

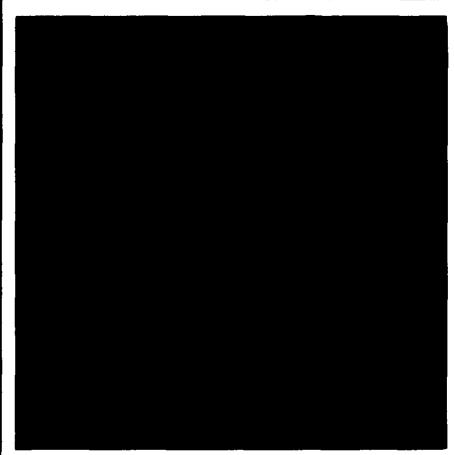
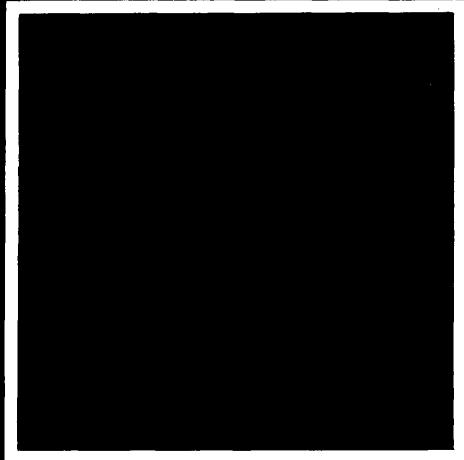
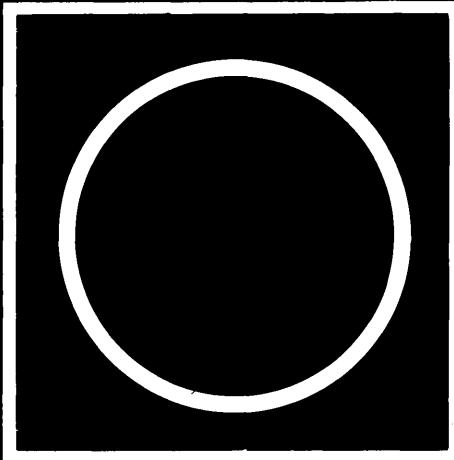
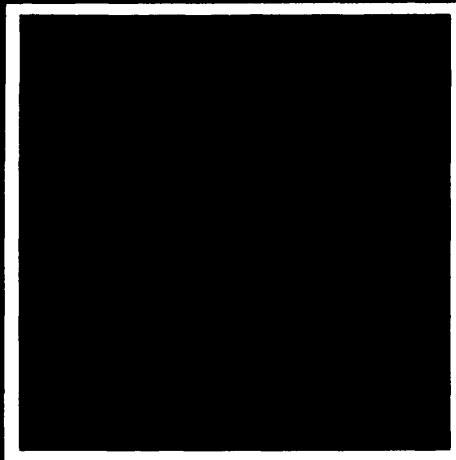
# tribologija u industriji

YU ISSN 03551-1642

GODINA X

JUN 1988.

2



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

# tribologija u industriji

## sadržaj contents содержание

UVODNIK INTRODUCTION ПЕРЕЛОВИЋА	B. IVKOVIĆ: Tribološke baze podataka - osnov tribološkog informacionog sistema - Tribological data base - the basis of a tribological information system - Трибо- логические банки данных - основа трибологической информационной системы . . . . .	35
ISTRAŽIVANJA RESEARCH ИССЛЕДОВАНИЯ	N. MILIĆ, B. JEREMIĆ, M. MAYER: Neki rezultati uporednih ispitivanja oplemenjenih kontaktnih slojeva - Some results of comparative test of coating improved contact layers - Некоторые результаты сравнительных исследований облагорожденных контактных слоев . . . . .	37
	Y. LI, R.L. HUSTON: Proračun i analiza dvostruko kružnog lučnog profila spiralnih koničnih zupčanika - Design and analysis of double circular arc profile spiral bevel gears - Расчет и анализ двухкругового дугового профиля шестерен с винто- вими зубьями . . . . .	47
	S. SEKULIĆ, P. KOVAC: Korelacija izmedju pojedinih parametara hraptavosti pri čeonom glodanju - Corelation between the maximum roughness height and the MEAN arithmetic deviation of the profil from the MEAN lin of machined surface in face - milling - Взаимозависимость максимальной высоты профиля ( $R_{max}$ ) и ЕТО сред- него арифметического отклонения ( $R_a$ ) при обработке торцевым фрезерованием . . . . .	50
ZA NEPOSREDNU PRAKSU FOR DIRECT PRACTICE ПРАКТИКУ	M. LAZIĆ, B. RANKOVIĆ, M. JOVANOVIĆ, V. MIRČIĆ: Ispitivanje primene emulzije pri izradi zupčanika odvalnim glodanjem . . . . .	55
NOVOSTI NEWS ИЗВЕСТИЯ	Širok spektar triboloških ispitivanja u laboratoriji Mašinskog fakulteta u Beogradu . . . . .	58
KNJIGE I ČASOPISI BOOKS AND JOURNALS КНИГИ И ЖУРНАЛЫ	. . . . .	61
NAUČNI SKUPOVNI SCIENTIFIC MEETINGS НАУЧНЫЕ СОБРАНИЯ	. . . . .	62
REZIMEA ABSTRACTS РЕЗЮМЕ	. . . . .	63

## Tribološke baze podataka – osnov tribološkog informacionog sistema

Izgradnja tribološkog internacionalnog sistema u našoj zemlji najavljena prošle godine započeta je u ovoj godini jednim delom u okviru makro projekta "Produktivnost kroz tribologiju" koji se već više godina realizuje na Mašinskom fakultetu u Kragujevcu.

Osnovu tribološkog internacionalnog sistema čine baze podataka o tribološkim karakteristikama elemenata tribo-mehaničkih sistema, ponašanju ovih sistema u eksploataciji, njihovoj strukturi i konstruktivnim karakteristikama njegovih elemenata, troškovima eksploatacije i sl.

Baze podataka, prema saznanju autora ovog teksta, nije moguće graditi prema prirodi i vrstama podataka o sistemu ili njegovim elementima jer postoje ogromne razlike u fizičkoj prirodi procesa u različitim tribo-mehaničkim sistemima. Poznato je, na primer, da se sa fizičke tačke gledišta tribo-mehanički sistemi dele u 4 osnovne grupe i to:

- tribo-mehanički sistemi u kojima se vrši proces prerade materijala bilo kojom vrstom obrade;
- tribo-mehanički sistemi kojima se vrši vodjenje elemenata sistema pri kretanju;
- tribo-mehanički sistemi kojima se vrši prenos snage i vodjenja i
- tribo-mehanički sistemi kojima se vrši prenos informacija.

Sa teorijskog aspekta ne postoji razlika u osnovnom mehanizmu prenosa i rasipanja masa i energije u sve četiri grupe tribo-mehaničkih sistema jer se tribološki procesi razvijaju u zonama kontakata osnovnog tribo-mehaničkog sistema koji je uvek isti. Jedan element kreće se po drugom nekom relativnom brzinom uz postojanje određenog spoljašnjeg opterećenja i uz prisustvo maziva kao trećeg elementa.

Međutim, postoje ogromne razlike u prirodi tzv. "trećeg tela" u kome se tribološki procesi i odigravaju

za vreme funkcionisanja tribo-mehaničkih sistema koji prpadaju različitim grupama. Opterećenje, pritisci, vrste materijala elemenata u kontaktu, karakteristika sredine u kojoj se kontakt ostvaruje, relativne brzine itd. imaju sasvim drugačije vrednosti u tribo-mehaničkim sistemima, npr., prve grupe u kojima se ostvaruje proces prerade metala bilo kojom vrstom obrade i u tribo-mehaničkim sistemima četvrte grupe u kojima se vrši prenos informacija.

Baze podataka koje se razvijaju u okviru TIS-a (tribološki informacioni sistem) odnose se pre svega na ove četiri grupe tribo-mehaničkih sistema.

Baza podataka o tribo-mehaničkim sistemima prve grupe sadrži više sektora. U prvom sektoru nalaze se podaci o materijalima predmeta obrade (prvi element tribo-mehaničkih sistema ove vrste) i to podaci o hemijskom sastavu i mehaničkim osobinama kao i o vrstama termičke obrade korišćene pre početka prerade materijala u odgovarajućim tribo-mehaničkim sistemima.

Dруги сектор података садржи податке о алатима са којима се врши прерада материјала односно о другом елементу трибо-механичких система ове врсте. Информације о материјалима (основне карактеристике) и геометрија алата чине основу овог дела базе података.

Трећи сектор садржи податке о физичко-хемијским карактеристикама мазива као трећег елемента трибо-механичких система ове врсте без кога процес прераде материјала скоро да nije moguć. Подаци о трећем елементу (мазиву) у овом сектору говоре о његовој природи, врсти, основном садржају података (адитива), за побољшање основних карактеристика, производијачима, итд.

Базе података о трибо-механичким системима у којима се врши прерада материјала било којом врстом обраде садрже још два веома значајна сектора.

Четврти сектор садржи податке о триболовским карактеристикама сва три елемента трибо-механичких система. У ов

om sektoru se nalaze podaci o:

- obradivosti materijala predmeta obrade,
- postojanosti alata,
- tribološkim karakteristikama sredstava za hladje-nje i podmazivanje.

Podaci ove vrste su po svojoj prirodi relativni jer je veličina jednog podatka zavisna od vrste i veličine drugih podataka. Na primer, obradivost jednog materijala zavisi od vrste alata sa kojim se obrada vrši i od vrste sredstava za hladjenje i podmazivanje koje se koristi pri obradi predmeta. Jedan isti materijal može da bude manje ili više obradiv u zavisnosti od toga sa kojim alatom se obrada vrši i koje je sredstvo za hladjenje i podmazivanje pri tome bilo upotrebljeno.

Podaci o postojanosti alata obavezno se vezuju za materijal predmeta obrade i sredstva za hladjenje i podmazivanje koja se pri obradi koriste.

Kao što je poznato tribološke karakteristike sredstava za hladjenje i podmazivanje mere se, skoro isključivo, postojanošću alata za određeni kriterijum pohabnosti alata.

Drugim rečima podaci u sektoru četiri baze podataka su međusobno povezani i ne mogu se koristiti nezavisno jedan od drugih.

Kako su tribološke karakteristike frontnih elementa tribomehaničkih sistema ove vrste zavise i od podataka odnosno karakteristika koje se o njima nalaze u prva tri sektora, to je očigledno da moraju da postoje odgovarajuće veze između sva četiri sektora baze podataka.

Peti sektor-baze podataka o tribomehaničkim sistemima u kojima se vrši prerada materijala bilo kojom vrstom obrade, sadrži podatke o režimima pod kojima je moguća njihova eksploatacija i o troškovima rada pojedinih sistema u jedinici vremena, u funkciji uslova ra-

da i karakteristikama okoline u kojima se proces prerade metala realizuje.

Tribomehaničkih sistema prve grupe ima veoma mnogo a među sobom se razlikuju po vrsti obrade koja se u njima koristi za preradu osnovnog materijala u polufabrikate ili gotove proizvode.

Treća podela podataka o tribomehaničkim sistemima vrši se upravo prema vrstama obrade koje se koriste u njima za preradu osnovnog materijala i to na:

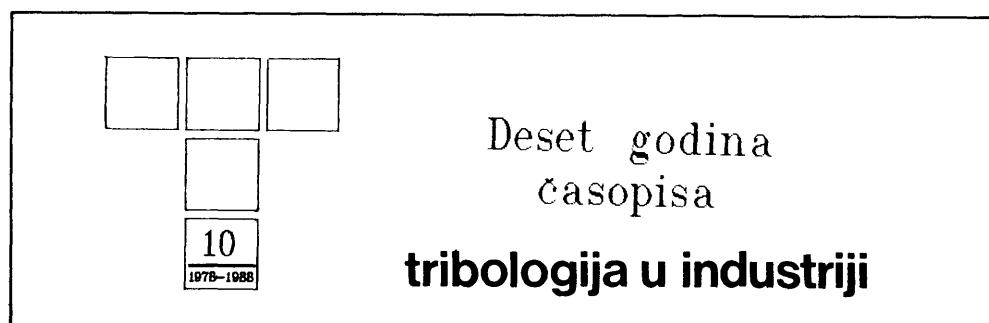
- tribomehaničke sisteme u kojima se vrši obrada rezanjem,
- tribomehaničke sisteme u kojima se vrši obrade deformisanjem i
- tribomehaničke sisteme u kojima se vrši tzv. nekonvencionalna obrada.

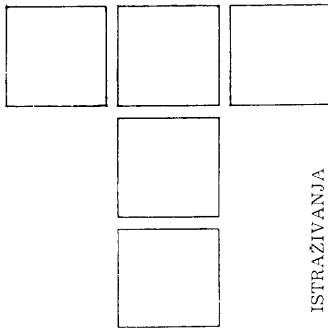
U daljoj podeli tribomehanički sistemi se dele na one sa kojima se vrši, na primer, obrada struganjem, obrada glodanjem, obrada bušenjem, obrada brušenjem, obrada provlačenjem, itd. ili na tribomehaničke sisteme kojima se vrši obrada kovanjem, istiskivanjem, obrada lima, itd.

Ovo znači da se i baze podataka odnosno podaci u pojedinim sektorima svrstavaju u grupe i podgrupe koji se odnose na grupe i podgrupe tribomehaničkih sistema.

Kada se govori o bazi podataka neophodno je reći još i to da se podaci sakupljaju istraživanjima u proizvodnim uslovima (sistematizacija podataka iz prakse) i eksperimentalnim istraživanjima u laboratorijama na za to uformljenim istraživačkim radnim mestima.

U narednim brojevima ovog časopisa očekuju se detaljnije informacije i radovi o izgradnji tribološkog informacionog sistema koji treba da doprinese kvalitetnjem i ekonomičnjem upravljanju proizvodnim procesima i opremom u industrijskim sistemima.





ISTRAGIVANJA

N. MILIĆ, B. JEREMIĆ, M. MAYER

# Neki rezultati uporednih ispitivanja oplemenjenih kontaktnih slojeva

## 1. UVOD

Rasipanje energije i mase u tribomehaničkim sistemima dovodi do gubitka radne sposobnosti i smanjenja pouzdanosti njegovih elemenata i, u osnovi, predstavlja posledicu procesa koji se odvijaju u njihovim površinskim slojevima u kontaktu sa drugim elementima i okruženjem.

Zbog procesa u površinskim slojevima kontaktnih elemenata, njihove eksploracijske karakteristike su uslovljene fizičko-mehaničkim svojstvima materijala u tankim površinskim slojevima, koji primaju kontaktna opterećenja, mikrogeometrijom i makrogeometrijom kontaktnih površina.

Otpornost na habanje kontaktnih površina i podpovršinskih slojeva, kao i proces trenja u zonama kontakta, zavisi isključivo od njihovog kvaliteta. Otkaz kod pokretnih metalnih elemenata je najčešće prouzrokovana habanjem zbog prenosa i gubitka mase.

Pošto su "opterećenja" po zapremini i po površini različite prirode i intenziteta, to postoji i realna potreba za nejednorodnim svojstvima po dubini materijala tribomehaničkih elemenata. Pri tome, tribološki je potpuno opravdana i celishodna realizacija kontaktnih slojeva visokih triboloških svojstava na osnovama od materijala niže tribološke vrednosti.

Poslednjih godina je napravljen veliki progres u vakuumskoj, jonskoj i laserskoj tehnologiji, što je omogućilo razvoj novih generacija čitavog niza postupaka namenjenih modifikaciji površina nanošenjem prevlaka i obrazovanjem slojeva sa zahtevanim tribološkim svojstvima.

Sve metode modifikovanja površina, prema njihовоj prirodi, mogu se podeliti na dve osnovne kategorije:

- Metode nanošenja prevlaka na osnovni materijal (substrat);
- Metode primene svojstava osnovnog materijala u površinskim slojevima.

Savremeni postupci formiranja prevlaka na kontaktnim površinama tribomehaničkih elemenata mogu se razvrstati u sledeće osnovne tipove:

- a) Fizičko taloženje iz gasovite faze ili PVD postupak (Physical vapor deposition);
- b) Hemijsko taloženje iz gasovite faze ili CVD postupak (Chemical vapor deposition);
- c) TD postupak;
- d) Plazma-sprej proces.

Za poboljšanje triboloških svojstava kontaktnih površina, koje se zasniva na promeni hemijskog, strukturalnog i fizičko-mehaničkog stanja materijala u tankim površinskim slojevima, koriste se postupci:

- jonske implantacije,
- laserskog otvrdnjavanja,
- površinskog plastičnog deformisanja,
- jonsko-difuzioni procesi.

Brojna istraživanja ovih postupaka i njihov dalji razvoj uslovili su i razvoj komercijalne opreme i tehnologije (BALZERS, LEYBOLD, MULTI-ARC, VAC-TEC, IPPSEN, ULVAC) za nanošenje velikog broja različitih prevlaka (TiN, TiC, TiCN, TiAlN, ZrN, HfN, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, ZrO<sub>2</sub>, SiC, Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>, itd.) sa dobrim tribološkim karakteristikama u određenim uslovima primene.

Danas je za jugoslovensku industriju vezan problem nedovoljnog broja informacija o tribološkim karakteristikama prevlaka. Rezultate triboloških istraživanja, uglavnom, reprezentuju komercijalni proizvodjači opreme za nanošenje prevlaka, pri čemu nema dovoljno informacija za njihovu proveru, što dovodi do favorizacije određene tehnologije i opreme. Najviše je rezultata iz oblasti primene prevlaka na alatima, koji ukazuju na povećanje postojanosti alata sa prevlakom u odnosu na alate bez prevlake za 5-20 puta. Do sada izvršena ispitivanja kod nas ukazuju na veliko rasipanje rezultata o postojanosti alata sa prevlakom, što upućuje na kritičko prihvatanje rezultata proizvodjača komercijalne opreme.

Dalja ekspanzija industrijske primene alata za obradu rezanjem i obradu deformisanjem sa prevlakama od TiN i TiC, koja se snažno oseća i u našoj industriji, kao i sve veća primena materijala sa promenjenim svojstvima kontaktnih slojeva, u mehaničkim sistemima, ukazuju na veliki praktičan značaj istraživanja uticaja ovih postupaka poboljšanja kvaliteta kontaktne površine na otpornost na habanje i procese trenja u zonama kontakta tribomehaničkih elemenata.

Dakle, zbog tendencije uključivanja naše industrije u svetske tehnološke tokove, javlja se i potreba za kupovinom opreme za nanošenje prevlaka, pri čemu se, prvenstveno, treba rukovoditi rezultatima sopstvenih triboloških istraživanja.

## 2. UTICAJNI FAKTORI NA KVALITET OPLEMENJENOG SLOJA

Kvalitet površina elemenata tribomehaničkih sistema, definisan fizičko-mehaničkim i mikrogeometrijskim karakteristikama, formira se u toku tehnoloških postupaka obrade uz prenošenje svojstava iz prethodnih na završne operacije obrade.

Odavde proističe veza koja postoji između vrsta i postupaka obrade i uslova obrade i triboloških karakteristika u procesu uspostavljanja kontakta između elemenata tribomehaničkih sistema. Ove probleme danas najviše proučava istorija tehnološkog nasledja.

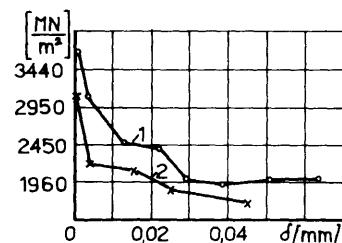
Različite karakteristike između kontaktnih slojeva dva tела u dodiru i osnovne mase materijala oba tела jesu posledica postojanja unutrašnjeg graničnog sloja ispod svake površine, koji se javlja kao rezultat primenjenog postupka obrade površina. Debljina i karakteristike ovog sloja zavise od toga da li je površina nekog tela formirana postupkom struganja, glodanja, brušenja ili nekom drugom vrstom obrade, kao i od uslova pod kojima je površina nastala, a koji se odnose na režime rezanja, sile rezanja, temperature rezanja, itd.

Priprema površina tribomehaničkih elemenata za nanošenje prevlaka vrši se već pomenutim različitim postupcima obrade rezanjem. Pri tome, pojava plastične deformacije materijala u kontaktnim slojevima izaziva pojavu ojačanja u njima, što rezultira povećanjem svih karakteristika otpornosti na deformisanje (granice elastičnosti, tečenja, čvrstoće i zamora), dok opadaju svojstva plastičnosti. U ojačanom površinskom sloju se menjaju i fizička svojstva materijala - povećava se elektrootpornošt, zaostali magnetizam, koercitivna sila, a smanjuje se magnetna propustljivost.

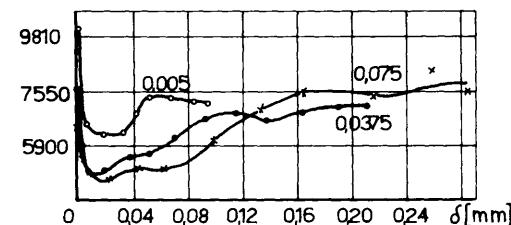
Zaostali površinski naponi predstavljaju napone u površinskom sloju obradjenog predmeta, koji postoje i pri odsustvu spoljašnjih dejstava mehaničke ili topotne pr-

irode. Na osnovu veličine polja njihovog prostiranja dele se na tri osnovne grupe:

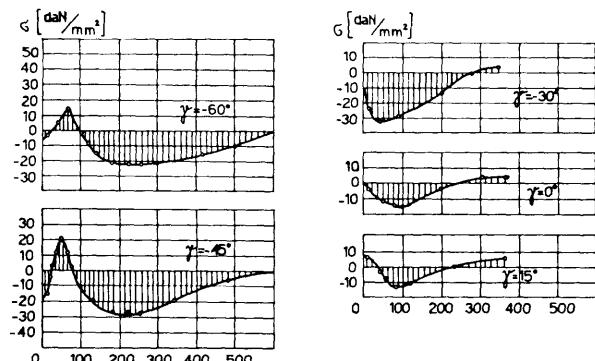
- unutrašnji naponi I reda (makronaponi)
- unutrašnji naponi II reda (mikronaponi) i
- unutrašnji naponi III reda (submikronaponi).



Sl. 1. - Rasporod mikrotvrdoće po dubini površinskog sloja pri običnom brušenju (1) i visokobrzinskom brušenju (2) žarenog čelika



Sl. 2. - Promena mikrotvrdoće po dubini fazno transformisanog sloja metala u procesu brušenja

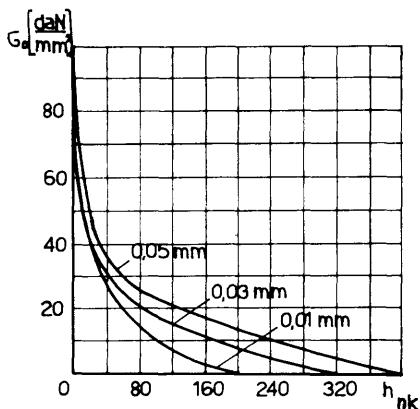


Sl. 3. - Rasporod zaostalih naprezanja posle obrade struganjem noževima različitih grudnih uglova

Mekhanizam nastajanja zaostalih unutrašnjih naprezanja predstavlja posledicu delovanja plastičnih deformacija, lokalnog zagrevanja i hladjenja i fizičkih transformacija materijala u površinskom sloju predmeta obrade.

Pod dejstvom visokih temperatura u zoni rezanja, koje dostignu i 1300 K dolazi do strukturnih promena. Pored toga je moguća pojava tankog sloja ponovno kaljenog čel-

ika, sloja otpuštenog čelika, ili istovremena pojava ka-  
ljenja i otpuštanja.



Sl. 4.-Raspode-  
la zaostalih  
naprezanja u  
subpovršinskom  
sloju metala  
posle brušenja  
velikim brzina-  
ma pri različi-  
tim dubinama  
rezanja

Na površine metalnih elemenata tribomehaničkih si-  
stema, koje su prethodno obradjene različitim postupcima  
obrade rezanjem, brojnim postupcima jonsko-plazmene i va-  
kuumske tehnologije nanose se prevlake sa zahtevanim tri-  
bološkim karakteristikama.

Postupci fizičkog taloženja iz gasovite faze, na sa-  
dašnjem stepenu razvoja omogućuju prevlačenje bilo kog  
substrata neorganskim prevlakama različite vrste (tvrdi  
metali, meki metali, legure, jedinjenja povoljnih tribolo-  
ških karakteristika i njihove mešavine).

Regulisanje karakteristika prevlaka se može postići  
izborom parametara električnog pražnjenja (na kome se za-  
snivaju PVD postupci) i karakteristika substrata (hemis-  
ko stanje, temperaturna i topografija površina).

Postupci raspršivanja omogućuju formiranje višestru-  
kih prevlaka od različitih materijala, kojima odgovaraju  
različiti pritisci isparavanja.

Za razliku od procesa raspršivanja kod koga se ispa-  
ravanje izaziva udarom jona, isparavanje u procesu jonsk-  
og prevlačenja je termičke prirode i koristi se za talož-  
enje mekih, premazujućih filmova. Ovako dobijeni filmovi  
zlata, sreba i olova imaju manji koeficijent trenja i du-  
ži vek trajanja, u odnosu na druge metode taloženja.

Poslednjih godina, metodama reaktivnog jonskog pre-  
krivanja, omogućuje se stvaranje slojeva velike gustine  
i čvrstoće prijanjanja, kao i mikrostrukture i morfolo-  
škog rasta prevlake, koji su bitni za neka antihabajuća  
svojstva.

Prevlake dobijene jonskim metodama imaju sledeće ka-  
rakteristike:

- veza prevlake i osnove je dobra zahvaljujući inte-  
zivnom čišćenju površine pri bombardovanju jonima inertn-  
og gasa ili nanošenog materijala,
- za dobijanje kvalitetne prevlake neophodno je povećati temperaturu osnove do visokih vrednosti,
- sastav i svojstva prevlaka mogu varirati, pri čemu

je moguće dobijanje mnogoslojnih prevlaka sa promenljivim  
sastavom od sloja do sloja,

- prevlake su bez krupnih defekata i izvora napreza-  
nja koji izazivaju početno razaranje u procesu habanja,
- nije neophodna specijalna obrada površina, kao  
priprema za stvaranje prevlaka.

Jedan od postupaka za poboljšanje kvaliteta opleme-  
njenog sloja i kontaktnih slojeva uopšte je i FluxaTron-  
postupak za poboljšanje otpornosti na habanje.

FluxaTron-postupak podrazumeva tretiranje alata, ko-  
ji se postavlja u posebnu komoru elektronskog uredjaja  
gde se izlaze dejstvu specifično projektovanog polja ma-  
gnetskog fluksa. Ovo magnetno polje služi za indukovanje  
unutrašnjih, mehaničkih vibracija na reznoj ivici alata,  
čime se neutrališu zaostali naponi nastali tokom procesa  
oštrenja alata ili postupaka prevlačenja alatnih materi-  
jala.

Pošto u ovom procesu nema nanošenja nikakvih tribolo-  
ških prevlaka na osnovni materijal, već dolazi do prom-  
ene u osnovnom materijalu, FluxaTron-proces se može svrstati  
u metode promene svojstava osnovnog materijala u po-  
vršinskim slojevima.

Prvenstveni zadatok ovog procesa je neutralisanje  
zaostalih naprezanja u alatnim materijalima, koja su pro-  
ouzrokovana nejednakom kristalnom strukturu u unutraš-  
njosti ovih materijala, koja opet, predstavlja posledicu  
različitih metalurških nesavršenosti. Ove nesavršenosti  
u svakom alatu variraju, u zavisnosti od toga kakav je  
njegov postupak proizvodnje ili tokom njegovog poslednjeg  
preoštravanja.

Zaostali naponi akumuliraju se u reznim alatima  
zbog metalurške asimetrije izazvane nejednakim topotnim  
širenjima za vreme očvršćavanja, čija je veličina često  
nepoznata. U brušenju i, posebno, u prebrušavanju, toplota  
iz abrazivnih procesa takođe može oslobadljati zao-  
stale napone. U postupku fizičkog taloženja iz gasovite  
faze (PVD) supertankih prevlaka, kao što je titan-nit-  
rid, već i temperature od 500°C mogu dovesti do pojave  
zaostalih napona u radnom komadu.

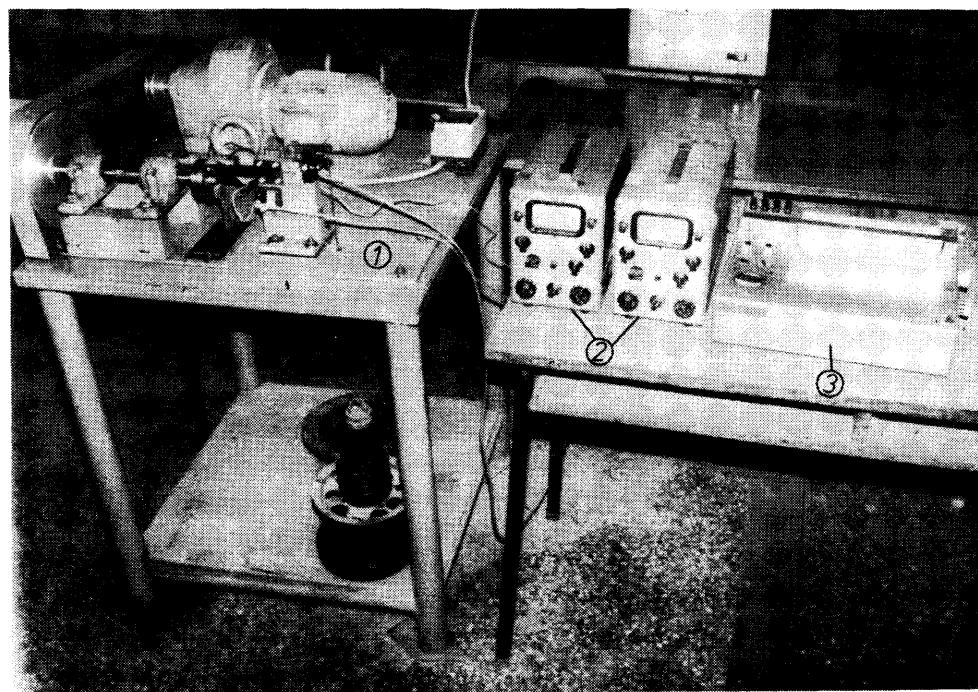
Za oslobadjanje zaostalih napona u FluxaTron-postu-  
pu se koristi magnetostrikcija, koja se može definisati  
kao promena u dužini feromagnetskih materijala - gvožđa,  
kobalta, nikla, itd. kada su namagnetisani. Menadžeri am-  
eričke kompanije Innovex, koja je komercijalni proizvo-  
dač ovog elektronskog uredjaja, smatraju da je magnetno-  
stripciono oslobadjanje napona jednostavnije od svih os-  
talih srodnih procesa, jer ovde nema ni senzora, ni kon-  
trole povratnom spregom (kao u sličnim procesima) i pre-  
poručuju ovaj postupak kao dopunu ostalim postupcima po-  
većanja postojanosti alata, kao što su prevlačenje, talo-  
ženje ili implantiranje. Komercijalni proizvodjač ukaz-

zuje na rezultate nekih istraživanja, koji su ukazali na značajna povećanja postojanosti reznih alata, koja se kreće od 18% za glodala od brzoreznog čelika ili 35% za glodala prevučena karbidnim prevlakama, pa sve do neverovatnih 177% u postojanosti zavojne burgije od brzoreznog čelika prečnika 32 mm pri bušenju 50 mm debelog čelika Č.4140.

U cilju kritičkog prihvatanja ovih rezultata, kao i u cilju istraživanja uticaja postupaka završne obrade kontaktnih površina na tribološke procese u zonama kontakta metalnih elemenata, u laboratoriji za obradu metala i tribologiju na Mašinskom fakultetu u Kragujevcu vršena su odredjena istraživanja u tom pravcu.

### 3. EKSPERIMENTALNA ISTRAŽIVANJA TRIBOLOŠKIH PROCESA U ZONAMA KONTAKTA METALNIH ELEMENATA

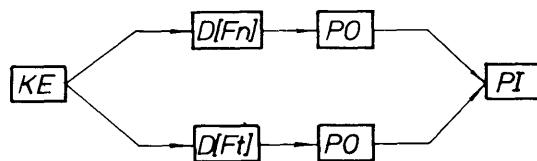
Sa ciljem da se sagledaju mogućnosti utvrđivanja uticaja uslova završne obrade na tribološke karakteristike površina, u određenim uslovima kontakta, razvijen je tribometar, koji se zasniva na pin-on-disc sistemu, čiji je izgled prikazan na sl. 5.



Sl. 5. - Oprema za ispitivanje triboloških karakteristika kontaktnih površina u funkciji uslova završne obrade  
1-tribometar; 2-pojačivač; 3-jednokanalni pisač

U konцепciji uredjaja udovoljeno je zahtevu za postojanjem širokog raspona variranja uslova kontakta (optere-

ećenja, relativne brzine i vremena trajanja kontakta).



Sl. 6. - Merni lanac za istraživanje koeficijenta trenja  
KE - kontaktni elementi  
D - dinamometri sa mermim trakama

PO - pojačivači (HBM KWS/T-5)  
PI - jednokanalni pišač

Tribometar pruža mogućnosti neposrednog merenja sile trenja, na osnovu koje se, za zadatu силу притиска, proračunava vrednost koeficijenta trenja. Sila trenja se meri pomoću dinamometra sa tenzometrijskim trakama realizovanim na konzolnom nosaču i neprekidno se registruje na pišaču u toku procesa istraživanja.

Merni lanac za istraživanje uticaja spoljašnjeg statičkog opterećenja kontaktnih elemenata na koeficijent trenja prikazan je na sl. 6. Na prikazanom tribometru, srednja temperatura kontakta je praćena preko veštackog termopara, koji je postavljen u prethodno izbušen otvor u nosaču pina. Termopar je sačinjen od hromelja (legura hroma) i kopelja (legura bakra), a za registraciju signala temperature korišćen je jednokanalni pišač.

Praćenje promena karakteristika površinskog sloja, mikrogeometrije površina i parametara habanja zahteva prekidanje kontakta.

Merenje parametara mikroneravnina na kontaktnim površinama ispitivanih uzoraka (pinova), dobijenim posle određenog vremena kontakta vr-

šeno je u RO FPV Zavoda "Crvena zastava" - OOUR Mehanička obrada - sektor kontrole u Kragujevcu, na profilografu

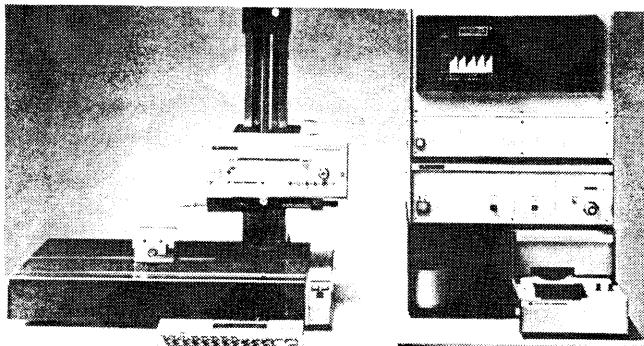


Sl. 7. - Merni lanac za merenje temperature u zoni kontakta

KE - kontaktni elementi  
VT - veštački termopar (hromelj-kopelj)  
PI - jednokanalni pisač

profilometru tipa PERTHOMETER PRK S5P firme Carl Mahr (SR Nemačka).

Takođe, topografija ovih kontaktnih površina je snimana u 3D-tehnici na instrumentu TALYSURF 6 firme Taylor Hobson (Velika Britanija), a na njemu su dobijeni i odredjeni rezultati statističke analize.



Sl. 8. - Sistem TALYSURF 6 - Taylor Hobson za analizu topografije površina

### 3.1. PROGRAM I USLOVI ISPITIVANJA

Programom ispitivanja sile i koeficijenta trenja obuhvaćene su površine uzoraka od čelika ASM 52100 (američki standard). Ispitivanja su vršena na tri izabrana uzorka - pina, sa kvalitetom površine, koji odgovara klasi hrapavosti N4. Eksperimentalni program je izведен pri statičkom opterećenju kontaktnih elemenata sa variranjem brzine klizanja  $v$  i nominalnog pritiska  $p$  - tabela 1. Ispitivanje je vršeno pri uslovima koji su odgovarali građičnom podmazivanju - na početku ispitivanja svakog uzorka na kontratelo - disk je nanet tanak uljni film, a kasnije, u toku samog testa, nije bilo nikakvog podmazivanja. Vreme kontakta iznosilo je 5 min.

Za podmazivanje kontaktnih površina primjeno je ulje INA-POLAR 55K, koje se zbog svojih polarnih karakteristika dobro vezuje za kontaktne površine. Odabranom kombinacijom aditiva, sa ovim uljem, je postignut povoljan odnos statičkog i kinematičkog koeficijenta trenja, uz eliminaciju pojave stick-slip-a pri malim brzinama klizanja.

Da bi se obezbedila uporedivost rezultata svaki ispitivani uzorak uparivan je sa po jednim od diskova (ko-

ntra-telo) koji nije prethodno bio u kontaktu. Pri tome svi diskovi izradjeni su iz istog polaznog komada materijala Č.5431 u nepramenjivim uslovima termičke i mehaničke obrade.

TABELA 1. Eksperimentalni program ispitivanja sile trenja

KONTAKTNI PAR	ELEMENT 1	ELEMENT 2
1; Č-Č	ASM 52100 58 HRC	Č.5431 53 HRC
2; Č-TiN	ASM 52100+TiN	Č.5431
3; Č-TiN(F)	ASM 52100+TiN + FluxaTron	Č.5431
$v$   m/min	25,64	49,18
P   MPa		98,36
0,58	+	+
0,95	+	+
1,48	+	+

Ispitivanje srednje temperature kontakta je takođe vršeno za sva tri kontaktna para, pri srednjoj vrednosti kontaktnog pritiska  $p_2 = 0,95$  MPa i srednjoj brzini relativnog kretanja  $v_2 = 49,18$  m/min.

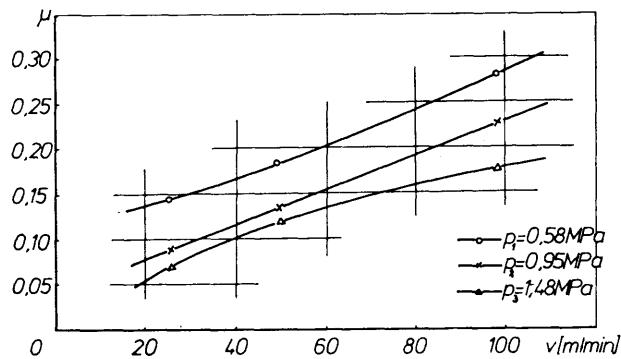
Ispitivanje procesa habanja je vršeno kod sva tri uzorka. Habanje je praćeno metodom baze, na taj način što je pin izdignut iznad diska za 3 mm, tako da je sada nominalna površina kontakta iznosila  $133,6 \text{ mm}^2$  (smanjena je u odnosu na početku -  $154 \text{ mm}^2$ ). Profil i topografija površine je snimljena na početku kontakta i posle 40 sati neprekidnog kontakta, koji je ostvarivan, takođe, pri srednjim vrednostima kontaktnog pritiska i brzine relativnog kretanja.

Ispitivanje srednje temperature i procesa habanja je vršeno pri uslovima koji približno odgovaraju konstantnom podmazivanju. Ulje INA-POLAR 55K je dovodjeno na kontaktnu površinu diska preko filcanog jastučeta koje se nalazilo u, za tu svrhu, specijalno konstruisanom držaču. Pri tome je, za ispitivanje svakog kontaktnog para, na početku testa u filcani jastučić, ušpicano  $2 \text{ cm}^3$  navedenog ulja (kod procesa habanja, ulje je ubrizgavano u filc svakih 10 sati po  $2 \text{ cm}^3$ ).

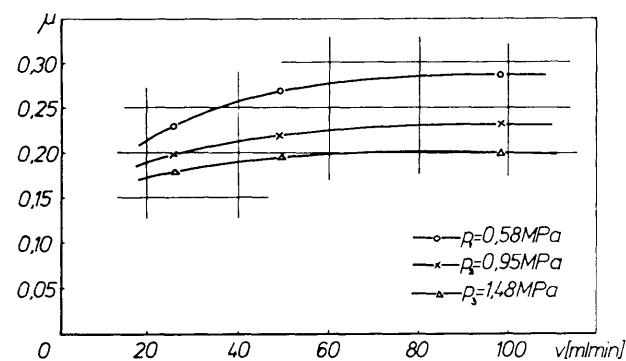
### 3.2. REZULTATI ISTRAŽIVANJA KOEFICIJENTA TRENJA I SREDNJE TEMPERATURE KONTAKTA

Izvršena ispitivanja sile, odnosno koeficijenta trenja, omogućuju razmatranje uticaja više parametara na koeficijent trenja, kao što su na primer: brzina klizanja, kontaktni pritisak (ili normalno opterećenje) ili vrsta

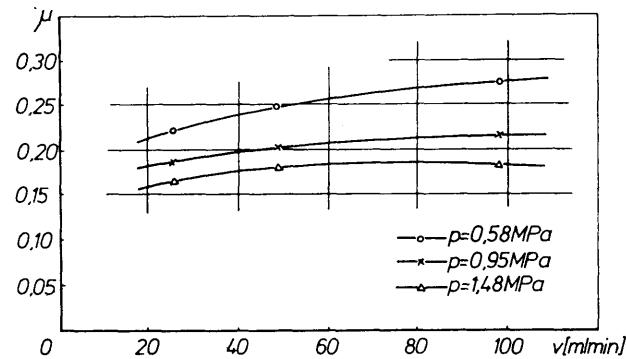
kontaktnog para. Da bi se sprovedla analiza uticaja ovih parametara na koeficijent trenja, zapisi sile trenja dobijeni na pisaču su obradjeni i neke od dobijenih zavisnosti su predstavljene na slikama od 9. do 14.



Sl. 9. - Zavisnost koeficijenta trenja od brzine klizanja pri graničnom podmazivanju za kontaktni par Č-Č



Sl. 10. - Zavisnost koeficijenta trenja od brzine klizanja pri graničnom podmazivanju za kontaktni par Č-TiN



Sl. 11. - Zavisnost koeficijenta trenja od brzine klizanja pri graničnom podmazivanju za kontaktni par Č-TiN(F) (uzorak tretiran magnetnim fluksom)

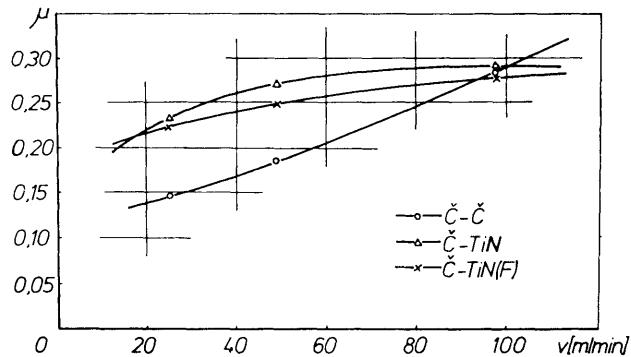
Kod kontaktnog para čelik-čelik za sve tri vrednosti normalnog pritiska u zoni kontakta uočava se porast vrednosti koeficijenta trenja sa povećanjem vrednosti brzine kliz-

anja. Takodje, moguće je uočiti, pad vrednosti koeficijenta trenja sa porastom kontaktnog pritiska, pri konstantnim vrednostima brzine klizanja.

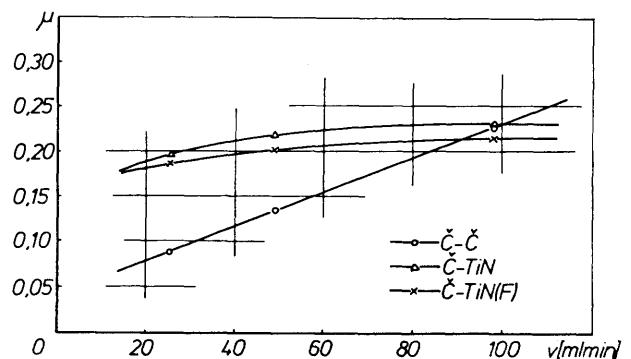
Dijagramska zavisnost na sl. 10. ukazuje, takodje, na porast vrednosti koeficijenta trenja sa porastom brzine klizanja i kod uzorka sa prevlakom od TiN. Taj porast vrednosti koeficijenta trenja je izraženiji u oblasti manjih brzina klizanja, do vrednosti  $v \approx 80 \text{ m/min}$ , posle čega dolazi do stabilizacije vrednosti koeficijenta trenja. I u ovom slučaju koeficijent trenja opada sa porastom vrednosti normalnog opterećenja kontakta.

I ispitivanje uzorka tretiranog FluxaTron-postupkom (kontaktni par čelik-FiN(F)) pokazuje ponovo porast vrednosti koeficijenta trenja sa porastom brzine klizanja. I u ovom slučaju možemo govoriti o stabilizaciji vrednosti koeficijenta trenja, koja je sada nešto izraženija za veće vrednosti kontaktnog pritiska. I ovde je evidentan pad vrednosti koeficijenta trenja sa porastom normalnog opterećenja za sve tri vrednosti brzine klizanja.

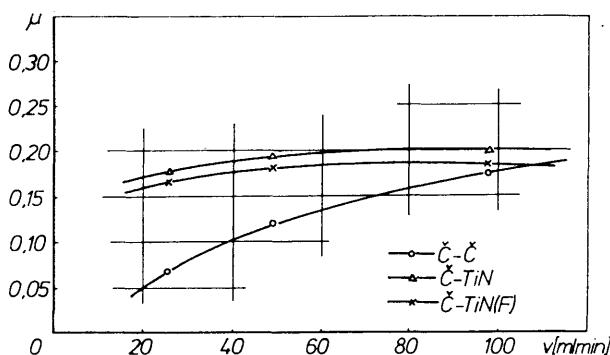
Možemo izvršiti i poređenje vrednosti koeficijenta trenja u zavisnosti od ispitivanog kontaktnog para, pri čemu su ostali parametri kontakta identični. Ove zavisnosti su date na slikama 12.-14.



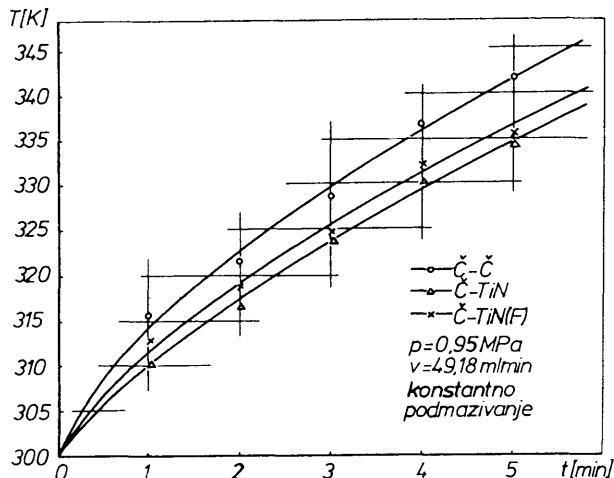
Sl. 12. - Zavisnost koeficijenta trenja od brzine klizanja pri graničnom podmazivanju i kontaktnom pritisku  $p_1 = 0,58 \text{ MPa}$



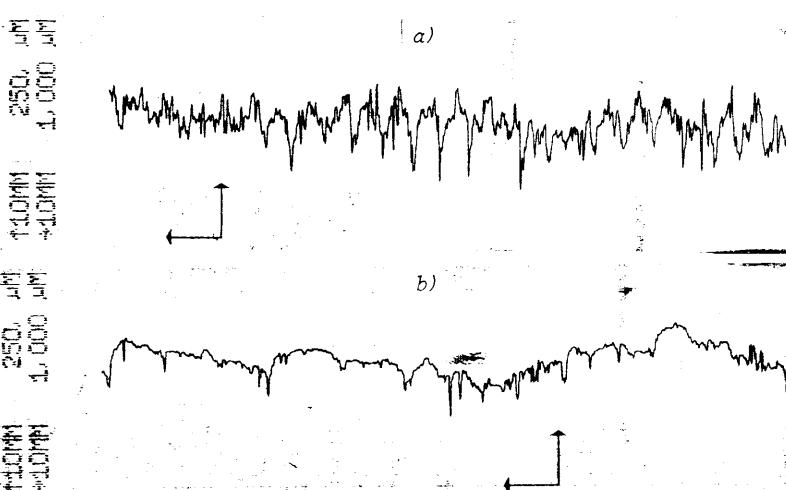
Sl. 13. - Zavisnost koeficijenta trenja od brzine klizanja pri graničnom podmazivanju i kontaktnom pritisku  $p_2 = 0,95 \text{ MPa}$



Sl. 14. - Zavisnost koeficijenta trenja od brzine klizanja pri grančnom podmazivanju i kontaktnom pritisku  $p_3 = 1,48 \text{ MPa}$



Sl. 15. - Zavisnost srednje temperature kontakta od vremena trajanja kontakta



Sl. 16. - Profil kontaktne površine za uzorak od čelika ASM 52100  
a) na početku ispitivanja b) posle 40 h neprekidnog kontakta

Sve tri prikazane zavisnosti pokazuju da vrednost koeficijenta trenja, za sve tri vrednosti normalnog opterećenja, raste sporije kod kontaktnih parova Č-TiN i Č-TiN(F), dakle kod uzorka sa prevlakom, nego kod kontaktnog para Č-č. Ispitivanja pokazuju da kod uzorka sa prevlakom dolazi do stabilizacije vrednosti koeficijenta trenja na većim brzinama klizanja, dok isti raste kod uzorka bez prevlake u celoj oblasti ispitivanih brzina klizanja. Možemo govoriti o postojanju neke kritične brzine klizanja  $v_{kr} \approx 100 \text{ m/min}$  posle koje vrednost koeficijenta trenja kod uzorka sa prevlakom postaje manja nego kod uzorka bez prevlake.

Sva izvršena ispitivanja pokazala su da je koeficijent trenja neznatno manji kod uzorka koji je tretiran FluxalTron-postupkom, nego kod netretiranoj uzorku (oba su sa prevlakom od TiN). Do brzine klizanja  $v_{kr} \approx 100 \text{ m/min}$  najmanji koeficijent trenja je bio kod kontaktnog para Č-č (uzorak bez prevlake).

Rezultati ispitivanja srednje temperature kontakta, dobijeni obradom dobijenih zapisa signala temperature na pisaču, prikazani su na sl. 15.

Posle trajanja kontakta u vremenu od 5 min. najviša temperatura je registrovana kod uzorka bez prevlake, nešto manja kod uzorka sa prevlakom od TiN, koji je tretiran magnetnim fluksom, a najmanja kod kontaktnog para Č-TiN. Dalja istraživanja u ovoj oblasti, su pokazala da se temperature posle određenog vremena kontakta (približno 15 min) stabilizuje oko neke vrednosti, koja je u ovom slučaju bila za kontaktni par Č-TiN(F), neznatno manja za Č-TiN, a najmanja za kontaktni par Č-č.

### 3.3. REZULTATI ISPITIVANJA HABANJA

Kao što je već rečeno ispitivanje habanja je vršeno metodom baze, pri konstantnom podmazivanju, kod sva tri uzorka, pri čemu je profil površine sniman na početku ispitivanja i posle 40 sati neprekidnog kontakta.

Neko od rezultata ovog ispitivanja dati su na slikama.

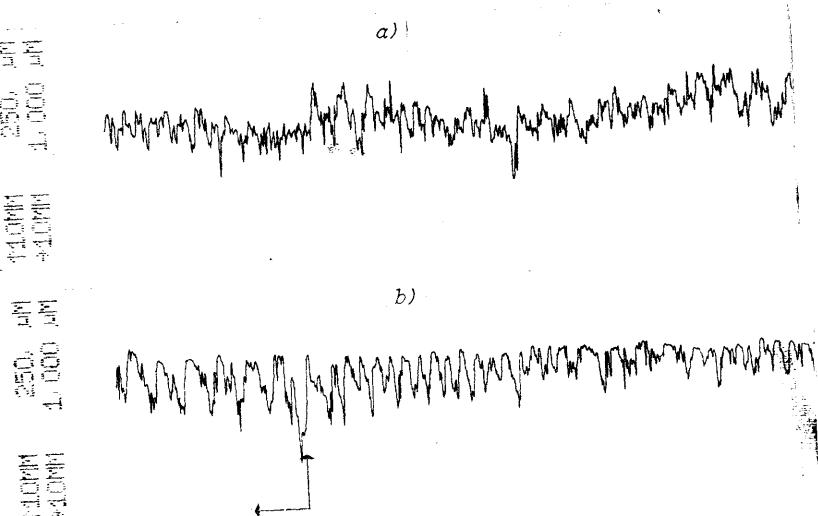
Uočava se da su profili posle 40 sati habanja znatno "uravnjeni", odnosno, primećuje se odsustvo mnogobrojnih vrhova. Ovo je posledica procesa inicijalnog habanja pri uparivanju kontaktnih površina oba kontaktna elemenata.

Uporedjivanje krivih nošenja profila, koje daju najplastičniju sliku rasporeda mater-

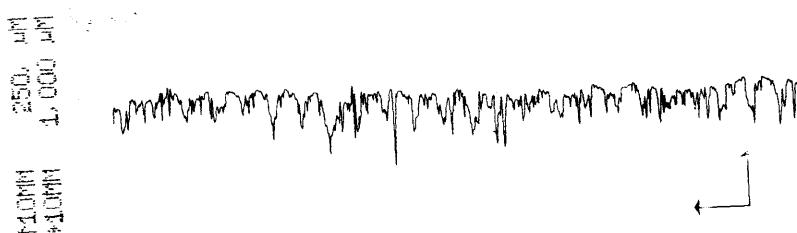
ijala po dubini hrapavog sloja, za nepohaban i pohaban uzorak, ukazuje na postizanje određene vrednosti dužine nošenja profila na većoj dubini profila kod pohabanog uzorka, što je i normalno s obzirom na pomenuto "kresanje" vrhova neravnina, kao posledice inicijalnog habanja.

Na sl. 22 dati su i neki od rezultata statističke obrade parametara hrapavosti kontaktnih površina. Pri tome, parametri su mereni na 50 referentnih dužina ispitivanih profila.

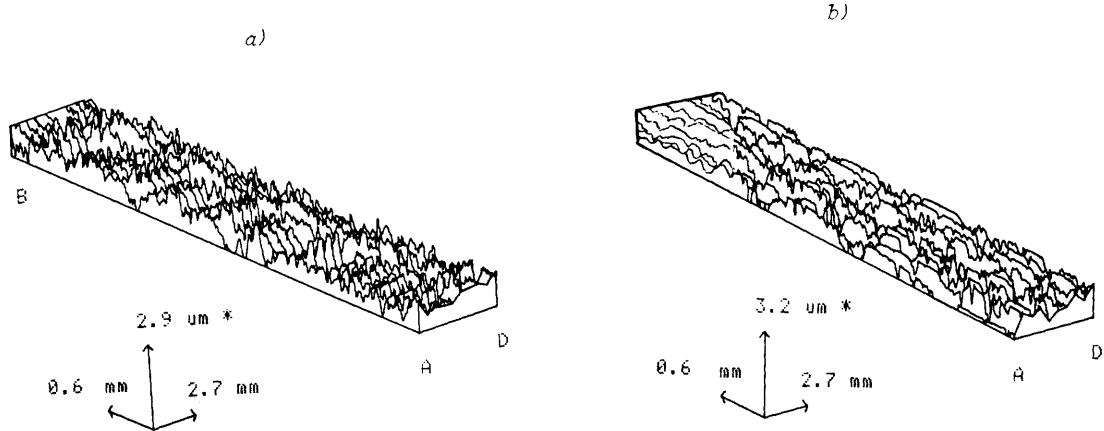
Kod praćenja procesa habanja, kao parametar habanja posmatrana je dubina pohabanog sloja kontaktne površine, u odnosu na baznu površinu. Dobijeni rezultati su ukazali na veliku razliku u dubini pohabanog sloja između uzorka bez prevlake i uzorka sa prevlakom od TiN. Kod uzorka bez prevlake, posle 40 sati habanja, ova dubina je iznosila 9 μm za razliku od uzorka sa prevlakom kod kojih su uočene samo promene na nivou topografije površine (može se govoriti o vrednosti dubine pohabanog sloja od svega nekoliko desetih deljova mikrona). Ove promene topografije kontaktne površine su nešto izraženije kod uzorka sa prevlakom od TiN koji nije bio tretiran FluxaTron-postupkom. Kod uzorka bez prevlake, pored intenzivnog habanja, registrirana je i promena prirode topografije.



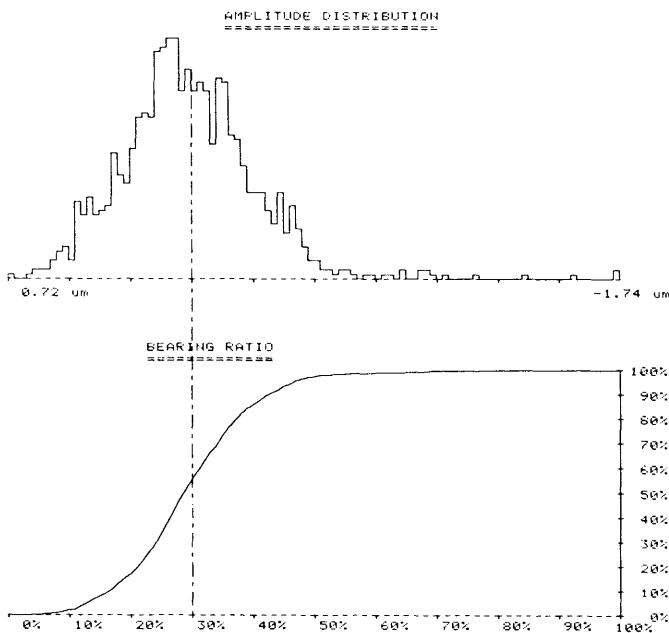
Sl. 17. - Profil kontaktne površine za uzorak od čelika ASM 52100 sa prevlakom od TiN a) na početku ispitivanja i b) posle 40 h neprekidnog kontakta



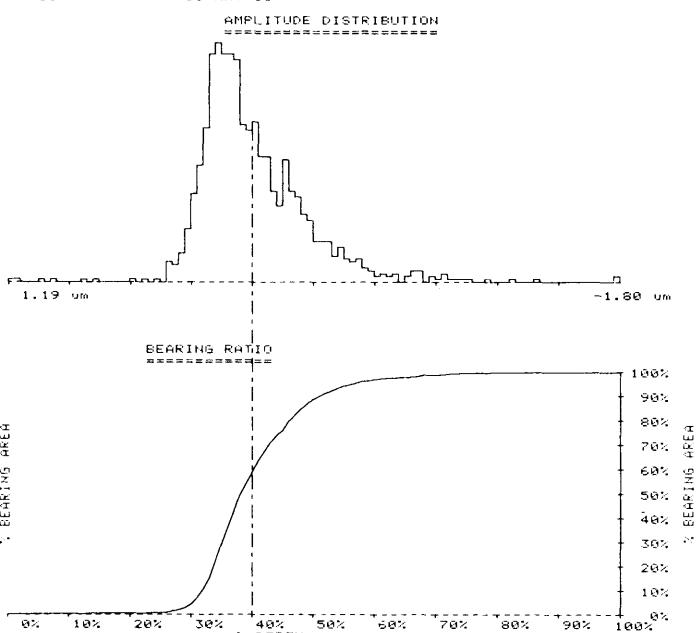
Sl. 18. - Profil kontaktne površine za uzorak od čelika ASM 52100 sa prevlakom od TiN, koji je tretiran FluxaTron-postupkom posle 40 h neprekidnog kontakta



Sl. 19. - Profil kontaktne površine za uzorak od čelika ASM 52100 sa prevlakom od TiN, snimljen 3D - tehnikom na TALYSURF-u 6  
a) nepohaban uzorak b) pohaban uzorak



Sl. 20. - Histogramski prikaz raspodele amplituda i kriva nošenja profila za nepohaban uzorak sa prevlakom TiN



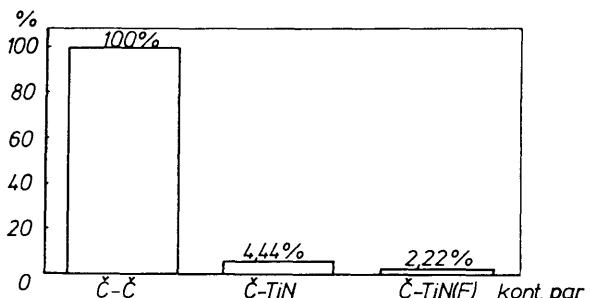
Sl. 21. - Histogramski prikaz raspodele amplituda i kriva nošenja profila za pohaban uzorak sa prevlakom TiN

	$\bar{S}$	$\bar{X}$	X MAX	X MIN
Ra	um	0.02	0.15	0.21
Rq	um	0.03	0.21	0.29
Ry	um	0.6	1.6	3.4
Rtm	um	0.2	1.0	1.5
Rv	um	0.3	1.0	2.0
Rp	um	0.3	0.7	1.6
Sm	um	43	185	322
DELQ	deg	0.2	0.9	1.6
Rsk		0.6	-0.5	0.8
Rku		2.3	5.8	12.1
S	um	9	51	71
R3z	um	0.1	0.6	0.7
Rpm	um	0.1	0.4	0.7
R3y	um	0.3	0.9	1.7

	$\bar{S}$	$\bar{X}$	X MAX	X MIN
Ra	um	0.02	0.15	0.21
Rq	um	0.04	0.21	0.29
Ry	um	0.6	1.6	3.4
Rtm	um	0.2	1.0	1.5
Rv	um	0.4	1.1	2.0
Rp	um	0.3	0.7	1.6
Sm	um	50	191	322
DELQ	deg	0.2	0.9	1.6
Rsk		0.6	-0.6	0.8
Rku		2.6	6.2	12.1
S	um	10	53	71
R3z	um	0.1	0.6	0.7
Rpm	um	0.1	0.4	0.7
R3y	um	0.3	0.8	1.7

	$\bar{S}$	$\bar{X}$	X MAX	X MIN
Ra	um	0.02	0.15	0.21
Rq	um	0.04	0.21	0.29
Ry	um	0.6	1.6	3.4
Rtm	um	0.2	1.0	1.5
Rv	um	0.4	1.1	2.0
Rp	um	0.3	0.7	1.6
Sm	um	50	191	322
DELQ	deg	0.2	0.9	1.6
Rsk		0.6	-0.6	0.8
Rku		2.6	6.2	12.1
S	um	10	53	71
R3z	um	0.1	0.6	0.7
Rpm	um	0.1	0.4	0.7
R3y	um	0.3	0.8	1.7

Sl. 22. - Statistička obrada parametara hrapavosti kontaktnih površina



Sl. 23. - Histogramski prikaz dubine pohabanog sloja

#### 4. ZAKLJUČCI

Na osnovu teorijske analize i rezultata eksperimentalnog istraživanja može se dati odredjen broj zaključaka:

- Stvaranjem optimalnih parametara kvaliteta kontaktnih površina postupcima poboljšanja putem nanošenja prevlaka na osnovni materijal, obezbeđuje se smanjenje dissipacije energije i mase u procesima trenja i habanja u zoni kontakta i povećanje otpornosti na habanje.

- Ispitivanje vrednosti koeficijenta trenja pri uslovima graničnog podmazivanja ukazuju na porast njegove vrednosti sa povećanjem brzine klizanja za sve varirane vrednosti normalnog opterećenja kontakta. Ovaj porast je najizraženiji kod uzorka bez prevlaka, dok kod uzorka sa prevlakom dolazi do stabilizacije njegove vrednosti

pri brzinama klizanja većim od v  $\approx$  80 m/min.

- Kod sva tri ispitivana uzorka uočen je pad vrednosti koeficijenta trenja sa porastom vrednosti kontaktnog opterećenja u celoj oblasti korišćenih brzina klizanja.

- Ako se uporede vrednosti koeficijenta trenja u zavisnosti od primjenjene kontaktnog para, pri konstantnom normalnom opterećenju kontakta, kao najvažniji zaključak, nameće se činjenica, da sa povećanjem brzine klizanja opada vrednost koeficijenta trenja kod uzorka sa prevlakom od TiN, tako da pri vrednosti brzine klizanja v  $\approx$  100 m/min on postaje manji od vrednosti istog za uzorak bez prevlake. Koeficijent trenja uzorka sa prevlakom koji je tretiran Fluxatron-postupkom je manji nego kod netretiranog uzorka sa prevlakom u celoj oblasti korišćenih brzina klizanja.

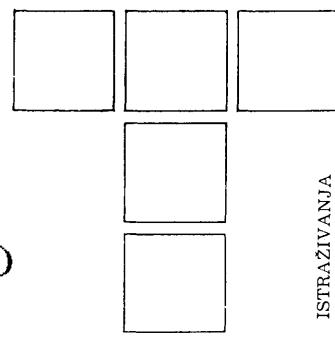
- Rezultati istraživanja procesa habanja kod sva tri izabrana tipa kontaktnih elemenata, jasno ukazuju da je proces habanja najmanje bio izražen kod uzorka sa prevlakom od TiN, kod kojih su registrovane samo promene u topografiji kontaktnih površina, za razliku od uzorka bez prevlake, kod koga je dubina pohabarog sloja veća u proseku za čak 30 puta od iste kod prevučenih uzorka.

- Ovaj rad može poslužiti kao osnova za dalje istraživanje triboloških procesa na kontaktnim površinama metalnih elemenata koje su poboljšane postupcima prevlačenja ili magnetnog fluksa, naročito u oblasti većih brzina klizanja i većih kontaktnih opterećenja, kao i kod dugotrajnijih ispitivanja procesa habanja pri otežanim uslovima podmazivanja.

#### LITERATURA

- [1] B. IVKOVIĆ, Osnovi tribologije u industriji prerade metala, IRO "Gradjevinska knjiga", Beograd, 1983
- [2] B. JEREMIĆ, Prilog izučavanju uticaja dinamičkog opterećenja na proces trenja u tribomehaničkim sistemima, doktorska disertacija, Mašinski fakultet Kragujevac, 1987.
- [3] B. JEREMIĆ, Oplemenjivanje kontaktnih površina tre - nja, Tribologija u industriji, Godina V, broj 3, str. 84.-87., 1983.
- [4] M. BABIĆ, Teorija tehničkog i eksploatacijskog nasledja, štampani materijali sa seminara "Tribologija u industrijskim sistemima", Jugoslovenski komitet za tribologiju, Kragujevac, 1987.
- [5] M. BABIĆ, Savremeni postupci modifikovanja površina (I-IV), Tribologija u industriji, godina IX, brojevi 1-4., 1987.
- [6] N. MILIĆ, Uticaj postupaka završne obrade kontaktnih površina na tribološke procese u zonama kontakta metalnih elemenata, diplomski rad, Mašinski fakultet u Kragujevcu, 1988.
- [7] N.P. SUH, Tribophysics, Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliffs, New Jersey 07632, 1986.
- [8] J. JABLONOWSKI, Pulsed magnetism boosts tool life, American Machinists & Automated Manufacturing, A McGraw-Hill magazine.
- [9] H. CZICHOS, Tribology, a systems approach to the science and technology of friction, lubrication and wear, Elsevier, Amsterdam, 1978.

Y. LI, R. L. HUSTON



ISTRAŽIVANJA

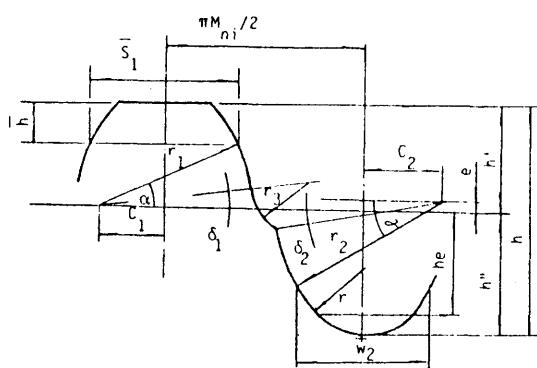
# Proračun i analiza dvostruko kružnog lučnog profila spiralnih koničnih zupčanika

## RAZVOJ KONJUGOVANIH POVRŠINA ZUBACA OBЛИKA KRUŽNOГ LUKA

### UVOD

U novije vreme porasto je interes za razvoj nestandardnih profila zupčanika. Dokazano je da takvi zupčanici imaju značajne prednosti u pogledu veka i čvrstoće u poređenju sa standardnim, involutnim oblicima zubaca. Na primer, pri korišćenju nestandardnih profila zubaca u opremi za bušenje nafte, povećan je vek prenosnika za skoro 300%.

Zupčanici sa profilom od dva kružna luka razvijeni su sa ciljem da se dobiju slična povećanja veka i čvrstoće. Na sl. 1 prikazan je profil takvog zupčanika. Oni su korišćeni u Kini i nekim drugim zemljama. Razvoj pro-



Sl. 1. - Profil sa dva kružna luka

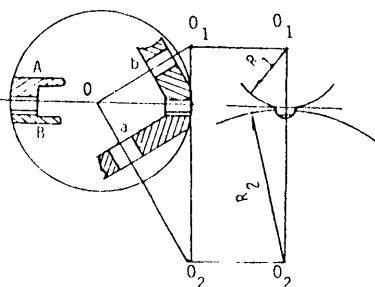
fila sa dva luka zasniva se na iskustvima sa zupčanicima sa jednim kružnim lukom.

Y. Li, Institut za istraživanje zupčanika, Taiyuan Univerzitet za tehnologiju, Shanxi, Narodna Republika Kina.

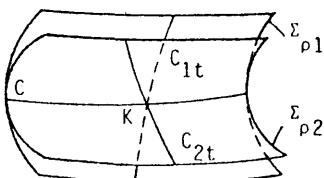
R.L. Huston, Odsek za mašinsko i industrijsko inženjers-tvo, Univerzitet u Sinsinatiju, Sinsinat, Ohajo, SAD.

Postoje dva metoda za razvoj konjugovanih površina zubaca. U jednom od njih, koji se naziva "metodom formiranja profila", zupci se formiraju prekidnim indeksiranjem, pomoću alata čiji oblik odgovara odrazu profila zupca u ogledalu. U drugom, tzv. "metodu generisanja profila", rezni alat deluje kao zubac uzapčenog zupčanika, pri čemu se površina zupca dobija kao obvojnica površine reznog alata.

U slučaju spiralnih koničnih zupčanika sa kružnim profilom, površine zubaca se formiraju pomoćnim kombinovanim površinama, što je prikazano na sl. 2. Konjugovane površine se formiraju generišućim krunastim zupčanicima.



Sl. 2.-Razvoj konjugovanih koničnih zupčanika



Sl. 3.-Razvoj konjugovanih površina pomoću krupnih lukova sa kontaktom u tački

Pošto je poluprečnik krivine konkavnog profila zupca duži od profila konveksnog zupca, površine koje se sparuju biće uzajamno tangentne duž kontaktne linije C, kao što je prikazano na sl. 3. Na toj slici  $\Sigma_{p1}$  i  $\Sigma_{p2}$  označavaju ge-

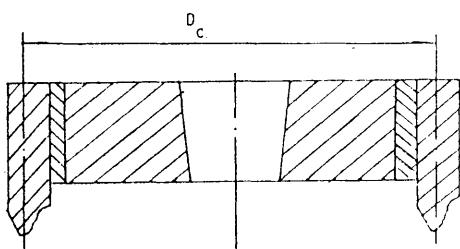
nerišuće površine krunastih zupčanika. Tokom generišućeg kretanja, kontaktna linija  $C_{1t}$  zupčanika 1 i njegov generator, kao i konstantna linija  $C_{2t}$  zupčanika 2 i njegov generator presecaju se u tački K kontaktne linije C. Tačka K je zato tangentna tačka površina  $\Sigma\rho_1$  i  $\Sigma\rho_2$ , kao i generalisanih površina zubaca.

#### KONSTRUKCIJA I IZRADA REZNOG ALATA

Konični spiralni zupčanici sa profilom od dva kružna luka mogu se formirati alatima sa raširenim noževima. Svi alati imaju noževe sa reznim ivicama sa obe strane (spoljašnje i unutrašnje) noža. Noževi su raspoređeni najmanje po obimu alata. Za proizvodnju standardnih spiralnih koničnih zupčanika noževi imaju ravne rezne ivice, dok u slučaju zupčanika sa dva kružna luka, te ivice takođe imaju profil sa dva kružna luka. Unutrašnje i spoljašnje rezne ivice locirane su, respektivno, na istoj prstenastoj površini. Svaka od njih se postavlja tako da simulira ponašanje konveksnih i konkavnih profila. Prema tome, sa izuzetkom samih profila noževa, princip alata sa dvostrukim lukom istovetan je sa principom standardnih alata.

Slika 4 prikazuje princip alata sa dva luka, a slike 5 - 6 detalje profila unutrašnjih i spoljašnjih noževa.

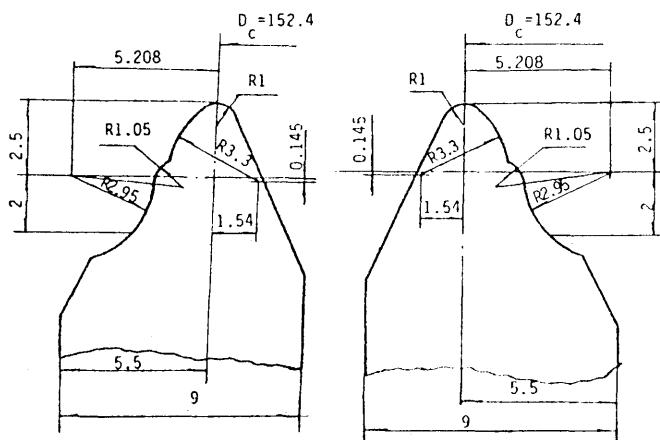
Da bi se tokom oštrenja očuvao prečnik vrha noževa i profil noževa, osa rotacije tocila mora da se poklapa sa osom reznog alata. Ledjni ugao vrha noža bira se tako da se zadrži čvrstoća vrha noža. Unutrašnji i spoljašnji profili reznih noževa raspoređeni su najmanje po obimu alata.



Sl. 4. - Profil alata sa dvostrukim lukom

#### IZRADA SPIRALNIH KONIČNIH ZUPČANIKA SA PROFILOM OBLIKA DVA KRUŽNA LUKA

U procesu rezanja na standardnoj mašini za izradu spiralnih koničnih zupčanika koristi se imaginarni generišući krunasti zupčanik. Taj zupčanik je, ustvari, sam rotacioni alat čiji normalni presek ima oblik željenog profila



Sl. 5. - Spoljašnji profil alata  
Sl. 6. - Unutrašnji profil alata

zupca. Profil zupca se onda dobija kotrljanjem krunastog zupčanika po radnom komadu.

Po završetku izrade jednog medjuzublja, mašina se pomeri za jedan korak, i proces se ponavlja sve do izrade svih zubaca.

Da bi se dobio tačan oblik zupca, primenjuje se metod rezanja sa jedne strane, tj. dve strane zupca se režu odvojeno. Taj metod je najpovoljniji za maloserijsku proizvodnju.

#### POREDJENJE SA DRUGIM ZUPČANICIMA

U literaturi se navode podaci da zupčanici sa kružnim profilom imaju veću nosivost i duži vek trajanja od zupčanika sa involutnim profilom. Neki od istraživanja navode odnos opterećenja od 3 do 4. Zupčanici sa profilom od dva kružna luka razvijeni su na istoj osnovi kao i zupčanici sa profilom od jednog kružnog luka.

U cilju ispitivanja performansi zupčanika sa dva kružna luka, izvršena je serija eksperimenata u kojima su oni uporedjivani sa konvencionalnim spiralnim koničnim zupčanicima involutnog profila. Ispitivani su identični parovi a podaci o geometriji i materijalu dati su u Tabeli 1.

Eksperimenti su izvedeni na mašini za testiranje koničnih zupčanika, čija je šema prikazana na sl. 7. Elementi označeni brojevima navedeni su u Tabeli 2. Zupčanici su ispitivani na  $1450 \text{ min}^{-1}$ .

Zupčanici su opterećivani stepenasto, kao što je prikazano na sl. 8. Zupčanici su prvo podvrgnuti opterećenju od  $184,43 \text{ Nm}$  tokom 26 sati, posle čega je na donj-

em delu (blizu sredine) involutnih zupčanika konstantovan slab piting. Moment je potom povećan na 229,55 Nm i održavan na tom nivou tokom 50 sati.

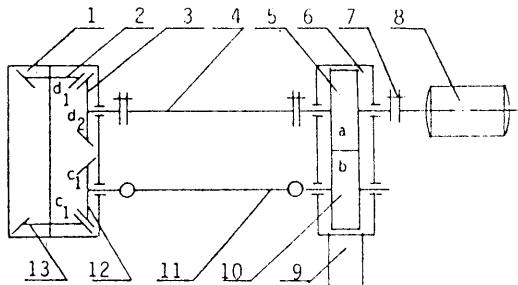
Broj i veličina kratera na involutnim zupčanicima se povećao, dok su površine zubaca sa dvostrukim kružnim profilom ostale relativno nepromjenjene. Konačno, moment je povećan na 278,6 Nm i zupčanici su pod tim opterećenjem ostali 23 sata. Na površinama involutnih zupčanika pojavio se lokalni "spalling", a tokom rada čuo se jak šum. Eksperiment je tada zaustavljen. Pri visokom opterećenju, na zupčanicima sa dvostrukim kružnim profilom došlo je do blagog pitinga.

TABELA 1: Fizički podaci o ispitivanim zupčanicima

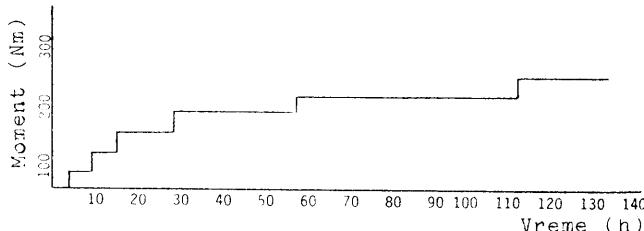
	Spiralni konični zupčanici sa dva kružna luka	Spiralni konični zupčanici sa involutnim profilom
Broj zubaca	30 (svaki zupč.)	30 (svaki zupčanik)
Spoljašnji poprečni modul ( $M_{se}$ ) :	4 mm	4 mm
Unutrašnji normalni modul	2,5 mm	2,5 mm
Srednji ugao spirale ( $\beta$ )	32°48'51"	32°48'51"
Ugao pritiska ( $\alpha$ )	25°	20°
Glava zupca	$0,8 M_{ni} = 2 \text{ mm}$	$0,85 M_{ni} : 2,125 \text{ mm}$
Telo zupca	$1 M_{ni} = 2,5 \text{ mm}$	$1,038 M_{ni} = 2,595 \text{ mm}$
Ukupna visina	4,5 mm	4,72 mm
Spoljašnji prečnik ( $D_e$ )	122,83 mm	122,97 mm
Brinelova tvrdoća	208/123	214/225
Materijal	čelik	čelik

TABELA 2. Elementi mašine za testiranje zupčanika

Broj	Element
1	Ispitivani zupčasti prenosnik
2,3	Involutni spiralni konični zupčanici $d_1$ , $d_2$
4	Vratilo
5,10	Prateći zupčanici
6	Kućište pratećih zupčanika
7	Spojnica
8	Pogonski motor
9	Konzola za opterećenje
11	Sistem vratila
12,13	Spiralni konični zupčanici sa dvostrukim kružnim profilom $C_1$ , $C_2$



Sl. 7. - Šema mašine za testiranje zupčanika



Sl. 8. - Uslovi ispitivanja

#### ZAKLJUČCI

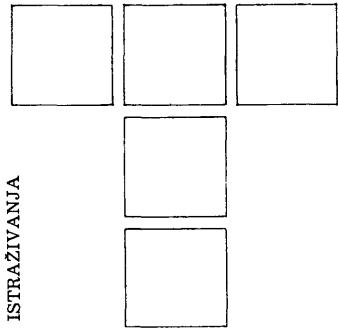
1. Eksperimentalni rezultati pokazuju da spiralni konični zupčanici sa dvostrukim kružnim lukom imaju znatno veću nosivost od uporedivih, običnih spiralnih koničnih zupčanika.

2. Spiralni konični zupčanici sa dvostrukim kružnim

lukom mogu se proizvoditi na istim mašinama kao obični spiralni konični zupčanici.

3. Najznačajniji faktor za preciznu izradu zupčanika je pažljivo izbrušen rezni alat.

4. Konačno, očekuje se da će spiralni konični zupčanici sa dvostrukim kružnim lukom imati bolji odnos snaga/težina i povećan vek u odnosu na obične spiralne konične zupčanike.



S. SEKULIĆ, P. KOVAC

# Korelacija izmedju pojedinih parametara hrapavosti pri čeonom glodanju

## 1.0. UVOD

Veza izmedju pojedinih parametara hrapavosti najčešće se daje u vidu prostih zavisnosti nezavisno od vrste obrade i materijala obradka, kao i ostalih uslova, koji prate proces obrade. Tako se npr. veza izmedju najveće visine neravnina i srednjeg aritmetičkog odstupanja profila od srednje linije, odn. njihove numeričke vrednosti daju tablično (nemačka norma DIN 4767/70), a izmedju srednje visine neravnina u deset tačaka i srednjeg aritmetičkog odstupanja profila od srednje linije, jugoslovenskim standardom JUS M.A1.020/79, uz napomenu da su ove približne.

Zavisnost izmedju najveće visine neravnina i srednjeg aritmetičkog odstupanja profila od srednje linije  $R_{max} = f(R_a)$ , predstavljena je u eksponencijalnom obliku [1]

$$R_{max} = 6,1595 R_a^{0,98}$$

nezavisno od vrste i uslova pod kojima se obrada izvodi. Obzirom da je eksponent u poslednjoj zavisnosti blizak jedinici može se zaključiti da izmedju najveće visine neravnina i srednjeg aritmetičkog odstupanja profila postoji direktna proporcionalnost, tj.  $R_{max} \approx 6,16 R_a$ .

Pri završnoj obradi na strugu, tačnija veza izmedju najveće visine neravnina i srednjeg aritmetičkog odstupanja profila od srednje linije i procenat nošenja i srednjeg aritmetičkog odstupanja profila od srednje linije, potražena je u eksponencijalnom  $R_{max} = B R_a^{\alpha}$  i linearном obliku  $R_{max} = a R_a + b$ , odn.  $p_n = B R_a$  i  $p_n = a R_a + b$ . Regresiona analiza, eksperimentalnih vrednosti, ukazuje na jaku koreacionu vezu izmedju nezavisne i zavisne promenljive, obzirom da su u svim zavisnostima pripadajući koeficijenti korelacije vrlo visoki [2, 3, 4]. Pored obrade na strugu učinjen je pokušaj određivanja veze izme-

dju parametara hrapavosti pri obradi brušenjem, pri čemu su analizirane obrade pri klasičnom brušenju i na punu dubinu brušenja [5].

U ovom radu potražena je veza izmedju najveće visine neravnina i srednjeg odstupanja profila od srednje linije pri obradi čeonim glodanjem, u eksponencijalnom

$$R_{max} = B R_a^{\alpha}$$

i linearnom obliku

$$R_{max} = a R_a + b$$

## 2.0 EKSPERIMENTALNA ISTRAŽIVANJA

### 2.1 Parametri koji utiču na hrapavost obradjene površine

Kvalitet obradjene površine nakon završne obrade ima primarni značaj na eksploracijske karakteristike obratka (tačnost i kvalitet obradjene površine). Kvalitet obradjene površine karakterišu veliki broj parametara kao što su geometrijski i kinematski parametri, deformacije strugotine, stanje dinamičkog sistema - mašina alatka, pribor, obradak i alat, stanje pohabanosti reznog klin alata, itd.

Prilazi pri ispitivanju hrapavosti obradjene površine mogli bi se podeliti u tri grupe: 1. geometrijski modeli, 2. modeli na bazi habanja alata i drugih pratećih uticaja i 3. modeli koji baziraju na teoriji višefaktornog plana eksperimenta.

Geometrijske i eksperimentalne modele pri rezanju "oštrim" alatom razradjivali su: Schmaltz (1936), Opitz i Moll (1940), Galoway (1945), Beleckij (1946), Skragan (1947), Takenaka (1951), Krivouhov (1958), Bramertz (1961), Olsen (1968), Polaja (1952 do 1972), Sekulić (1958 do 1979), Fischer (1971).

Uticaj koncentrisanog habanja i drugih parametara na hrapavost obradjene površine proučavali su: Galoway (1945), Akinaci (1949), Pekelharing i Schuerman (1953), Thompson, Scott i Stabler (1953/4), Šolaja (1957 do 1972), Branertz (1961), Sekulić (1968), Pekelharing i Giesen (1967 do 1971), Selvam i Radhakrishnan (1973 i 1976), Snunmugan (1974), Lonardo (1976), Railey (1977), Wallbank (1979), Monheim (1980).

Statistički prilazi određivanju zavisnosti hrapavosti obradjene površine na osnovu višefaktornog plana eksperimenta razvili su Rasch (1971), Kuljanić (1971), Taraman (1974 do 1977), Massirpour i Wu (1977), Mišković (1978), Sekulić i Kovač (1979), Kovač (1980) [6], Kovač i Sekulić (1981) [7,8].

## 2.2. Matematički model korelacione veze

U cilju određivanja korelace veze između najveće visine neravnina i srednjeg aritmetičkog odstupanja profila od srednje linije sistematizovan je obimni eksperimentalni materijal vezan za ispitivanje dve vrste čelika alatom sa različitim poluprečnicima zaobljenja vrha  $r$ , pri različitim vrednostima režima rezanja (pomak  $s$ , brzina  $v$  rezanja i dubina rezanja  $\delta$ ) i vremena rezanja  $t$  (parametar  $t$  uzima u obzir stanje reznog klina vezano za njegovu pohabanost).

Korelace veze zatražene su u eksponencijalnom i linearном obliku

$$Y = B X^{\alpha}$$

i

$$y = ax + b$$

Ako prvu jednačinu logaritmujemo dobijemo

$$\log Y = \log B + \alpha \log X$$

Označimo li sa

$$y = \log Y ; \quad x = \log X ; \quad b = \log B$$

u logaritamskoj mreži, takođe, dobijamo linearu zavisnost  $y = ax + b$ , pa se u oba slučaja primenjuje identična procedura pri obradi eksperimentalnih podataka (u prvom slučaju se unose logaritmi, a u drugom neposredno parametri hrapavosti).

Primenjujući metodu najmanjih kvadrata na linearu zavisnost oblika

$$y = ax + b$$

tj. da je zbir kvadrata pojedinih grešaka  $\Delta_i$  minimalan [5]

$$(\sum \Delta_i^2)^{min}$$

dolazi se do sistema linearnih jednačina

$$\Sigma(x_i y_i) = a \quad \Sigma(x_i)^2 - b \Sigma x_i = 0$$

$$\Sigma y_i - a \Sigma x_i - N \cdot b = 0$$

odnosno

$$A_1 a + B_1 b = C_1$$

$$A_2 a + B_2 b = C_2$$

Gde je

$$A_1 = \Sigma(x_i)^2 ; \quad A_2 = \Sigma x_i = B_1$$

$$B_2 = N ; \quad C_1 = \Sigma(x_i y_i) ; \quad C_2 = \Sigma y_i$$

Gornji sistem ima rešenja:

$$a = \frac{D_a}{D} = \begin{vmatrix} C_1 & B_1 \\ C_2 & B_2 \\ \hline A_1 & B_1 \\ A_2 & B_2 \end{vmatrix} = \frac{C_1 B_2 - C_2 B_1}{A_1 B_2 - A_2 B_1}$$

$$b = \frac{D_b}{D} = \begin{vmatrix} A_1 & C_1 \\ A_2 & C_2 \\ \hline A_1 & B_1 \\ A_2 & B_2 \end{vmatrix} = \frac{A_1 C_2 - A_2 C_1}{A_1 B_2 - A_2 B_1}$$

Konstante  $A_1, \dots, C_2$  određuju se tablično, čijom zamjenom se dobijaju numeričke vrednosti za  $a$  i  $b$ .

Koeficijent korelacije iznosi

$$r = a(\sigma_x / \sigma_y)$$

a varijansa x-vrednosti

$$\sigma_x^2 = (1/N) \Sigma x_i^2 - \bar{x}^2 = A_1/B_2 - (A_2/B_2)^2$$

i varijansa y-vrednosti

$$\sigma_y^2 = (1/N) \Sigma y_i^2 - \bar{y}^2 = E/B_2 - (C_2/B_2)^2 ; \quad E = \Sigma y_i^2$$

gde je srednja vrednost nezavisne promenljive

$$\bar{x} = (1/N) \Sigma x_i = A_2/B_2 = B_1/B_2$$

i srednja vrednost zavisne promenljive

$$\bar{y} = (1/N) \Sigma y_i = C_2/B_2$$

Posle odgovarajućih zamena za koeficijent korelacije dobijamo

$$r = \frac{C_1 B_2 - C_2 B_1}{A_1 B_2 - A_2 B_1} \sqrt{\left[ \frac{A_1}{B_2} - \left( \frac{A_2}{B_1} \right)^2 \right] : \left[ \frac{E}{B_2} - \left( \frac{C_2}{B_1} \right)^2 \right]}$$

Ukoliko je koeficijent korelacije bliži jedinici korelacija između promenljivih je jača.

2.3. U s l o v i p r i e k s p e r i m e n t a l n o m  
i s p i t i v a n j u i o b r a d a  
p o d a t a k a

Materijal obradka je bio čelik za poboljšanje Č.1730 (oznaka po DIN C 60) u normalizovanom stanju, tvrdoće 226

*HB*, dimenzija 100x100x600 mm, sledećeg hemijskog sastava: 0,61% C, 0,22% Si, 0,72% Mn, 0,029% S, 0,014% P i mehaničkih karakteristika nakon termičke obrade: jačine materijala na kidanje  $\sigma_M = 800 \text{ N/mm}^2$ , granice razvlačenja  $\sigma_v = 500 \text{ N/mm}^2$  i izduženja  $\epsilon_5 = 14\%$ . Kao alat korišćena je glava za glodanje sa mehanički učvršćenim pločicama od tvrdog metala, proizvodnje "Jugo-alat" - JAL G-750, prečnika Ø 125 mm, kvalitet pločice P 25 (SPAN 12 03 ER), proizvodnje "Prvi partizan") sledeće rezne geometrije: broj zuba  $z = 8$ , napadni ugao  $\kappa = 75^\circ$ , grudni ugao  $\gamma = 7^\circ$ , ledjni ugao  $\alpha = 18^\circ$ .

Obrada čeonim gledanjem izvodjena je na vertikalnoj glodalicu "Prvomajska" FS-CVK-3, pogonske snage 14,5 kW, raspona broja obrta od 88 do 1400  $\text{min}^{-1}$  (18 stepeni).

Parametri hrapavosti  $R_{max}$  i  $R_a$  mereni su na Perto-O-Meter-u type S5P, posredno, uzimanjem otisaka sa obradjene površine (plastična masa "Technovit" 3040, crne boje, proizvodnje "Kulzer", SR Nemačka).

U cilju dobijanja dovoljno pouzdane veze između promenljivih veličina posmatran je statistički reprezentativni uzorak  $N = 100$  50.

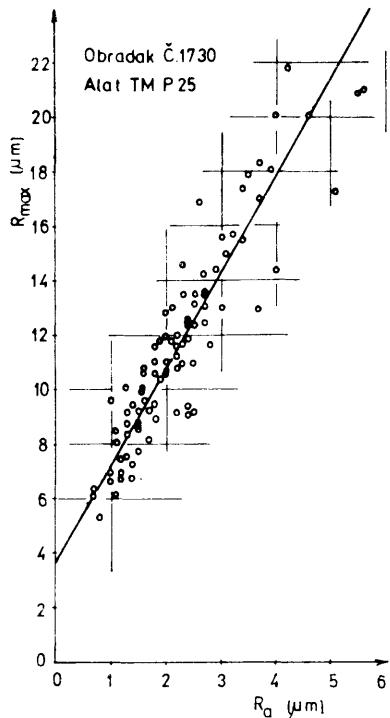
Izmerene vrednosti srednjeg aritmetičkog odstupanja profila od srednje linije  $R_a$  i najveće visine neravnina  $R_{max}$  svrstane su u tabl. T.1, a grafički prikaz dat je na sl. 1 i 2.

TABELA - 1.

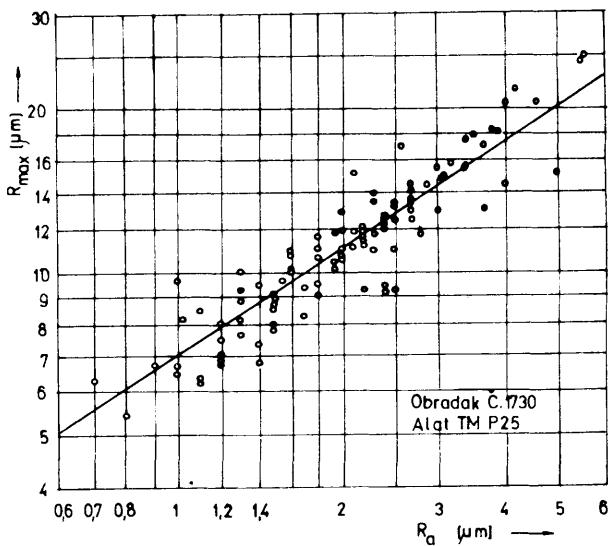
RB	v m/s	Si mm/2	δ mm	t sin	R <sub>a</sub>	R <sub>max</sub>
1.	2,95	0,223	1,50	1	1,2	6,7
2.				9	2,5	9,2
3.				1,6	3,7	13,0
4.				21	5,1	17,3
5.				1	1,5	8,8
6.				7	1,7	9,3
7.				21	2,7	14,2
8.				30	3,1	15,0
9.				1	1,3	9,2
10.				12	1,8	11,6
11.				17	2,1	13,0
12.				22	2,3	14,3
13.				1	1,3	10,1
14.				12	2,0	12,8
15.				22	2,3	13,5
16.				28	2,6	16,9
17.				1	1,3	8,2
18.				13	1,6	10,7
19.				23	1,9	11,8
20.				1	1,5	8,7
21.				15	1,6	10,8
22.				25	1,8	11,0
23.				31	2,1	11,1
24.	2,95	0,351	1,50	1	1,6	10,1
25.				7	2,0	10,7
26.				13	2,8	11,7
27.				19	4,0	14,4
28.				1	1,8	10,6
29.				4	2,2	12,0
30.				7	2,5	13,2
31.				11	2,7	13,6
32.				13	2,9	14,4
33.	2,95	0,223	0,67	1	1,0	6,7
34.				8	1,5	8,6
35.				14	1,6	9,6
36.				21	1,9	10,4
37.				1	1,0	6,5
38.				4	1,3	7,6
39.				10	1,8	9,5
40.				15	1,9	10,2
41.				20	1,0	10,6
42.				26	2,2	11,2
43.	2,95	0,223	3,37	1	1,1	8,5
44.				4	1,4	9,5
45.				8	2,0	11,9
46.				13	2,4	12,3
47.				17	2,4	12,4
48.				22	2,5	12,5
49.				24	2,7	14,2
50.				1	1,3	8,8

RB	v m/s	Si mm/2	δ mm	t sin	R <sub>a</sub>	R <sub>max</sub>
51.					7	1,6
52.					15	2,0
53.					23	2,5
54.	2,95	4,142	1,50	1	0,8	5,4
55.					9	1,8
56.					19	2,2
57.					35	2,2
58.					1	0,7
59.					8	1,5
60.					16	2,3
61.					25	2,7
62.					32	3,0
63.	1,83	0,223	1,50	1	1,0	9,6
64.					14	2,7
65.					20	3,4
66.					27	3,9
67.					36	4,6
68.					46	5,5
69.					52	5,6
70.					1	1,1
71.					10	2,7
72.					25	3,7
73.					31	3,8
74.					3,7	4,0
75.					43	4,2
76.	2,32	0,220	2,25	1	1,5	9,3
77.					9	2,2
78.					17	2,1
79.					28	2,4
80.					33	2,5
81.	3,67	0,178	2,25	1	1,2	7,0
82.					8	1,5
83.					15	2,4
84.					20	2,4
85.	4,65	0,223	1,50	1	1,0	6,7
86.					3	1,2
87.					4	1,2
88.					1	1,1
89.					3	1,4
90.					4	1,4
91.	2,32	0,177	2,25	1	0,9	6,7
92.	2,32	0,177	2,25	1	0,9	6,7
93.					20	3,0
94.					28	3,2
95.					40	3,4
96.					45	3,5
97.	2,32	0,178	1,00	1	0,7	6,2
98.					12	1,7
99.					17	2,2
100.					23	2,3

TABELA 2.



Slika 1.



Slika 2.

Na dijagramima su pored regresione prave ucrtane i odgovarajuće eksperimentalne tačke.

Rezultati numeričke obrade podataka, prema iznetom u 2.3, dati su po elementima u tabeli T.2.

Model	$R_{max} = B R_a^s$	$R_{max} = a R_a + b$
$\bar{x}$	2,00938	2,219
$\bar{y}$	10,99780	11,595
$\sigma_{x_2^2}$	1,21848	1,02014
$\sigma_y$	1,10663	15,08950
B	6,92276	-
b	-	3,64468
a	0,66332	3,58284
r	0,92632	0,93158

### 3.0. ANALIZA DOBIVENIH REZULTATA

Nakon obrade eksperimentalnih podataka, prikladnost matematičkih modela vrednovana je preko vrednosti koeficijenta korelacije ali i na osnovu veličine eksponenta u eksponencijalnoj zavisnosti.

Kao što je poznato, ukoliko je koeficijent korelacije bliži jedinici koreaciona veza je jača. Međutim, ako je eksponent u eksponencijalnoj vezi blizak jedinici, ukazuje da između nezavisne i zavisne promenljive postoji linearna zavisnost.

U skladu sa gore izloženim može se generalno zaključiti da su u izvedenim zavisnostima pripadajući koeficijenti korelacije vrlo visoki ( $r \sim 0,92$ ).

U eksponencijalnoj zavisnosti ukoliko vrednost eksponenta nije bliska jedinici linearnu zavisnost bi, u principu, trebalo odbaciti.

Veličina eksponenta u zavisnosti  $R_{max} = B R_a^a$  znatno je manja od jedan i iznosi  $a = 0,66$ , što ukazuje na značajno odstupanje od linearne zavisnosti. Međutim, u linearnom matematičkom modelu  $R_{max} = a R_a + b$ , postignut je vrlo visok koeficijent korelacije  $r = 0,932$ , a kod eksponencijalne neznatno manji ( $r = 0,926$ ).

### 4.0. ZAKLJUČCI

Na osnovu napred izloženog može se zaključiti:

- da se za koreacione matematičke modele, koji povezuju srednje aritmetičko odstupanje profila od srednje linije i maksimalnu visinu neravnina, mogu usvojiti eksponencijalne i linearne zavisnosti, i

- da za ispitivani materijal, u predloženim matematičkim modelima, postoji vrlo jaka koreaciona veza izmedju posmatranih parametara.

- |1| DJAČENKO, P.E., i dr., 1959. O razrobotke projekta međunarodnog standarta na šerohovatost površnosti, Kaočestvo poverhnosti detelej mašin, Trudi seminara po kaočestvu poverhnosti, Sbornik 4, Izdatelstvo AN SSSR, Moskva.
- |2| SEKULIĆ, S., KOVAČ, P., 1986., Korelacija izmedju najveće visine neravnina i srednjeg aritmetičkog odstupanja profila od srednje linije obradjene površine pri završnoj obradi na strugu, Tribologija u industriji, god.VIII, br. 1.
- |3| SEKULIĆ, S., KOVAČ, P., 1987.: Korelacija medzi jednotlivými parametrami drsnosti obrobeného povrchu pri jemnom sústružení, Prednášky 3. Sympózium INTERTRIBO '87, I. diel, April. 27, 1987, Vysoké Tatry.
- |4| SEKULIĆ, S., KOVAČ, P., 1987. Korelacija izmedju procenta nošenja i srednjeg aritmetičkog odstupanja profila od srednje linije obradjene površine pri završnoj obradi na strugu, Zbornik radova Medjunarodnog savjetovanja o novim proizvodnim sistemima i tehnologiji, AMST'87, Okt. 1987., Opatija.
- |5| CEBALO, R., 1987., Korelacija izmedju hrapavosti brušene površine kod različitih posturaka brušenja, Tribologija u industriji, god.IX, br. 2.
- |6| KOVAČ, P., 1980. Hrapavost obradjene površine u funkciji parametara rezanja pri završnoj obradi na strugu, Magistarski rad, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad.
- |7| KOVAČ, P., SEKULIĆ, S., 1981, Sistemski prilaz prime ni višefaktornog plana eksperimenta na kvalitet obradjene površine pri završnoj obradi na strugu, Zbornik radova VI Međunarodne konferencije za proizvodna istraživanja - ICPR '81, 24-29., Avg., 1981., Novi Sad.
- |8| KOVAČ, P., SEKULIĆ, S., 1981., The systems approach to the use of the response surface methodology on the quality of the surface finish in turning, Effectiveness, quality and humanity of production systems, Proc. VI International conference on production research - ICPR 81, Vol. I, Effectiveness of production research system, Aug., 29., 1981, Novi Sad.
- |9| VUKADINOVIC, S., 1973., Elementi teorije verovatnoće i matematičke statistike, Privredni pregled, Beograd.