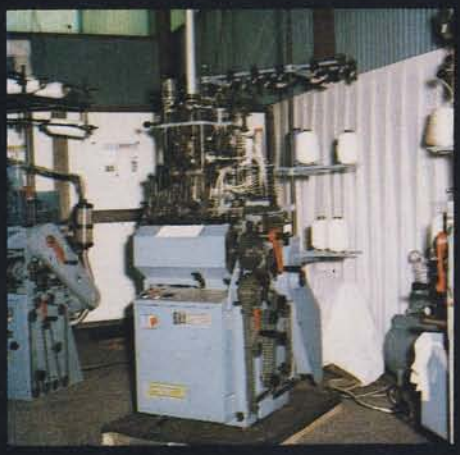
tribologija u industriji

JU ISSN 0351-1642
GODINA I
avgust 1979

2



YU ISSN 0351—1642

GODINA I
BROJ 2.
AVGUST 1979.

tribologija u industriji

sadržaj contents содержание

UVODNIK
INTRODUCTION
ПЕРЕДОВИЦА

B. IVKOVIĆ: Triboloska istraživanja — osnova za optimalno održavanje sredstava rada — Tribological research — the basis for optimal maintenance of produktion equipment — Трибологические исследования — основа оптимального обслуживания средств производства . . 3

ISTRAŽIVANJA
RESEARCH
ИССЛЕДОВАНИЯ

Z. NIKIĆ: Topografija i veličina kontakta površine trenja u obradi urezivanjem navoja — Topography and contact size of friction surface during threads tapping — Топография и величина контакта поверхности трения при нарезании резьбы метчиками 5

Ю. В. СКОРЫНИН, Ю. К. НАСЛЕДЫШЕВ: Osobenosti procesa habanja kliznih vođica pri stepenasto izmenjivom opterećenju — Features of sliding guides wearing processes at the gradually changeable loads — Особенности процесса изнашивания направляющих при ступенчато изменяющйся нагрузке 13

DŽ. OSMANOSKI: Topografija površine obrađene obimnim glodanjem — Topography of machined surfaces by circumferentail milling — Топография поверхности обработанной объомной фрезеровкой . 17

B. JEREMIĆ: Tribološki procesi na kliznim vođicama alatnih mašina u zavisnosti od vrste materijala i ulja za podmazivanje — Tribological processes on machine tool sliding guides in dependence of kind of materials and oils — Трибологические процессы на направляющих скольжения инструментальнных станков рассматриваемые с точки зрения марки материала и смазочного масла 20

M. VOLJEVICA, F. PAVLOVIĆ: Tribološki procesi na upravljačkom mehanizmu — Tribological processes on steering mehanisms — Трибологические процессы на рулевом механизме 26

KNJIGE I ČASOPISI
BOOKS AND JOURNALS
КНИГИ И ЖУРНАЛЫ 32

NAUČNI SKUPOVI
SCIENTIFIC MEETINAS
НАУЧНЫЕ СОБРАНИЯ 34

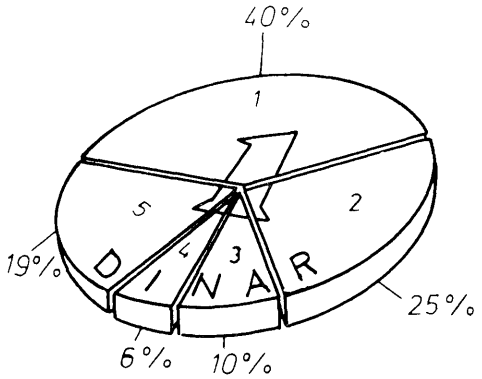
REZIMEA
ABSTRAKTS
РЕЗЮМЕ 36

B. IVKOVIĆ

Tribološka istraživanja — osnova za optimalno održavanje sredstava rada

Vrednost materijalne proizvodnje, koja se stvara u organizacijama udruženog rada proizvodnog karaktera funkcija je, u značajnoj meri, nivoa tehnologije i organizacije održavanja sredstava rada (mašine, uređaji, pribori, alati).

U nizu funkcija, koje egzistiraju u proizvodnom sistemu u kome se proizvodnja ostvaruje obradom metala, funkcija održavanja angažuje, po pravilu, relativno veliki broj radnika, značajnu opremu i čitav niz drugih sredstava, kojima se usporavaju tribološki procesi na kontaktnim površinama kritičnih elemenata (ulja, masti i sl.).



1. Bruto lični dohodci radnika
2. Amortizacija sredstava rada
3. Održavanje sredstava rada
4. Alati
5. Ostali troškovi

Analizom strukture vrednosti jednog proizvoda, koji se stvara u maloserijskoj proizvodnji preradom metala dolazi se do zaključka da posle bruto ličnih dohodaka proizvodnih radnika, troškova alata i troškova mašina — troškovi održavanja, zajedno sa ličnim dohocima radnika, koji ovu funkciju obavljaju, predstavljaju najveći deo novostvorene vrednosti. Na slici je prikazana struktura vrednosti jedinice proizvoda na koju se najčešće nailazi u savremenoj jugoslovenskoj metaloprerađivačkoj industriji.

Struktura vrednosti jedinice proizvoda prikazana na slici pokazuje samo direktnu vrednost funkcije održavanja. Međutim od kvaliteta rada ove funkcije zavise i učešće bruto ličnih dohodaka proizvodnih radnika u novostvorenoj vrednosti, a isto tako i troškovi alata i mašina.

Ovo drugo dejstvo funkcije održavanja na veličinu vrednosti proizvodnje jedinice proizvoda je indirektne prirode. Naime, od kvaliteta održavanja, na primer alata, zavisi njegov ukupan vek trajanja kao i eksploatacijske karakteristike, koje imaju uticaja na nivo ekonomičnih brzina rezanja. Rezni alat, koji je održavan na niskom nivou, uslovljava obradu sa malim brzinama rezanja, a to znači sa velikim vremenom izrade. Broj komada koji se proizvede sa ovakvim alatom na proizvodnoj mašini je manji, pa su troškovi mašine svedeni na jedinicu proizvoda veći. Takođe su veći i bruto lični dohotci radnika koji rade sa ovakvim alatom, jer su oni direktno proporcionalni vremenu izrade komada. Održavanje reznih alata na nedovoljno kvalitetan način smanjuje mogući broj regeneracije alata, odnosno njegov vek trajanja, što dovodi do povećanog opterećenja jedinice proizvoda nabavnom cenom alata.

Tehnologija održavanja, koje praktično nema u domaćoj metaloprerađivačkoj industriji, zasniva se na podacima koji se dobijaju tribološkim istraživanjima u laboratorijskim i proizvodnim uslovima.

Tribološkim istraživanjima u laboratorijskim uslovima dolazi se do saznanja o prirodi procesa habanja i razvoju posledica habanja na kritičnim elementima sredstava rada (mašine, uređaji, pribori i alati) u različitim uslovima rada. Odgovori koji se traže tribološkim istraživanjima u laboratorijskim uslovima, treba da dovedu do saznanja o uticaju opterećenja u zoni kontakta na vek trajanja elemenata u kontaktu, o uticaju brzine relativnog kretanja elemenata u kontaktu na intenzitet razvoja procesa habanja u kontaktnim slojevima i o tribološkim karakteristikama sredstava za hlađenje i podmazivanje, koja su redovno prisutna u zoni kontakta.

Ova saznanja omogućavaju da se za odgovarajuće režime rada mašina i alata prognozira vek trajanja kritičnih elemenata, izabere odgovarajuće sredstvo za hlađenje i podmazivanje, režim podmazivanja i da se projektuje tehnologija održavanja sredstava rada tako da ona mogu maksimalno da budu vremenski iskorišćena u toku godine.

Tribološkim istraživanjem u laboratorijskim uslovima traže se odgovori i na pitanja fundamentalnog karaktera interesantna za razvoj novih materijala od kojih se proizvode sredstva rada (mašine, alati i sl.), kao i za razvoj novih sredstava za hlađenje i podmazivanje. Triboloske karakteristike novih postupaka za oplemenjivanje kontaktnih površina, kojih ima sve više i više, takođe su predmet istraživanja ove vrste u laboratorijskim uslovima.

Pitanja na koja industrijska praksa traži odgovore od triboloških istraživanja u laboratorijskim uslovima svode se najčešće na sledeće:

- koji su to optimalni uslovi eksploatacije proizvodne opreme i alata u određenim uslovima privređivanja, odnosno kojim režimom rada mašine i alati treba da rade da bi troškovi proizvodnje bili najmanji,
- koliko dugo mašina i alat mogu da rade u određenim uslovima i u kojim vremenskim intervalima treba zamenjivati kritične elemente,
- koja su to sredstva za hlađenje i podmazivanje, koja najviše odgovaraju upotrebljenim mašinama i alatima i sa kakvim režimom podmazivanja treba da budu korišćena.

Sva ova pitanja interesuju, pre svega ,one koji se bave eksploatacijom proizvodne opreme i alata, mada su ona interesantna i za proizvođače sredstava rada ove vrste.

Najinteresantnija pitanja na koja proizvođači proizvodne opreme i alata traže odgovore od triboloških istraživanja u laboratorijskim uslovima su:

- koji su to parovi materijala elemenata u kontaktu na kojima će se najsporije razvijati tribološki procesi u toku eksploatacije sredstava rada,
- koji su to postupci oplemenjavanja kontaktnih površina (slojeva) koji obezbeđuju najbolje tribološke karakteristike elemenata mašina i alata u odgovarajućim uslovima eksploatacije,
- koja je to najveća dozvoljena hrapavost kontaktnih površina koja omogućava predviđeni vek trajanja elemenata proizvodne opreme.

Dosadašnja istraživanja kod nas i u svetu dovela su do čitavog niza podataka na osnovu kojih je moguće sačiniti odgovore na neka od navedenih pitanja za odgovarajuće uslove rada. Međutim, kako se uslovi rada neprekidno menjaju (povećavaju se brzine, opterećenja, uvode novi materijali alata i elemenata mašina itd.), to je neophodno sve više razvijati tribološka istraživanja u laboratorijskim uslovima i ona se danas izvode kroz ogroman broj istraživačkih programa u mnogim istraživačkim institutima, univeritetskim laboratorijama i razvojnim jedinicama većih proizvodnih sistema. Tribološka istraživanja u proizvodnim uslovima sastoje se u sistematskom praćenju pojava gubitaka sposobnosti alata, mašina i uređaja za obavljanje njihovih funkcija na način kako se to tehničkom dokumentacijom zahteva. U proizvodnim uslovima nije moguće, u većoj meri, pratiti razvoj procesa habanja kritičnih elemenata mašina i alata, ali je moguće pratiti pojavu kritične pohabanosti, na primer na raznim elementima alata, ili elementima mašina, zbog koje nastaje prekid procesa obrade metala ili proizvodnje u celini. Ako se pri zapažanju pojave kritične pohabanosti na kontaktnim parovima ustanove i uslovi pod kojima je par došao do pojave kritične pohabanosti (vreme rada, opterećenje, brzina, podmazivanje i sl.), onda se može posle određenog vremena dobiti mnoštvo podataka, na osnovu kojih se takođe može projektovati jedan deo tehnologije održavanja sredstava rada i propisati optimalan režim eksploatacije.

Sistematska istraživanja tribološke prirode u proizvodnim uslovima nisu do sada vršena u savremenoj jugoslovenskoj metaloprerađivačkoj industriji, iako postoje izvanredni uslovi za njihovo obavljanje (kadrovi, oprema i sl.). Ovo je jedan od osnovnih razloga postojanja relativno velikih zaliha pojedinih vrsta alata i elemenata mašina u magacinima organizacija udruženog rada uz istovremeno česte zastoje u proizvodnim procesima, koji nastaju zbog nepostojanja mogućnosti da se pojedini pohabani alati, ili elementi mašina, zamene novim u kratkom vremenskom intervalu.

Nedovoljan razvoj triboloških istraživanja u laboratorijskim i proizvodnim uslovima u našoj zemlji, osnovni je razlog nepostojanja kvalitetne (ili čak bilo kakve) tehnologije održavanja sredstava rada.

UDK 621.9.015:621.99

Z. NIKIČ

ISTRAŽIVANJA

Topografija i veličina kontakta površine trenja u obradi urezivanjem navoja

UVOD

Površina čvrstog tela je složeni sistem čija geometrija i struktura zavise od niza uslova. Pod pojmom površine danas smatramo međupovršinu između dve faze, čije osobine zavise od sastava faza koje se sučeljavaju. Geometrijski i strukturni parametri površine se menjaju pri kontaktu sa površinama drugih tela.

Ispitivanja zadnjih godina su pokazala da procese trenja i habanja je neophodno razmatrati kao novo učenje o čvrstim telima, tačnije o razaranju površinskih slojeva u uslovima uzajamnog dejstva čvrstih tela sa okolnom sredinom. Ta sredina može u korenu da izmeni svojstva površine. Danas se ta nauka nalazi u početnom stadijumu svoga razvoja, i mi raspolažemo [1] samo nekim opštim postavkama, koje se mogu iskoristiti pri analizi tih složenih procesa. Tribološki procesi, pri spoljnjem trenju, se manifestuju, pored ostalog, obrazovanjem dodirnih tačaka, usled uzajamnog prodiranja pikova neravnina površina i formiranja u tim tačkama mikroadhezija [2, 3, 4]. Ti se procesi odigravaju pri velikim lokalnim pritiscima na realnim poljima kontakta. Posledica tih procesa su promene koje nastaju na površinskom sloju. Prva grupa promena je u vezi sa geometrijskom konfiguracijom površina (hrapavost, radijus vrha pikova, valovitost, površina kontura). Druga grupa se odnosi na strukturu površinskog i podpovršinskog sloja tela (razvoj defekata kristalne strukture, promena kristalnih rešetki, obrazovanje i rastvaranje karbida, difuzija komponenata iz jednog tela u drugo, samodifuzija, fazne promene). Treća grupa promena je u pojavi obrazovanja adsorbcionih prevlaka na površini trenja (adsorbcija gasa ili SHP iz okolne sredine), hemosorbcionih prevlaka i prevlaka hemijskih jedinjenja (oksidi, sulfidi, karbidi itd.) i metalnih prevlaka prenetih sa kontra tela. Poslednjih godina se poseban značaj daje proučavanju stvarne površine kontakta (problemi u vezi sa ovim biće razmatrani kasnije) koja se zasnivaju na što tačnijem određivanju topografije površine. S obzirom da površina trenja ima veliku hrapavost, to je proučavanje njene topografije veoma otežano [1], te je posebno malo rezultata iz te oblasti.

Svetlosni mikroskopi, odnosno interferometri, su najosetljiviji i najtačniji optički instrumenti koji bi se mogli koristiti za predmetna proučavanja. Međutim, imaju veliki nedostatak: mali im je dubinski fokus.

Savremeni elektronski mikroskopi su neuporedivo većih mogućnosti. Oni imaju bolju osetljivost i mogućnost za proučavanje predmetnih pojava u odnosu na optičke. Posebno je važno što pri povećanju od 1000 puta imaju dubinski fokus do 0,5 mm (što je oko 10^3 do 10^4 više od svetlosnog mikroskopa). Osim toga, na njima je moguće ispitivati realne površine sa jednovremenim skaniranejm te površine.

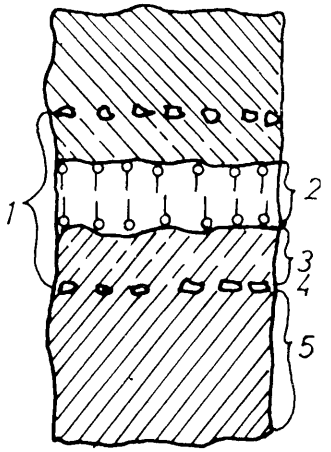
U ovom radu se prezentiraju rezultati istraživanja topografije radnih površina zuba ureznika u promenljivim uslovima rezanja koristeći ALR-SEMQ — elektronski mikroskop. Na bazi dobijenih podataka izvršena je uporedna analiza veličine relativne stvarne površine kontakata.

Ispitivanja su izvedena u Fabrici alata u Čačku i Univerzitetskoj laboratoriji za elektronsku mikroanalizu (ULEMA) u Beogradu.

Rad je nastao u okviru doktorske disertacije i naučnoistraživačkog projekta: Razvoj proizvodnje reznih alata i savremenih tehnoloških postupaka u obradi metala rezanjem. Projekat finansiraju: Osnovna zajednica za nauku regiona Kraljevo, FRA — Čačak i FAD Gornji Milanovac.

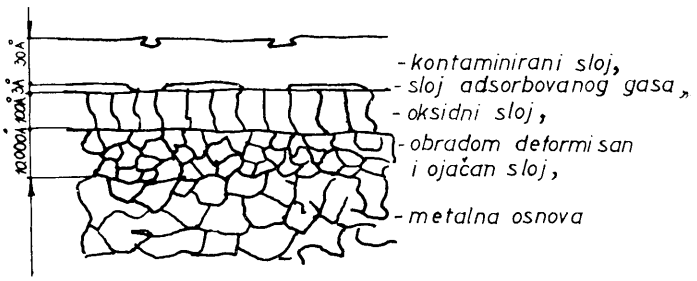
OSOBINE POVRŠINE ČVRSTOG TELA

Frikcioni kontakt se, po pravilu, karakteriše postojanjem, među čvrstim telima, jednog posebnog sloja koji se sastoji od prevlake maziva, oksida, adsorbovane pare i gasa i degradiranog materijala osnove. Taj sloj ima manju otpornost na habanje nego osnovni materijal. Oblast koja se sastoji od prevlake i degradiranog sloja materijala se naziva »treće telo«. Šematski presek kontakta dva čvrsta tela je dat na sl. 1.



Sl. 1. — Shematski prikaz sastava kontakta
1 — treće telo, 2 — adsorbovani sloj,
3 — oksidi i druga hemijska jedinjenja,
4 — razrušeni sloj, 5 — osnovni materijal

Kontaktna površina metalnog tela je predstavljena na sl. 2., prema autorima [5, 6].



Sl. 2. — Površina metala — višestruka granica faza

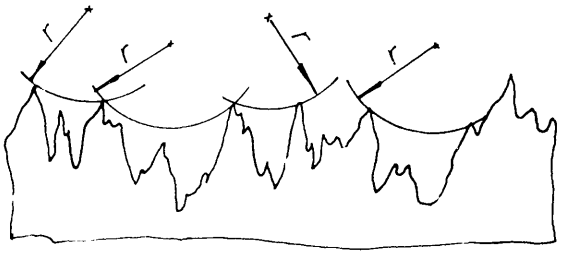
Realna površina čvrstog tela, koja stupa u kontakt, formirana fizički i strukturno, karakteriše se valovitošću (greške oblika) i hrapavošću. **Hrapavost nastaje** pri **obradi površine** usled periodičnog dejstva drugog tela. To su svi slučajevi

obrade pri kojima oblik i posmak alata definišu hrapavost. To su činioci prvog reda. U činioce prvog reda spadaju vibracije i periodično nastajanje i nestajanje naslaga na grudnoj površini alata. Ostali uticajni faktori, činioci drugog reda, su heterogene osobine kristala, postojanje različitih faza i uključaka i dezorijentacija kristalnih ravni [7].

Atomsko-molekularski sastav materije, takođe, uslovljava pojavu izvesnog oblika hrapavosti, takozvanu kristalografsku hrapavost, koja, u karakteristici topografije površine, se javlja kao hrapavost najvišeg reda. Na površini čvrstog tela molekularno-glatku površinu imaju »singularne« površine. One se mogu identifikovati kao male kristalne površine koje su paralelne geometrijskoj, ravnoj površini tela. Na ravnima stvarnog kontakta, pri trenju, se razvijaju visoki specifični pritisci, koji su determinisani jačinom materijala i koji dovode do uzajamnog zadiranja i smicanja pikova neravnina. Ukoliko elementi, pikovi hrapavosti imaju nejednaku visinu, veličina deformacija će biti različita. U zavisnosti od morfografije kontaktnih površina, mehaničkih svojstava tela i adhezionih karakteristika formira se karakter frikcione veze: elastična deformacija, prodiranje, plastično smicanje, rezanje, istiskivanje, otkidanje i obrazovanje i kretanje mikroslojeva.

Opsežna ispitivanja koja su izvedena do danas, u cilju ispitivanja površine čvrstog tela, uglavnom se odnose na proučavanje hrapavosti površine, posle obrade.

Neuporedivo manje radova obrađuje porblem transformacije reljefa površine u procesu habanja, posebno u uslovima visokih pritisaka. To su uslovi na radnim površinama reznog alata u procesu rezanja. Metode za merenje hrapavosti površine se svode na nekoliko osnovnih grupa: optičke metode kosih proseka, metode zasnovane na protoku fluida, metode zasnovane na kopiranju profila površine dijamanskom iglom. (Osnovni nedostatak ove metode je što nema mogućnosti za vizuelnu inspekciju površine i što je zbog relativno velikog prečnika igle, 2,5 — 5 μm, profil idealizovan prema sl. 3. Time je onemogućeno praćenje hrapavosti višeg reda, o kojoj je bilo reči).

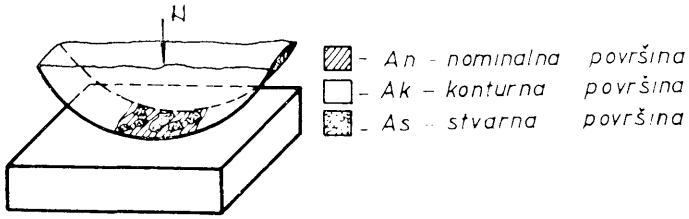


Sl. 3. — Idealizacija stvarnog profila usled konačnih dimenzija pipka

Razvojem skaning elektronskih mikroskopa (SEM) je znatno povećana mogućnost, ne samo za posmatranje površine pri velikim povećanjima, već i za snimanje i registrovanje profila površine na željenom mestu. Ovim radom se, pored ostalog, prezentira jedna nova metodologija merenja hrapavosti površine korišćenjem SEM-a.

PROBLEM STVARNE POVRŠINE KONTAKTA

Jedna osobina spoljašnjeg trenja je diskretnost kontakta površina frikcionog para. Usled valovitosti površine stvarna mesta kontakta će biti na vrhovima bregova. Svaka takva oblast, ograničena kontaktom, u kojoj postoje stvarna mesta kontakta predstavlja elementarnu kontaktnu površinu ΔA_k. Te površine su udaljene jedna od druge za veličinu koraka valovitosti. Suma geometrijskog mesta tačaka stvarnog kontakta, unutar tih površina, je površina stvarnog kontakta. Šematski prikaz je dat na sl. 4.



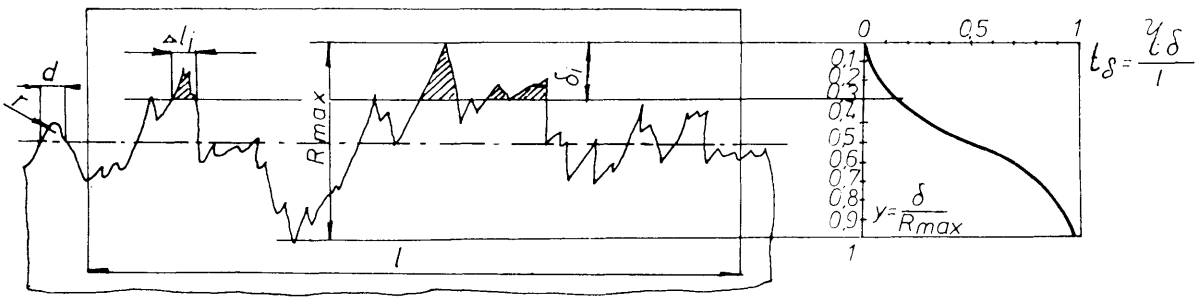
Sl. 4. — Površina kontakta

Danas ne postoji pouzdana i kvalitetna metoda na osnovu koje se može kvantitativno odrediti vrednost površine kontakta. Postoji više metoda na osnovu kojih se može doći do podataka na osnovu kojih se može proceniti veličina površine.

Stvarna površina kontakta može se proceniti pomoću krive površinske otpornosti, sl. 5. Zbog postojanja uzdužne hrapavosti uobičajeno je [2] vršiti korekciju oblika krive površinske otpornosti. Tako se dolazi do krive koja reprezentuje određenu površinu. Do krive se dolazi preko geometrijskog profila. Otuda osnovni uslov za njeno definisanje je kvalitetno registrovanje geometrijskog profila.

Klasičnim metodama to je teško, gotovo nemoguće, postići. Zbog male merne dužine na posmatranoj površini zanemaruje se valovitost površine. Zatim, profil se idealizuje (zbog merne metode) te je nemoguće dobiti podatke o hrapavosti višeg reda.

Savremene teorije trenja i habanja svoja tumačenja sve više zasnivaju, pored ostalog, na definisanju stvarne površine kontakta preko modelirane površine u obliku krive površinske otpornosti. Topografija površine u velikoj meri je uzročnik određenog oblika habanja. Upoznavanje površine na najvišem nivou hrapavosti u uslovima visokih pritisaka, njeno ponašanje u toku procesa trenja je osnovni uslov za rešavanje problema habanja.

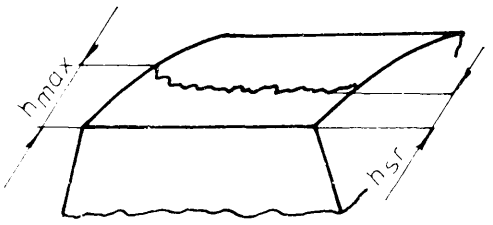


R_{max} - maksimalna hrapavost, r - radijus vrha pika, δ_i - dubina prodora, Δl_i - deo površinske otpornosti, t_δ - relativna površinska otpornost $\gamma_{t_\delta} = \sum \Delta l_i$ - površinska otpornost za prodor δ.

Sl. 5. — Profilogram površine i krive površinske otpornosti

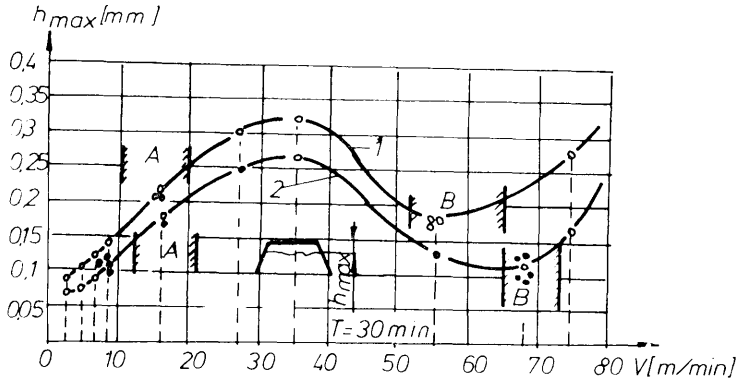
TOPOGRAFIJA RADNE POVRŠINE REZNOG ALATA — UREZNIKA U PROCESU HABANJA

Habanje reznog alata od brzoreznog čelika se odvija po radnim, grudnim i leđnim površinama. U obradi urezivanjem habanje se javlja jedino po leđnoj površini zuba ureznika [10].



Sl. 6. — Slika habanja zuba ureznika

Funkcionalna veza između habanja ureznika i brzine rezanja, poznata kao (hv) kriva, dobijena pri rezanju ugljeničkih konstruktivnih čelika, ima »nemonotni« valoviti oblik [12] prema sl. 7.



Sl. 7. — Promena habanja u funkciji brzine rezanja za ureznik M12 tip A-kriva 1. i za ureznik za navrtke — kriva 2.

Uslovno označeni deo A je područje brzina koje se uobičajeno koriste u proizvodnji. Deo B odgovara području minimuma (h, v) funkcije.

Tumačenje prirode pojave »neometanosti« (h, v) krive zahteva sistematska istraživanja topografije, fizičkih osobina i promena površina habanja u mikro i submikropodručju.

EKSPERIMENTALNI METOD

Istraživačka metodologija, pri ovim istraživanjima, se sastojala u pripremi uzoraka, merenju određivanih veličina na SEMQ-u i definisanju krivih površinske otpornosti, koje su poslužile kao osnova za proračun relativnih vrednosti stvarne površine kontakta.

Uzroci za ispitivanje su pripremani u proizvodnim radnim uslovima. Sa ureznicima M12 tap A vršeno je rezanje u ugljeničkom konstruktivnom čeliku Č.1430 (C ~ 0,35%, σ_m = 60 + 5 KN/cm²) navrtki JUS M.B1.601-M12 6H. Visina navrtke Hn = 10 mm. Materijal uzreznika Č.9780, tvrdoće 64 + 1 HRC. Geometrijski elementi uzreznika su: $\gamma = 12^0$, $\varphi = 4^0\ 40'$. Ureznici su iz iste šarže, sistematski prekontrolisani prema uobičajenom postupku kontrole. Urezivanje je izvođeno na mašinama »Gewinomat — WMW«, DDR (do n = 400 o/min) i na stubnoj bušilici. Sredstvo za hlađenje i podmazivanje- SOL 40 — 5% rastvor, Q = 4 lit/min.

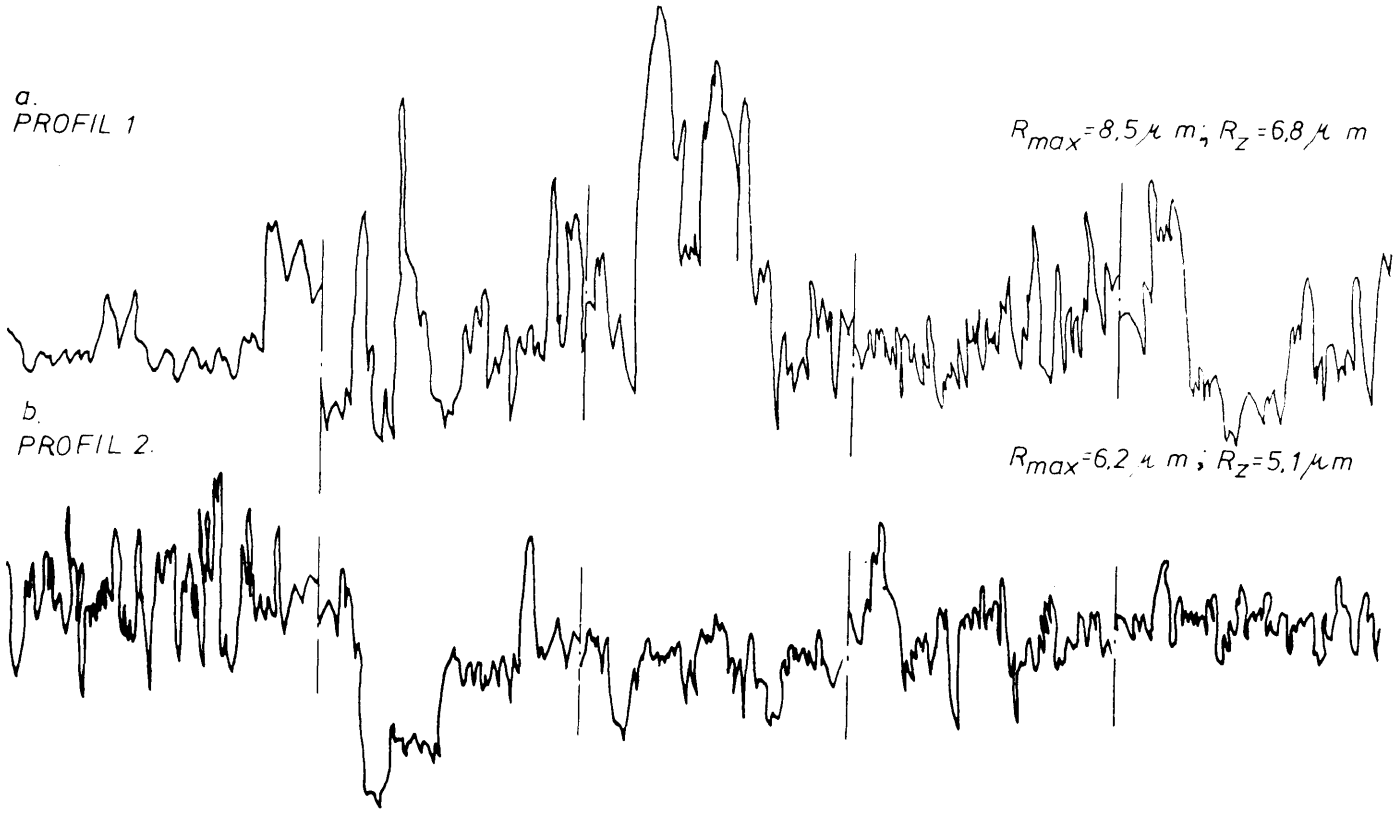
Rezanje je vršeno do određene širine pojasa habanja h = 0,22 — 0,26 mm. Rađeno je sa osam brzina rezanja: v = 2,7; 6; 9; 17; 27; 36; 35 i 75 m/min.

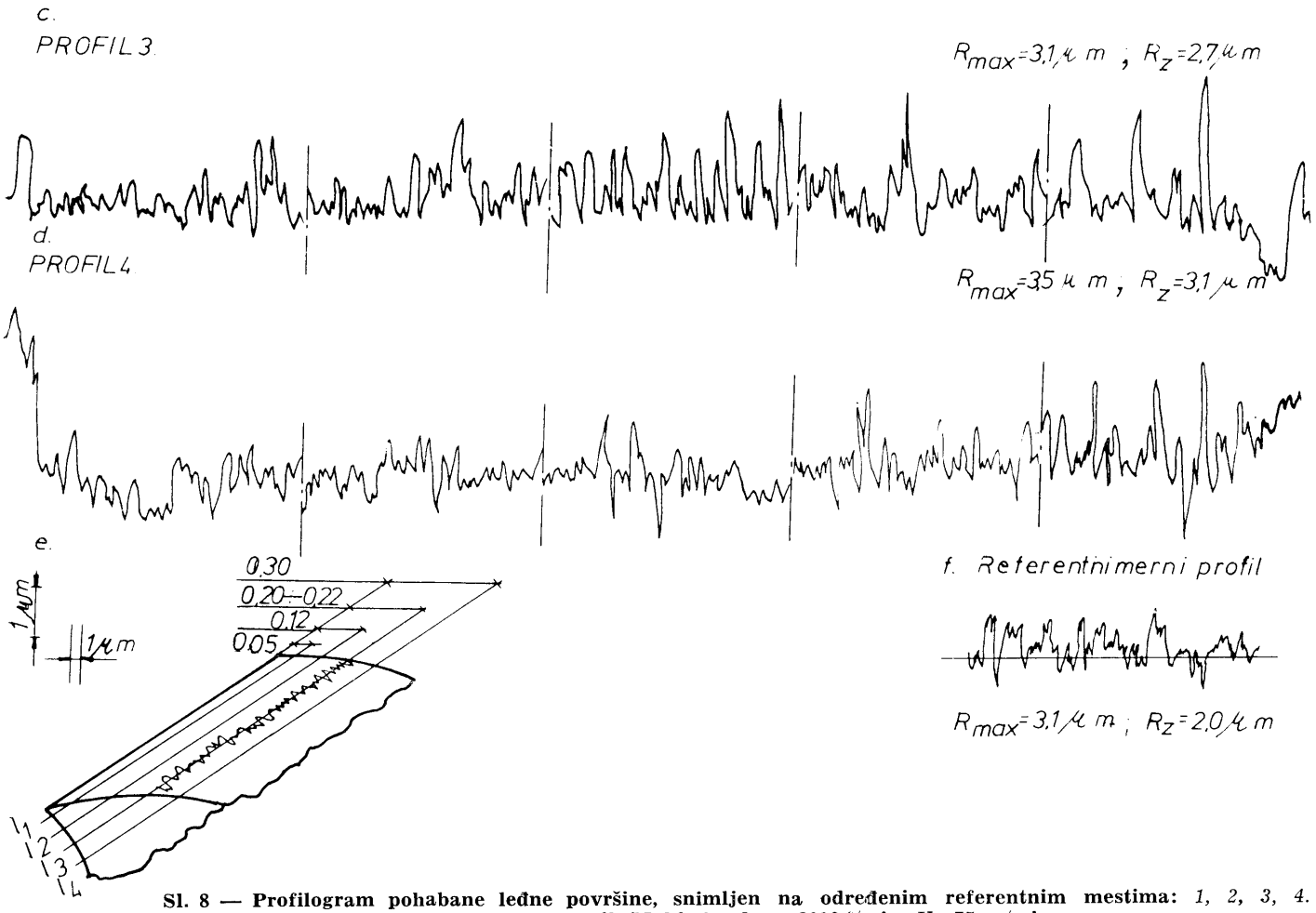
Isecanjem dela mosta (sva tri), u okolini 3. 4. i 5. zuba ureznika, uzimani su uzorci koji su reprezentovali neko zamrznuto stanje površine trenja.

Prvo su snimani profili brušene leđne površine zuba ureznika, uz pojas habanja, na uređaju za merenje hrapavosti Perthometar W5B — Mahr, BDR, sa dijamantskom iglom Ø 2,5 μm. Ovi podaci su bili referentna baza za upoređivanje profila tih istih površina snimljenih na SEMQ-u.

SEMQ, koji je korišćen pri ovim istraživanjima je firme Aplied Research Laboratories (ARL), USA. Ova vrsta uređaja razvijena je tek zadnjih godina i predstavlja zadnje dostignuće u ispitivanju topografije, strukture i lokalnog hemijskog sastava materijala.

Pri radu na SEMQ-u vršeno je jednovremeno skaniranje površine i skidanje profila sa svih reprezentnih zuba eksperimentalnih ureznika. Merna, referentna mesta na pohabanoj leđnoj površini zuba su data na sl. 8.e, 1 = 0,05 mm, 1_2 = 0,12 mm, 1 = 0,20 — 0,22 mm i 1 = 0,3 mm. Pri snimanju svakog zuba, profil na rastojanju 1_1 je uziman kao referentni profil (brušena leđna površina), sl. 8. d.





Sl. 8 — Profilogram pohabane leđne površine, snimljen na određenim referentnim mestima: *1, 2, 3, 4.* **Referentni brušeni profil: ureznik M12A, 4 zub** n**=2000 o/min;** V**=75 m/min.**

Ovaj profil, preko parametra R_z (srednja maksimalna hrapavost), je upoređivanjem sa profilom dobijenim na Perthometru sl. 8. f., služio kao osnova za definisanje vertikalne apsolutne vrednosti na profilogramima, sl. 8. a, b i c.

Pri radu na elektronskom mikroskopu vrednost koordinata x i y se određuje sa izuzetnom tačnošću. Pri definisanju koordinate z, vertikalne razmere, može se to postići preko kalibriranog etalona. Takav postupak je povezan sa nizom problema, te postoje mogućnosti grešaka. Stoga se autor odlučio na ovaj novi, uporedni postupak. Posebno se ističe pozitivna strana ovoga, što je eltalon, ustvari, eksperimentalni uzorak, te su greške u vezi sa kalibriranim etalonom izbegnute. Na ovaj način izbegnuta je greška merenja eltalona te obzirom na povećanje, ulazi u opseg greške reda veličine 100 Å.

Ranije je napomenuto da se pri konstrukciji krive površinske otpornosti vrši korekcija zbog uzdužne hrapavosti (postupak Johansona [2]).

Time se postupak svodi na oblik matematičkog modeliranja. Koristeći mogućnosti SEMQ-a razrađen je jedan novi postupak konstrukcije krivih površinske otpornosti. U okolini referentnog mernog mesta, zahvaljujući mogućnosti skaniranja površine i snimanja profila na željenom mestu, vršeno je snimanje većeg broja (od 4 do 6 merenja na rastojanju od 5 μm) profila. Za profil, na datom referentnom mestu, je prihvaćena srednja vrednost profila, odnosno, njegovih parametara i krive površinske otpornosti.

Merna dužina, pri horizontalnom povećanju od 500 puta, na svim referentnim dužinama je l_{l0} = 0,98 mm. Na sl. 8. a, b, c i d su prikazani delovi profilograma, uzetih slučajnim izborom, sa naznakom parametra R_z i R_{max}.
Profilogrami i ostali crteži na sl. 8. su dobijeni pri ispitivanju ureznika koji su radili sa n = 2000 o/min v = 75 m/min i predstavljaju deo istraživanja kojima se ilustruje postupak rada.

REZULTATI ISTRAŽIVANJA

Polazeći od profilograma, određenih na izloženi način, za sve eksperimentalne brzine, definisane su vrednosti parametara R_z i R_{max} za celu površinu habanja, raspored pikova u pravcu normalnom na površinu habanja i krive površinske otpornosti.

Na sl. 9. 1. i 2. date su srednje vrednosti R i R_{max} za profile a, b, c i d. Na sl. 9. a, b, c i d je prikazan raspored vrhova pikova za odgovarajuća merna mesta (obeleženo sa indeksom 1).

Krive površine otpornosti (KPO), predstavljene na sl. 9. a, b, c i d su dobijene prema dole izloženom postupku, sl. 10., i predstavljaju apsolutne vrednosti. Srednja vrednost krivih, za celu površinu data je na sl. 9. 3.

Na sl. 10. a. su šematski prikazani profilogrami površine na nekom od mernih mesta. Uzdužna hrapavost, njen uticaj na oblik KPO, je uzeta u obzir preko, kao što je ranije napomenuto, snimanja većeg broja profila na referentnoj dužini $l_{l,0}$ i na rastojanju 5 μm.

Tako je dobijena srednja vrednost profila. Na drugom delu slike su date KPO u apsolutnim koordinatama ($R_{l\,l0}$). Na sl. 11. je dat prikaz uticaja brzine rezanja na oblik i veličinu KPO u prostornom koordinantnom sistemu koordinata R_{max}, $l_{l,0}$ i v.

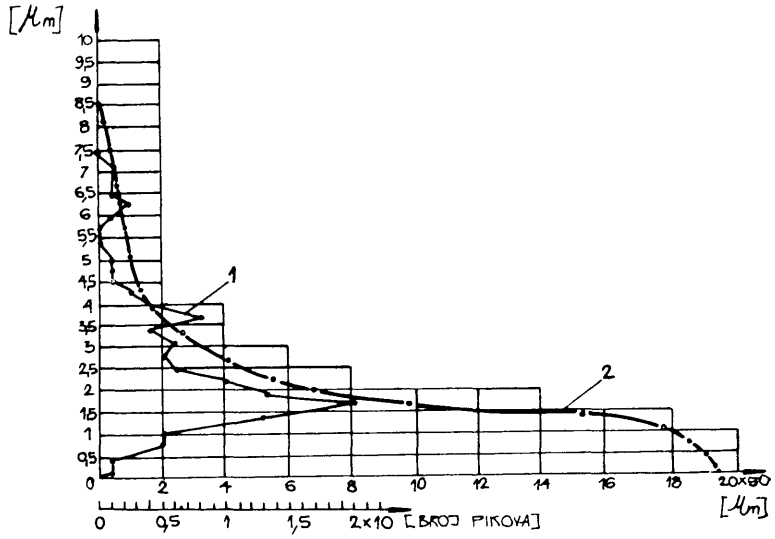
Uticaj brzine rezanja na veličine maksimalne hrapavosti R_{max} i srednje maksimalne hrapavosti R je dat na slikama 12. i 13. Koordinatne ose su R_{max}, v, l_i (merna mesta). Vrednosti hrapavosti za jednu brzinu rezanja su, ustvari, srednje vrednosti većeg broja profila za data merna mesta. Srednja vrednost srednje maksimalne hrapavosti je data na sl. 14.

Da bi se mogao kvantificirati uticaj brzine na veličinu površine kontakta, KPO su, preko apsolutnog koordinatnog sistema, date u relativnim koordinatama, prema ranije izloženom postupku, ξ i t_δ:

$$\xi = 1 - \delta/R_{max} \quad \text{i} \quad t_\delta = l_{ld}/l$$

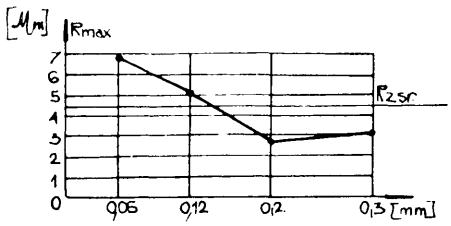
Sl. 9. — Krive površinske otpornosti i raspored vrhova pikova profila pohabane površine ureznika M12A, 4. zub pri $n=2000^0$/min i $V=75$ m/min (a, b, c i d) i raspored Rz i R max za profile a, b, c i d (sl. 9.1 i 9.2).

Srednja vrednost površinske otpornosti i vrhova pikova — 9.3

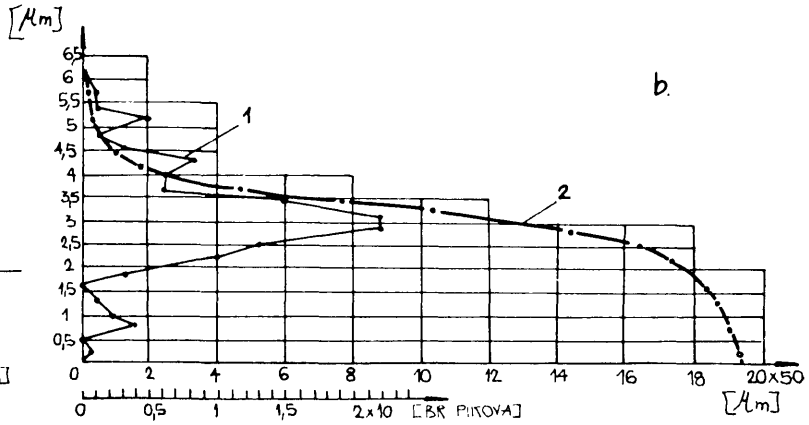


$$R_z^{sr} = \frac{R_z^1 + R_z^2 + R_z^3 + R_z^4}{4} = 4,475\,[\mu m]$$

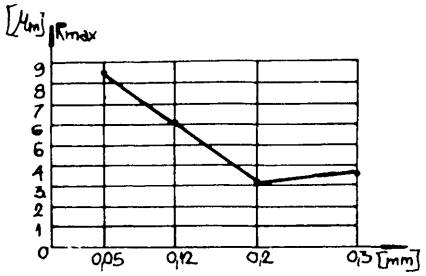
1.



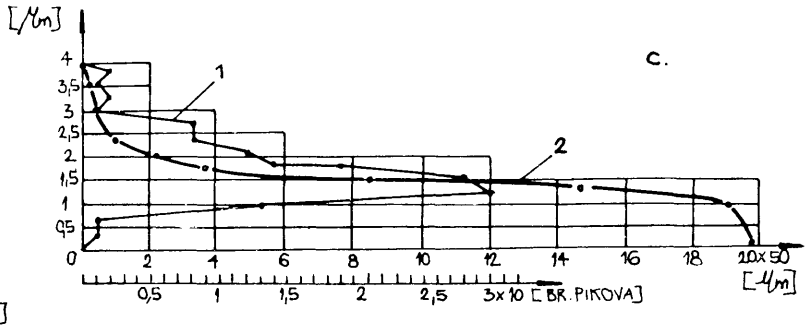
b.



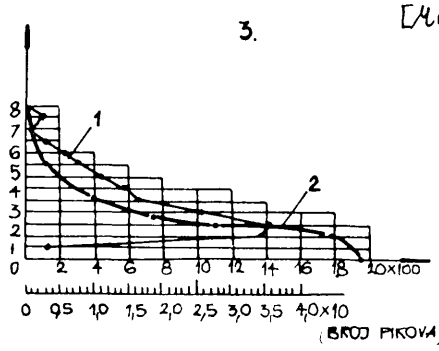
2.



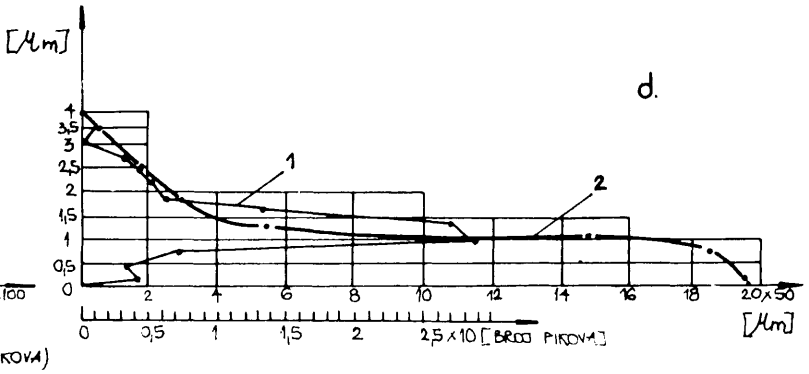
c.

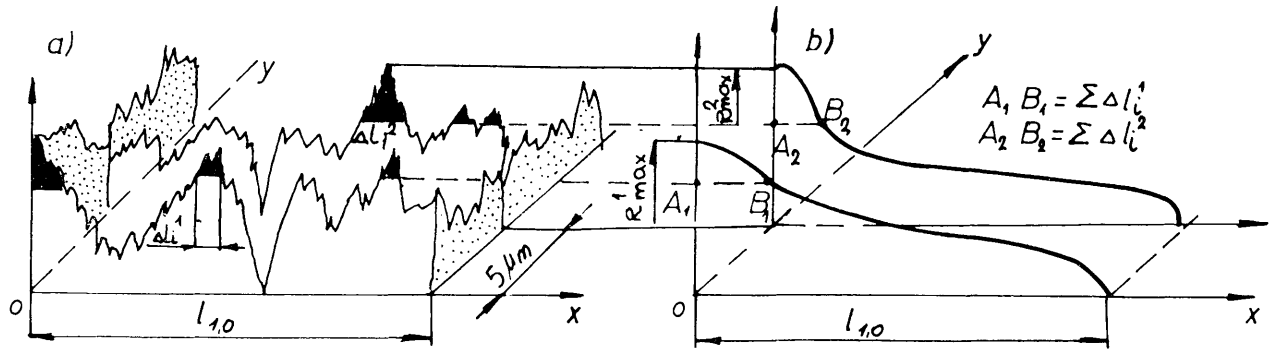


3.

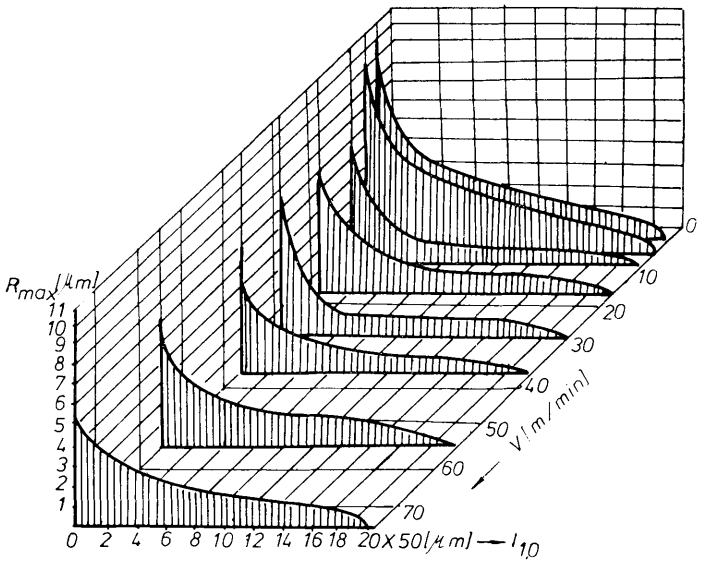


d.

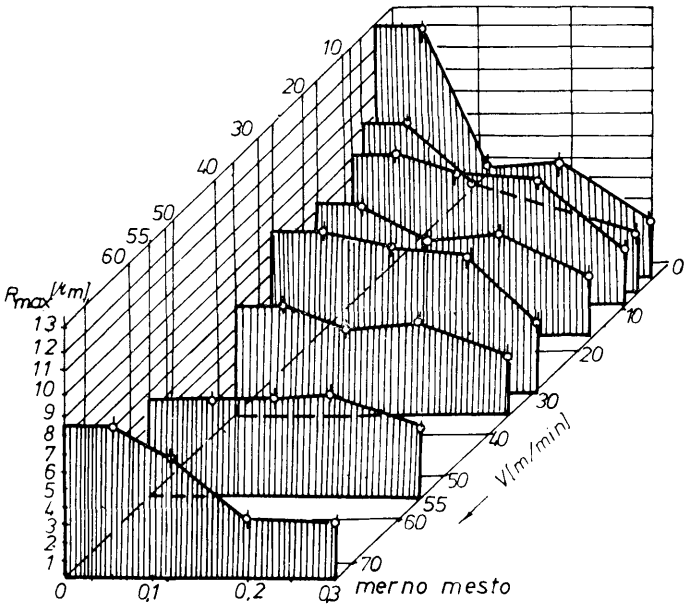




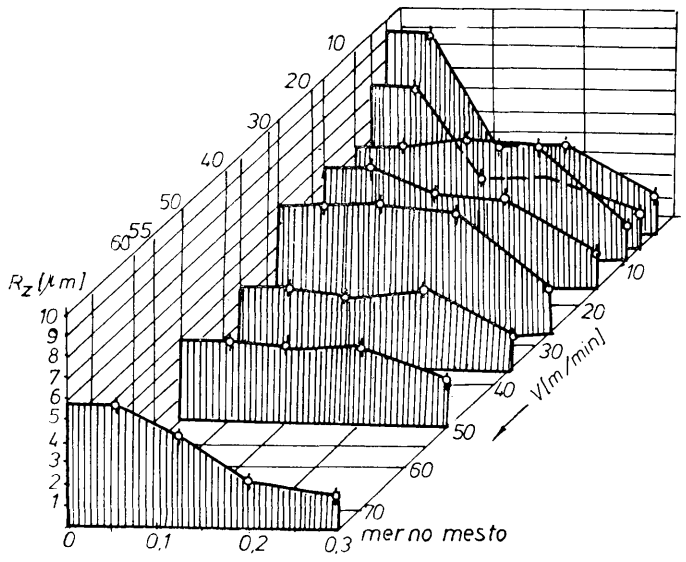
Sl. 10. — Šematski prikaz profilograma površine trenja u vezi sa metodologijom merenja i korekcijom usled uzdužne hrapavosti (sl. a) i KPO u apsolutnim koordinatama za odgovarajuće profile



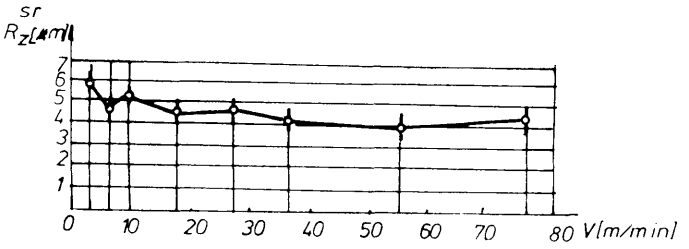
Sl. 11. — Apsolutne srednje vrednosti krivih površinske otpornosti u koordinatnom sistemu R_{max} (srednje), v i l_i



Sl. 13. — Srednja maksimalna hrapavost u funkciji brzine rezanja



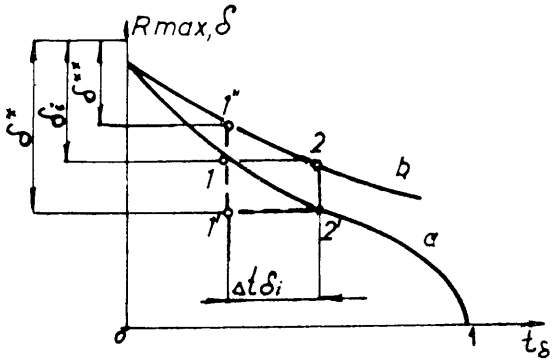
Sl. 12. — Maksimalna hrapavost u funkciji brzine rezanja



Sl. 14. — Srednja vrednost srednje maksimalne hrapavosti u funkciji brzine rezanja

Usled relativnog kretanja jedne kontaktne površine u odnosu na drugu kontakt, odnosno stvarna površina, se ne ostvaruje samo na račun plastične deformacije pikova hrapavosti. Procesi kontakta su praćeni elastičnim deformacijama i smicanjem jednog broja pikova, posebno u oblasti visoke — submikrohrapavosti. Usled toga, pri istom približenju površine, koje odgovara nekom normalnom naponsko-deformacionom stanju, stvarna površina kontakta je veća i obrnuto.

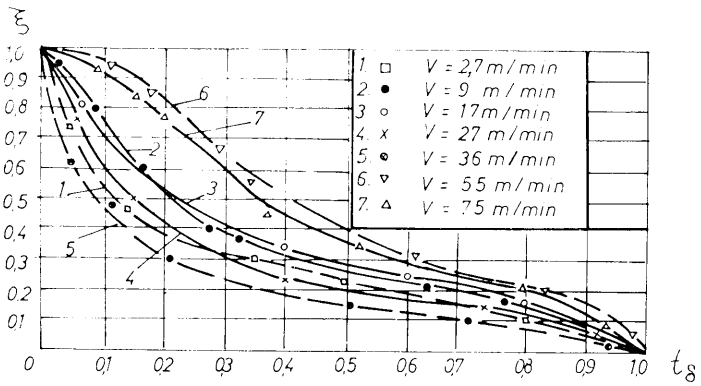
To povećanje površine △ t_5 determiniše novu tačku 2, na nekoj novoj krivoj površinske otpornosti (b) prema sl. 15.



Sl. 15. — Priraštaj SPK usled dopunskog tangencijalnog naprezanja pri trenju

Kada ne bi bilo smicanja i elastičnih deformacija, veličina primicanja bi bila δ^*, te bi se nalazila u tački 1'. Usled dopunskih delovanja elastičnih deformacija i smicanja, za date uslove, veličina primicanja je definisana tačkom 1" na krivoj (b) — δ^{**}.

Ovakav pristup odgovara postavci o povećanju SPK usled delovanja tangencijalne sile pri relativnom kretanju.



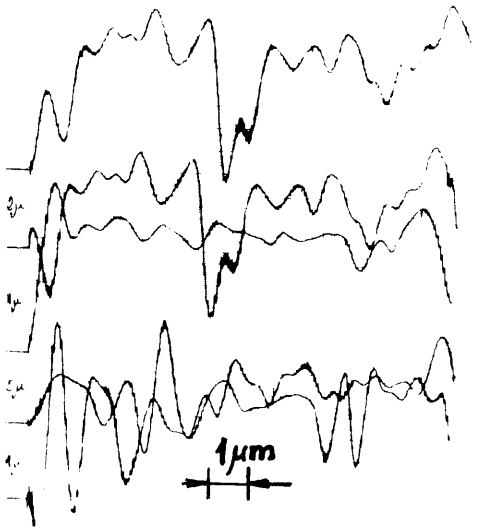
Sl. 16. — Krive površinske otpornosti u relativnom koordinatnom sistemu u funkciji brzine rezanja

Oblik KPO na sl. 16. nam ukazuje da su krive, koje odgovaraju brzinama rezanja za koje »nemonotona« (h, v) kriva ima minimum habanja (v = 55 i v = 75 m/min), sa najvećim indeksom površinske otpornosti. Za druge brzine rezanja krive su, posebno u prvom delu koji je i interesantno područje, dosta »oštrije«. Maloj promeni relativne površine $\triangle t_\delta$ odgovara velika promena δ. Ta promena se, znači, obzirom na morfologiju površine, dešava na manjem broju pikova u obliku deformacije i intenziviranog smicanja. To sve ima za posledicu neko uvećano habanje.

Položaj krivih 1, 2, 3, što je kasnijim istraživanjima dokazano, je u vezi sa promenama u deformacionom sloju trećeg tela. Spoljnje trenje je karakteristično za velike brzine. U ovom području se odigravaju procesi unutrašnjeg trenja u zoni materijala predmeta obrade sa različitim posledicama po površinu alata.

S obzirom da je to problem koji zahteva drugojačiji pristup to se ovde neće više razmatrati i biće predmet jednog od narednih radova.

U vezi sa često pominjanim terminom hrapavosti najvišeg reda, submikrohrapavost i sl., na sl. 17. daje se oblik submikrohrapavosti površine alata dobijene pri naznačenim



Sl. 17. Profil površine habanja zuba ureznika pri n = 2000 o/min

uslovima. Na snimku je data i relativna razmera. Uočavaju se promene usled uzdužne hrapavosti (ovaj termin se može prihvatiti, obzirom na povećanje, samo uslovno radi objašnjenja), kao posledica snimanja profila na rastojanjima 2, 1, 2, 2, 1μm. Jednom mikrometru obzirom na razmeru fotografije odgovara, 18 mm na osnovnoj milimetarskoj papirnoj traci.

Poznajući KPO i definišući naponsko-deformaciono stanje trećeg tela u pocesu trenja i habanja moguće je odrediti stvarnu površinu dodira.

ZAKLJUČAK

Kako je stvarna površina kontakta osnovna i polazna veličina za proučavanje i tumačenje triboloških procesa to je njeno definisanje i jedan od primarnih zadataka.

S druge strane, njeno kvantificiranje je vezano sa nizom nerešenih problema u vezi sa metodologijom i instrumentacijom.

Jedan od postupaka budućnosti, za određivanje stvarne površine kontakta je baziran na njenoj topografiji. Obzirom na postojanje hrapavosti višeg reda i na postojanje i razvoj tribo-procesa baš u ovom području, potrebno je usavršavati metodologije kojima se definiše ta topografija. Primenom najsavremenijih SEMQ je moguće, kao što je pokazano u radu, definisati površinu sa izuzetnom velikom tačnošću, u oblasti submikroveličina, sa jednovremenim praćenjem i identifikovanjem promena na toj površini: mikroadhezija, mikrokrzanja, singularnih površina i sl.

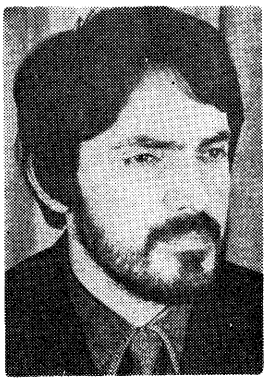
Krive površinske otpornosti je potrebno konstruisati, kao posledicu prostornog položaja površine, »skidanjem« stvarnog profila sa većeg broja ispitivanih mesta.

Relativne krive površinske otpornosti mogu da posluže kao baza za upoređivanje površina trenja u promenljivim uslovima rezanja. Preko njih, uz dopunsko znanje o deformacionim uslovima, moguće je, najpre, doći do apsolutnih vrednosti o veličini stvarne površine kontakta u procesu trenja i habanja.

ЛИТЕРАТУРА

1. КРАГЕЛЬСКИЙ И., Основы расчетов на трение и износ, Машиностроение, Москва, 1977.
2. КРАГЕЛЬСКИЙ И., Трение и износ металлов, Машгиз, Москва, 1974.
3. BOWDEN P. and TABOR D., Tre friction and lubrication of solidr, Oxford, 1964.
4. ДЕРЯГИН Б. и др., Адгезия твердых тел, Наука, Москва, 1977.
5. КОСТЕЦКИЙ И., Трение, смазка и износ в машинах, Техника, Киев, 1970.
6. RABINOVICZ E., Friction and wear of materials, Department of M. E. Massachusetts, 1965.
7. МАКУШОК М. и др., Массоперенос в процессах трения, Наука и техника, Москва, 1978.
8. КРАГЕЛЬСКИЙ И и ДЕМКИН Б., Определение фактической площади касания шероховатих поверхностей, Трение и износ, в машинах, Москва, 1960.
9. SHAU M. and DIRKE O., On the wear od cuttang tools, Microtecnic, 10, 1956.
10. NIKIĆ, Z., Tribološki procesi na reznim elementima ureznika, BIAM, Zagreb, 1976.
11. REHME H., Spectroscopis microanalysis using the scanning electron microskope. Siemens review XLIV, Munich, 1977.

Mr ZORAN B. NIKIĆ, dipl. inž.
profesor na VTŠ u Čačku



Rođen 1936. godine. Po završenom fakultetu u Beogradu radio je u FRA u Čačku, FAD-u i Metalcu u Gor. Milanovcu. Bavio se problemima obrade metala rezanjem i deformacijom.
Od 1969. godine je profesor na VTŠ u Čačku a od 1978. godine i stručni savetnik na PTF -u u Čačku.
Ima objavljenih radova sa temama iz tribologije rezanja. Magistar je tehničkih nauka. Sada radi na doktorskoj disertaciji iz oblasti prirode kontakta metalnog para u uslovima rezaija alatom od brzoreznog čelika.
Učesnik je realizacije nekoliko naučno istraživačkih projekata.

Poziv na saradnju

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

Redakcija

Viši kvalitet obrađenih površina obezbediće duži vek trajanja elemenata u kontaktu

L O M T

Laboratorija za obradu metala i tribologiju Mašinskog fakulteta u Kragujevcu

34 000 KRAGUJEVAC, Ul. Sestre Janjić br. 6
Tel.: 034/67-500

UDK 621.9.015:621.914.004.6

DŽ. OSMANOSKI

Topografija površine obrađene obimnim glodanjem

UVOD

Triboloski procesi, koji se javljaju na kontaktnim površinama dva tela u dodiru, uslovljavaju pojavu razaranja kontaktnih slojeva materijala oba tela, izmenu njihove mase (odvajanje čestica materijala od osnovne mase) i promenu oblika kontaktnih površina.

Gubitak mase predmeta u dodiru, koji nastaje kao posledica triboloških procesa na kontaktnim površinama, funkcija je velikog broja parametara koji definišu uslove pod kojima se kontakt ostvaruje.

Sve oštriji zahtevi za dužim vekom trajanja elemenata mašina nametnuli su visok kvalitet obrade kontaktnih parova kao neophodan uslov za usporenje razvoja triboloških procesa.

U određenim uslovima ostvarenja kontakta gubitak masa materijala kontaktnog para je funkcija, pored ostalog, i kvaliteta obrađene površine.

Prema tome, u nizu zahteva koji se danas postavljaju pred proces obrade metala rezanjem, značajno mesto zauzima kvalitet obrađene površine. Osim postizanja potrebnog kvaliteta proces rezanjem mora da omogući zadovoljenje zahteva u pogledu tačnosti oblika i dimenzije, kao i fizičko-hemijskih karakteristika obrađene površine.

Kvalitet obrađene površine, posmatran sa aspekta njene geometrije, karakteriše se odstupanjem stvarne površine od geometrijske površine.

Ovo odstupanje povezano je sa postojanjem niza nepravilnosti koje se mogu pojaviti na obrađenoj površini.

U opštem slučaju na površini obrađenoj glodanjem mogu se pojaviti tri grupe nepravilnosti.

Prvoj grupi nepravilnosti pripadaju makrogeometrijske nepravilnosti, čije dimenzije premašuju dužinsku meru posmatranog isečka površine (referentnu dužinu) i koje nastaju kao posledica grešaka u kretanju elemenata mašine, zatim deformacije radnih predmeta u procesu rezanja, greške u obrtanju radnog vretena glodalice itd.

Valovitost obrađene površine je tipičan primer makrogeometrijskih nepravilnosti.

U drugu grupu svrstavaju se sve one nepravilnosti koje nastaju kao posledica oblika alata, režima rezanja, habanja alata, stabilnosti sistema *alat — mašina — predmet obrade* i osobina koje poseduje obrađivani materijal. Dimenzije ovih takozvanih mikrogeometrijskih nepravilnosti su znatno manje od dužine posmatranog isečka površine.

Standardom JUS M. A1.020 predviđeno je da se pod pojmom hrapavost obrađene površine podrazumevaju samo mikrogeometrijske nepravilnosti.

Trećoj grupi pripadaju submikrogeometrijske nepraviliosti, čiji mehanizam formiranja je povezan sa nesavršenošću unutrašnje strukture materijala, koja se javlja u vidu jamica, ogrebotina, naprslina i slično.

U ovom radu biće tretirane samo mikrogeometrijske nepravilnosti koje su se javljale na površini obrađenoj obimnim glodanjem.

Kako se deo sečiva u procesu rezanja reprodukuje na površini radnog predmeta bilo bi interesantno doći do zaključka o međusobnoj zavisnosti između habanja i kvaliteta obrađene površine.

Rezultati ispitivanja uticaja veličine pohabanosti alata na kvalitet obrađene površine dobijeni u Laboratoriji za obradu metala i tribologiju Mašinskog fakulteta u Kragujevcu dati su u ovom saopštenju.

PROGRAM I USLOVI ISPITIVANJA

Ispitivanja su vršena na univerzalnoj glodalici »Prvomajska« — Zagreb tip PGU 3, visoke stabilnosti.

Kao alat korišćeno je valjkasto glodalo stadnardnog oblika Ø 63 × 50 × 27 N (JUS K. D2. 020) od brzoreznog čelika Č.6880.

Da bi se odstranio uticaj nepravilnosti izrade glodala i bacanje vretena glodalice, rezanje je vršeno jednim zubom, pri čemu je brušenjem smanjena visina ostalih zuba.

Kao sredstvo za hlađenje i podmazivanje korišćeno je polusintetičko emulgirajuće ulje sa koncentracijom od 5% i protokom od 15 dm^3/min.

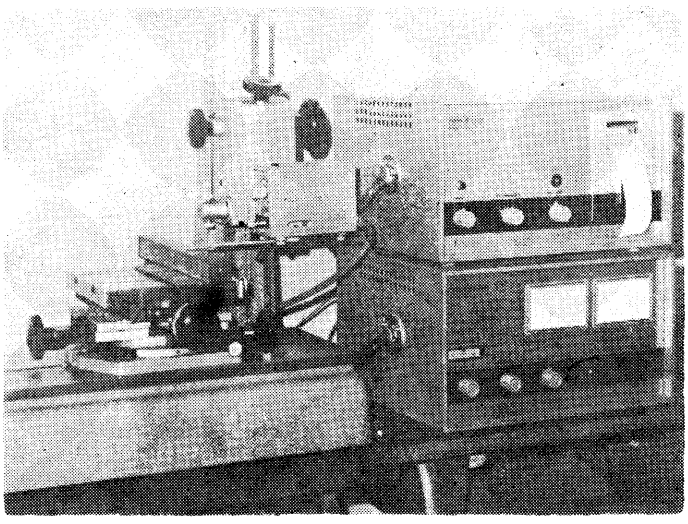
Pri ispitivanju su korišćene epruvete dimenzija 200 × 35 × 40 izrađene od hrom nikal čelika za poboljšanje Č.5432 tvrdoće HV = 254 daN/mm^2 i ugljenični čelik za poboljšanje Č.1730 tvrdoće HV = 195 daN/mm^2.

Ispitivanja su izvedena pri konstantnoj dubini rezanja 2 mm. dok su brzine rezanja i koraci bili:

v_1 = 35,6 m/min. v_2 = 44,3 m/min. v_3 = 55,4 m/min.

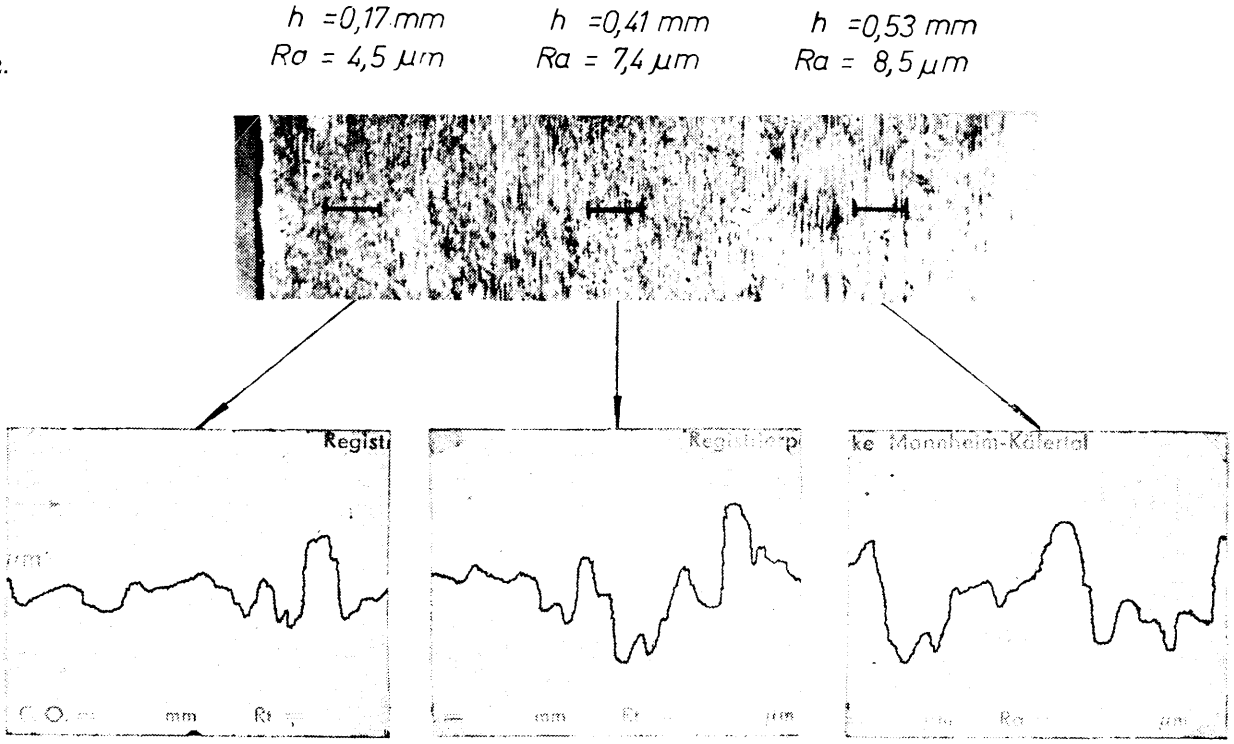
s_1 = 0,12 mm/o s_2 = 0,14 mm/o s_3 = 0,18 mm/o.

Merenje neravnina na obrađenoj površini, u toku izvođenja opitnih operacija predviđenih programom ispitivanja, vršeno je na profilometru Tester — P i profilografu Recorder — P, tipa Hommel Werke (sl. 1.).



Slika 1.

Slika 2.



Profilometar omogućuje merenje maksimalnih neravnina *Rmax* i srednjeg odstupanja profila od srednje linije Ra, dok profilograf reprodukuje profil obrađene površine.

Hrapavost je merena u pravcu koji je normalan na pravac pomoćnog kretanja (poprečna hrapavost).

Merenje širine pojasa habanja obavljeno je na univerzalnom mikroskopu tipa UIM — 21 sovjetske proizvodnje sa tačnošću očitavanja 0,001 mm.

REZULTATI ISPITIVANJA

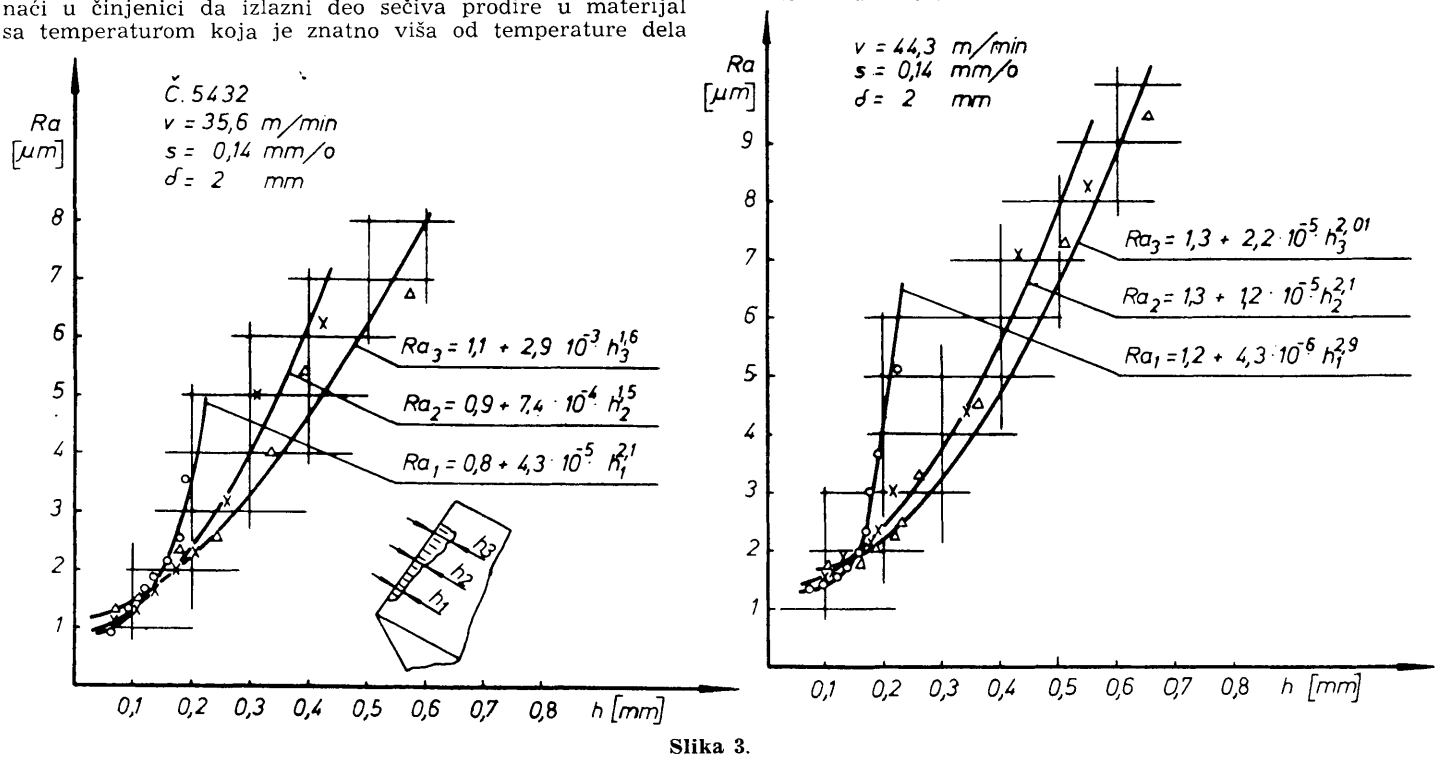
Kod valjkastih glodala sa zavojnim zubima širina pojasa habanja duž aktivnog dela sečiva nije konstantna već se povećava ka izlaznom delu sečiva, tako da se na samom izlazu javlja povećano habanje (koncentrisano habanje). Pojava koncentrisanog habanja izrazita je pri obradi koju karakteriše velika količina razvijene toplote.

Objašnjenje uzroka pojavi koncentrisanog habanja može se naći u činjenici da izlazni deo sečiva prodire u materijal sa temperaturom koja je znatno viša od temperature dela sečiva koje prvo prodire u materijal. Do pojave relativno velike zagrejanosti izlaznog dela sečiva u trenutku prodiranja u materijal dolazi zbog prenosa toplote sa dela sečiva koje već vrši rezanje na deo sečiva koje još uvek nije u dodiru sa materijalom.

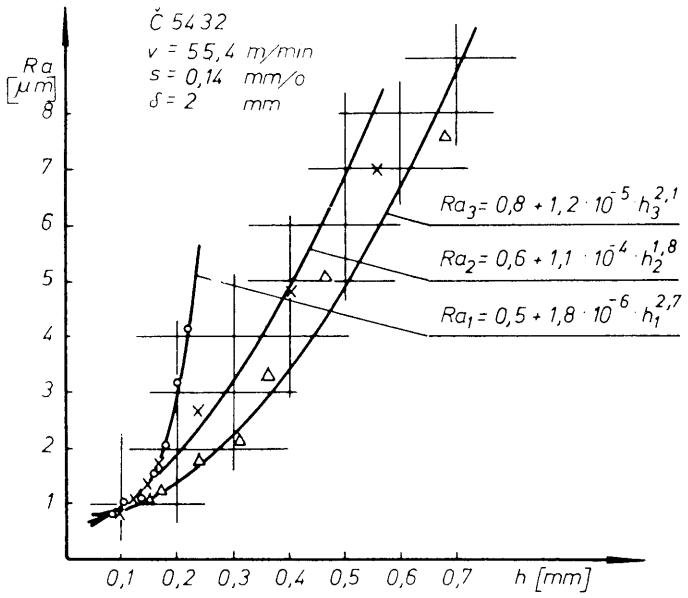
Pri izvođenju opitnih operacija merena je širina pojasa habanja na samom ulazu h_1, na sredini h_2 i na izlaznom delu aktivne dužine sečiva h_3. Merenje hrapavosti obavljeno je u istim vremenskim intervalima kad i merenje širine pojasa habanja alata na tri mesta po širini (sl. 2), saglasno mestima merenja širina pojasa habanja, i na tri mesta po dužini epruvete.

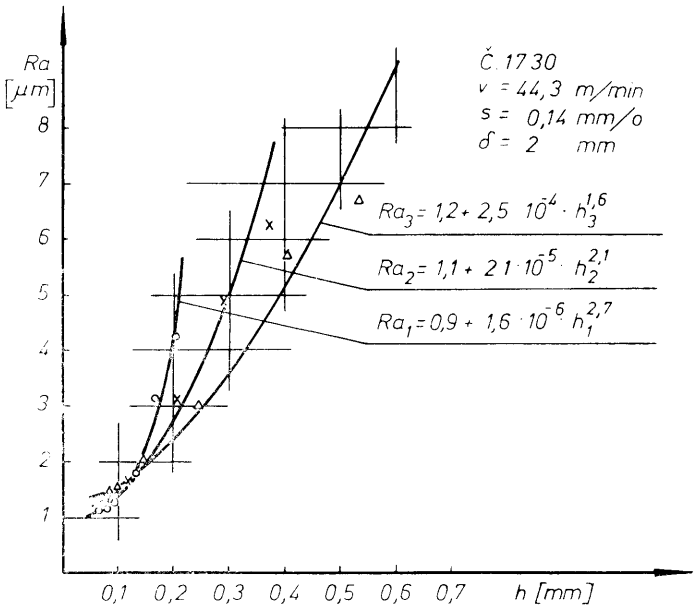
Na slikama 3, 4 i 5 prikazane su eksperimentalne zavisnosti srednjeg odstupanja profila od srednje linije Ra i širine pojasa habanja h za oba ispitivana materijala, pri čemu je varirana brzina rezanja, a korak i dubina su konstantni. Ove zavisnosti su prikazane krivom oblika

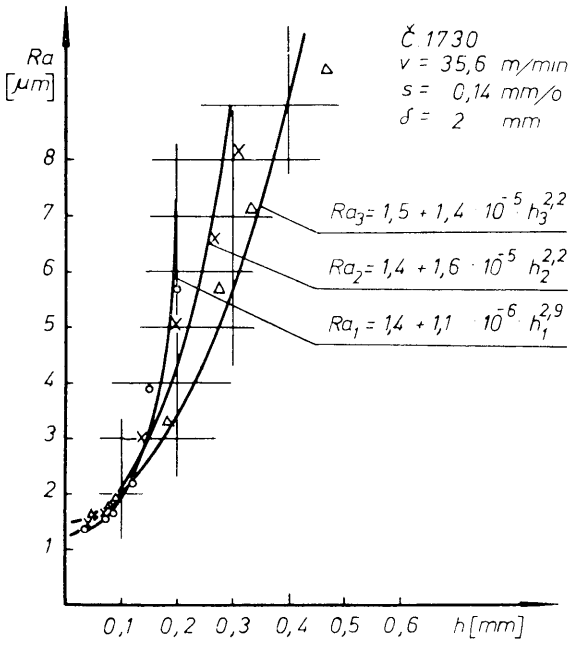
$$Ra = a + b\,h^n$$



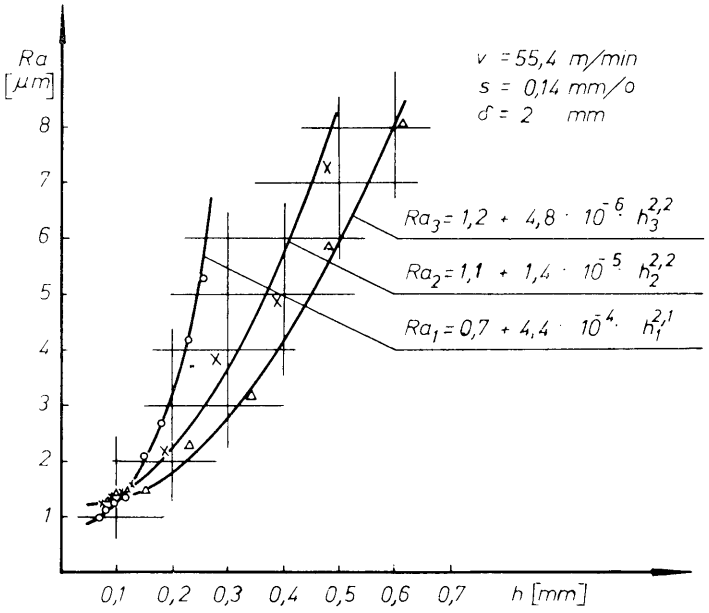
Slika 3.



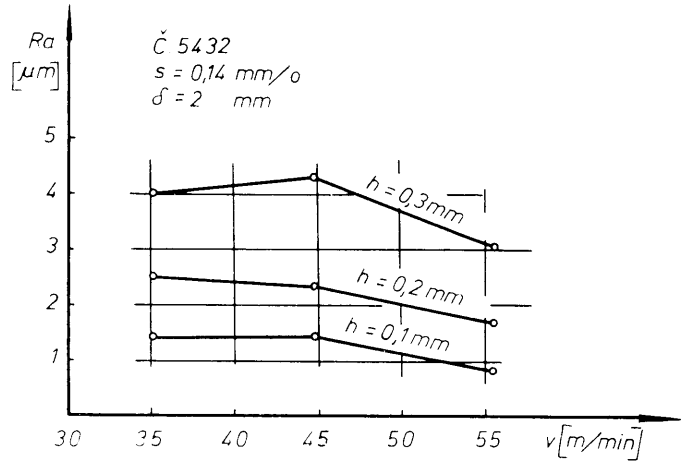




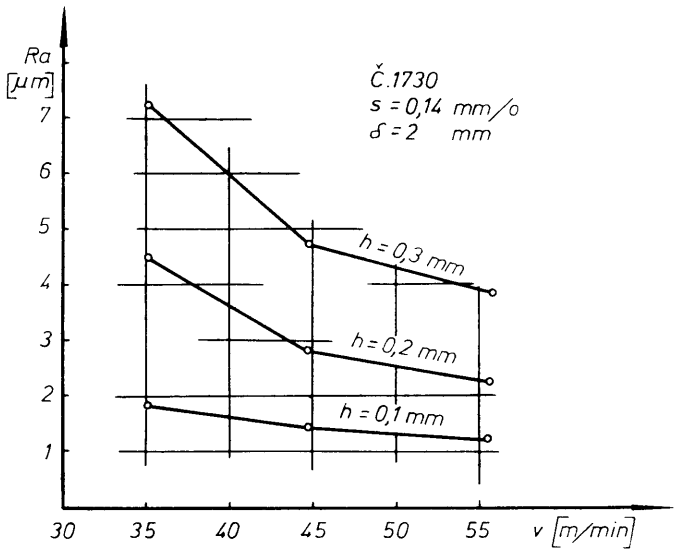
Slika 4.



Slika 5.



Slika 6.



Slika 7.

koja sa najmanjim odstupanjima aprosimira tačke dobijene eksperimentima. Metodom najmanjih kvadrata određene su vrednosti konstante b i eksponenta n, dok je konstanta a određena sa dijagrama. U dobijenim zavisnostima h je dato u mikronima.

Koeficijent korelacije za sve funkcionalne zavisnosti je veći od 0,9 što znači da postoji vrlo tesna veza između širine pojasa habanja i srednjeg odstupanja profila od srednje linije.

Na slici 6. prikazan je uticaj brzine rezanja na kvalitet obrađene površine pri glodanju čelika Č.5432 za slučaj različitih kriterijuma srednjih širina pojasa habanja, dok je na slici 7. ovo prikazano za čelik Č.1730.

ZAKLJUČAK

Poznavanje veze između kvaliteta obrađene površine, parametara obrade i pohabanosti alata omogućuje definisanje uslova pod kojima treba da bude izvedena proizvodna operacija da bi se dobio zahtevani kvalitet.

Može se reći na osnovu dobijenih rezultata da presudan uticaj na kvalitet obrade ima veličina širine pojasa habanja.

Pri tome se kvalitet obrade po širini radnog predmeta menja saglasno veličini širine pojasa habanja leđne površine reznog klina koji na tom mestu izvodi proces rezanja. Intenzitet promene kvaliteta obrađene površine je veći na ulaznom delu aktivne dužine sečiva.

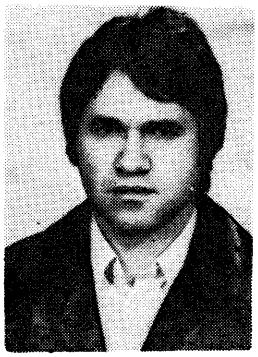
Rezultati izvršenih istraživanja ukazuju da brzina rezanja ima mali uticaj na kvalitet obrađene površine .

Pri istim uslovima postiže se bolji kvalitet obrade čelika Č.5432, nego kod čelika Č.1730.

LITERATURA

1. B. IVKOVIĆ, Obrada metala rezanjem, Kragujevac 1975.
2. B. IVKOVIĆ, S. ZAHAR, Uticaj brzine rezanja, koraka, dubine rezanja i pohabanosti alata na hrapavost površine, obrađene glodanjem, Elaborat br. 48/66 IAMA Beograd 1966.
3. B. IVKOVIĆ, Definisanje habanja višesečnih alata pomoću radioaktivnih izotopa, Monografija, MFK 1970.
4. Jugoslovenski standard JUS M. A1. 020.
5. А. Д. МАКАРОВ, Износ и стойкость режущих инструментов, Москва 1966.
6. К. С. КОЛЕВ, Л. М. ГОРЧАКОВ, Точность обработки и режимы резания, Москва 1976.

DŽEMAIL OSMANOSKI, dipl. inž.
načelnik Službe u Zavodima »Crvena zastava«



Mašinski fakultet završio je 1970. godine u Kragujevcu. Po završetku studije zaposlio se Zavodima »Crvena zastava« u Kragujevcu, gde je prvo radio kao tehnolog - konstruktor, a potom u Službi kontrole kvaliteta i završnih ispitivanja proizvoda Fabrike namenske proizvodnje.

Bavi se problematikom obrađene površine u obradi metala rezanjem.

Ako se hoće viši kvalitet obrađenih površina neophodno je voditi računa o stepenu pohabanosti reznih elemenata alata

L O M T

Laboratorija za obradu metala i tribologiju Mašinskog fakulteta u Kragujevcu

34 000 KRAGUJEVAC, Ul. Sestre Janjić br. 6
Tel.: 034/67-500

AKO JOŠ UVEK NISTE IZVRŠILI PRETPLATU NA ČASOPIS — OBRATITE SE DOPISOM REDAKCIJI

PROIZVOĐAČIMA I KORISNICIMA MAŠINA, ALATA, PRIBORA I SREDSTAVA ZA HLAĐENJE I PODMAZIVANJE

Časopis »Tribologija u industriji« ustupa svoje stranice radnim organizacijama za poslovno-komercijalne informacije.

S obzirom da se časopis distribuira kako u zemlji, tako i u inostranstvu, naučno-istraživačkim institucijama i ustanovama i proizvođačima mašina, alata, opreme i sredstava za hlađenje i podmazivanje, kao i njihovim korisnicima, časopis može da Vam posluži kao sredstvo za dostavljanje prave tehničke informacije o vašim proizvodima.

O načinu plasiranja vaše komercijalno-poslovne informacije kao i ostalim detaljima vezanim za oblikovanje poruke možete se dogovoriti sa uredništvom časopisa.

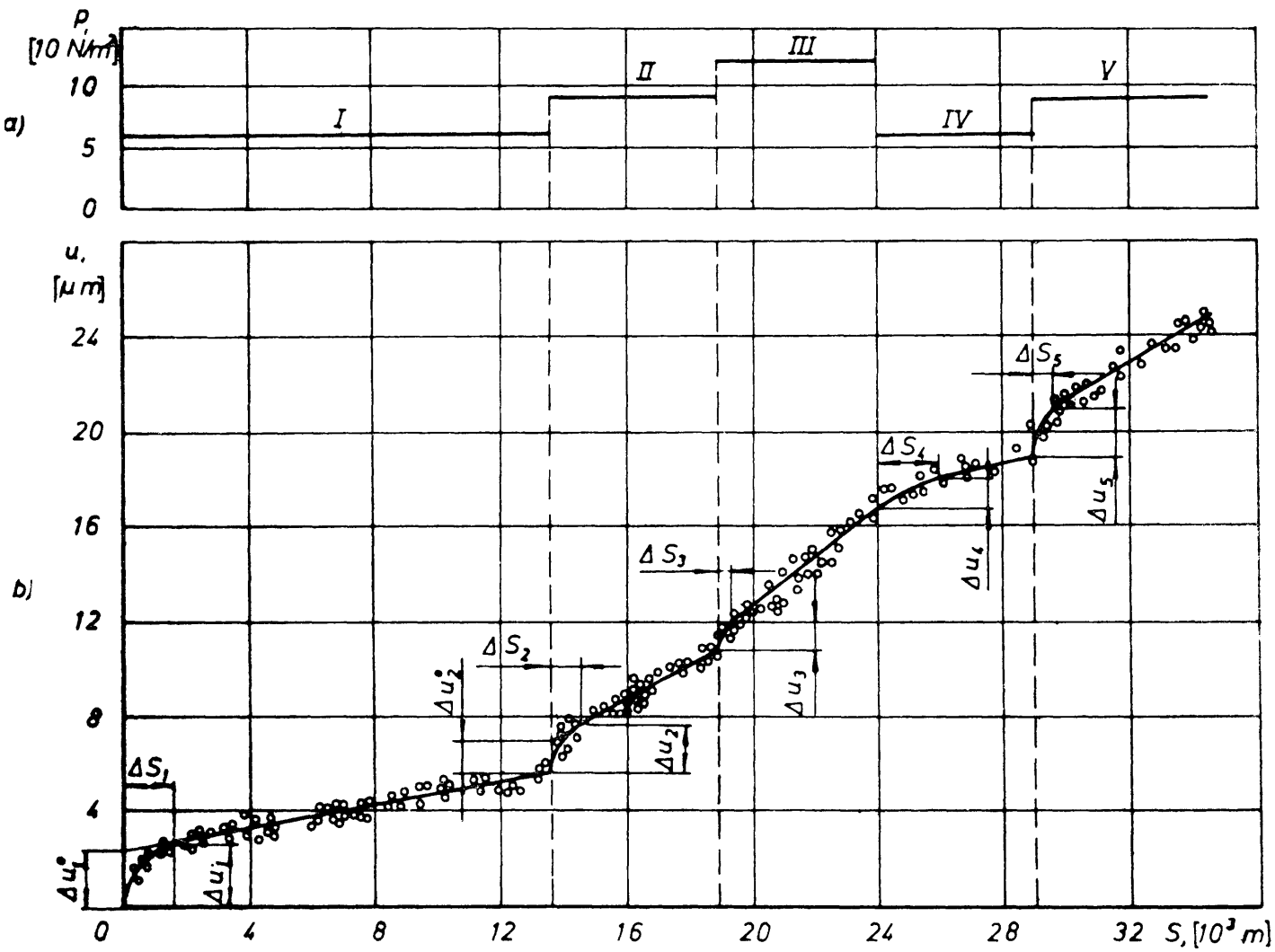
UDK: 631.836.004.6

Ю. В. СКОРЫНИН, Ю. К. НАСЛЕДЫШЕВ

Osobenosti procesa habanja kliznih vođica pri stepenasto izmenjivom opterećenju

U eksploatacionim uslovima opterećenje na kliznim vođicama alatnih mašina menja se u zavisnosti od režima rezanja, težine i gabarita predmeta obrade. Uticaj promenljivog opterećenja na habanje kliznih vođica praktično je još nesipitan. Ispitivanje kliznih vođica, ili specijalnih opitnih etalona, izvodi se pri konstantnom opterećenju i brzinama klizanja. Merenje habanja, po pravilu, vrši se periodično, metodom veštačkih baza, ili mikrometarskom metodom, pri čemu dolazi do rasklapanja ispitivanog sklopa. Ovakva metodika ispitivanja ne daje dovoljno pouzdane podatke o dinamici habanja kliznih vođica, s obzirom na uticaj predistorije opterećenja kliznih vođica na proces gubitka njihove radne sposobnosti [1, 2].

Za ispitivanje dinamike habanja kliznih vođica u IND-MAŠ-u su sprovedena ispitivanja kliznih parova pri promenljivom opterećenju, izrađenih od livenog gvožđa СЧ 21-40 (HB=180—200). Istraživanje je izvedeno na mašini za ispitivanje trenja M-1 [3]. Za podmazivanje kliznih parova primenjivano je ulje „Индустриальное-20", koje se dovodilo u



Sl. 1. — Habanje klizne vođice (b) pri promenljivom opterećenju (a)
u **— linijsko habanje,** *S* **— put trenja,** *p* **— specifični pritisak u zoni trenja**

zonu trenja kroz kanale za podmazivanje. Koncentracija abrazivnih čestica u ulju bila je 0,25 g/l.

Merenje habanja vršeno je metodom površinske aktivacije, bez rastavljanja uređaja za praćenje habanja [1]. Za aktivaciju ispitivanih parova korišćeni su umetci od bronze ОФ10-0,5, koji su prethodno ozračeni snopom protona energije 7 MeV. Osnovni radioaktivni izotop, koji se obrazuje pri aktivaciji je Z_n^{65}. Eksperimentalna baždarna kriva definisana je polinomom 5-og stepena, sa sledećim koeficijentima:

$a_1 = -305{,}43$; $a_2 = 712{,}63$; $a_3 = -1118{,}5$; $a_4 = 886{,}86$; $a_5 = 272{,}96$;

Za merenje radioaktivnosti etalona, pri određivanju baždarne krive, kao i pri merenju radioaktivnosti ispitivanih kliznih parova korišćen je komplet radiometrijske aparature, koji se sastoji od fotoelektričnog pojačivača ФЭУ—56 i monokristala NaJ (τ_l), dimenzija 40 × 70 mm, brojača ПП—12 i visokovoltnog stabiliziranog ispravljača ВС—22.

Relativna greška merenja broja impulsa nije prelazila 3%.

Proces habanja klizne vođice, pri promenljivom opterećenju, prikazan je na sl. 1. Na grafiku su jasno uočljivi periodi početnog uhodavanja i prelazni periodi, vezani za promenu opterećenja.

U tab. 1. prikazane su neke karakteristike procesa habanja klizne vođice.

Prelazni periodi procesa habanja, koji nastaju pri promeni opterećenja, održavaju pojave vezane za predistoriju eksploatacije parova trenja. Za jednake nivoe opterećenja I i IV, odnosno, II i V (sl. 1.) intenziteti habanja I_{ust} posle prelaznih perioda, razlikovali su se samo za 19%, odnosno, 10% (tab. 1). Po klasifikaciji, predloženoj u [4], slični procesi habanja, koji se menjaju (zavisno od predistorije opterećenja), u toku manjeg vremenskog perioda, svrstavaju se u procese naknadnog dejstva druge vrste (последействие второго рода).

Očigledno, prisustvom abrazivnih čestica u mazivu oštećivanje tarnih površina uslovljeno je mnogim procesima različite prirode (plastično deformisanje i mikrorezanje, obrazovanje i razaranje molekularnih veza, difuzija, oksidacija i dr.).

Istovremno karakter promene procesa habanja pri stepenastom menjanju opterećenja odgovora modelu naknadnog dejstva zasnovanom na predstavama o frikcionom zamoru materijala [5]. Ovaj model moguće je razmatrati kao specijalan slučaj oštećenja površina zbog postepenog skupljanja različitih vrsta oštećenja i narušavanja celokupnosti površinskih slojeva parova trenja. Saglasno ovakvom modelu sa uvećanjem opterećenja naglo se povećava intenzitet habanja, a zatim nastaje postepeni prelaz ka ustaljenom procesu habanja, sa konstantnim intenzitetom, koji odgovara dejstvujućem opterećenju. Pri stepenastom smanjenju opterećenja (stepeni III — IV na sl. 1.) intenzitet habanja menja se postepeno i posle određenog prelaznog perioda ponovo se ustaljuje na konstantnoj vrednosti.

Postojanje prelaznih perioda u datom slučaju moguće je objasniti prisustvom slojeva materijala, koji su izgubili deo svojeg resursa radne sposobnosti u toku prethodnog opterećenja. Faktori, kao što u uzajamno iskošenje delova ili njihove elastične deformacije pod dejstvom spoljašnje sile, pri ispitivanju su isključeni, s obzirom da je na uređaju za ispitivanje trenja M—1 obezbeđeno samopodešavanje kliznih parova, a sami parovi su dovoljno velike krutosti.

TABELA 1. KARAKTERISTIKE PROCESA HABANJA KLIZNE VOĐICE PRI PROMENLJIVOM OPTEREĆENJU

Redni broj stepena opterećenja	Specifični pritisak na i-tom stepenu opterećenja p_i 10^5 N/m²	Put trenja na i-tom stepenu opterećenja S_i 10^3 m	Veličina habanja na i-tom stepenu opterećenja u_i μm	Put trenja za i-ti prelazni period ΔS_i 10^3 m	Veličina habanja za i-ti prelazni period Δu_i μm	Intenzitet ustaljenog habanja na i-tom stepenu opterećenja I_{ust} 10^{-3}μm
I	6	13,6	5,8	1,60	2,8	0,25
II	9	5,3	5,4	0,96	2,2	0,74
III	12	5,0	5,7	0,37	1,0	1,01
IV	6	5,0	2,2	2,00	1,3	0,31
V	9	5,75	6,3	0,49	2,0	0,82

Konturna površina kontakta, posle prethodnog uhodavanja se nije promenila.

Za analitičku ocenu habanja kliznih vođica, pri stepenastom opterećenju može se koristiti formula:

$$u = \sum_{i=1}^{m} I_{ust}(p_i)\,[S_i - \Delta S_i] + \sum_{i=1}^{m} \int_0^{\Delta S_i} I^*(p_i, p_{i-1}, S)\,dS \qquad (1)$$

gde je: $I_{ust}(p_i)$ i S_i — intenzitet ustaljenog habanja i put trenja na i-tom stepenu opterećenja

$I^*(p_i, p_{i-1}, S)$ i ΔS_i — intenzitet habanja u prelaznom periodu i put trenja na i-tom stepenu opterećenja.

m — broj stepena opterećenja

Da bi se smanjio broj neophodnih parametara za proračun, formulu (1) je u većini slučajeva korisno predstaviti u sledećem obliku:

$$u = \sum_{i=1}^{m} I_{ust}(p_i) S_i + \sum_{i=1}^{m} \Delta u_i^0 \qquad (2)$$

gde je: $$\Delta u_i^0 = W_{u_i} \frac{|\Delta p_i|}{p_{i-1}}, \qquad za\ i \geq 2 \qquad (3)$$

Δu_i^0 — redukovana veličina habanja za vreme prelaznog perioda

W_{u_i} — prelazni koeficijent

Vrednosti koeficijenta W_{u_i}, dobijene na osnovu rezultata ispitivanja kliznih vođica date su u tabeli 2.

TABELA 2.

VREDNOSTI REDUKOVANE VELIČINE HABANJA ZA VREME PRELAZNOG PERIODA I PRELAZNOG KOEFICIJENTA PRI STEPENASTOM OPTEREĆENJU

Redni broj stepena vpterećenja	p_i 10^5 N/m²	$\lvert\Delta p_i\rvert$ 10^5 N/m²	$\frac{\lvert\Delta p_i\rvert}{p_{i-1}}$	Δu_i^0 μm	W_u μm
I	6	—	—	2,4	—
II	9	3	0,50	1,4	2,8
III	12	3	0,33	0,9	2,7
IV	6	3	0,25	0,7	2,8
V	9	3	0,50	1,5	3,0

Kao što se vidi iz tab. 2, koeficijent W_u menja se neznatno u ispitivanom dijapazonu opterećenja. Nezavisnost koeficijenta W_u od veličine dejstvujućeg opterećenja otkriva dopunske mogućnosti u oblasti prognoziranja trajnosti kliznih vođica pri promenljivom režimu opterećenja.

Ako se razmatra tarući par kao dinamički sistem, pri čemu se kao ulazno dejstvo uzima spoljašnje opterećenje, a kao izlazni parametar intenzitet habanja taruće površine, to je proces habanja u prelaznom periodu moguće opisati pomoću zavisnosti:

$$I_i^*(S) = \omega_i(S) \frac{\Delta p_i}{p_{i-1}} \qquad (4)$$

gde je

$\omega(S)$ — prelazna funkcija

Za stepenasto opterećenje prelaznu funkciju je pogodno napisati u sledećem obliku:

$$\omega_i(S) = a_{u_i} \frac{p_{i-1}}{\Delta p_i} S^{b_{u_i}}$$

gde su:

a_{u_i} i b_{u_i} — koeficijenti, koji zavise od uslova trenja i dejstvujućih opterećenja.

Koeficijenti a_{u_i} i b_{u_i} mogu biti određeni eksperimentalno pri kontroli habanja metodama, koje omogućavaju merenja bez rastavljanja ispitivanog para. Za ispitivanja procesa habanja, čiji su rezultati prikazani na sl. 1., a pri II stepenu opterećenja, ovi koeficijenti imaju sledeće vrednosti:

$$a_{u_2} = 1; \qquad b_{u_2} = -0{,}5.$$

Prema tome veličine $\sum_{i=1}^{m} \int_0^{\Delta S_i} I^*(p_i, p_{i-1}, S)\, dS$ i $\sum_{i=1}^{m} \Delta u_i^0$ koje u formulama (1) i (2) karakterišu prelazne periode habanja pri promeni opterećenja, moguće je odrediti iz zavisnosti (3) i (4).

ЛИТЕРАТУРА

1. СКОРЫНИН Ю. В., Ускоренные испытания деталей машин и оборудования на износостойкость. Мн., „Наука и техника", 1972.
2. ЯЩЕРИЦЫН П. И., СКОРЫНИН Ю. В., Технологическая и эксплуатационная наследственность и ее влияние на долговечность машин. Мн., „Наука и техника", 1978.
3. СЧАСТЛИВЕНКО Ф. Е. и др., Машина трения М—I для испытания образцов направляющих на износостойкость. В сб.: Некоторые вопросы технологической надежности и ускоренных испытаний металлорежущих станков. Мн., ИНТИП, 1968.
4. СКОРЫНИН Ю. В., Модели эксплуатационной наследственности узлов трения машин. Известия АН БССР, сер. физ.-техн. наук, 1977, № 4.
5. СКОРЫНИН Ю. В. Модель изнашивания материалов при ступенчато изменяющейся нагрузке с учетом последействия. Известия АН БССР, сер. физ.-техн. наук, 1976, № 1.

СКОРЫНИН ЮРИЙ ВАСИЛЕВИЧ — kandidat tehničkih nauka, rukovodilac Laboratorije za dijagnostiku i povećanje otpornosti na habanje sklopova mašina Instituta za pouzdanost i trajnost mašina Akademije nauka Beloruske SSR (INDMAŠ AN BSSR)

Bavi se teorijskim pitanjima u oblasti eksploatacionih sposobnosti mašina i metodama povećanja njihove dugovečnosti. Ima radove iz oblasti ispitivanja i habanja delova mašina primenom metode radioaktivnih izotopa.

НАСЛЕДЫШЕВ ЮРИЙ КОНСТАНТИНОВИЧ — kandidat tehničkih nauka, stariji saradnik Laboratorije za dijagnostiku i povećanje otpornosti na habanje delova mašina Instituta za pouzdanost i trajnost mašina Akademije nauka Beloruske SSR (INDMAŠ AN BSSR)

Bavi se pitanjima vezanim za ocenu trajnosti i radne sposobnosti delova mašine i razradom metoda za produženje njihovog veka trajanja. Ima radove u oblasti ispitivanja i dijagnostike habanja delova mašina primenom metode radioaktivnih izotopa.

UDK 631.836.004.6:621.892.002.61

B. JEREMIĆ

ISTRAŽIVANJA

Tribološki procesi na kliznim vođicama alatnih mašina u zavisnosti od vrste materijala i ulja za podmazivanje

UVOD

Razvoj savremenih alatnih mašina zahteva sistematsko ispitivanje razvoja triboloških procesa na njihovim vitalnim elementima. Na osnovu modelskih ispitivanja, ili ispitivanja na prototipu uz simuliranje radnih uslova, dolazi se do podataka koji su veoma važni pri konstruisanju i izradi alatnih mašina.

Istraživanjem u eksploatacionim uslovima došlo se do zaključka da je habanje elemenata kao što su: ležišta, zavojna vretena, vođice itd. osnovni uzrok gubitka tačnosti svake alatne mašine. Zbog toga se u procesu proizvodnje pri obradi metala javlja veliki škart sa neželjenim posledicama. Prema tome kvalitet alatnih mašina karakteriše se u prvom redu pokazateljem tačnosti i svojstvom održavanja ovog pokazatelja pri veoma dugom vremenskom periodu eksploatacije. Jedan od navedenih elemenata mašina, čije habanje ima veoma bitan uticaj na grešku obrade su klizne vođice.

Značajni utrošci sredstava za održavanje radnih sposobnosti vođica zbog popravke, podešavanja i remonta nametnuli su problem ocenjivanja i povećanja veka njihovog trajanja. Rešenje navedenih problema je u izučavanju razvoja triboloških procesa na vođicama s ciljem da se odrede zakonitosti i veličine habanja, kao i sagledaju uticaji habanja vođica na tačnost izvođenja proizvodnih operacija na alatnim mašinama. Kao što je rečeno takva istraživanja su neophodna za ocenjivanje veka trajanja vođica i izbor optimalne konstrukcije, kao i određivanje racionalne tehnologije izrade i eksploatacije.

Proces habanja vođica alatnih mašina se odvija sporo. Veličine habanja pri tome su veoma male. Zato je potrebno primeniti za merenje habanja metodu visoke tačnosti i osetljivosti. Primenjena metoda ne sme da uslovljava rastavljanje alatne mašine, što je često nemoguće, a pogotovu ako se istraživanja izvode u eksploatacionim uslovima. Osim toga primenjena metoda merenja treba da omogući skraćenje vremena dobijanja pouzdane informacije o habanju.

U ovom radu se daje primena radioaktivne metode za izučavanje triboloških procesa na vođicama alatnih mašina, kao i preliminarni rezultati istraživanja uticaja materijala kliznih vođica i ulja za njihovo podmazivanje na razvoj pomenutih procesa. Ovakva istraživanja su neophodna, jer konstruktori pri razvoju mašine znatno veću pažnju poklanjaju materijalu i njegovoj termičkoj obradi nego kvalitetu ulja i režimu podmazivanja

Istraživanja su vršena u Laboratoriji za obradu metala i tribologiju Mašinskog fakulteta u Kragujevcu na kliznoj jedinici koja pripada redovnom proizvodnom programu Fabrike alatnih mašina i zupčanika »Potisje« — Ada.

VRSTE HABANJA KONTAKTNIH POVRŠINA KLIZNIH VOĐICA

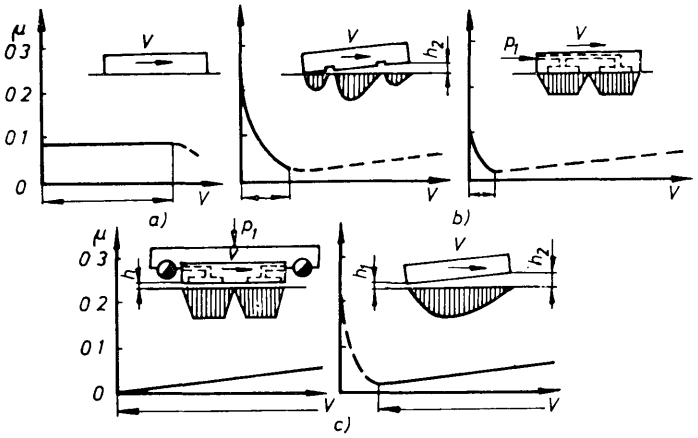
Režim rada vođica karakterišu uglavnom sledeći parametri: opterećenje, brzina klizanja, vrsta ulja, temperatura vođica, abrazivne čestice na površini trenja, produkti obrade u ulju za podmazivanje (metalna strugotina, pesak, oksidi, abraziv), česta promena smera kretanja, periodičnost rada itd.

Obezbeđenje tehničkih zahteva pri eksploataciji alatnih mašina (tačnost relativnog kretanja po vođicama, vek trajanja definisan preko tačnosti obrade, ravnomernost laganog kretanja nosača alata ili radnog predmeta) je direktno povezano sa režimom trenja na kontaktnim površinama kliznih vođica

U zavisnosti od režima eksploatacije, vrste ulja i njegovih karakteristika klizne vođice mogu raditi sa režimom:

- ☐ graničnog trenja
- ☐ kombinovanog trenja
- ☐ hidrodinamičkog trenja
- ☐ hidrostatičkog trenja

Na sl. 1. shematski su predstavljene karakteristike trenja za vođice različitih tipova.



Sl. 1. — Karakteristike trenja na vođicama

a) granično trenje ostvareno sa uljem koje eliminiše pojavu STICK — SLIP

b) kombinovano trenje (levo — bez hidrorasterećenja, desno — sa hidrorasterećenjem)

c) tečno trenje (levo — hidrostatičko, desno — hidrodinamičko).

Klizne vođice su izložene habanju zbog:

- ☐ nemogućnosti dobre izolacije u procesu obrade od metalne strugotine, peska, abraziva i oksida,
- ☐ nesavršenosti podmazivanja i lošeg kvaliteta ulja,
- ☐ odsustva uslova za hidrodinamičko trenje usled laganog kretanja (pomoćno kretanje), a takođe i zbog čestog zaustavljanja i promene smera kretanja radnog stola.

Vrsta habanja se određuje na osnovu izučavanja karaktera razrušavanja površine i uočavanja zakonomernosti procesa, a u zavisnosti od uslova rada koje definišu: pritisak na vođicama, brzina klizanja, vrsta ulja, prisutnost produkata obrade u ulju, temperatura površine trenja itd. Treba napomenuti da kod različitih vrsta habanja može biti isti karakter razaranja kontaktne površine, na primer, odvajajući se pri habanju čestice metala jednog kliznog para ostaju među kontaktnim površinama spregnutih delova, paraju ih i razrušavaju, stvarajući ista spoljašnja oštećenja kao neke druge vrste habanja.

Osnovne vrste habanja kliznih vođica su:

- ☐ abrazivno habanje
- ☐ atheziono habanje
- ☐ habanje u uslovima čistog ulja i odsustvu vezivanja.

Abrazivno habanje

Abrazivno habanje je proces razaranja tj. mehaničkog oštećenja kontaktnih površina vođica. Uslovljeno je prisustvom abraziva u zoni kontakta. Abraziv u zoni kontakta izvodi mikrorežuće ili grebuće (parajuće) dejstvo. Mehanizam tog oblika habanja ostvaruje se skidanjem materijala sa površina trenja. Produkti habanja su: veoma sitna strugotina, sitne čestice prethodno pod pritiskom abraziva utisnute u površine ogrebotina, ili grupacije koje se krto lome i odvajaju pri naizmeničnom kretanju kliznog stola.

Abrazivne čestice koje se pojavljuju na kliznim vođicama mogu biti: produkti trošenja brusnih ploča, oksidi čelika, metalna strugotina koja se stvara u procesu obrade, pesak, ili tvrde strukturne komponente jednog od kliznih parova. Tvrde čestice mogu imati različite oblike i mogu biti na razne načine orijentisane na površini trenja. Pri tome jedan deo njih izvodi mikrorezanje, dok ostale vrše plastičnu deformaciju mekše kontaktne površine, ostavljajući za sobom tragove u obliku istisnutih riseva, ogrebotina ili kanala. Mesta plastično istisnutih ogrebotina sastoje se od predrazarajućeg materijala koji se skida drugim abrazivnim zrnima koja ujedno izazivaju i prethodnu deformaciju za sledeće razaranje.

Abrazivno habanje može se podeliti na tri grupe u saglasnosti sa izvorom i karakterom abrazivnog dejstva:

a) na jedan od materijala kontaktnog para deluju tvrde strukturne komponente drugog elementa, dok kod parova trenja različitih tvrdoća ovu ulogu imaju mikroneravnine tvrđe površine,
b) na jedan od materijala kontaktnog para abrazivno dejstvo ispoljavaju tvrde strane čestice sakupljene i utisnute na drugom elementu,
c) na materijal kontaktnog para deluju abrazivne čestice koje nisu vezane sa njim a koje se kreću zbog relativnog kretanja elemenata.

Atheziono habanje

Jedan od važnih oblika habanja kod kliznih vođica je i habanje nastalo zbog vezivanja onih kontakata kod kojih je razoren zaštitni površinski sloj u procesu abrazivnog habanja i plastičnog deformisanja kontaktne zone. Stvorene veze ili mikro varovi se raskidaju na nekoj dubini od površine kod manje čvrstog materijala, izazivajući na ovaj način habanje.

Atheziono habanje se manifestuje:

- ☐ prenošenjem mikro čestica sa vođice na njoj spregnutu površinu
- ☐ odvajanjem čestica koje za sobom ostavljaju riseve i krupnija oštećenja, nastala pri istovremenom intenzivnom vezivanju na relativno velikoj površini, a podsećaju na izorane brazde promenljive širine i dubine,
- ☐ kočenjem kretanja zbog gnječenja kontakta, pri čemu se bitno oštećuju kontaktne površine uz značajno povećanje koeficijenta trenja.

Izučavanje rada vođica ukazuje na to da je povećano habanje osobito prouzrokovano vezivanjem zbog athezije i obrazovanja zadira.

Intenziviranju pomenutih procesa doprinosi:

1. Visok kontaktni pritisak na pojedinim mestima prouzrokovan :
elastičnim deformacijama koje izazivaju sile rezanja i težina predmeta obrade, elastičnom deformacijom stola pri nepravilnom stezanju predmeta obrade, malom krutošću postolja, neravnomernim oslanjanjem na fundament, temperaturnim deformacijama, neravnomernim habanjem po dužini vođica, nejednakim prisustvom abraziva po celoj kontaktnoj površini itd.

2. Prisutnost produkata obrade (strugotine i oksida) tj. tvrdih čestica metala i abraziva u uljnom filmu između površina trenja. Produkti obrade i abrazivi u uljnom filmu pri relativnom klizanju dovode do pojave mikro rezanja ili deformacija u obliku brazgotina, tj. do stvaranja površina sa povećanom sklonošću ka vezivanju. Osim toga prisutnost pomenutih čestica dovodi do razaranja kontinualne uljne zaštite i smanjivanja hidrodinamičkog efekta.

Habanje u uslovima čistog ulja i odsustvu vezivanja

Ovo habanje kod kliznih vođica uključuje u sebe grupu različitih oblika habanja kao što su:

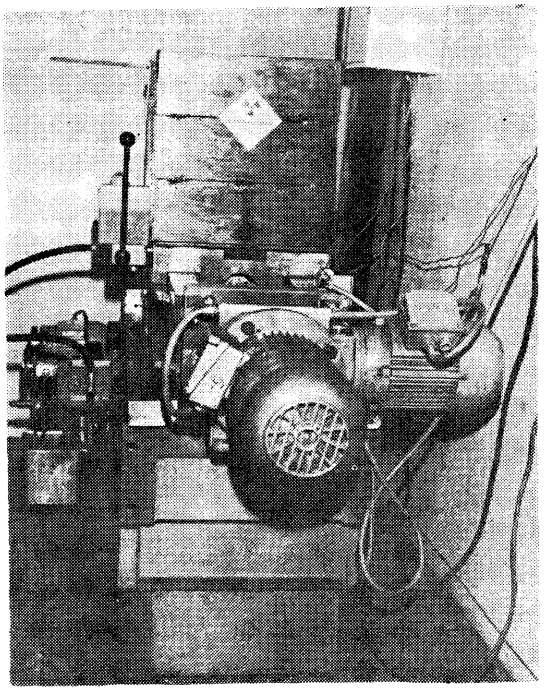
- ☐ zamorno habanje od ponovljenog dejstva mikroneravnina,
- ☐ habanje pri krtom razaranju (lomljenju) hladno očvrsnutog sloja na površini kontakta,
- ☐ razaranje površinskih oksidnih prevlaka (oksidno habanje).

Za razliku od abrazivnog i athezionog habanja pri habanju u uslovima čistog ulja i odsustvu vezivanja razaranju su podvrgnuti izrazito tanki mikro slojevi i intenzivnost habanja kliznih vođica pri tome je veoma mala.

Međutim, pri izučavanju triboloških pojava na kliznim vođicama zbog uslova u kojima pretežno rade (režim kombinovanog trenja i prisustvo produkata habanja i abraziva u zoni kontakta) posebnu pažnju treba posvetiti oksidnom habanju.

ISTRAŽIVAČKI PUNKT

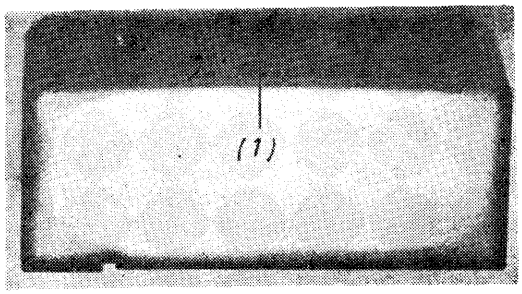
Osnov istraživačkog punkta Sl. 2. za istraživanja na kliznim vođicama čine: klizna jedinica koju je proizvela Fabrika alatnih mašina i zupčanika »Potisje« — Ada (kli-



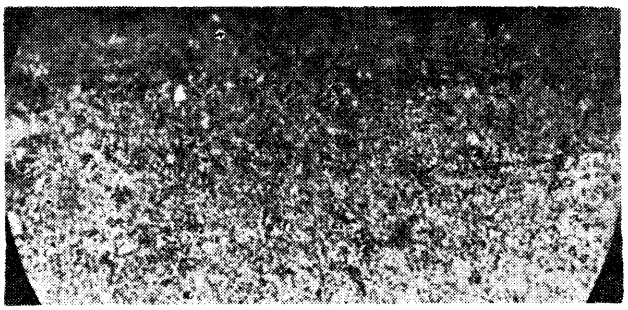
Sl. 2. — Istraživački punkt

zna jedinica predstavlja proizvod iz redovnog proizvodnog programa ove fabrike), i sistem sa širokim spektrom mogućnosti regulisanog automatskog podmazivanja. Sistem za podmazivanje razrađen je u Laboratoriji za obradu metala i tribologiju Mašinskog fakulteta u Kragujevcu. Na kliznoj jedinici su izvršene neznatne izmene koje ne utiču na njenu funkciju i eksploataciju, tako da će rezultati dobijeni ovim ispitivanjem biti identični onim rezultatima koji bi se dobili pri ispitivanju kliznih jedinica koje rade u proizvodnim uslovima. Jedna vođica je izrađena od čelika Č. 1530 (indukciono kaljena), a druga od Č. 4320 (cementirana), pri čemu su obe vođice posle ugradnje brušene u sklopu sa postoljem da bi se obezbedila potrebna rastojanja između njih kao i paralelnost radnih površina. Klizne vođice se mogu relativno lako skinuti i ponovo montirati (ovo je potrebno zbog zračenja), time se tačnost mnogo ne gubi. Klizači na kliznom stolu su od materijala sivog liva SL 22 modificiranog i oni nisu termički obrađeni, dok je njihova radna površina tuširana zbog obezbeđenja potrebnog naleganja sa vođicama postolja. Ovako izvedena klizna jedinica omogućuje istovremeno ispitivanje triboloških procesa na vođicama od čelika Č. 4320 i Č. 1530.

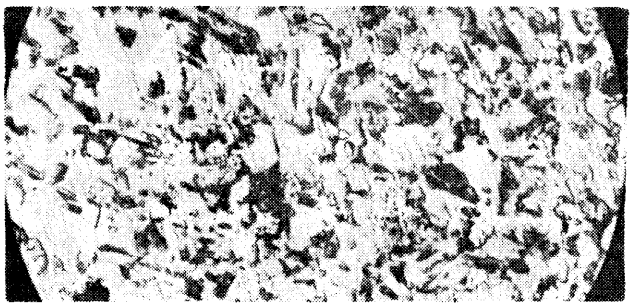
Kompletna termička obrada kliznih vođica je izvršena u Fabrici alatnih mašina i zupčanika »Potisje« — Ada, dok su metalurška ispitivanja obavljena u Metalurškoj laboratoriji OOUR »Zastava razvoj«.



Sl. 3. — Poprečni presek vođice od čelika Č.4320, na kome se vidi cementirani sloj



a) Struktura na dubini 0,1 (mm) od površine u pravcu (1)
— bez strukturni martenzit



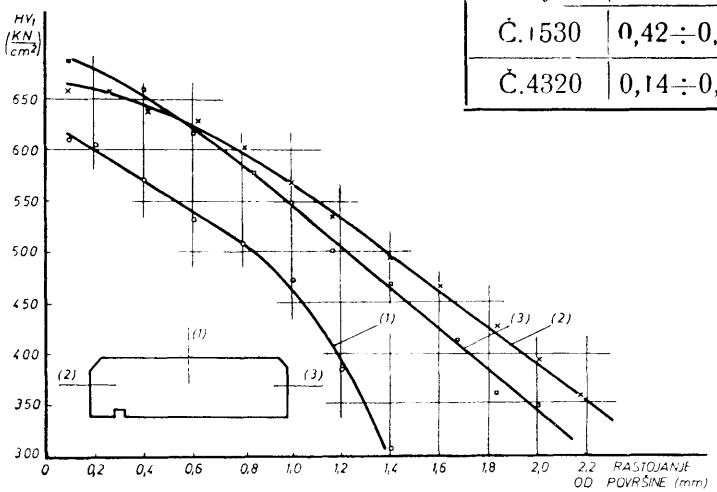
b) Struktura jezgra
— ferit i međufazna struktura

Sl. 4. — (a i b) Strukture vođice od Č.4320

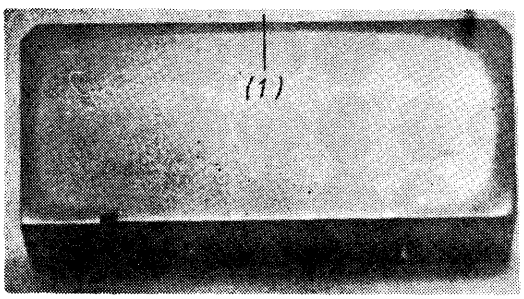
Hemijski sastav kliznih vođica pre termičke obrade prikazan je u tabeli 1.

TABELA 1.

% elementa / Materijal	C	Si	Mn	Cr	P max	S max
Č.1530	0,42÷0,50	0,15÷0,35	0,5÷0,8	/	0,045	0,045
Č.4320	0,14÷0,19	0,15÷0,40	1÷1,3	0,8÷1,1	0,035	0,035



Sl. 5. — Raspored mikro tvrdoće po dubini za vođicu od Č.4320



Sl. 6. — Poprečni presek vođice od čelika Č.1530 na kome se vidi prokaljeni sloj

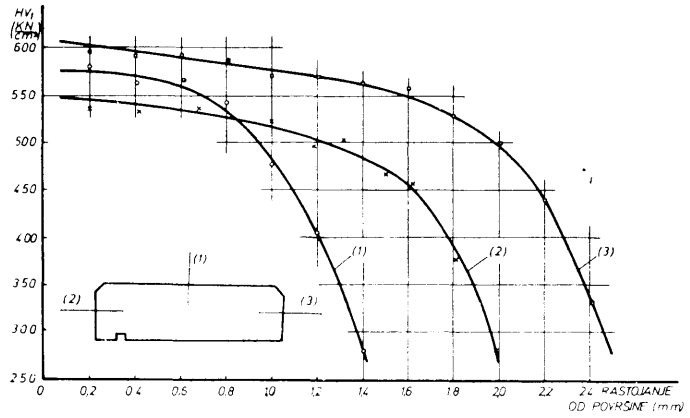
a) Struktura na dubini 0,1 (mm) od površine u pravcu (1)

— finoigličasti martenzit i ferit u obliku povezanih zrna

b) Struktura jezgra

— feritna i perlitna struktura

Sl. 7. — (a i b) Strukture vođice od čelika Č.1530



Sl. 8. — Raspored mikro tvrdoće po dubini za vođicu od čelika Č.1530

Obezbeđenje kontaktnog pritiska na vođicama je ostvareno pomoću tegova koji se stavljaju na radni sto.

Na razvoj triboloških procesa na kontaktnim površinama vođica alatnih mašina bitan uticaj ima režim podmazivanja, te je iz tih razloga pri izgradnji ovog istraživačkog punkta posebna pažnja posvećena sistemu za podmazivanje i sakupljanje ulja koje se sliva sa vođica i u sebi sadrži ozračene produkte habanja

REZULTATI ISTRAŽIVANJA

Visoka tačnost i osetljivost kao i mogućnost merenja veoma malih veličina habanja (0,1 μm) bez rastavljanja istraživačkog uređaja uslovili su primenu radioaktivne metode. Osim toga, ona omogućuje skraćenje vremena za dobijanje pouzdanih informacija o habanju kliznih vođica.

Da bi se radioaktivna metoda primenila bilo je potrebno:

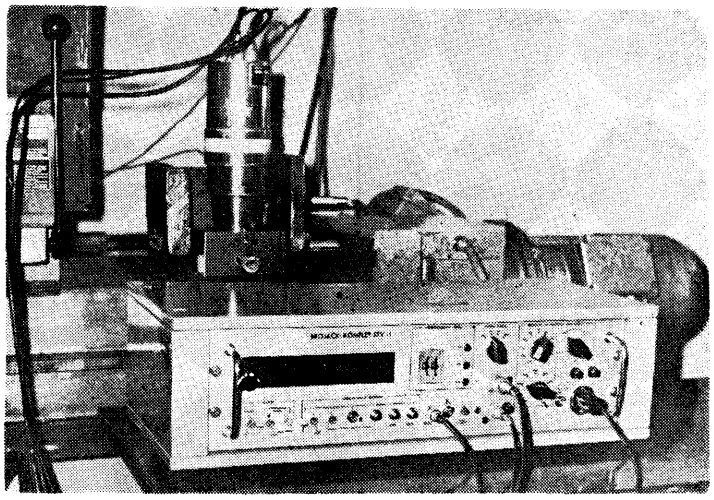
- ☐ izabrati uslove ozračivanja i ozračiti klizne vođice
- ☐ odabrati mernu instrumentaciju i napraviti pribor za održavanje konstantne geometrije merenja radioaktivnosti,
- ☐ odrediti baždarnu krivu,
- ☐ utvrditi postupak merenja i obrade rezultata da bi se dobile vrednosti habanja izražene u dužinskim jedinicama (μm)

Na obe vođice ozračene površine su bile kružnog oblika Ø 8 (mm), a rastojanje između njih 320 (mm). Pod istim uslovima su ozračeni i etaloni (za određivanje baždarne krive) čiji su hemijski sastav i mikro geometrija bili isti kao kod vođica. Pri aktivaciji je korišćen specijalni pribor za držanje vođica, hlađenje snopa i održavanje geometrije zračenja. Ozračivanje je obavljeno na ciklotronu na The University of Birmingham u Velikoj Britaniji pod sledećim uslovima:

- ☐ energija snopa: 8 MeV
- ☐ čestice snopa: protoni
- ☐ struja ozračivanja: 5 μA
- ☐ vreme ozračivanja: 15 min

Pri ozračivanju kliznih vođica i etalona pod gore navedenim uslovima pojavili su se izotopi Co^{56} i Co^{57}, kao i neki drugi kratkoživeći.

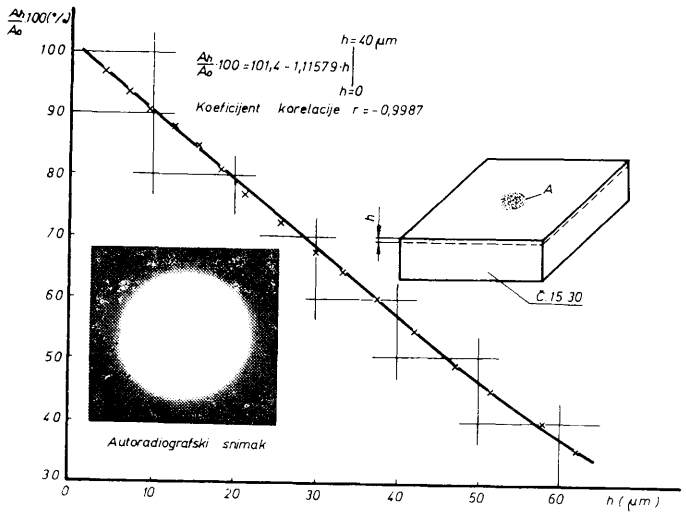
Za izvođenje eksperimentalnog dela u okviru ovog rada merenja radioaktivnosti su izvršena pomoću brojačkog kompleta STV — 1 (proizvod Instituta »Boris Kidrič« iz Vinče) sl. 9.



Sl. 9. — Merna instrumentacija

Određivanje baždarne krive je zasnovano na forsiranom istiranju ozračene površine etalona i periodičnom merenju preostale radioaktivnosti Ah i dubine skinutog sloja h. Na ovaj način se dobija raspored radioaktivnosti po dubini etalona, a samim tim i ozračenih vođica. Pri ovom postupku korišćena je za merenje radioaktivnosti ista instrumentacija koja će biti upotrebljena u daljem eksperimenalnom radu. Na sl. 10. je data relativna promena radioaktivnosti (Ah/Ao). 100 u funkciji debljine skinutog ozračenog sloja h za vođicu od čelika Č.1530. Za etalon od čelika Č.4320 dobijena je linearna veza promene radioaktiv-

nosti od dubine do vrednosti h = 40 (μm) sa veoma visokim koeficijentom korelacije; r = —0,9995 što je isto dobijeno i za etalon od čelika Č.1530 do iste dubine samo sa nešto manjim koeficijentom korelacije; r = —0,9987 (Sl. 10.).



Sl. 10. — Raspored radioaktivnosti po dubini za vođicu od čelika Č.1530

Merenjem prirodnog raspada i ukupne promene radioaktivnosti ozračene površine vođice koja se haba, a znajući raspored radioaktivnosti po dubini, lako se može matematičkim putem doći do veličine habanja izražene u dužinskim jedinicama (μm). To znači da rezultate merenja radioaktivnosti na kraju eksperimentalnog programa treba preračunati u veličine habanja izražene u mikronima. U tom slučaju radioaktivnost mesta na kome se prati habanje je samo jedan operator.

Rezultati praćenja procesa habanja na kliznim vođicama dobijeni u Laboratoriji za obradu metala i tribologiju na Mašinskom fakultetu u Kragujevcu ukazuje na visoko korelativnu linearnu vezu habanja h i puta trenja S. Iz tih razloga se može napisati da je:

$$h = K_1 \cdot S$$

gde je:

h (μm) — habanje vođice na ozračenom mestu

K_1 — konstanta koja zavisi od brzine kretanja stola, pritiska na vođice, vrste materijala kontaktnog para, vibracija i udarnih opterećenja stola, režima podmazivanja, primenjenog ulja itd.

S (km) — put trenja preko ozračene površine

Jedan od veoma pogodnih načina upoređenja habanja na različitim mestima kliznih vođica ako je veza habanja i puta trenja linearna je preko intenziteta habanja.

$$I = \frac{dh}{dS} = K_1 \left(\frac{\mu m}{km} \right)$$

Vidi se iz prethodne jednačine da će brojne vrednosti za intenzitet habanja biti veoma male, te iz tih razloga više smisla ima upoređivati proces habanja pri različitim režimima eksploatacije preko otpornosti na habanje, tj:

$$R = \frac{dS}{dh} = \frac{1}{K_1} \left(\frac{km}{\mu m} \right)$$

Navedeni odnos ukazuje na to, koliki je potreban put trenja kliznog stola preko ozračenog mesta da bi se na njemu ostvarilo habanje od jednog mikrona.

Da bi se dao odgovor na postavljeno pitanje, da li ima smisla težiti što kvalitetnijem materijalu za klizne vođice a istu pažnju ne posvetiti ulju za njihovo podmazivanje sastavljen je i izveden sledeći eksperimentalni program:

TABELA 2.

Eksperiment	Pritisak na vođice p (Pa)	Brzina kretanja stola V (mm/min)	Materijal vođica	Ulje za podmazivanje
1	$1,5 \cdot 10^5$	188	Č.4320 Č.1530	A
2	$1,5 \cdot 10^5$	188	Č.4320	A B

Vidi se da su uslovi rada u oba slučaja bili isti. U prvom eksperimentu je upoređena razlika kvaliteta vođica od čelika Č.4320 i Č.1530 uz primenu ulja A, dok u drugom za kvalitetniju vođicu (Č.4320) je praćen razvoj procesa habanja kada su korišćena ulja A i B. Habanje vođica je praćeno na istom rastojanju od pogonske grupe, tj. tu su se nalazila ozračena mesta.

Pri izvođenju navedenog eksperimentalnog programa režim rada uređaja za podmazivanje je bio sledeći:

$p_1 = 1,5 \cdot 10^5$ (Pa) — pritisak ulja za podmazivanje

$t_p = 40$ (sek) — vreme podmazivanja

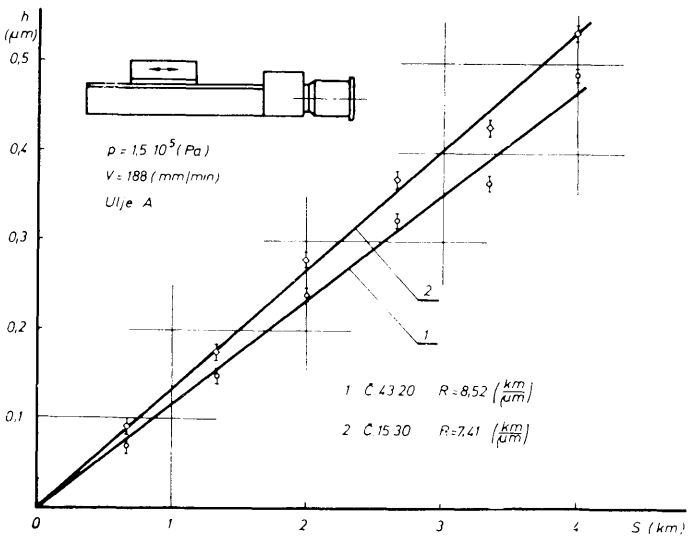
Q = 0,04 (l/min) — protok ulja za podmazivanje iz regulatora

n = 30 — broj hodova radnog stola između dva podmazivanja

Karakteristike ulja A i B su prikazane u tabeli 3.

TABELA 3.

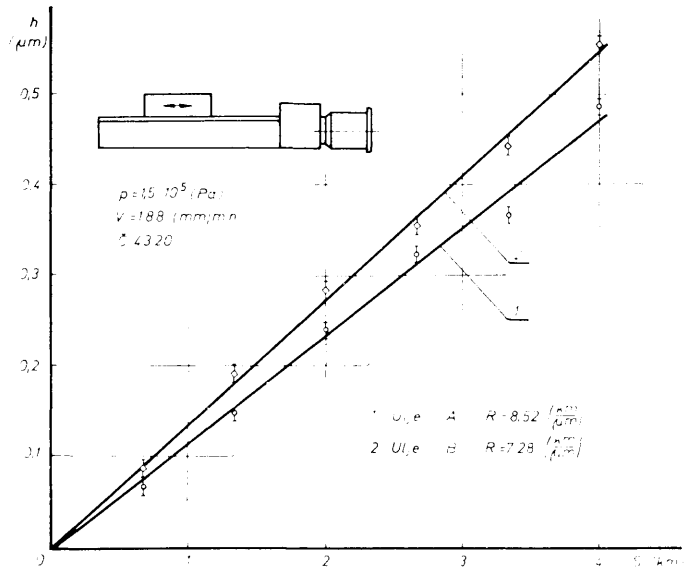
Oznaka / Karakteristike	Ulje A	Ulje B
Viskozitet na 323K	5,01E	4,13E
Indeks viskoziteta	93	92
Tačka paljenja	>453K	>443K
Tačka stinjavanja	<258K	<253K
Kiselinski broj mgKOH/gr	0,28	1
%H_2O i meh. nečistoće	nema	nema



Sl. 11. — Habanje vođica od čelika Č.4320 i Č.1530

Rezultati razvoja procesa habanja na vođicama od čelika Č.4320 i Č.1530 kada je za podmazivanje primenjeno ulje A su prikazani na sl. 11.

Na Sl. 12. je prikazana veza habanja i puta trenja za vođicu od Č.4320 kada se primenjuju ulja A i B.



Sl. 12. — Habanje vođice od čelika Č.4320

Indeks kvalitet vođica (ulja) može se izraziti na sledeći način:

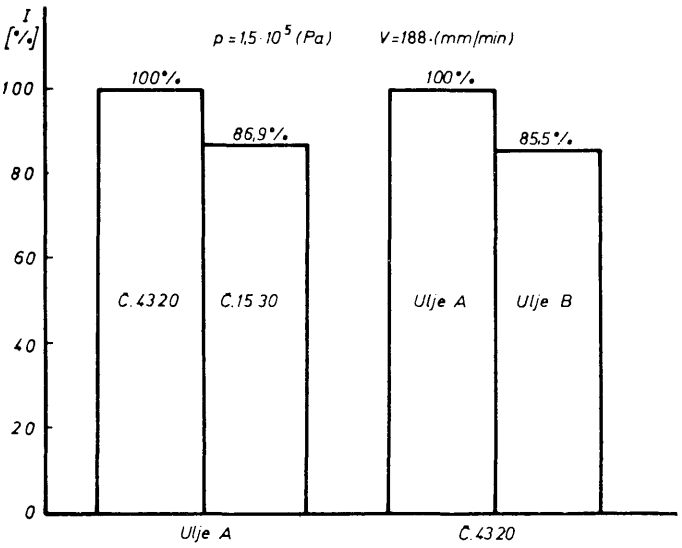
$$I\ [\%] = \frac{Rx}{Re} \cdot 100$$

gde je:

Re [km/μm] — otpornost na habanje vođice od čelika Č.4320 (prvi eksperiment), ili otpornost na habanje pri primeni ulja A (drugi eksperiment)

Rx [km/μm] — otpornost na habanje vođice od čelika Č.1530 (prvi eksperiment), ili otpornost na habanje pri primeni ulja B (drugi eksperiment)

Za vođicu od čelika Č.4320 i ulje A usvojeni su indeksi kvaliteta 100 dok su za vođicu od čelika Č.1530 i ulje B izračunati i prikazani na sl. 13.



Sl. 13. — Histogramski prikaz indeksa kvaliteta

Sa Sl. 13. se vidi da je vođica od čelika Č.4320 sa tribološkog aspekta bolja u poređenju sa vođicom od Č.1530. Međutim ova razlika u kvalitetu ne postoji ako se za njeno podmazivanje primeni ulje B.

ZAKLJUČAK

Rezultati izvršenih istraživanja nedvosmisleno ukazuju da je duži vek vođica od čelika Č.4320 u poređenju sa Č.1530 ako se za podmazivanje koristi ulje A.

Ova razlika u kvalitetu ne postoji ako se ne pokloni dovoljna pažnja izboru ulja. Sa ekonomskog i tribološkog aspekta postoji velika opravdanost primene čelika Č.1530 za klizne vođice, a da se pri tome odabere odgovarajuće ulje za njihovo podmazivanje.

LITERATURA

1. Б. И. КОСТЕЦКИЙ, Надёжность и доловечность машин. Издательство „Техника", Киев, 1975.
2. И. В. КРАГЕЛЬСКИЙ, Трение и износ. Издательство „Машиностроение", Москва, 1968.
3. Б. И. КОСТЕЦКИЙ, Трение, смазка и износ в машинах. Издательство „Техника", Киев, 1970.
4. Д. Н. РЕШЕТОВ, Детали и механизмы металлорежущих станков. Издательство „Машиностроение", Москва, 1972.
5. Ю. В. СКОРЫНИН, Ю. К. НАСЛЕДЫШЕВ, В. И. КОМАРОВА, Применение радиоактивных изотопов для оценки износа деталей металлообрабатывающего оборудования. Минск, 1969.
6. А. С. ПРОНИКОВ, Надежность машин, „Машиностроение", Москва, 1978.
7. М. М. ХРУЩОВ, М. А. БАБИЧЕВ, Абразивное изношивание. Издательство „Наука", Москва, 1970.
8. E. RABINOWICZ, Friction and Wear of Materials. John Wiley and Sons, Inc, New York, London, Sydney, 1965.
9. B. IVKOVIĆ, M. LAZIĆ, Using radioactive techniques for tribological research. Tribology International, Octobar 1974.
10. B. JEREMIĆ, Razvoj radioaktivne metode za proučavanje triboloških procesa na vođicama alatnih mašina. Jugoslovenski simpozijum o tribologiji i primeni goriva i maziva »Ohrid«, 1976.
11. B. JEREMIĆ, Triboloska istraživanja na vođicama i kotrljajnim ležištima alatnih mašina. Obrada metala i tribologija № 8, Mašinski fakultet, Kragujevac.
12. B. JEREMIĆ, Intenzitet habanja kliznih vođica. Jugoslovenski simpozijum o tribologiji i primeni goriva i maziva »Bled« 1978.

Mr BRANISLAV JEREMIĆ, dipl. inž.
asistent pripravnik na Mašinskom fakultetu u Kragujevcu

Ima 29 godina. Mašinski fakultet i poslediplomske studije završio u Kragujevcu. Radio u Zavodima »Crvena Zastava«. Sada je zapošljen na Mašinskom fakultetu u Kragujevcu u zvanju asisetna pripravnika za predmet Alati i pribori. Do sada objavio devet naučnoistraživačkih radova i učestvovao na realizaciji četiri naučnoistraživačka projekta.

UDK 629.113.014.514:5.31.43

M. VOLJEVICA, F. PAVLOVIĆ

Tribološki procesi na upravljačkom mehanizmu

UVOD

U okviru razvoja istraživanja triboloških pojava na Mašinskom fakultetu u Mostaru vršena je identifikacija procesa habanja i njihovih posljedica na jednom broju elemenata upravljačkog mehanizma. Eksperimentalna istraživanja izvedena su na istraživačkom punktu izgrađenom u Fabrici upravljača FUSOL u Nevesinju. Prvi rezultati ispitivanja saopšteni su u ovom radu.

Poznato je da savremena vozila treba da obezbede što veću sigurnost u saobraćaju. Upravljački mehanizam, kao jedan od najvažnijih sklopova, treba da bude tako izveden da obezbeđuje sigurnost upravljanja vozila. Da bi taj uslov bio ispunjen on treba da zadovolji slijedeće kriterije:

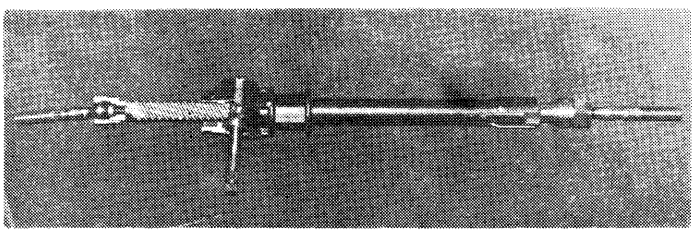
- ☐ lagan i bešuman rad bez potresa i vibracija,
- ☐ svojstvo gušenja potresa i vibracija,
- ☐ laku povratljivost u srednji položaj,
- ☐ veliki otklon vratila upravljača,
- ☐ lako održavanje i
- ☐ lako rukovanje upravljačem.

Tribološki procesi, posredno ili neposredno, značajno utiču na skoro sve navedene karakteristike upravljača. Zbog toga je od velikog značaja izbor pravilnih triboloških rješenja.

IDENTIFIKACIJA PROCESA HABANJA NA ELEMENTIMA UPRAVLJAČKOG MEHANIZMA

U toku eksploatacije upravljačkog mehanizma, (slika 1.), tribološki procesi se odvijaju na slijedećim tarnim parovima:

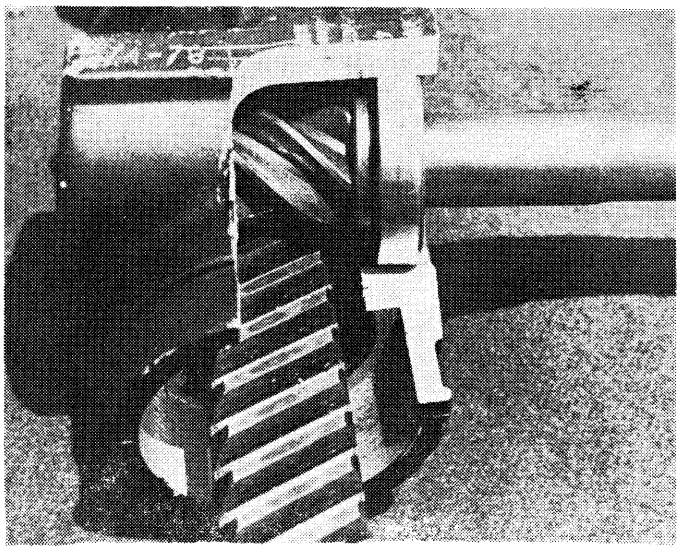
- ☐ zupčanik — zupčasta letva,
- ☐ ležište zupčaste letve — zupčasta letva,
- ☐ ležište kugle — kugla povlakača
- ☐ kugla povlakača — sfera navrtke i
- ☐ elementima kotrljajućih ležišta



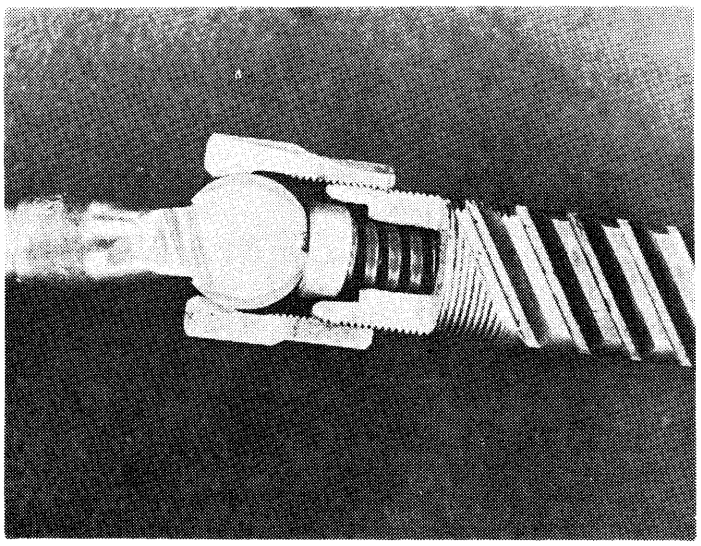
Sl. 1. — Upravljački mehanizam

Rezultat razvoja triboloških procesa je povećanje zazora u sklopovima upravljačkog mehanizma. U okviru prvih ispitivanja razvoja triboloških pojava na elementima upravljača, praćen je razvoj zazora na:

— zupčaniku i zupčastoj letvi (slika 2.) i
— ležištu kugle povlakača, kugli i navrtci (slika 3.)



Sl. 2. — Zupčanik i zupčasta letva



Sl. 3. — Ležište krugle povlakača, krugla povlakača i navrtka

DEFINISANJE OBLIKA, VELIČINE I FIZIČKO-HEMIJSKIH KARAKTERISTIKA KONTAKTNIH POVRŠINA NA KOJIMA SE JAVLJA TRENJE

Zupčanik — zupčasta letva

Zupčanik i zupčasta letva izvedeni su kao helikoidni zupčasti par za mimoilazne ose (slika 2.). Zupčanik se izrađuje od čelika Č. 5421.

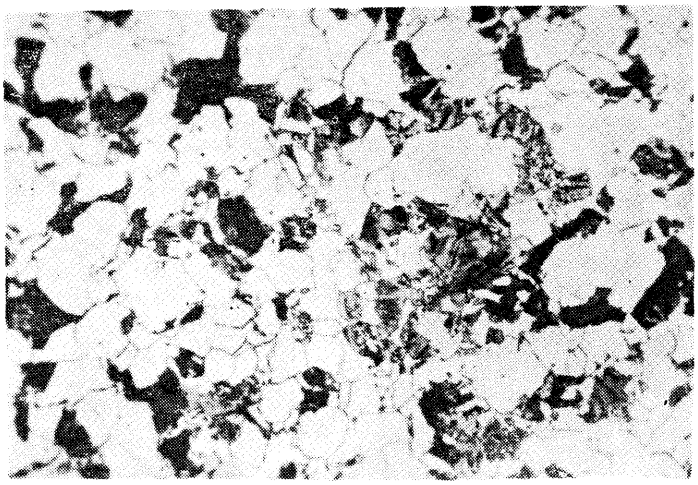
Hemijski sastav čelika Č.5421

	C%	Si%	Mn%	P%	S%	Cr	N%
od	0,15	0,15	0,40	—	—	1,8	1,8
do	0,20	0,40	0,60	0,305	0,035	2,1	2,1

Mehaničke osobine čelika Č. 5421

- Granica razvlačenja 800 N/mm²
- Zatezna čvrstoća 1200 — 1450 N/mm²
- Relativno izduženje 7%
- Tvrdoća 235 HB (22 HRC)

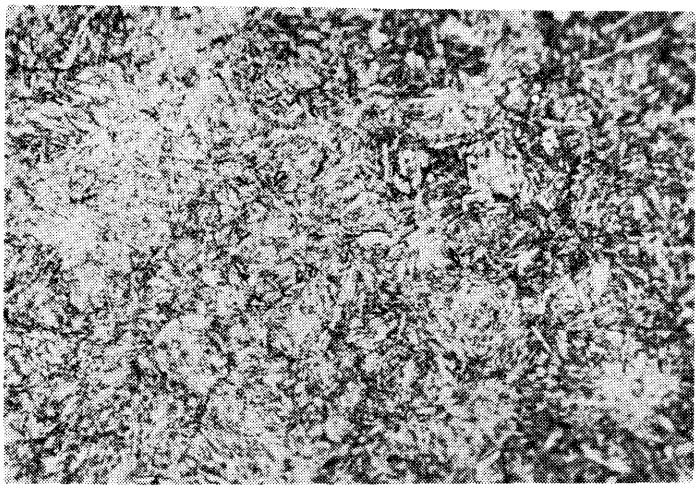
Struktura termički neobrađenog čelika pokazana je na slici 4.



Sl. 4. — Struktura termički neobrađenog čelika Č. 5421 (ferit + lamenarni perlit + zrnasti perlit) uvećanje 500 puta

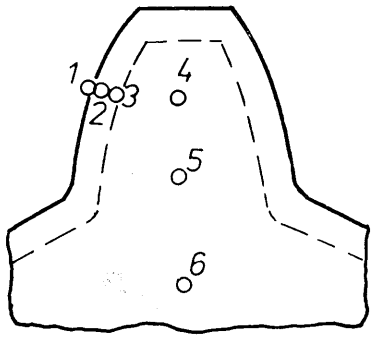
Struktura termički obrađenog čelika pokazana je na slikama 5. i 6.

Sl. 5. — Struktura jezgra zupčanika (bejnit+ferit+martenzit), uvećanje 500 puta



Sl. 6. — Struktura cementiranog sloja (martenzit + zaostali aostenit) uvećanje 500 puta

Raspored tačaka u kojima je mjerena tvrdoća, nakon izvršeie cementacije, pokazan je na slici 7., a rezultati mjerenja dati su u tabeli 1.



Sl. 7. — Raspred tačaka u kojima je mjerna tvrdoća zupca zupčanika

TABELA 1.

Tačka	HV	HRC
1	712	60
2	614	55,3
3	515	49,5
4	401	40,9
5	401	40,9
6	389	40

Hrapavost površine boka zupca je u kvalitetu 10.
Materijal zupčaste letve je Č. 1531

Hemijski sastav čelika Č. 1531

	C%	Si%	Mn%	P%	S%
od	0,42	0,15	0,50	—	—
do	0,50	0,35	0,80	0,035	0,035

Mehaničke osobine materijala u poboljšanom stanju

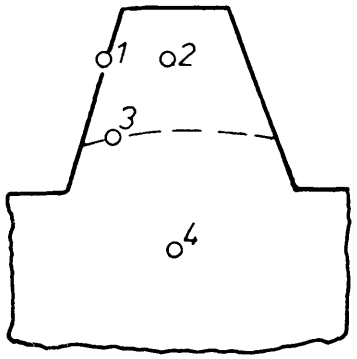
- Granica razvlačenja 400 N/mm²
- Zatezna čvrstoća 650 + 800 N/mm²
- Relativno izduženje 16%
- Tvrdoća (max) 206 HV (16 HRC)

Struktura materijala nakon izvršnog indukcionog kalenja zubaca data je na slikama 8. i 9.

Sl. 8. — Struktura jezgra zupčaste letve (ferit + lamelarni perlit + zrnasti perlit), uvećanje 500 puta

Sl. 9. — Struktura zakaljanog sloja (matenzit + ostaci feritne mreže) uvećanje 500 puta

Raspored tačaka u kojima je merena tvrdoća pokazana je na slici 10., a rezultati mjerenja su dati u tabeli 2.



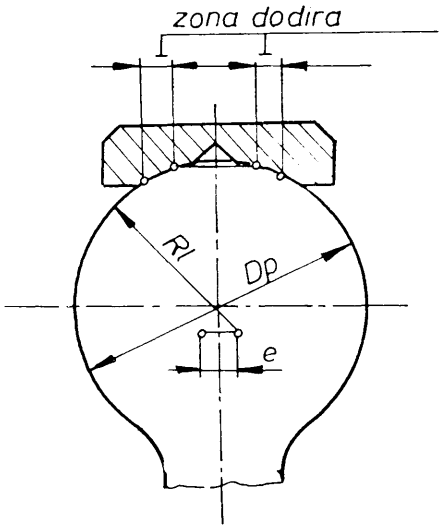
Sl. 10. — Raspored tačaka u kojima je mjerna tvordoća

TABELA 2.

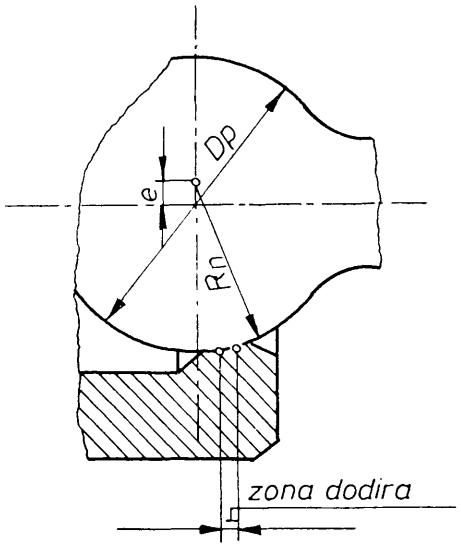
Tačka	HV	HRC
1	592	53,9
2	570	52,7
3	276	26,0
4	200	15,9

Sjedište kugle, kugla povlakača i navrtka

Kugla povlakača sa jedne strane je oslonjena o sjedište kugle (slika 11.), a s druge strane je oslonjena na navrtku (slika 12.).



Sl. 11. — Kontaktna površina sjedišta kugle i kugle povlakača



Sl. 12. — Kontaktna površina kugle povlakača i sfere navrtke

Materijal sjedišta kugle je Č. 1221.

Hemijski sastav čelika Č. 1221

C%	Si%	Mn%	P%	S%
od 0,12	0,15	0,30	—	—
do 0,18	0,35	0,40	0,035	0,035

Mehaničke osobine čelika Č. 1221

- Granica razvlačenja 300 N/mm²
- Zatezna čvrstoća 500 — 650 N/mm²
- Relativno izduženje 16%
- Tvrdoća 140 HV

Nakon izvršene cementacije tvrdoća površinskog sloja iznosi 62 HRC
Hrapavost površine u zoni kontakta je u kvalitetu 8 (Ra = 1,6 μm).
Povlakač je izrađen od čelika Č. 4732.

Hemijski sastav čelika Č. 4732

C%	Si%	Mn%	P%	S%	Cr%	Mo%
od 0,038	0,15	0,50	—	—	0,90	0,15
do 0,45	0,40	0,80	0,035	0,035	1,20	1,30

Mehaničke osobine čelika Č. 4732 u poboljšanom stanju

- Granica razvlačenja (min.) 800 N/mm²
- Zatezna čvrstoća 1100 — 1200 N/mm²
- Relativno izduženje 11%
- Tvrdoća 217 HV

Nakon indukcionog kaljenja kugle povlakača površinska tvrdoća u zoni kontakta je 55 — 60 HRC (645 — 790 HV). Struktura prokaljenog sloja je martenzitska. Hrapavost površine u zoni kontakta je u kvalitetu 6.

Hemijski sastav materijala navrtke

C%	Si%	Mn%	P%	S%	Pb%
od 0,38	0,35	0,60	—	—	0,15
do 0,43	0,35	1	0,06	0,06	0,35

Mehaničke osobine materijala navrtke u žarenom stanju

- Granica razvlačenja 550 N/mm²
- Zatezna čvrstoća 720 N/mm²
- Relativno izduženje 12%
- Tvrdoća 207 — 255 HV (17 — 25 HRC).

Nakon indukcionog kaljenja sfere navrtke površinska tvrdoća u zoni kontakta iznosi 52 — 58 HRC (575 — 755 HV). Struktura prokaljenog sloja je martenzitska. Površinska hrapavost u zoni kontakta je u kvalitetu 9.

PROGRAM I USLOVI ISPITIVANJA

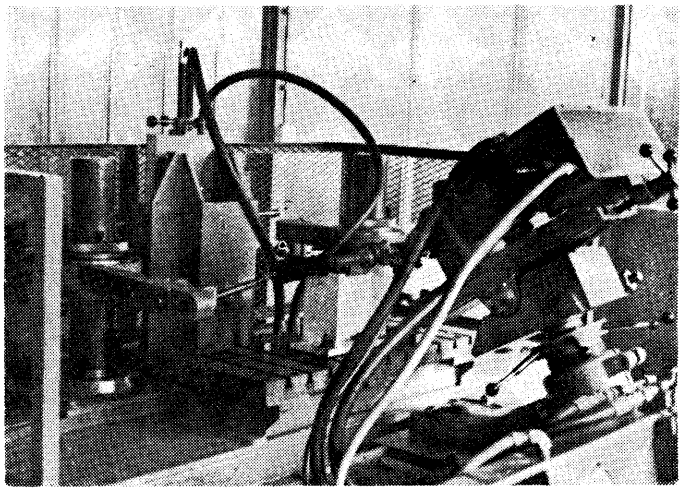
Za simuliranje rada upravljača u eksploatacionim uslovima korišćen je uređaj firme REXROT. Upravljač funkcioniše putem pogonskog točka koji je pogonjen hidromotorom. Brzina hidromotora kontrolisana je preko kontrolnog protočnog ventila, koji obezbeđuje potreban protok ulja doturenog od hidropumpe. Upravljač je izvrgnut opterećenju preko spoljnjih poluga putem dva reakciona cilindra montirana na podesive klizače. Ova dva cilindra su međusobno spojena tako da obe spojne poluge su jednako, ali suprotnosmjerno opterećene. Opterećenje je podesivo.

Osnovne karakteristike uređaja su:

maksimalni ulazni moment 102 Nm
maksimalno opterećenje spojne poluge 6680 N

Prije simuliranja eksploatacionih uslova na REXROT-u (slika 12.), izvršena su mjerenja momenta koji preko upravljačkog točka treba da se saopšti zupčaniku upravljača kako bi došlo do pokretanja točkova u lijevu ili desnu stranu. U tim ispitivanjima je utvrđeno da moment potreban za pokretanje točkova u lijevu i desnu stranu, kada automobil nije u pokretu iznosi M ≈ 15 Nm na asfaltnom drumu, a na makadamu M ≈ 10 Nm. Maksimalni moment izmjeren na vratilu upravljača za vrijeme vožnje iznosi M ≈ 3,75 Nm. Ispitivanje habanja upravlača izvedeno je u slijedećim uslovima:

- moment koji se preko hidromotora saopštava zupčaniku, upravljača M = 12±1 Nm,
- broj ciklusa* N = 100000



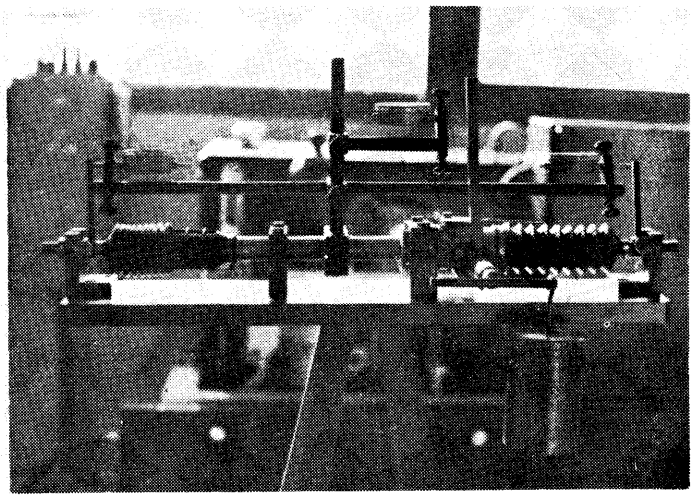
Sl. 13. — Uređaj za simuliranje eksploatacionih uslova na upravljaču

U toku ispitivanja vršena su mjerenja:

- zazora na povlakačima,
- zazora na poluzi zupčanika,
- statičkog momenta otpora kretanja u lijevu i desnu stranu i
- kinetičkog momenta otpora kretanja u lijevu i desnu stranu.

Mjerenja su vršena na 0 i svakih daljih deset hiljada ciklusa.

Zazor na poluzi zučanika i zazor na povlakaču mjeri se u sklopu priborom pokazanim na slici 14.



Sl. 14. — Pribor za mjerenje zazora u sklopu

Postupak pri mjerenju je slijedeći. Upravljač se stegne u pribor za mjerenje, na cijev upravljača postavi se nosač sa komparatorima, vodeći računa da pipak komparatora,

*) **Jedan ciklus predstavlja kotrljanje zupčanika upravljača po zupčastoj letvi iz krajnjeg lijevog u krajnji desni položaj i obratno.**

koji služi za mjerenje zazora na poluzi zupčanika, zauzme tačan položaj. Nakon toga, na dvokraku poluga vezanu za zupčanik upravljača djeluje se tegom od 50 N. Pod dejstvom saopštenog momenta zupčaniku upravljača, dolazi do pomjeranja elemenata upravljača. Kada je teret postavljen svi komparatori se dovode u nulti položaj. Nakon toga teret se prebacuje na drugu stranu dvokrake poluge. Elementi upravljača zauzimaju novi položaj i vrši se očitavanje zazora. Mjerenja se višestruko ponavljaju, a potom se nalazi srednja vrijednost zazora na poluzi zupčanika, prvom povlakaču i drugom povlakaču.

$$X = C_{sr} + \frac{33{,}4\ (a_{sr} + b_{sr})}{2}$$

gde je:

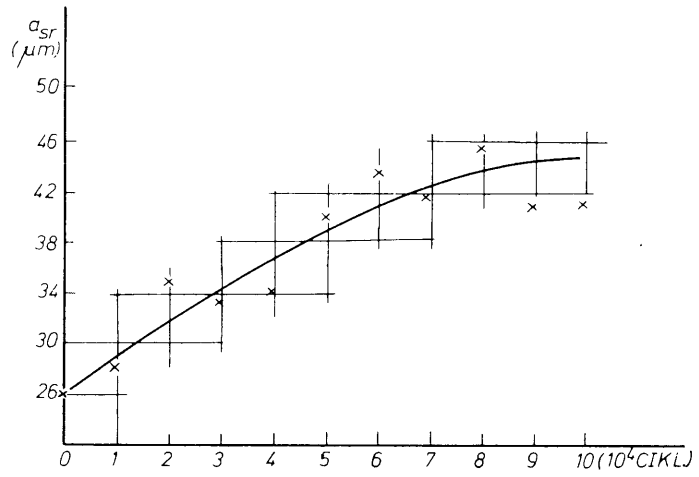
C_{sr} — zazor na poluzi zupčanika
a_{sr} — zazor na prvom povlakaču
b_{sr} — zazor na drugom povlakaču
X — zazor na obimu upravljačkog točka

Pored mjerenja zazora mjereni su:

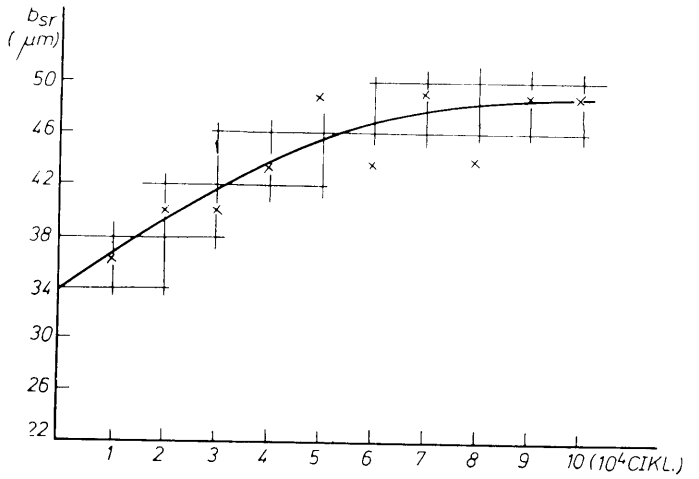
- statički moment otpora kretanja (minimalni moment koji je potrebno saopštiti zupčaniku upravljača da dođe do njegovog pokretanja iz stanja mirovanja),
- kinetički moment otpora kretanja (minimalni moment koji je potrebno saopštiti zupčaniku upravljača pa da elementi upravljača ostanu u stanju jednolikog kretanja).

REZULTATI EKSPERIMENTA

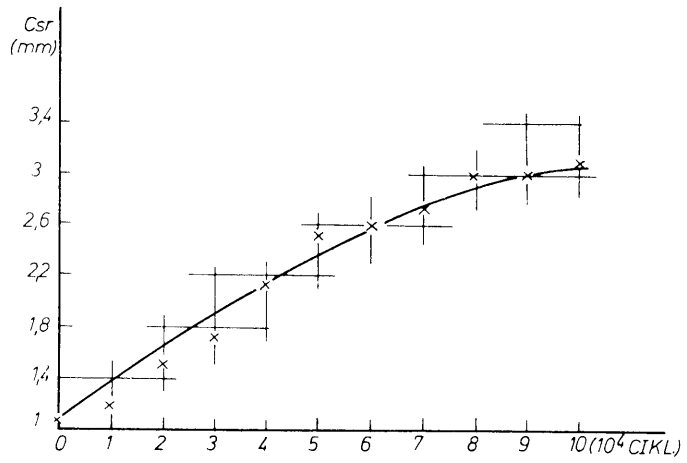
Rezultati mjerenja pokazani su na dijagramima (slika 15, 16, 17, 18, 19 i 20).



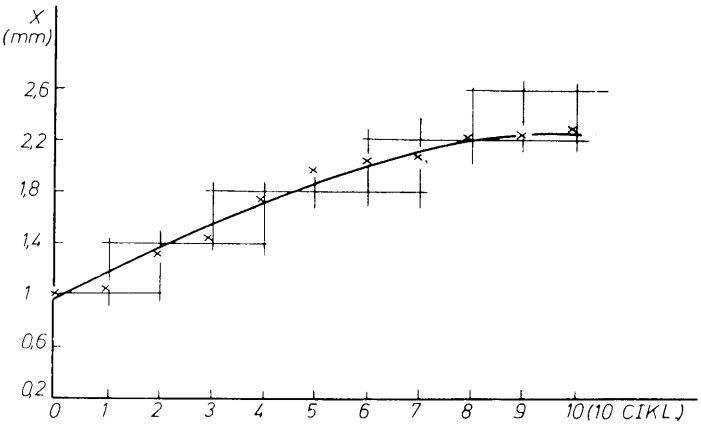
Sl. 15. — Promjena zazora na prvom povlakaču



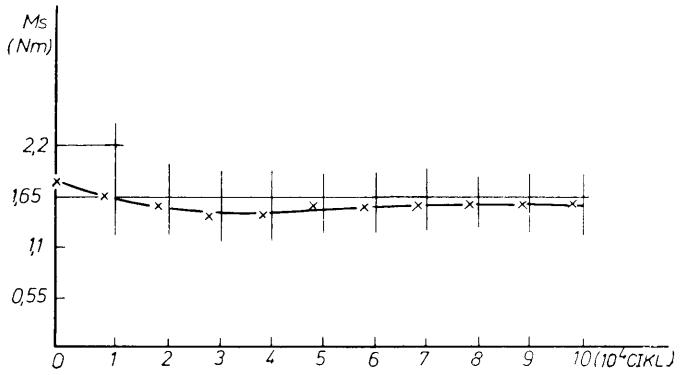
Sl. 16. — Promjena zazora na drugom povlakaču



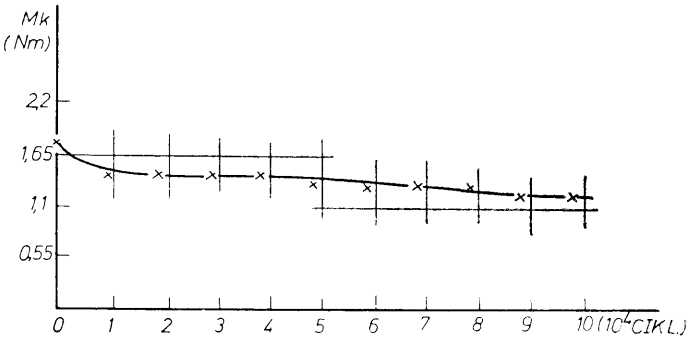
Sl. 17. — Promjena zazora na poluzi zupčanika



Sl. 18. — Promjena zazora na obimu upravljačkog točka



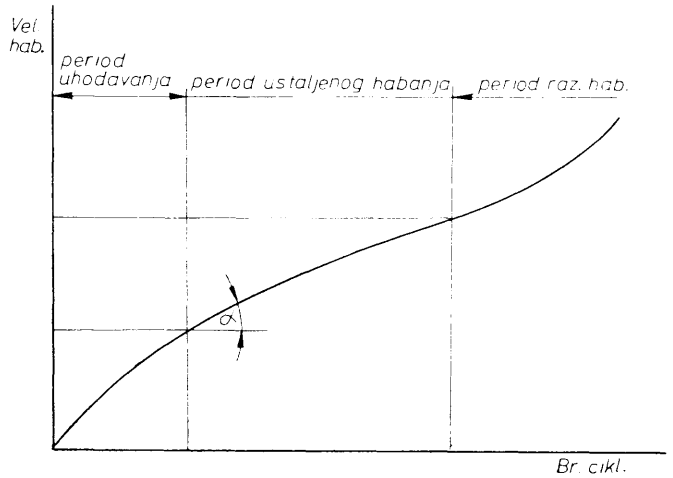
Sl. 19. — Promjena statičkog momenta otpora kretanju



Sl. 20. — Promjena kinetičkog momenta otpora kretanju

ZAKLJUČCI

Vrijeme rada tarnog para, od početka rada do njegove zamjene, može se podijeliti u tri perioda: period uhodavanja, period ustaljenog habanja i period razornog habanja (sl. 21.).



Sl. 21. — Habanje tarnog para od početka rada do njegove zamjene

U periodu uhodavanja tarnog para dolazi do izravnavanja radnih površina uslijed plastičnih deformacija i skidanja mikroneravnina, sve dok ne prestanu prelaziti debljinu uljnog filma i zadirati jedna u drugu. Prestanak perioda uhodavanja karakteriše se obrazovanjem optimalnog reljefa tarnih parova za date uslove trenja, stabilizacijom koeficijenta trenja i temperature.

Po završenom uhodavanju nastaje period ustaljenog habanja. Ako je tgα veći, veći je intenzitet habanja i obratno. Intenzitet habanja je manji od intenziteta habanja u druga dva perioda.

Treći period je period razornog habanja u kome dolazi do oštećenja, razaranja i izmjeie oblika površine. Ovaj period karakteriše intenzivno habanje.

Upoređujući dijagram razvoja zazora na povlakaču u funkciji broja ciklusa (slika 15. i 16.) sa dijagramom habanja tarnog para od početka njegovog rada do zamjene (slika 21.) može se zaključiti slijedeće:

Tok krive razvoja zazora na povlakaču do 60 000 ciklusa odgovara fazi uhodavanja tarnog para. Nakon 60 000 ciklusa ulazi se u fazu ustaljenog habanja, čiji završni period nije dostignut ovim ispitivanjem.

Potrebno je produžiti vrijeme ispitivanja (povećati broj ciklusa) do faze razornog habanja i dalje, radi upoznavanja ponašanja tarnog para u fazi ustaljenog i razornog habanja.

Upoređujući dijagram razvoja zazora na poluzi zupčanika (slika 17.) sa dijagramom habanja tarnog para (slika 21.) može se zaključiti slijedeće:

Tok krive razvoja zazora na poluzi zupčanika do 80 000 ciklusa odgovara fazi uhodavanja tarnog para. Nakon 80 000 ciklusa tarni par ulazi u fazu ustaljenog habanja čiji završni period nije dostignut ovim ispitivanjem.

Potrebno je produžiti vrijeme ispitivanja do faze razornog habanja i dalje, radi definisanja procesa habanja u fazi ustaljenog i razornog habanja.

Porast zazora na poluzi zupčanika (slika 17.) je znatno brži od porasta zazora na povlakaču (slika 15.) i od većeg je uticaja na formiranje zazora na obimu upravljačkog točka.

Iz dijagrama promjene statičkog momenta otpora kretanju (slika 19.) i dijagrama promjene kinetičkog momenta otpora kretanju (slika 20.) može se zaključiti:

Statički moment otpora kretanju već na 20 000 ciklusa dostiže stabilnu vrijednost, koja se do kraja ispitivanje ne mijenja, dok kineički moment otpora kretanju tokom cijelog ispitivanja opada.

Do tvrdoće 56 — 60 HRC otpornost na habanje se povećava srazmjerno sa tvrdoćom. Tvrdoća nije jedini kriterij otpornosti na habanje. Značajan je i uticaj čvrstoće jezgra. Tarni parovi koje smo ispitivali upravo posjeduju takve osobine. U cilju otvrdnjavanja površine tarnih parova primjenjeni su cementacija i indukciono kaljenje. Na taj način postignuto je čvrsto jezgro uz potrebnu tvrdoću kontaktih površina (od 54 — 62 HRC).

LITERATURA

1. Z. SAVIĆ, J. MAGYAR: Aktuelni problemi proizvodnje zupčanika (Zbornik radova), Beograd, 1973. god.
2. S. TANASIJEVIĆ: Zbornik radova o zupčanicima i kliznim ležajevima, Zagreb 1976. god.
3. J. HALLING: Principles of Tribology, London, 1976. god.

MUHAMED VOLJEVICA, dipl. inž.
docent Mašinskog fakulteta u Mostaru

Rođen 1928. godine. Diplomirao na Mašinskom fakultetu Univerziteta u Ljubljani. Radio u metalskom kombinatu »Soko«. Sada radi kao docent i šef Katedre za konstrukcije Mašinskog fakulteta Univerziteta »Džemal Bijedić« u Mostaru.

FARUK PAVLOVIĆ, dipl. inž.
asistent Mašinskog fakulteta u Mostaru

Rođen 1943. godine. Diplomirao na Mašinskom fakultetu Univerziteta u Sarajevu. Radi kao asistent Mašinskog fakulteta Univerziteta »Džemal Bijedić« u Mostaru. Bavi se triboloških istraživanjima iz oblasti prenosnika snage.