda, tj. oštirine adhezionog habanja, razlike u njihovom izgledu su očigledne. Glavna spoljašnja crta koja karakteriše ove vrste habanja su veličina i oblik čestica habanja, pohabane površine, brzine habanja, oštirina u pokretanju gore-dole klizajućih delova tokom tarenja, i mogućnost da klizajući delovi mogu da se zaglave, kao što je i prikazano u tabeli 1.

*Prof. Dr Tadashi Sasada,
Department of Mechanical Engineering for Production,
Tokyo Institute of Technology,
Ookayama, Meguro - ku, Tokyo*

Uopšte, usporeno habanje se ne pojavljuje na početku testiranja. U prvoj fazi klizanja dolazi do intenzivnog habanja što rezultira visokim intenzitetom habanja. Posle određenog puta klizanja (početni period kretanja) ili nekoliko klizanja s ponavljanjima- oscilatorno kretanje, vrsta habanja iznenada teži da se promeni u usporeno habanje što pokazuje niži intenzitet habanja, kao što je prikazano na slici 1 (7).

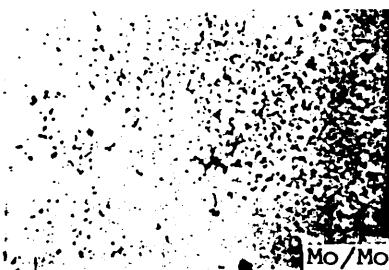
Ovde se mora istaći da se intenzivno habanje pojavljuje kod skoro svih vrsta parova metala koji se taru jedan o drugi; usporeno habanje, nasuprot, se pojavljuje u ograničenom broju parova materijala. Zbog velike razlike u brzini habanja kod intenzivnog i usporenog habanja, ukupno habanje posle dugog klizanja za materijale kod kojih se pojavljuje samo intenzivno habanje (krivulja 2 na slici 1.) je daleko veće od onog za materijale kod kojih se pojavljuje usporeno habanje (krivulja 1 na slici 1.). Drugim rečima, mora se reći da antihabajući materijali nisu ništa drugo do materijali koji imaju tendenciju da promene svoj način habanja iz intenzivnog u usporeno habanje u ranijoj fazi klizanja s ponavljanjem koliko je moguće.

S ovog gledišta, autor će u ovom radu diskutovati o vrstama materijala kod kojih dolazi do prelaza sa intenzivnog na usporeno habanje.

2. TRANZITNI METALI (d-osobina)

Pre svega, autor će govoriti o tarenju elemenata (jednostavne supstance). U eksperimentalnim rezultatima u autorovoj laboratoriji, pronađeno je da se promena od intenzivnog ka usporenom habanju dogodja samo u slučajevima kada je najmanje jedna komponenta tog sistema

Tabela 1. - Intenzivno i usporeno habanje

	INTENZIVNO HABANJE AI/AI	USPORENO HABANJE Mo / Mo
PRODUKTI HABANJA	 velika metalna čestica Al/Al	 fini oksidni prah Mo/Mo
POHABANA POVRŠINA	 hrapavo Al/Al	 relativno glatko Mo/Mo
SPECIFIČNO HABANJE *	$10^{-5} - 10^{-6} \text{ mm}^2/\text{N}$	$10^{-8} - 10^{-9} \text{ mm}^2/\text{N}$
KRETANJE KLIZAČA	snažno	nije snažno
PRIJANJANJE	moguće	nemoguće

$$* \text{SPECIFICNO HABANJE} = \frac{\text{ZAPREMINSKO HABANJE}}{(\text{NORMALNO OPTEREĆENJE}) \cdot (\text{PUT KLIZANJA})}$$

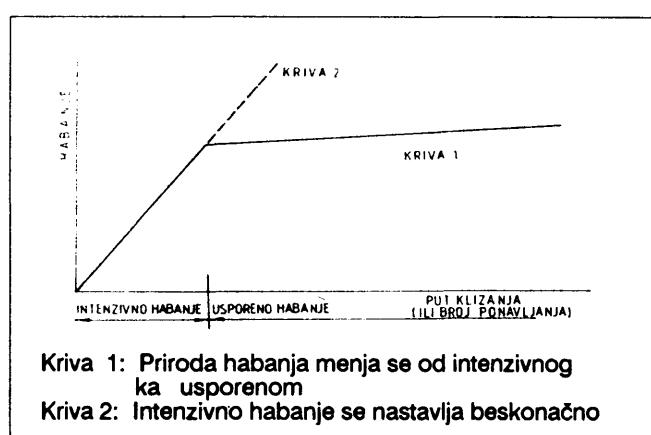
tarenja tranzitni metal (elementi s d-osobinom) (8, 9). U uslovima tarenja kada se netranzitni metali taru jedan o drugi, usporeno habanje se ne pojavljuje, ali se zato intenzivno habanje nastavlja (krivulja 2 na slici 1.).

Tipični primeri su prikazani na slikama 2., 3., i 4. Slika 2 prikazuje krive habanja za Ni/Ni klizni par (oba tranzitna

slikama koje pokazuju promenu od intenzivnog ka usporenom habanju tokom klizanja koje se ponavlja. Slika 4 za Cu/Zn (oba netranzitni metali) tarenje, s druge strane, ne pokazuje takvu sklonost, već samo dokazuje da se intenzivno habanje nastavlja u beskonačnost. Na osnovu ovih eksperimentalnih činjenica, može se reći da kombinacija antihabajućih materijala u tarenju jednostavnih substanci mora da sadrži tranzitne metale barem kao jednu komponentu sistema tarenja.

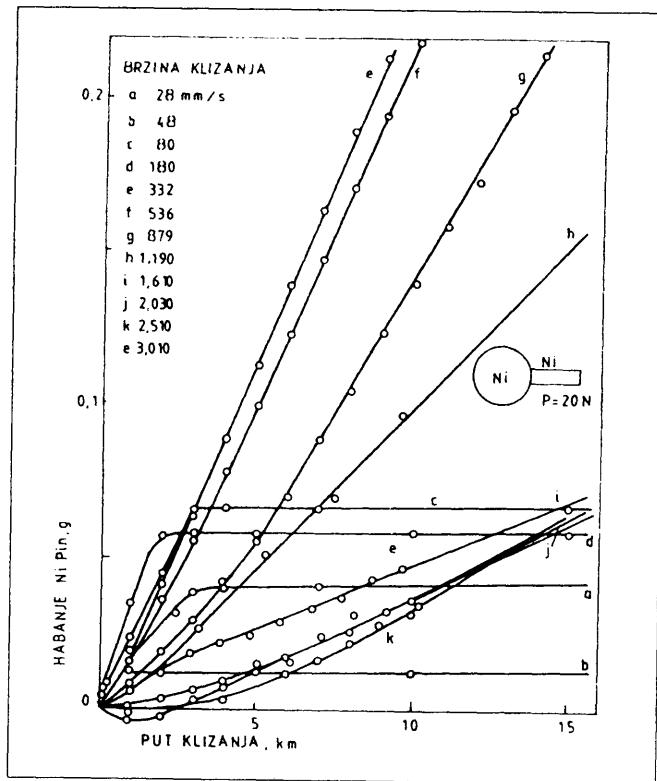
Ovde se mora pomenuti još i to o eksperimentalnim činjenicama da usporeno habanje nastaje u visokom vakuumu ili u inertnim gasovima čak i u tarenju tranzitnih metala. Dobro je poznato da gasna aktivnost hemijske adsorpcije kod elemenata se odnosi na njihovu d-osobinu (10). Ove činjenice znače da je usporeno habanje otkriveno kao rezultat hemijske adsorpcije molekula gasa koji ih okružuju (uglavnom O_2) na sveže dobijene metalne površine tokom procesa habanja.

Ovu teoriju podržavaju i činjenice (koje je nedavno ispitivao autor) da okolne O_2 molekule konzumiraju mnogo primetnije tranzitni metali tokom habanja nego netranzitni metali, kao što se i vidi na slici 5.

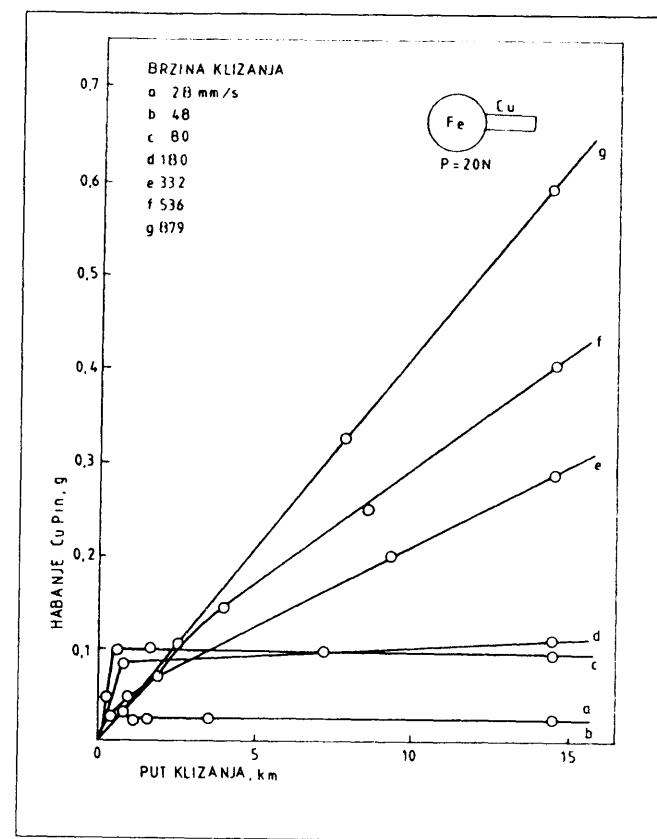


Slika 1. Krive habanja

metala), a slika 3 za Fe/Cu (tranzitni metal/netranzitni metal). Možemo da vidimo sklonosti W-I krivih na ovim



Slika 2. Kriva habanja za tarući par tranzitni metal / tranzitni metal (Ni / Ni) bez podmazivanja



Slika 3. Kriva habanja za tarući par tranzitni metal / netranzitni metal (Fe / Cu) bez podmazivanja

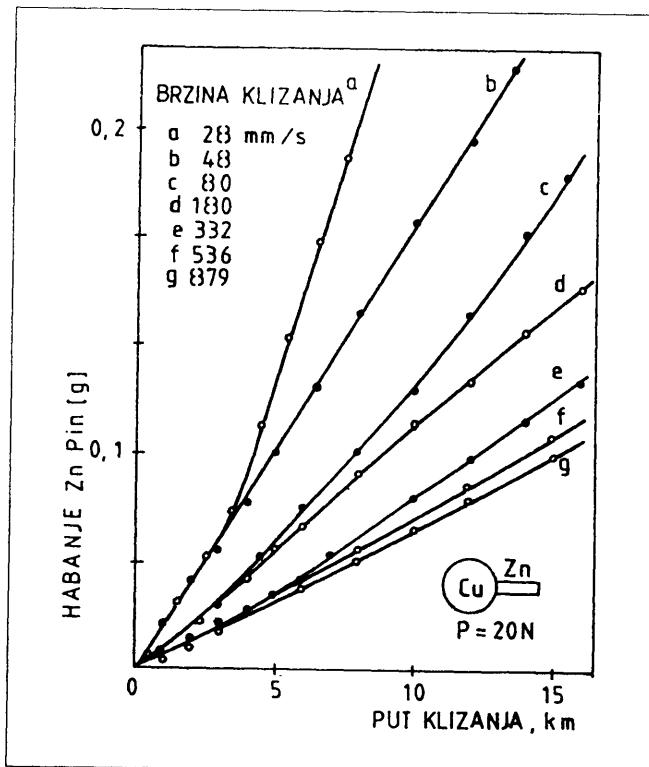
Rezimirajući ovo poglavlje, moglo bi se reći da je antihabajuća osobina materijala tendencija da se promeni njihov način habanja od intenzivnog ka usporenom habanju u ranoj fazi tarenja koje se ponavlja i da ovu osobinu daje d-osobina kod osnovnih metala.

3. RETKI METALNI OKSIDI

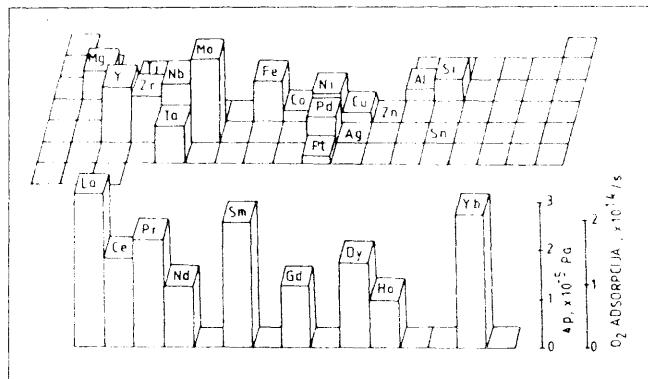
U ovom poglavljiju i posle njega, autor bi želeo da proširi princip da bi pokazao antihabajuću osobinu o kojoj je bilo reči u poslednjem poglavljju od osnovnih metala do drugih materijala.

Prvi materijali o kojima će biti reči su retki metalni oksidi. Ako antihabajuća osobina tranzitnih metala nastaje zbog njihove gasne aktivnosti hemijske apsorpcije izazvane njihovom d-osobinom prirodno je zaključiti da retki metalni oksidi imaju takodje tu antihabajuću osobinu kao i elementi koji imaju f-osobinu.

Eksperimentalni rezultati koji su dobijeni u autorovoј laboratoriji (12) pokazuju da retki metalni oksidi imaju priličnu tendenciju ka promeni habanja iz intenzivnog u usporeno u svom načinu habanja u vrlo ranoj fazi tarenja koje se ponavlja, tako da ovi materijali imaju superiorno antihabajuće svojstvo. Slika 6 je tipičan primer, gde je snažna tendencija ka usporenom habanju posmatrana u poređenju retkih metalnih oksida La, Ce, Nd, Sm itd. sa tranzitnim metalima Ni, Ta i Ti.



Slika 4. Krive habanja za tarući par netranzitni metal / netranzitni metal (Cu / Zn) bez podmazivanja

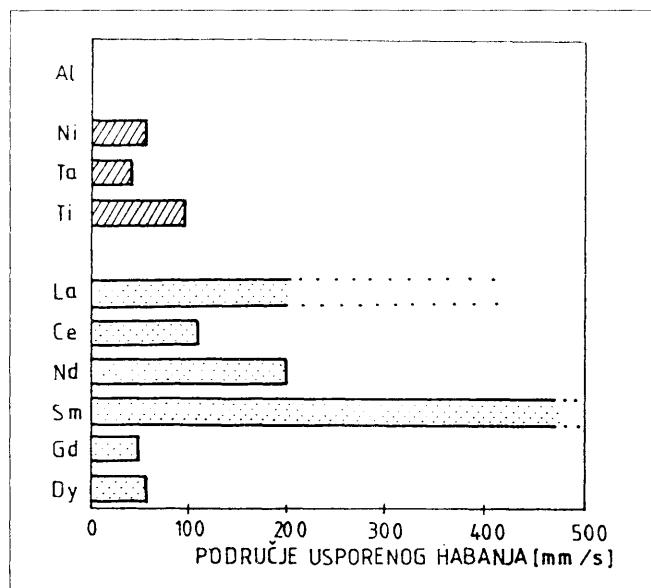


Slika 5. Adsorpcija kiseonika za vreme klizanja tarućih parova sličnih metala. Tranzitni metali i retki metalni oksidi adsorbuju kiseonik u velikim količinama [11]

Ova snažna tendencija ka usporenom habanju kod retkih metalnih oksida nastaje usled njihove jakе aktivnosti za O₂ hemijsku apsorpciju kao što se vidi na slici 5. F-osobina će dati antihabajuće svojstvo osnovnim metalima kao i, ili još više nego d-osobina.

4. POLUPROVODNICI I KERAMIKA

Sledeći materijali o kojima će se govoriti su poluprovodnici. Poluprovodnici imaju, uopšte, elektronsku konfiguraciju sličnu elementima s d-osobinom. Modeli elektronske konfiguracije za Ge kristal i Ge-Sb poluprovodnik su prikazani



Slika 6. Uporedjenje područja mekog habanja medju metalima sa s/p-, d- i f-orbitalnom elektronskom prazninom. Tarenje sličnih metalnih parova na suvom vazduhu. Horizontalna osa pokazuje brzinu klizanja pod kojom se meko habanje pojavljuje posle 100 m klizanja.

šematski na slici 7 kao primer. Svaki Ge atom ima četvorovalentne elektrone koji se koriste da stvore kovalentne veze sa susednim Ge atomima u jednom Ge kristalu. U Ge-Sb

poluprovodniku, neki od Ge atoma u Ge kristalu su zamjenjeni Sb atomima, koji imaju petovalentne elektrone. Sb atom koristi četiri od svoja pet elektrona da stvori Ge kristalnu rešetkastu strukturu, a onaj jedan elektron koji je ostao okupiraju i Sb i njegovih nekoliko susednih Ge atoma. Zbog toga, ovaj preostali valentni elektron se ponaša kao d-elektron u tranzitnim metalima, pokazujući gasnu aktivnost hemijske apsorpcije. Stoga, poluprovodnici imaju tendenciju da promene svoj način habanja iz intenzivnog u usporeno u ranoj fazi klizanja koje se ponavlja.

Slike 8 i 9 pokazuju eksperimentalne rezultate dobijene u autorovojoj laboratoriji. U tarenju Si-P poluprovodnika sa Zn, nije primećeno jako pomeranje gore-dole Zn igle, pa tako ovaj način klizanja spada pod usporeno habanje (Sl. 8).

Tabela 2 prikazuje prosečna specifična habanja tokom klizanja od 1080 m za metal/Si-poluprovodnik i metal/SiO₂. Manje specifična habanja su posmatrana u predhodnom slučaju, zato što promena habanja iz intenzivnog u usporeno se dogodila ranije (Slika 9).

Keramika, na primer, aluminijum trioksid, cirkonijum, itd., se često svrstavaju u antihabajuće materijale. Bez sumnje, usporeni način habanja se često primećuje u tarenju ovih materijala. Autor prepostavlja da se keramika često ponaša kao poluprovodnik u tarenju, zato što ona ima ne-stehiometrijski sastav u mnogo slučajeva.

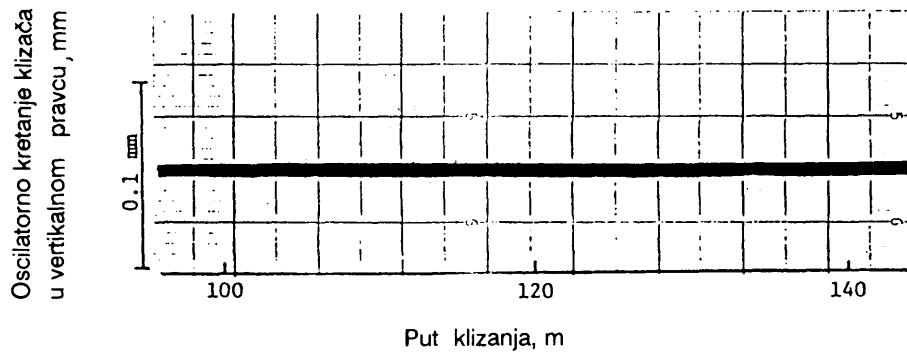
Ge	Ge	Ge	Ge	Ge	Ge	Ge	Ge	Ge	Ge	Ge	Ge	Ge
Ge	Ge	Ge	Ge	Ge	Ge	Ge	Ge	Ge	Ge	Ge	Ge	Ge
Ge	Ge	Ge	Ge	Ge	Ge	Ge	Ge	Ge	Ge	Ge	Ge	Ge
Ge	Ge	Ge	Ge	Ge	Ge	Ge	Ge	Ge	Ge	Ge	Ge	Ge
Ge	Ge	Ge	Ge	Ge	Ge	Ge	Ge	Ge	Ge	Ge	Ge	Ge
Ge	Ge	Ge	Ge	Ge	Ge	Ge	Ge	Ge	Ge	Ge	Ge	Ge
Ge	Ge	Ge	Ge	Ge	Ge	Ge	Ge	Ge	Ge	Ge	Ge	Ge
Ge	Ge	Ge	Ge	Ge	Ge	Ge	Ge	Ge	Ge	Ge	Ge	Ge
Ge	Ge	Ge	Ge	Ge	Ge	Ge	Ge	Ge	Ge	Ge	Ge	Ge
Ge	Ge	Ge	Ge	Ge	Ge	Ge	Ge	Ge	Ge	Ge	Ge	Ge
(1)	Ge	kristal										(2) Ge poluprovodnik

Slika 7. Kristal germanijuma i germanijum poluprovodnik

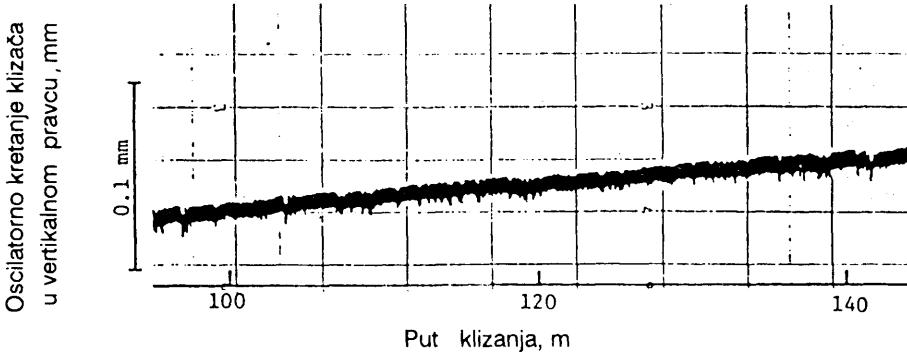
5. AMORFNE LEGURE

Amorfne legure su sigurne u svoju visoku adsorpcijsku aktivnost za molekule gase koji ih okružuju, zato što su površinski atomi nestabilni, pa su tako aktivni u hemijskim reakcijama. Prema nedavnom ispitivanju koje je obavljeno u autorovojoj laboratoriji, amorfne legure imaju snažnu tendenciju da promene način habanja iz intenzivnog u usporeno tokom klizanja, i tako je otkriveno izrazito antihabajuće svojstvo.(14).

Tabela 3 pokazuje tipičan primer amorfnih legura i njihovo prosečno specifično habanje posle 1000 m klizanja sa nekoliko čistih metala. Očigledno je u ovoj tabeli da su specifična habanja veoma mala, što odgovara usporenom habanju kao što je prikazano u tabeli 1.



Slika 8. Oscilatorno kretanje u vertikalnom pravcu PIN-a od Zn u tarućem paru Zn / Si - Poluprovodnik [13]



Slika 9. Oscilatorno kretanje u vertikalnom pravcu PIN-a od Zn u tarućem paru Zn / SiO₂ [13]

6. TERMIČKA OBRADA

Tehnički obradjeni (otvrdnuti) čelici ponašaju se u procesu habanja slično kao i amorfne legure. Termički obradjen čelik ima martenzitnu strukturu, koja je termodinamički nestabilna pri sobnoj temperaturi, tako da se njihovi površinski atomi moraju ponašati aktivno za gasnu hemijsku adsorpciju.

Slike 10. i 11. prikazuju tipične primere pohabane površine i čestice habanja dobijene od tarenja prekaljenog i tehnički

obradjenog čelika/čelika u istim uslovim klizanja. Prvo otkriva tipično intenzivno habanje, dok drugo tipično usporeno habanje i ova dva specifična habanja se razlikuju skoro u odnosu 100:1. Na osnovu ovih eksperimentalnih podataka, očigledno je da postupak termičke obrade (otvrdnjavanje) vrlo efikasno povećava antihabajuća svojstva čelika kroz stvaranje uslova za pojavu usporenog habanja. Povećanje u čvrstoći kroz tehničku obradu će biti manje od 4 puta, dok se stopa habanja smanjuje na manje 1/100. Zbog ovog rascpa u efikasnosti, očigledno je da

Tabela 2. Srednji intenzitet habanja u paru metal / Si-P-Poluprovodnik i metal / SiO₂. Put klizanja 1080 m, PIN-ON-DISC test bez podmazivanja [13]

PIN	Metal / Si-P-Poluprovodnik		Metal / SiO ₂	
	Intenzitet habanja metal-nog PIN-a mm ² / N	Intenzitet habanja Si-P diska mm ² / N	Intenzitet habanja metal-nog PIN-a mm ² / N	Intenzitet habanja SiO ₂ diska mm ² / N
Al	2.6×10^{-9}	$< 9.0 \times 10^{-10}$	4.2×10^{-7}	3.0×10^{-7}
Zn	2.2×10^{-9}	2.2×10^{-9}	2.4×10^{-7}	7.3×10^{-8}
Zu	2.1×10^{-9}	6.7×10^{-9}	9.1×10^{-8}	5.4×10^{-8}

Tabela 3. Habanje Fe ($Fe_{81}B_{13.5}Si_{3.5}C_2$) i Fe-Ni ($Fe_{40}Ni_{38}Mo_4B_{18}$) amorfnih legura pri tarenju sa čistim metalima [14]

Parovi metala	Al, Ag	Fe, Cu, Ni, Cd, Zn
Intenzitet habanja amorfnih legura mm ² / N	10^{-8}	10^{-9}

porast antihabajućeg svojstva čelika kroz tehničku obradu ne nastaje zbog jednostavnog porasta u otpornosti na prelom, već zbog porasta u hemijskoj aktivnosti (povećanja u aktivnosti hemijske adsorpcije) i time, zbog ubrzanja promene habanja iz intenzivnog u usporeno.

7. INTERMETALNA JEDINJENJA

Medjumetalna jedinjenja su često hemijski nestabilna, tako da se pretpostavlja da imaju visoku hemijsku aktivnost na svojim površinama. Tipičan primer je prikazan na slici 12, gde je pokazano prosečno specifično habanje nekoliko Cu-Zn legura dobijenih u autorovoј laboratoriji (15).

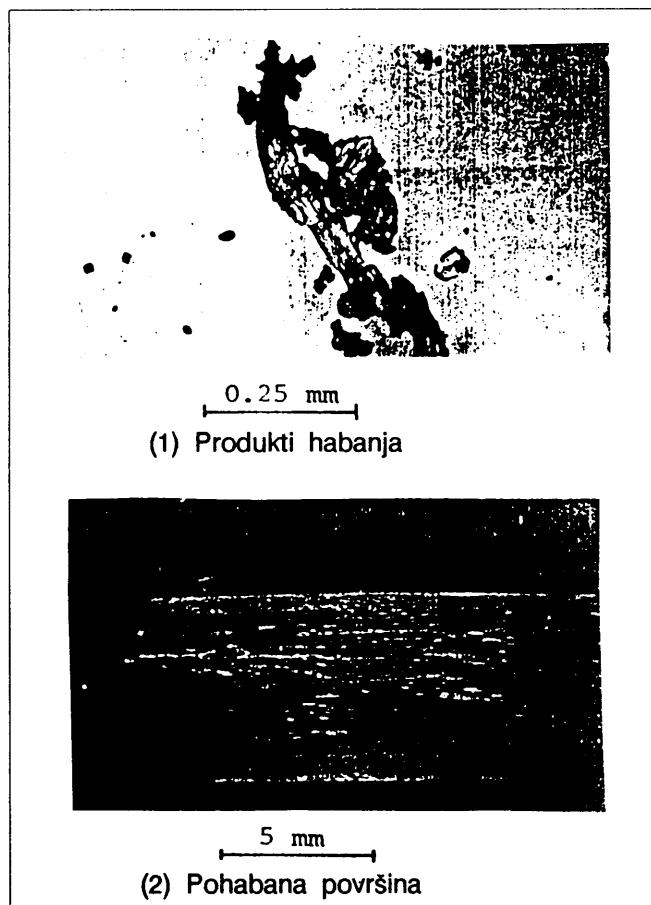
Na osnovu ove cifre je očigledno da se primarni čvrsti rastvori, α i η faza, ponašaju slično kao njihovi matični metali, tako da intenzivno habanje preovladjuje. Medjumetalna jedinjenja, β , γ , i ϵ faze suprotno tome, pokazuju snažnu tendenciju da promene svoj način habanja iz intenzivnog u usporeno habanje, tako da se primećuje veliko opadanje u prosečnim specifičnim habanjima (15).

Slični rezultati da medjumetalna jedinjenja pokazuju antihabajuće svojstvo zbog svoje tendencije ka usporenom

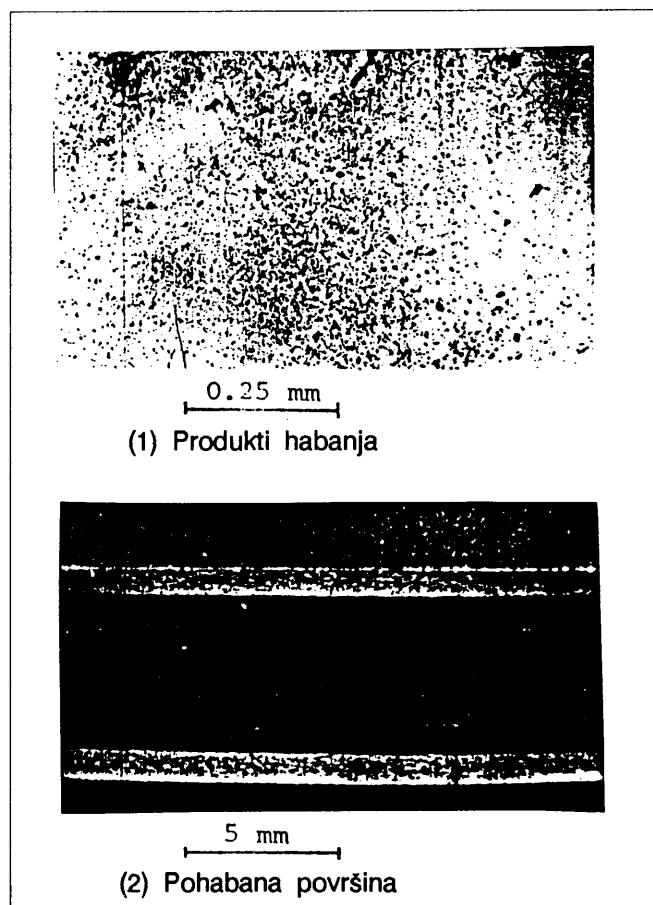
habanju su dobijeni takodje kod Cu-Sn, Ti-Ni i Ti-Al sistema (16).

8. ZAKLJUČAK

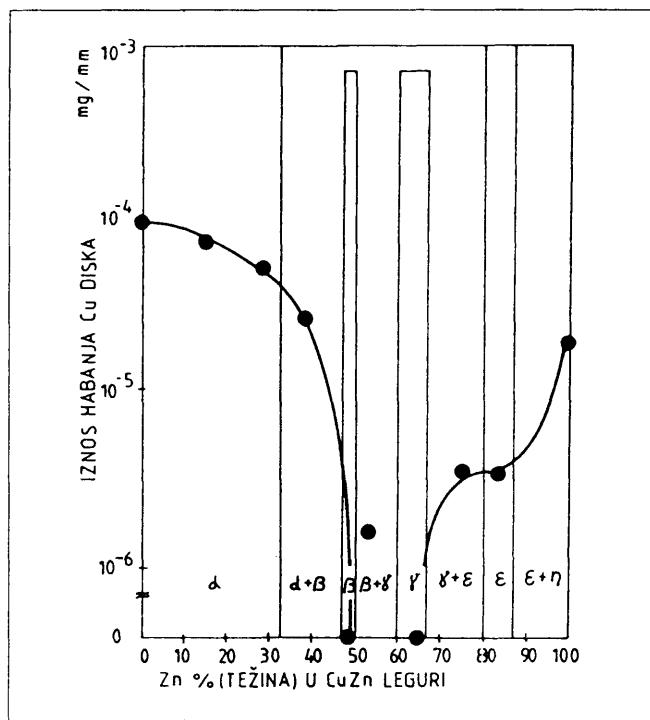
Kao što je rečeno u prethodnim poglavljima u ovom radu, antihabajuće svojstvo materijala za adheziono habanje zavisi od tendencije ka promeni njihovog načina habanja iz intenzivnog u usporeno u ranjoj fazi njihovog klizanja sa ponavljanjima, a usporeno habanje izaziva O_2 hemijska adsorpcija na sveže izloženim površinama metala tokom klizanja. Tranzitni metali (elementi s d- osobinom), retki metalni oksidi (elementi s f-osobinom), poluprovodnici i keramika, amorfne legure, tehnički obradjeni čelici i medjumetalna jedinjenja se svrstavaju u antihabajuće materijale zbog svoje visoke aktivnosti gasne hemijske adsorpcije. Može se reći da je vrlo interesantno da ova antihabajuća svojstva ne odolevaju frakturi zahvaljujući svojoj mehaničkoj snazi, već hemijskoj nestabilnosti na površinama.



Slika 10. Intenzivno habanje bez podmazivanja nelegiranih čelika



Slika 11. Usporeno habanje termički obradjenog čelika bez podmazivanja. Uslovi klizanja isti kao na sl. 10



Slika 12.

LITERATURA

- [1] KHRUSCHOV, M. M., **Resistance of Metals to Wear by Abrasion , as Related to Hardness**, The Institution of Mechanical Engineers, Proceeding of the Conference on Lubrication and Wear, 1957, pp. 655 - 659.
- [2] RABINOWICZ, E., **Friction and Wear of Materials**, John Wiley and Sons, Inc., New York, 1964, pp. 173 - 176.
- [3] SASADA, T., **Adhesive Wear and Abrasive Wear**, Tribologists (English Translation from J. of Jpn. Soc. Lub. Engrs.) Allerton Press Inc., Vol. 34, No. 5, May 1990, pp.475 - 481.
- [4] ARCHARD, J. F. and HIRST W., **The Wear of Metals under Unlubricated Conditions**, Proc. Roy. Soc., A, Vol. 236, 1956, pp. 397 - 410.
- [5] OKOSHI, M. and SAKAI, H., **Researches on the Mechanism of Abrasion** (Report III, Mechanism of Abrasion of Cast Iron & Steel), Trans. Jpn. Soc. Mech. Engrs., Vol. 7, No. 29, Pt. 1, November 1941, pp. I - 29-47. (na japanskom)
- [6] MAILÄNDER, R. und DIES, K., **Beitrag zur Erforschung der Vorgänge beim Verschleiss**, Archiv für das Eisenhüttenwesen, 16 Jahrgang, Heft 10, April 1943, ss, 1-14.
- [7] SASADA, T., **Fundamental Analysis of the Adhesive Wear of Metals -Severe and Mild Wear-**, Proc. of the JSLE International Tribology Conference, July 1985, pp. 623 - 628.
- [8] SODA, N., and SASADA, T., **Mechanism of Lubrication by Surrounding Gas Molecules in Adhesive Wear**, Trans. ASME, J. of Lubrication Technology, Vol. 100, No. 4, October 1978, pp. 492 - 500.
- [9] SASADA, T., NOROSE, S. and MISHINA, H., **The Behavior of Adhered Fragments Interposed between Sliding Surfaces**, Trans. ASME, J. of Lubrication Technology, Vol. 103, No. 2, April 1981, pp. 197 - 202.
- [10] TRAPNELL, B. M. W., **The Activities of Evaporated Metal Films in Gas Chemisorption**, Proc. Roy. Soc. a, Vol. 218, 1953, pp. 566 - 577.
- [11] SASADA, T., HIRATSUKA, K. and SAITO, H., **Adsorption of Surrounding Gas Molecules on Pure Metal Surfaces during Wear Processes**, Wear, Vol. 135, No. 2, January 1990, pp. 251 - 264.
- [12] SHINOHARA, J., HIRATSUKA, K. and SASADA, T., **The Effect of f-Orbital Electron Vacancy on Friction and Wear of Materials**, Proc. International Conference on Wear of Materials 1987, April 1987, pp. 111-119.
- [13] MISHINA, H. and SASADA, T., **Mid Wear Occuring in Pure-metal / Semiconductor Rubbing**, Proc. 25th Japan Congress on Materials Research, March 1982, pp. 139 - 144.
- [14] HIRATSUKA, K., NOROSE, S., SASADA, T., PRAKASH, B. and TAKAHASHI, N., **Wear of Amorphous Alloys Rubbed Against Pure Metals**, Proc 29th Japan Congress on Materials Research, March 1986, pp. 105 - 110.
- [15] SASADA, T., BAN, S., NOROSE, S. and NAKANO, T., **Role of Metallurgical Phase in Wear of Cu-Zn-Alloy**, Proc. of Japan International Tribology Conference Nagoya 1990, Novembar 1990 (u štampi).
- [16] SASADA, T., BAN, S., NOROSE, S. and NAKANO, T., **Wear of Binary Alloys -Difference in Wear Mode between Solid Solutions and Intermetallic Compounds-**, nepublikovano (može biti štampano u Proc. International Conference on Wear of Materials 1991).

B. IVKOVIĆ

Tribo-ekonomski aspekt primene prevlaka na alatima i elementima mašina

1. UVOD

Smanjenje troškova eksploatacije alata, mašina i transportnih sredstava kao i povećanje pouzdanosti njihovog rada u industrijskim i drugim sistemima vrši se i kroz povećanje otpornosti na habanje kontaktnih površina (kontaktnih slojeva) elemenata brojnih tribo-mehaničkih sistema kojima se, u osnovi, vrši prenos snage, kretanja i informacija i ostvaruju procesi obrade.

Vek trajanja tribomehaničkih sistema, pa prema tome i troškovi njihovog funkcionisanja svedeni su na jedinicu vremena, zavisi od otpornosti na habanje kontaktnih površina odnosno kontaktnih slojeva preko kojih se ostvaruje dodir između elemenata sistema. Povećanjem otpornosti na habanje elemenata tribo-mehaničkih sistema povećava se njihov vek trajanja i smanjuju troškovi njihovog rada svedeni na jedinicu vremena. Kao posledica smanjenja troškova rada brojnih tribomehaničkih sistema sadržanih u proizvodnim procesima, mašinama i transportnim sredstvima javlja se i smanjenje troškova njihove eksploatacije.

Do smanjenja troškova eksploatacije mašina i transportnih sredstava dolazi se i korišćenjem savremenih postupaka kojima se smanjuje trenje u zonama kontakta elemenata tribomehaničkih sistema jer se sa smanjenjem trenja smanjuje i količina potrebne energije za ostvarivanje kretanja jednog elementa sistema po drugom.

Savremeni postupci za poboljšanje triboloških karakteristika tribomehaničkih sistema odnosno kontaktnih površina njihovih elemenata usmereni su u dva osnovna pravca. Osnovni cilj prve grupe postupaka je poboljšanje otpornosti na habanje kontaktnih površina i kontaktnih slojeva na elemenata alata i mašina. Primenom ovih postupaka povećava se vek trajanja alata, mašina i transportnih sredstava pa se očekuje da se na osnovu ovog smanje i troškovi njihove

eksploracije. Primenom druge grupe postupaka ostvaruje se smanjenje trenja u zonama kontakta elemenata tribo-mehaničkih sistema pa na osnovu toga i smanjenje utroška energije za ostvarivanje neophodnih kretanja i funkcionisanja mašina i transportnih sredstava u industrijskim sistemima.

Primenom postupaka za poboljšanje triboloških karakteristika elemenata tribo-mehaničkih sistema sa oba aspekta (povećanje otpornosti na habanje, smanjenje trenja u zoni kontakta) uvodi u tehnološki postupak izrade elemenata sistema nove tehnološke operacije. Uvodjenje novih tehnoloških operacija u proizvodnju elemenata tribo-mehaničkih sistema povećava njihovu cenu koštanja tako da i tribomehanički sistemi i alati, mašine i transportna sredstva koja koriste ove elemente postaju skuplji u odnosu na one tribomehaničke sisteme odnosno alate, mašine i transportna sredstva u kojima se ne nalaze elementi čije su tribološke karakteristike poboljšane na jedan od postojećih načina. Da bi troškovi eksploatacije alata, mašina i transportnih sredstava u industrijskim sistemima bili smanjeni kroz poboljšanje triboloških karakteristika elemenata tribo-mehaničkih sistema bilo povećanjem otpornosti na habanje ili smanjenjem trenja u zonama kontakta neophodno je da efekti povećanja veka trajanja tribo-mehaničkih sistema i smanjenja utroška energije za njihovo funkcionisanje budu veći od troškova koji nastaju zbog povećanja njihovih cena prouzrokovanih primenom novih tehnoloških operacija u proizvodnim procesima.

Istraživanja triboloških karakteristika elemenata tribo-mehaničkih sistema na kojima su primenjeni postupci za poboljšanje otpornosti na habanje prisutni su u velikom obimu danas u mnogim univerzitetskim i drugim laboratorijama u svetu i kod nas. Tribo-ekonomski aspekt primene grupe prevlaka nanešenih na alate i elemente mašina predmet je razmatranja u ovom radu. Kao osnova za analizu korišćeni su rezultati dobijeni u Laboratoriji za obradu metalra i tribologiju Mašinskog fakulteta u Kragujevcu i Instituta za proizvodno mašinstvo Fakulteta tehničkih nauka u Novom Sadu.

*Prof. Dr Branko Ivković, dipl. ing.
Laboratorijska za obradu metala i tribologiju,
Mašinski fakultet Univerziteta "Svetozar Marković",
Kragujevac*

2. NEKI REZULTATI ISTRAŽIVANJA SAVREMENIH PREVLAKA NA ELEMENTIMA ALATA I MAŠINA

Savremeni postupci za povećanje otpornosti na habanje elemenata tribomehaničkih sistema mogu se u osnovi svrstati u dve grupe i to:

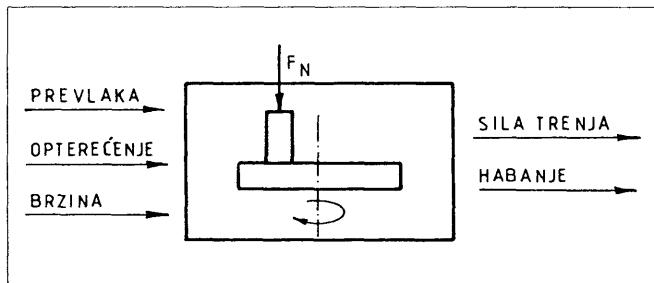
- u grupu postupaka kojima se na kontaktne površine elemenata tribomehanički sistema nanose prevlake (PVD, PVC, plazma i sl.) i
- u grupu postupaka kojima se otpornost na habanje kontaktnih slojeva elemenata tribomehaničkih sistema poboljšava jonskom implantacijom, bombardovanjem laserskim ili elektronskim snopom i sl.

Program istraživanja triboloških karakteristika kontaktnih slojeva elemenata tribomehaničkih sistema pri klizanju koji je poslednjih godina realizovan u Laboratoriji za obradu metala i tribologiju Mašinskog fakulteta u Kragujevcu obuhvatio je i ispitivanje triboloških karakteristika sledećih prevlaka:

- | | |
|---|-----------------------|
| - TiN (Titanium Nitrid) | <i>Tvrde prevlake</i> |
| - AL ₂ O ₃ (Keramika) | |
| - T-1000 (politetrafluoretilen - plast. legura) | <i>Meke</i> |
| - E-20 (politetrafluoretilen - plast. legura) | <i>prevlake</i> |

Nanošenje prevlaka na jednom elementu sistema "PIN ON DISK" na kome su ispitivanja i obavljeni vršeno je u preduzećima koja proizvode odgovarajuću opremu za nanošenje prevlaka i bave se takođe i profesionalno opremanjivanjem kontaktnih površina elemenata tribomehaničkih sistema na odgovarajući način.

Istraživanja su vršena na tribometru projektovanom i izgrađenom na Mašinskom fakultetu u Kragujevcu u okviru jednog doktorskog rada. Blok dijagram ovog tribometra prikazan je na sl. 1.

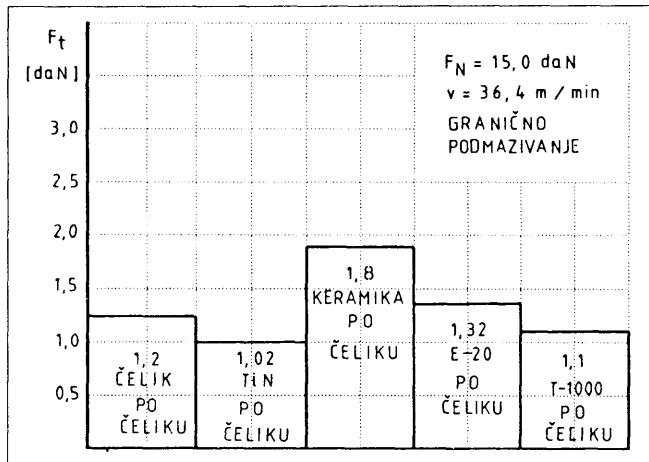


Uslovi ostvarivanja kontakta pri klizanju menjani su promenom brzine relativnog kretanja i promenom spolašnjeg opterećenja. Pored vrste prevlaka ovo su bile i druge dve ulazne veličine u sistem "PIN ON DISK".

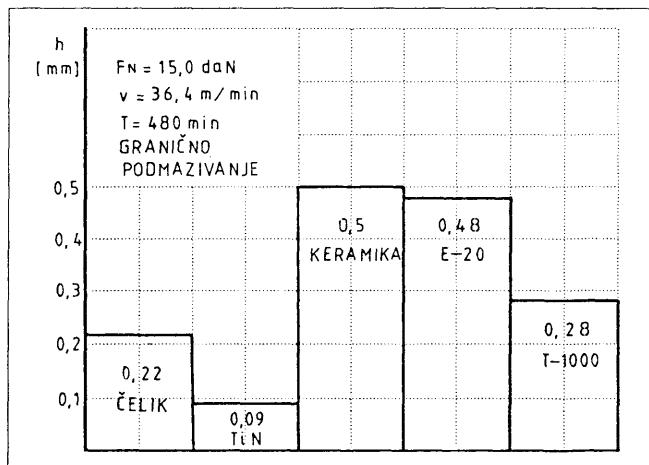
Izlazne veličine iz ovog sistema odnosno veličine koje su merene na tribometru u tom istraživanju bile su:

- sila trenja pomoću koje se definiše utrošak energije pri kretanju jednog elementa po drugom,
- parametar habanja čiji rast sa vremenom ostvarivanja kontakta omogućava određivanje veka trajanja tribomehaničkih sistema,
- temperatura u zoni kontakta i
- promena hrapavosti kontaktne površine.

Na sl. 2. i 3. prikazani su rezultati merenja sile trenja (sl. 2.) i izabranog parametra habanja (sl. 3.) u različitim vremenskim intervalima rada odgovarajućih tribomehaničkih sistema.

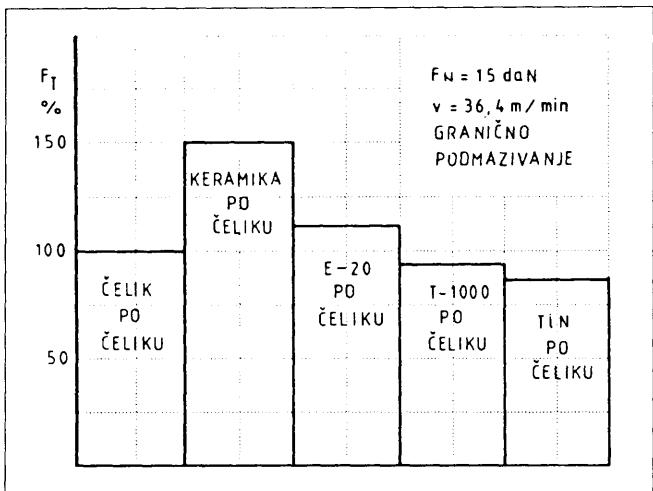


Sl. 2. Sila trenja u zoni kontakta elemenata tribosistema na kojima su nanete prevlake različitih vrsta



Sl. 3. Habanje kontaktnih površina na elementima tribomehaničkih sistema prevučenih različitim prevlakama

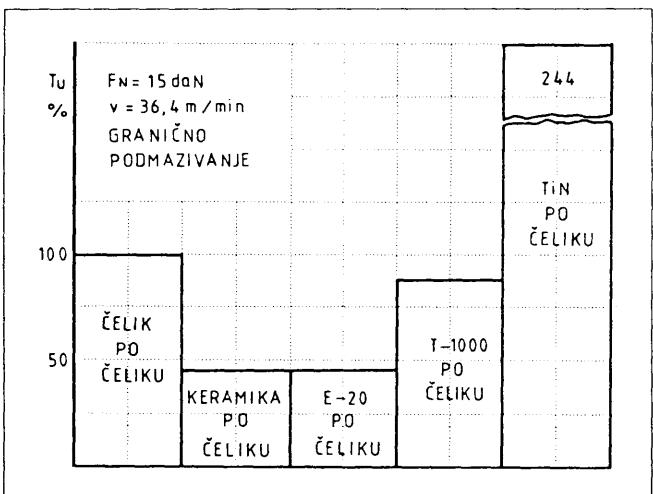
Ako se sa indeksom 100 obeleže veličine sile trenja i vremena trajanja kontakta do pojave parametara habanja veličine $h = 0,22 \text{ mm}$ u sistemu koji se sastoji od elemenata bez prevlaka (PIN ON DISC) onda se može izračunati, na osnovu obavljenih istraživanja, da će sila trenja između elemenata sistema na kojima su nanešene prevlake (prevlaka je nanešena samo na PIN-u) biti manja u onoj meri u kojoj su tribološke karakteristike prevlake bolje u odnosu na površinu bez prevlaka.



Slika 4. Odnos izmedju sile trenja u zonama kontakta

Na sl. 4. prikazan je odnos izmedju sile trenja dobiven eksperimentalnim putem u okviru pomenutog programa istraživanja.

Na sl. 5. prikazan je odnos vremena trajanja kontakta do pojave parametra habanja iste veličine što ukazuje na tribološke karakteristike prevlaka na elementima sistema ove vrste.



Slika 5. Odnos vremena trajanja kontakta do pojave kritične pohabanosti jednog elementa sistema

Cena koštanja jednog cm^2 prevlaka na jednom elementu tribomehaničkih sistema prema informacijama dobijenim od odgovarajućih proizvodača iznosila je:

TiN	1,02 \$/ cm^2
Al ₂ O ₃	0,94 \$/ cm^2
T-1000	0,38 \$/ cm^2
E-20	0,38 \$/ cm^2

U tribomehaničkim sistemima u kojima se ostvaruju procesi rezanja rezni elementi alata su kritični elementi sistema i na njima se primenjuju različiti postupci modifikacije kontaktnih površina (ledjne i grudne površine rezanja) da bi se

povećala njihova otpornost na habanje i na osnovu toga vek trajanja. Jedan od savremenih postupaka modifikacije obe površine reznih elemenata alata koji je poslednjih godina u ekspanziji i koji se primenjuje na skoro sve vrste alata su TiN prevlake. U okviru naučno istraživačkog projekta čiji rezultati treba da omoguće i istraživanje Tribološko informativog sistema (TIS) vršena su istraživanja u laboratorijskim i proizvodnim uslovima triboloških karakteristika alata sa prevlakama od TiN-a u više domaćih naučno istraživačkih institucija i industrijskih sistema. Rezultati istraživanja pokazuju da je poboljšanje triboloških karakteristika alata nanošenjem prevlaka od TiN-a na njegove rezne elemente zavisilo od vrste alata i uslova pod kojima se proces rezanja izvodi (materijali predmeta obrade, režimi rezanja i sl.). Povećanje postojanosti alata kretalo se od 10% do 250% pa i više u zavisnosti od vrste obrade i vrste alatnih materijala (tvrdi metal ili brzorezni čelik).

Informacije na koje se može naići u literaturi i prospektima materijalima o tribološkim karakteristikama TiN prevlaka na alatima se dosta razlikuju medju sobom. To samo pokazuje da nekih sistematskih ispitivanja triboloških karakteristika TiN prevlaka na alatima za obradu rezanjem do sada nije bilo u većoj meri i da s obzirom na cenu koštanja ove vrste prevlaka ovom problemu treba posvetiti više pažnje da bi se ostvarila bolja ekonomičnost proizvodnih procesa.

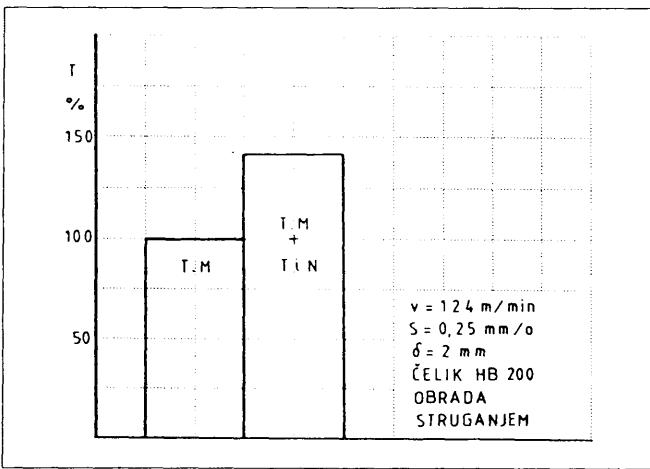
Na sl. 6. i 7. prikazani su, primera radi, odnosi izmedju ostvarene postojanosti alata pri obradi na strugu i pri obradi obimnim glodanjem.

Neophodno je još jednom napomenuti da odnos izmedju postojanosti alata sa i bez prevlaka mogu da budu i drugačiji u zavisnosti od vrste materijala predmeta obrade i režima rezanja. Pri ovome se prepostavlja da je kvalitet nanešene prevlake maksimalno moguć jer u praksi i istraživačkoj i industrijskoj pojavi su se često i alati sa nekvalitetnim prevlakama koje ne daju nikakve rezultate u pogledu povećanja postojanosti alata.

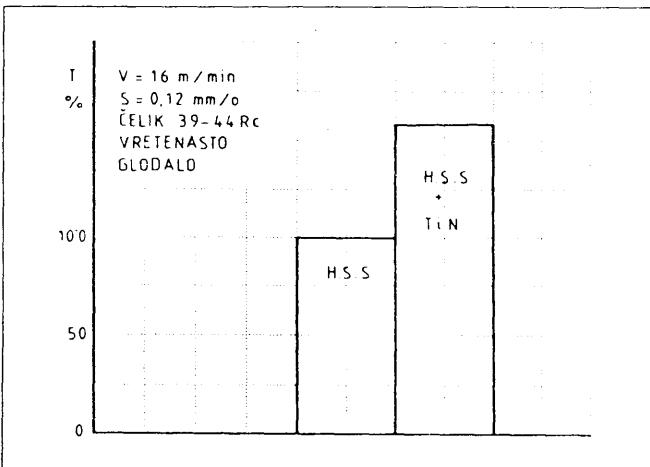
3. EKONOMSKI ASPEKT PRIMENE TRIBOLOŠKIH PREVLAKA

Nanošenjem prevlaka na kontaktne površine elemenata tribomehaničkih sistema (obično se prevlaka nanosi na elemente sistema koji se najbrže habaju) vrši se da bi se povećao vek trajanja sistema i da bi se smanjio utrošak energije za njegovo funkcionisanje. Troškovi eksploatacije jednog tribomehaničkog sistema u jedinici vremena sastoje se iz:

- troškova koji nastaju kao posledica cene koštanja tribomehaničkih sistema i
- troškova energije kojom se obezbedjuje funkcionisanje tribomehaničkih sistema.



Sl. 6. Odnos postojanosti alata sa i bez prevlaka pri obradi struganjem



Sl. 7. Odnos postojanosti alata sa i bez prevlaka pri obradi obimnim glodanjem

Troškovi eksploatacije tribomehaničkih sistema svedeni na jedinicu vremena njegovog funkcionisanja mogu se izračunati po obrascu:

$$C_{EKS} = C_{TMS}^T + C_{TMS}^E = \frac{C_{TMS}}{T_u} + \frac{F_t \cdot v}{60 \cdot 75} \cdot C_{kw}$$

C_{TMS} - cena koštanja tribomehaničkog sistema u din.

T_u - projektovani vek trajanja tribomehaničkih sistema u časovima

F_t - sila u pravcu kretanja u daN

v - brzina relativnog kretanja u m/min.

C_{kw} - cena koštanja jednog kilovata energije

Ukupan vek trajanja kritičnog elementa tribomehaničkog sistema izračunava se po obrascu:

$$T_u = (i + 1) \cdot T$$

i - broj mogućih regeneracija kritičnog elementa tribomehaničkog sistema. Regeneracija se najčešće vrši kod reznih alata

T - vreme rada tribomehaničkog sistema do pojave kritične pohabanosti jednog od njegovih elemenata.

Kod većine tribomehaničkih sistema u kojima se ne vrše procesi obrade vreme T je u isto vreme i ukupan vek trajanja tribomehaničkih sistema.

Nanošenje prevlaka na rezne elemente alata kojima se vrši obrada rezanjem povećava njihovu cenu u jugoslovenskim proizvodnim uslovima prosečno za 30 %. Sa ovim povećanjem cena alata na kojima se nalaze prevlake mogu da se vrše aproksimativne analize ekonomičnosti obrade u jugoslovenskim proizvodnim uslovima. Za precizniji proračun neophodno je poznavanje i tačne cene prevlake za svaku vrstu alata.

Odnos izmedju troškova eksploatacije tribomehaničkih sistema sa elementima u kontaktu sa i bez prevlaka može biti jednak, manji ili veći od jedinice.

Primena prevlaka na kontaktnim površinama elemenata tribomehaničkih sistema ima smisla jedino ako one omogućavaju ostvarivanje odnosa izmedju troškova eksploatacije tribomehaničkih sistema sa i bez prevlaka manjim od jedinice.

Primer troškova eksploatacije tribomehaničkih sistema sa i bez prevlaka sačinjen na osnovu rezultata istraživanja četiri vrste prevlaka (dve tvrde i dve meke prevlake), uz pretpostavku da je osnovna cena tribomehaničkog sistema/cena bez nanošenja prevlaka na kontaktnoj površini kritičnog elementa sistema > \$100, prikazan je u daljem tekstu.

Primenom prevlaka na kritičnom elementu sistema vek trajanja tribomehaničkog sistema povećava se ili smanjuje u zavisnosti od triboloških karakteristika prevlaka koje se odnose na intezitet procesa habanja. Mogući ukupan vek trajanja sistema na kojima su primenjene ispitivane prevlake iznosi:

TMS sa elementima u kontaktu bez prevlake	1000h
TMS sa elementima u kontaktu sa TiN prevlakom	2444h
TMS sa elementima u kontaktu sa keramičkom prevlakom	440h
TMS sa elementima u kontaktu sa T-1000 prevlakom	785h
TMS sa elementima u kontaktu sa E-20 prevlakom	458h

Očigledno je da samo prevlaka od TiN-a doprinosi smanjenju troškova eksploatacije tribomehaničkih sistema sa aspekta razvoja procesa habanja odnosno veka trajanja kritičnog elementa sistema.

Troškovi eksploatacije tribomehaničkih sistema koji nastaju zbog pojave trenja u zonama kontakta i potrebe za odgovarajućim utroškom energije zavisi od veličine sile trenja koja se menja u zavisnosti od prirode kontaktnih površina. U primeru koji se analizira odnos izmedju sila trenja koje se pojavljuju u tribomehaničkim sistemima bez i sa prevlakama je sledeći:

TMS bez prevlaka	100%
TMS sa TiN prevlakom	85 %
TMS sa keramičkom prevlakom	150 %
TMS sa T-1000 prevlakom	91 %
TMS sa E-20 prevlakom	110 %

Drugi deo troškova eksploracije tribomehaničkih sistema sa prevlakama biće manji samo pri korišćenju TiN i T-1000 prevlaka. Ukupna cena tribomehaničkih sistema bez i sa prevlakama sa konaktnom površinom na kritičnom elementu sistema od 10cm i troškovi eksploracije sa aspekta ukupnog veka trajanja svedeni na jedan čas rada sistema iznose:

TMS bez prevlaka	\$ 110.	i	0.100 \$/h
TMS sa prevlakom od TiN-a	\$ 110.	i	0.045 \$/h
TMS sa prevl. od keramike	\$ 109.8	i	0.244 \$/h
TMS sa prevlakom T-1000	\$ 103.8	i	0.132 \$/h
TMS sa prevlakom E-20	\$ 103.8	i	0.226 \$/h

Prevlaka koja omogućava duži vek trajanja tribomehaničkog sistema dozvoljava i povećanje cene koštanja tribomehaničkog sistema najviše za onaj procenat za koji se poboljšavaju tribološke karakteristike kritičnog sistema i to sa aspekta razvoja procesa habanja. Neophodno je napomenuti da u drugim uslovima eksploracije odnosi između triboloških karakteristika prevlaka sa ovog aspekta mogu biti i drugačiji.

Drugi deo troškova eksploracije tribomehaničkih sistema sa i bez prevlaka direktno je proporcionalan silama trenja koje se pojavljuju u zonama kontakta za vreme njihovog funkcionisanja. Troškovi nanošenja TiN prevlaka na obe površine reznih elemenata alata zavise od vrste alata ali se

može reći da u proseku povećavaju cenu koštanja alata, najčešće, između 20 i 30 %. Deo troškova eksploracije alata koji se odnosi na njegov vek trajanja očigledno može biti manji sa primenom prevlaka samo ako nanošenje prevlaka ne povećava cenu koštanja alata u većem procentu od onog za koji se povećava njihova postojanost i ukupan vek trajanja. Drugi deo troškova eksploracije alata koji se odnosi na utrošak energije pri rezanju ne menja se bitno sa nanošenjem prevlaka na rezne elemente alata jer se ne menjaju bitno ni glavni otpori rezanja.

4. ZAKLJUČAK

Primene postupaka za poboljšanje triboloških karakteristika kontaktnih slojeva kritičnih elemenata tribomehaničkih sistema ima smisla samo u onim uslovima eksploracije u kojima povećanje veka trajanja sistema i smanjenje utroška energije pri radu mogu da nadoknade povećane troškove njegove izrade. Kriterijum za ocenu korisnosti primene nekog postupka formira se na osnovu troškova eksploracije sistema svedenih na jedan čas njegovog rada.

LITERATURA.

- [1] B. IVKOVIĆ, *Osnovi tribologije*, Gradjevinska knjiga, 1983, Beograd.
- [2] M. MAYER, *Tribological Properties of Modern Surface Modification in Manufacturing*. Doktorska disertacija, 1989. Kragujevac.
- [3] B. IVKOVIĆ, S. KARALAZIĆ, *Neki rezultati ispitivanja triboloških karakteristika TiN-prevlaka*

D. JEŠIĆ

Otpornost na trošenje nodularnog liva NL 420 i NL 600 u uslovima abrazionog trošenja

ISTRAŽIVANJA

1. UVOD

Stalni razvoj teorijskih i eksperimentalnih metoda u oblasti trenja i habanja materijala uslovjen je potrebom razvoja novih tehnika i tehnologija koje će da obezbijede visok kvalitet i pouzdan rad mehaničkih sistema.

Elementi sistema koji su, na primjer, izloženi relativnom klizanju podvrgnuti su kompleksnom naprezanju koje sadrži svoje mehaničke, termičke i kemijske komponente, tako da samo mehanička analiza naprezanja ne daje dovoljnu osnovu za ocjenu habanja materijala.

Danas se čine značajni pokušaji da se definisu tribološka svojstva materijala. Takav pokušaj učinjen je u ovom radu sa ciljem da se odrede tribološke karakteristike nodularnog liva.

Nodularni liv obezbjedjuje odljevke visokog kvaliteta, velike čvrstoće, povoljne plastičnosti, dobre čvrstoće i žilavosti.

2. TOPLINSKA OBRADA (NL)

Kod odljevaka komplikiranih oblika javljaju se toplinska naprezanja kao rezultat različitih brzina hladjenja u toku skrućivanja. Ta naprezanja otklanjaju se odgovarajućim žarenjem.

Ovo se žarenje obično obavlja na temperaturi od 560 do 600 °C, a vrijeme držanja na toj temperaturi kreće se od 2 do 5 sati. Uslijed sklonosti NL ka pojavi slobodnog karbida Fe₃C potrebno je izvršiti feritizaciono žarenje. Temperature ovog žarenja su dosta visoke i iznose 950 °C, a vrijeme potrebno za raspadanje Fe₃C obično iznosi 103 sata.

Za poboljšanje strojne obradivosti primjenjuju se dvije vrste žarenja: na niskim i na visokim temperaturama.

Kod niskotemperaturnih žarenja poboljšava se strojna obradivost uz mali pad tvrdoće, dok čvrstoća može pasti i do 10%.

Visokotemperaturno žarenje komplificirane je i ako se prekorači odgovarajući režim može doći do naglog pada čvrstoće i tvrdoće. Kaljenje NL provodi se u cilju poboljšavanja mehaničkih svojstava (tvrdoće, čvrstoće, elastičnosti). NL rijedje se kali površinski, dok česče po cijelom presjeku.

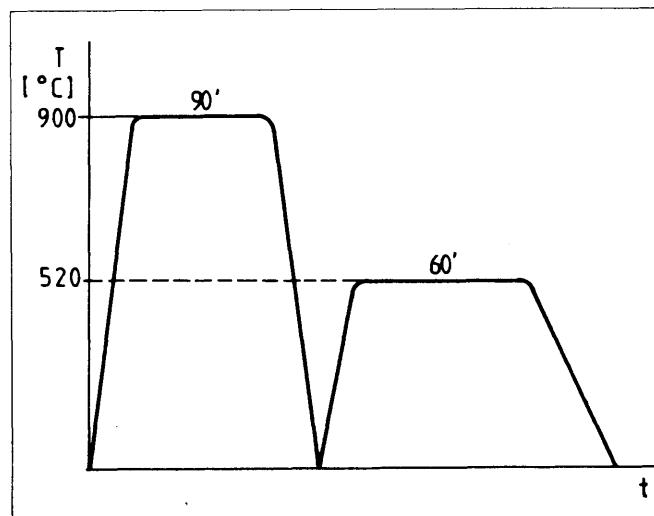
Takav način kaljenja NL moguć je zbog toga što su odljevci relativno mali, pa se mogu unijeti u peć.

Nakon toga odljevci se hlađe i popuštaju, a zatim su spremni za obradu i eksploraciju.

Poboljšanje NL je toplinska obrada koja se sastoji od kaljenja i visokotemperaturnog poboljšanja. Ovim postupkom se povećava žilavost NL.

Postupak poboljšanja može se provesti na dva načina:

- klasično poboljšavanje i
- izotermičko poboljšavanje.



Slika 1. Dijagram klasično poboljšane epruvete

Dušan Ješić, dipl. ing.
Rijeka

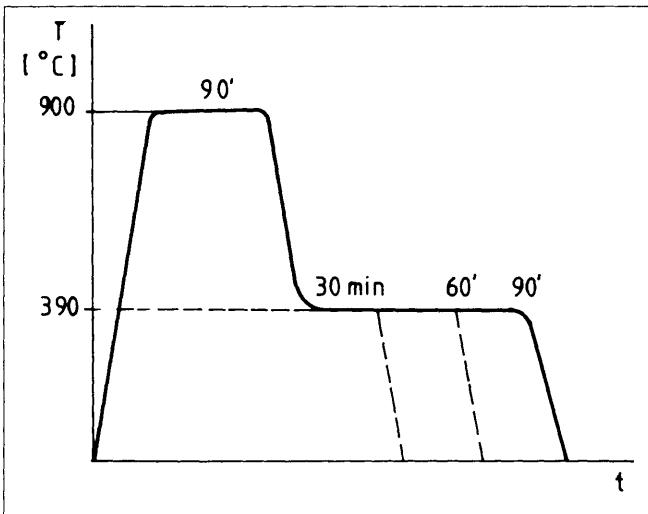


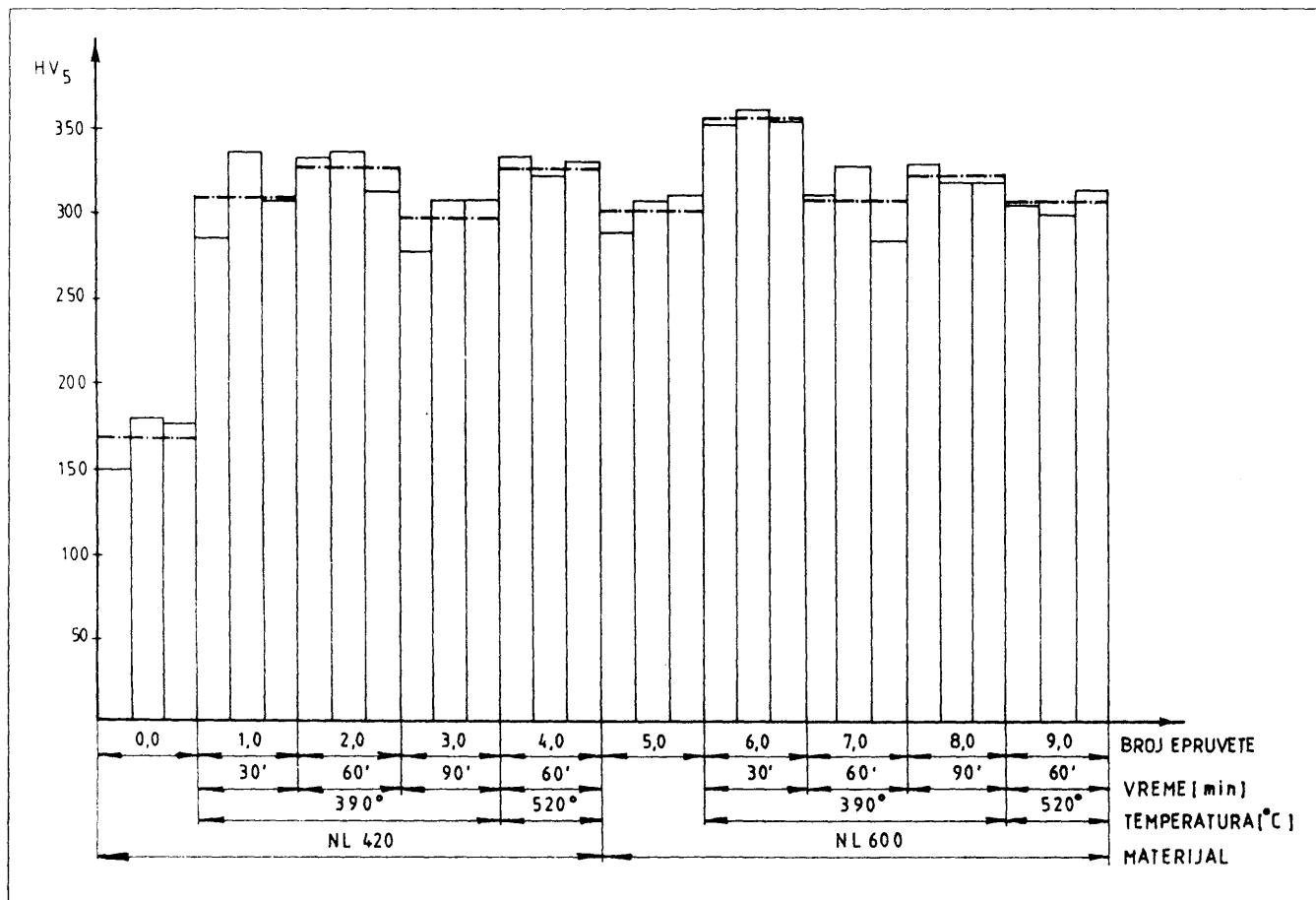
Tabela 1. Epruvete su svrstane prema načinu toplinske obrade

Toplinska obrada	NL 420	NL600	
Osnovni materijal	0,0	5.0	
Izotermički poboljšan materijal $T_i = 390^\circ C$	30 '	1.0	6.0
	60 '	2.0	7.0
	90 '	3.0	8.0
Klasično poboljšan materijal $TA = 900^\circ C/90'$ $T_p = 520^\circ C/60'$	4.0	9.0	

Slika 2. Dijagram izotermički poboljšane epruvete

Tabela 2.

Oznaka epruvete	0.0	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0
HV ₅	150	286	332	277	332	289	353	310	329	305
HV ₅	178	336	336	306	321	306	362	329	317	299
HV ₅	177	306	313	306	329	310	355	383	317	313
Srednja vrednost	168.5	309.3	327	296.3	327.3	301.6	356.6	307.3	321	305.6



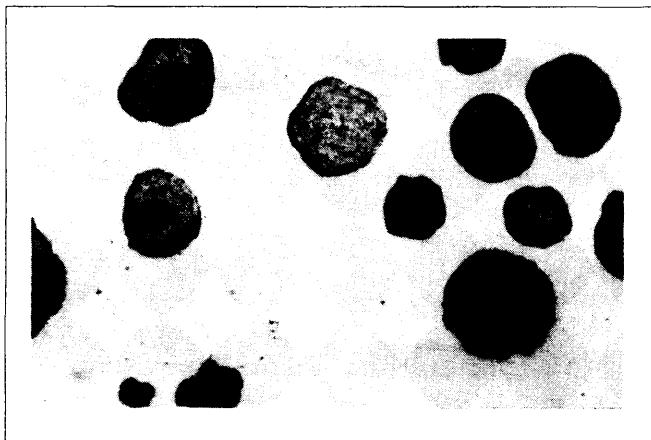
Slika 3. Histogram tvrdoća

2.1 Kontrola dimenzija uslijed toplinske obrade

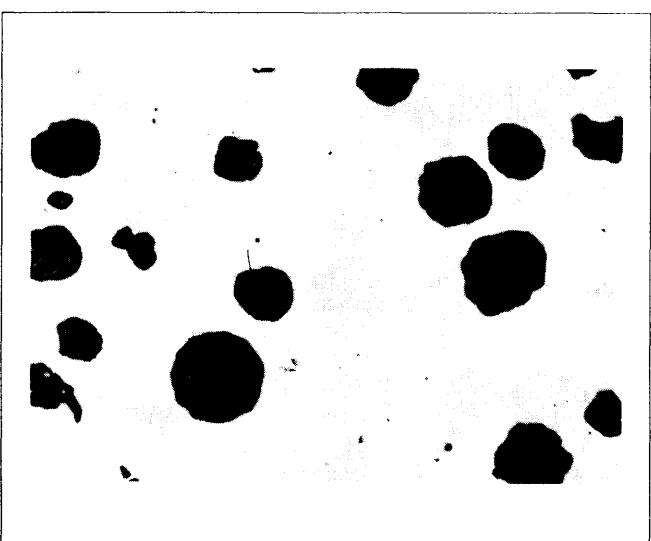
Provadena je kontrola dimenzija epruveta nakon toplinske obrade, i to:

- nakon strojne obrade,
- prije poboljšanja,
- nakon poboljšanja ,
- nakon popuštanja.

Kontrolisane su mjerne kote na deset epruveta dužina (L), promjer (D) i radijus epruvete.



Slika 4. Klasično poboljšan materijal NL 600 povećanje 100x



Slika 5. Izotermički poboljšan materijal NL 420 povećanje 100x

Izgled uzorka za ispitivanje prikazan je na slici 6.

Izmjerene vrijednosti dimenzija epruveta su u granicama dozvoljenih vrijednosti.

Rezultat kontrole dimenzija nalazi se u kontroli RO TPU - Slavonski Brod.

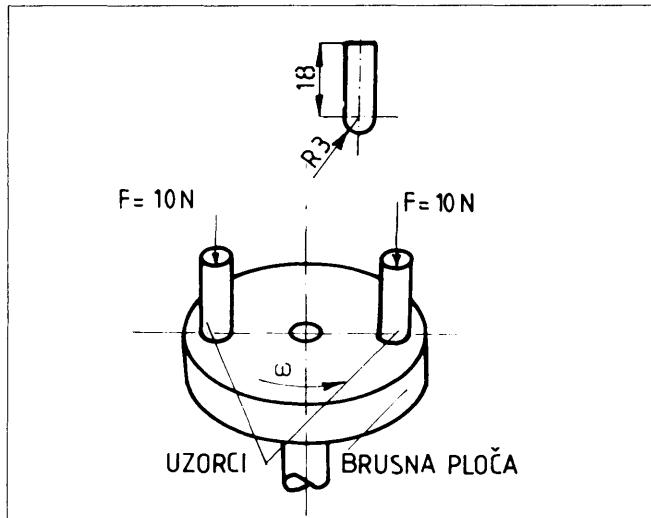
2.2 Mjerenje tvrdoće epruveta nakon poboljšanja

Kontrola tvrdoće uzorka vršena je na mikrotvrdomjeru PMT-3 sa povećanjem 100x.

Rezultati izmjerenih vrijednost prikazani su u tabeli 2.

Iz rezultata mjerenja srednjih debljina S [μm], vidi se da se nalaze u granicama traženih vrijednosti projektanata.

Karakterističan izgled klasično poboljšanog materijala i izotermički poboljšanog materijala vidi se na metalografskoj slici 4. i 5. uz povećanje 100x.



Slika 6. Šematski prikaz ispitivanja

3. ISPITIVANJE OTPORNOSTI MATERIJALA NL 420 I NL 600 NA TROŠENJE ABRAZIJOM

Cilj ovog ispitivanja je da se u laboratorijskim uvjetima utvrdi najpogodnija tehnologija klasično poboljšanog NL 420 i izotermički poboljšanog nodularnog liva NL 600 s obzirom na abrazivno trošenje.

3.1 Uredjaj i uvjeti ispitivanja

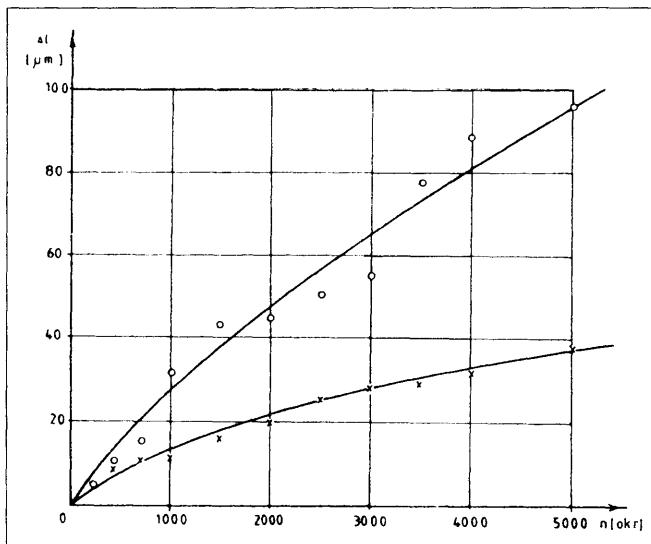
Ispitivanje poboljšanih slojeva na abrazivno trošenje vršeno je na uredjaju TABER ABRAZER model 503, proizvodnje ERICHSEN po ASTM-D 3389. Na Taber abrazer postavljena je brusna ploča površinske hravavosti N6.

Za N6: $R_a = 0.8 \mu\text{m}$, $R_z = 3.2 \mu\text{m}$, $R_{max} = 5.12 \mu\text{m}$

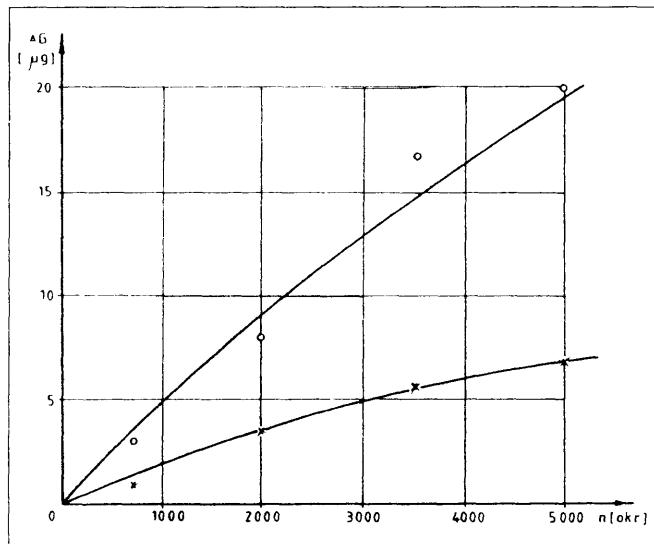
Dimenzije ploče $\Phi 120 \times 3 \text{ mm}$, sa brojem zrnatosti N80, na držače epruveta postavljene su dvije epruvete NL 420 na lijevu stranu, a NL 600 na desnu stranu. Uzorci su opterećeni silom od 10 N, nalaze se u stalnom dodiru sa brusnom pločom.

Brusna ploča rotira izazivajući trošenje uzorka.

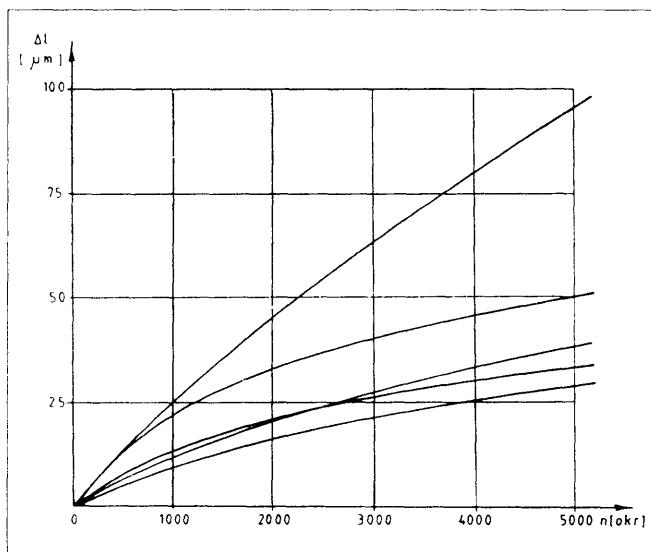
Ispitivanje uzorka na abraziju provedeno je na temperaturi od 18 do 20° C i relativne vlažnosti 60 - 70 %. Plan pokusa vidi tabelu 1.



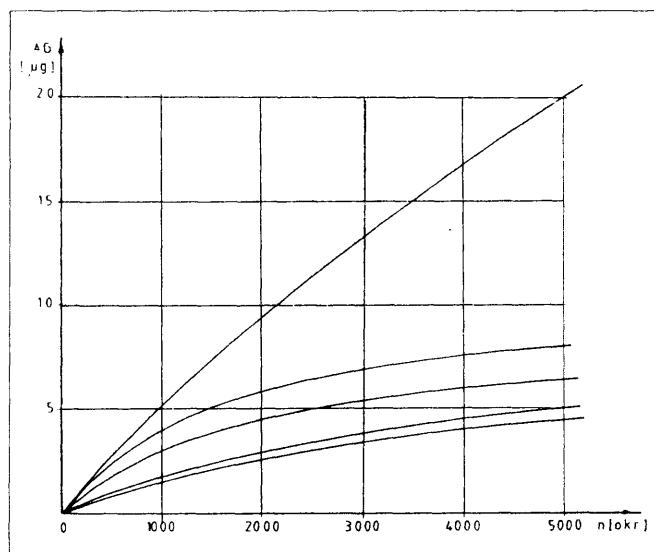
Slika 7.



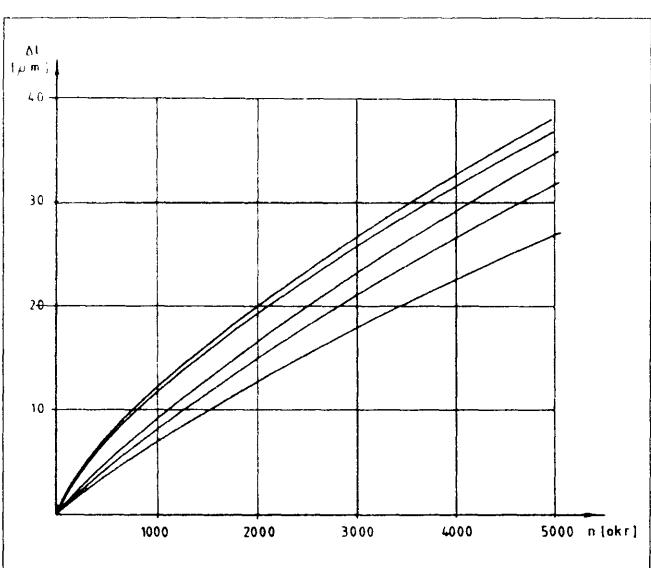
Slika 8.



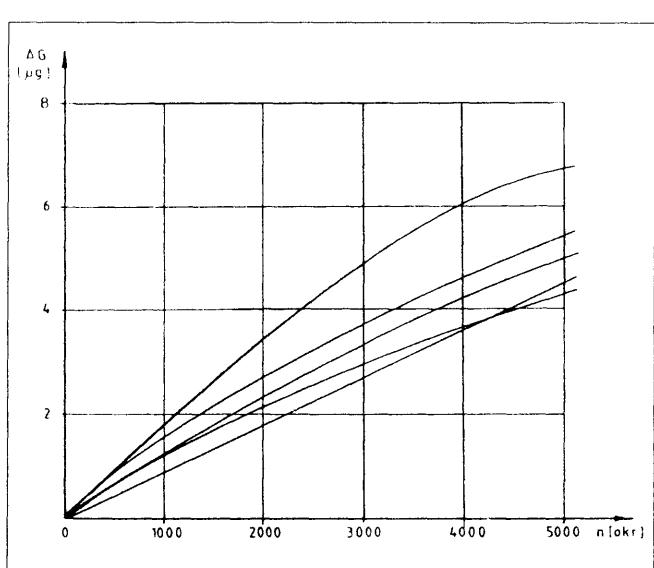
Slika 9.



Slika 10.



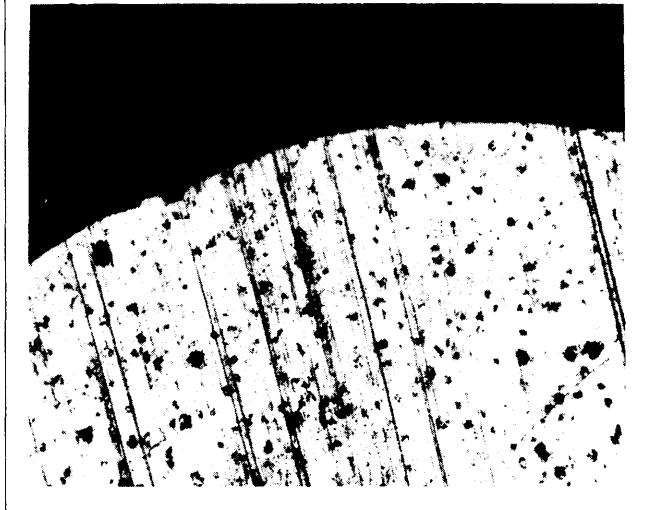
Slika 11.



Slika 12.



Slika 13. Trag nošenja epruvete 3.0
Izotermički poboljšan NL 420



Slika 14. Trag nošenja epruvete 5.0
Osnovni materijal NL 600

3.2 Rezultati ispitivanja trošenja abrazijom

Rezultati ispitivanja nalaze se u eksperimentalnoj dokumentaciji u celini. Na slikama 7., 8., 9., 10., 11. i 12. prikazan je deo rezultata dobijenih ispitivanjem, iz kojih se može izvesti zaključak o tribološkim karakteristikama ispitivanih uzoraka.

Na slici 13. prikazan je trag trošenja epruvete broj 3.0 NL 420 izotermičku poboljšane na $T_i = 390^\circ C / t = 90 \text{ min}$, a na slici 14. trag trošenja ostvaren na epruveti 5.0 NL 600 (osnovni materijal).

4. ZAKLJUČAK

Nakon provedenog ispitivanja na NL 420 i NL 600 na trošenje abrazijom dolazi se do slijedećih zapažanja.

Kao prvo, uočava se da je otpornost na abrazivno trošenje toplinski neobradjenog materijala NL 600 veća od NL 420, a to je uzrokovano velikim razlikama u njihovim tvrdočama.

Kod toplinski obradjenih uzoraka uočava se da otpornost na abrazivno trošenje raste, a razlike u intenzitetu trošenja su sve manje izražene. Najveće razlike su kod izotermički poboljšanog NL sa $T_i = 390^\circ C$ i vremenom držanja $t = 30 \text{ min}$, dok kod uzoraka koji su klasično poboljšani i izotermički poboljšani na $T_i = 390^\circ C$ i držani na temperaturi $t = 90 \text{ min}$ otpornost na abrazivno trošenje je približno ista.

Uočava se takođe, da je otpornost na abrazivno trošenje najlošija kod toplinski neobradjenog materijala. Razlog tako lošoj otpornosti je mala tvrdoča matrice NL 420.

Kod klasično poboljšanog NL 420 otpornost na abrazivno trošenje je najveće, a razlog tome je što sada imamo popuštenu martezičnu strukturu koja je znatno tvrdja od početne strukture.

Izotermički poboljšan NL 420 ima također dosta dobru otpornost na abrazivno trošenje, ali slabiju od klasično poboljšanog. Razlog tome je bainitna struktura koja je žilavija i mekša od martezične.

Na osnovu dobivenih rezulata ispitivanja dolazi se do slijedećeg zaključka: ako želimo dobiti najveću otpornost na abrazivno trošenje NL 420 i NL 600 potrebno je izvršiti klasično poboljšanje i to tako da kaljenje provedemo na temperaturi $900^\circ C$ i držimo 90 min , a nakon kaljenja vršimo popuštanje na temperaturi $520^\circ C / 60 \text{ min}$.

Gledajući ponašanje klasično poboljšanog NL 420 i NL 600 na abrazivno trošenje izvodi se zaključak da se umjesto NL 600 može koristiti NL 420 jer otpornost na abrazivno trošenje približno im je ista.

LITERATURA

- [1.] B. IVKOVIĆ: **Osnovi tribologije u industriji prerađe metala**, IRO "Gradjevinska knjiga", Beograd, 1983.
- [2.] Tribologija u industriji broj 2/86, 3/87, Kragujevac
- [3.] B. LIŠČIĆ: **Izotermički poboljšan žilavi lijev - novi materijal u strojogradnji**, Javno predavanje na FSB - Zagreb, 1985.
- [4.] W. HANKE, K. HORNUUNG: **Harterei Tech. Mitt.**, strana 72-77, vol 38, 1983.
- [5.] D. KRUMES i dr.: **Zamjena čeličnih otkovaka sa ADI (Aststempered Ductile Iron) metalom**, Savezni projekat 218, 1989. - 1991.
- [6.] D. KRUMES: **Prokaljivost i tribološka svojstva izotermički poboljšanog nodularnog lijeva**, Znanstveno savjetovanje novih tehnologija toplinske obrade, Slavonski Brod, 1990.