



tribologija u industriji

sadržaj contents содержание

UVODNIK INTRODUCTION ПЕРЕДОВИЦА	L. D. WEDEWEN: Tribologija - stvaranje vizija za devedesete - Tribology - Creating the Visions for 1990's - Трибология - творческая визия в этом десятилетии	35
ISTRAŽIVANJA RESEARCH ИССЛЕДОВАНИЯ	D. KAROVIĆ, S. MILUTINOVIĆ: Uticaj stepena pohabanosti alata na hrapavost površina - The influence of Tool Wear on the Surface Topography Proccesed by Turning - Воздействие износа инструмента на шерховатость поверхностей обработанных точением F. PAVLOVIĆ, S. TANASIEVIĆ: Neke karakteristike habanja helikoidnih zupčanika urađenih od Č 4231 i Č1530 u uslovima visokih opterećenja - Some Wear Characteristics of Helical Gears Produced According to the Procedures Č 4231 and Č 1530 in High Charge Conditions - Некоторые особенности изнашивания челиком далных зубчатых колес, изготовленных из сталей 4231 и 1530, в условиях высоких нагрузок. 45	39
ZA NEPOSREDNU PRAKSU FOR DIRECT PRACTICE ДЛЯ НЕПОСРЕДСТВЕННУЮ ПРАКТИКУ	D. BABIĆ: Rezultati istraživanja ponašanja TiN - prevlaka na elementima tribo - mehaničkog sistema i hermetičkom rashladnom kompresoru - Results of Experimeting With TiN Coating on Tribo - Mechanical Sistem in Hermetic Industrial Refrigeration Compressor - Результаты исследования поведения ТиН - покрытий элементов трибомеханической системы в герметическом охладительном компрессоре	50
NOVOSTI NEWS НОВОСТИ	B. TADIĆ: Indeks obradivosti grupe čelika sa energetskog aspekta	54
KNJIGE I ČASOPISI BOOKS AND JOURNALS КНИГИ И ЖУРНАЛЫ	A. ИЛИНСКИЙ, В. Т. ПОЛУНИН, А. Б. ЧИЧИНАДЗЕ, В. Н. ХОВАНСКИЙ: Savez naučnih i inženjerskih društava SSSR na putu formiranja asocijacije sovjetskih tribotehničara	58
NAUČNI SKUPOVI SCIENTIFIC MEETINGS НАУЧНЫЕ СОБРАНИЯ	KNJIGE I ČASOPISI	60
REZIMEA ABSTRACTS РЕЗЮМЕ	NAUČNI SKUPOVI	62
		64

Na STLE/ASME 1989. Tribology Conference, koja je održana oktobra meseca u Fort Lauderdale, Florida saopšten je i rad L.D. Wedeven-a čiji prevod stampamo u ovom broju umesto uvodnika jer se odnosi na viziju tribologije u poslednjoj deceniji ovog veka. Nadamo se da će izloženi stavovi, od kojih su neki i za diskusiju, pomoći našim čitaocima da formiraju svoje posebne programe rada u oblasti tribologije u narednom desetleću.

Redakcija

LAVERN D. WEDEVEN,

Wedeven Associates, Inc.

Engomont, Pennsylvania

Tribologija - stvaranje vizija za devedesete

Sa engleskog prevela Jasmina Janković, dipl. filolog

UVOD

Tribologija je sada priznata u tehničkom društvu. Sa ovim priznanjem dolazi i odgovornost. Naši tehnološki kupci puno očekuju od nas. Danas ih njihova tehnologija stavlja ovde, sutra će želeti da budu čak tamo dalje. Kako da predjemo taj put odavde do tamo? Kako da učrtamo taj put za novu tribologiju za devedesete? Kako da uredimo sledećih deset godina? Kako da od prosečnih postanemo izvanredni?

SMER

Izgleda da je odgovor u našem smeru. Smer je važan. Kosmički brod Voyager je imao dobar smer na svom dugom putovanju. I doneo je ogromno otkriće.

EXXON Valdez je imao loš smer za samo kratko vreme. I nije imao uspeha.

Sa lošim smerom, vreme može raditi protiv nas.

Pravi smer u pravo vreme je ono što je potrebno.

Tribologija nije nauka sama za sebe. Ona služi tehnologiji. I zato što se tehnologija stalno kreće, okolnosti oko nas nastavljaju da se menjaju. Ima novih

tehnologija koje treba služiti. Vreme stvara promene u našim poslovima i okolnostima.

Ako hoćemo, mi možemo dopustiti da naš smer bude pasivan. Kako vreme prolazi možemo pustiti da okolnosti donose odluke za nas.

Možemo da nastavimo da odgovaramo na potrebe kako se one pojavljuju.

Izazov devedestih je traženje jednog aktivnog smera. Da bi to uradili, moramo da se uhvatimo u koštač sa situacijom u kojoj smo sada i tako odredili kuda dalje.

HVATANJE U KOŠTAC SA SADAŠNJIM STANJEM

Jedan od mojih prvih pokušaja u ovome je došao ubrzo pošto me je profesor Ludema poslao u Englesku na postdiplomske studije na Imperial koledžu. Prisustvovao sam tribološkoj konferenciji da bi saznao gde smo i da bi tražio smer.

Konferencija je održana na jugozapadnoj obali Engleske u gradu Plimutu - mesto odakle je Sir Francis Drejk krenuo da oplovi svet; mesto odakle su hodočasnici započeli svoje putovanje u novi svet. Kakvo divno mesto da se započne putovanje u tribologiju!

Kako su se dogadjaji razvijali, iskustvo je bilo poražavajuće!

Ukoričenu knjigu radova je bilo teško razumeti. Smatrao sam da su vrlo malo objasnili gde smo bili i u kom smeru treba krenuti.

Nakon pročitanog rada, u diskusiji koja je sledila, Dejvid Tebor je rekao da „bolje razumemo trenje nego pre 10 godina.. Ali, osnovni mehanizmi ne moraju da budu tako jednostavni.

U radu jednog istaknutog tribologa su bili podaci koji otkrivaju vezu između sastava legure u čeliku i „scuffing“-a. Jedna osoba, koja je doputovala s drugog kontinenta samo da bi prodiskutovala ovaj rad, zahtevala je 15 minuta vremena, a onda je uništila svaki zaključak koji je doneo autor.

Do kraja konferencija sve sam slabije stezao knjigu. Teorije o velikim ljudima su bile uzdrmane. Ako se rad dokumentovan između onih plavih korica mogao shvatiti, bilo je opasno poverovati u to. Nesmotreni prilozi mogu da učine lošu uslugu našim naporima koje činimo. Oni mogu da unište mlade.

Pošto sam se vratio u laboratoriju, izgledalo je da postoji samo jedna direktiva za smer u tribološkim istraživan-

jima: „Ako ne znaš šta radiš, uradi to pažljivo..“

Možda možemo da naučimo nešto i od hodočasnika: putovanje može biti dugo i teško; možemo se osećati neodgovarajućim za zadatak koji sledi; naš smer može biti nejasan, ali se može popraviti ako nastavimo. Vizija nam može dati snagu da nastavimo. Na kraju, pokaže se da je vredelo truda.

HEROJI TRIBOLOGIJE

Uskoro otkrivamo prave heroje tribologije. To su oni koji pišu klasične radove i monografije u kojima se sve nekako složilo. To su oni koji daju smer za naše putovanje kroz „zavičaj“ tribologije. To su oni koji nam omogućavaju da stignemo do granica saznanja.

Lepo je videti velike heroje nagradjene na ovom svečanom ručku. Oni su nam omogućili da shvatimo naš komplikovani svet. Pokazali su jedinstvenu sposobnost za sažeto i razumljivo prikazivanje.

Tribološko istraživanje, koje obezbeđuje bolje shvatanje, je korisno zato što nam pomaže da dodjemo u koštar sa situacijom u kojoj smo. Ali, bilo je razočaravajuće otkriti da mnoge stvari koje pokušavamo da shvatimo već imaju praktičnu primenu. Mi samo pokušavamo da shvatimo ono što praktični inžinjer rutinski i možda nesvesno koristi. I tako se veliki deo našeg rada usredsređuje na ZAŠTO smo tu gde smo. A ne KAKO da dodjemo do tamo.

SMER KA JEDNOM CILJU

U postdiplomskom radu, da bi postigli najbrže ono što se smatra doprinosom je usmeriti naš cilj ka granici saznanja pravolinjskim pristupom. Odbacimo sve što ne vodi ka toj tački na granici. Ne nosimo suvišan prtljag koji nas usporava. Budimo usmereni samo ka tom cilju.

Ovakav pristup vodi ka podizanju tribološkog stuba. Ako je dobar stub sam stoji. Ali dok sam stoji od njega nema koristi. Ni sa čim nije povezan. On činu jednu nepotpunu osnovu.

Lako je nastaviti ovu praksu. I isplativo je sa tehničke strane. Ove godine ja ću imati stub spremam za Fort Loderdejl. Svidjaju mi se plaže Fort Loderdejla. Sledeće godine to će biti moja karta za Toronto.

Moramo se upitati kakva je vrednost tih triboloških stubova koje podižemo? Ili, kako možemo da dobijemo dodatnu vrednost od onoga što već imamo? Naša dostignuća u devedesetim neće realizovati nauka sama po себi, već njihova primena. Konstrukcija tribološke tehnologije nema najkorisniju svrhu. Uticaj dolazi od onoga što to čini mogućim pošto je napravljeno. Treba nam više praktičnog znanja o onome što smo saznali. Mi ne možemo samo da nastavimo da podižemo još stubova. Mi ne treba da radimo samo za znanje, već za znanje koje ima praktičnu primenu. To je ono što nas od proseka može dovesti do izuzetnog.

INOVACIJE

Inovacije i kreativnost su vrata ka jednoj izuzetnoj budućnosti u sledećem desetleću. Izazov je ne ići samo u smeru ka jednom cilju do granice saznanja. Nije teško otkriti da praktični pronalasci imaju svoje korene po celoj širini granice. Moramo proputovati svoj zavičaj da bi shvatili tu široku granicu. Efektivan rad u širokoj areni zahteva veća ulaganja u proizvodnju i inventivnije načine iskorištenja. Potrebno nam je više inventivne kulture, inventivne strukture i inventivnog duha.

Obrazovanje je presudno. Inovacije u sledećih 10 godina zavise od današnje obuke mladih. Ulaganje u mladost je ulaganje u budućnost. Kako organizovati efikasnu i efektivnu obuku? Efikasno obrazovanje podrazumeva učenje na pravi način. Efikasno obrazovanje je učenje pravih stvari. Efikasno obrazovanje radi inovacija je izazov. Uz to je potrebna i samoinicijativa. Standardno obrazovanje nam daje standardne rezultate. Ako učimo na tudjim greškama, nećemo ih sami praviti.

Postoje tri faze na putu do triboloških inovacija:

Prva je faza inkubacije kada obukom rukovode drugi.

Druga je faza sazrevanja kada osećamo kako se probijamo kroz zavičaj do granica.

Treća je faza inovacija kada krećemo u potpuno novim smerovima.

Zadnja faza je najvažnija, ali ju je i najteže dostići.

Mislim da triboloških inovacija sada nema u našem radu zbog našeg smera ka samo jednom cilju na granici. Takodje mi puno zavisimo od logičkog pristupa, strukture, politika i postupaka. Treba da verujemo svojoj intuiciji. Potrebni su veći intelektualni i emocionalni rizici u našem radu. Oni koji budu rizikovali daće inovacije u devedesetim. To su oni koji će naše znanje pretvoriti u korisno znanje. To su oni koji će izneti ono najbolje u ljudima.

Da bi to uradili treba da proširimo naše ličnosti. Podstrek za devedesete mora doći do pojedinaca.

TAJNE

Koje su tajne za bolje inovacije! Tri stvari su bitne: Prvo - biti svestan snage i dinamičnog karaktera. Znati da znanje koje imamo o tribologiji je vredno preimućstvo.

Na Imperial koledžu, kod profesora Kamerona, imao sam tu privilegiju da učestvujem u razvijanju optičke tehnike posmatranja EHD filma. Ova nova metoda je otkrila trodimenzionalne karakteristike uljnih filmova u sjajnoj boji. Prvi put sam video sjajno delovanje EHD maziva, to je na mene emocionalno delovalo.

Pogledajmo mehanizam, nemojmo ga analizirati do najsjajnijih delova. Ako gledamo preblizu, vidimo samo grubu kožu slona. Koraknemo li unazad i videćemo ogromnu zver. Uživajmo u lepoti i snazi unutrašnjih mehanizama tribologije.

Važno je da iskusimo i ono što imamo u praksi. Treba da osetimo miris vrelog ulja, slušamo škripu loše podmazanog kontakta koji vapi za više hemije. Ova vrsta iskustva nam pomaže da shvatimo datu tehnologiju. Stalno gledanje u ekran kompjutera ne povezuje nas sa realnošću. Moramo da se upoznamo sa

površinama, osetimo pritisak hidrodinamički stvorenog filma, rušenje površinskih slojeva....

Ulaganje vremena u ovo vredi. Možda je to minimum za „efektivno“ obrazovanje.

Drugo: biti svestan mogućnosti našeg vremena. Mi živimo u vremenu tehničkih mogućnosti. Tribologija je na raskršcu mnogih tehnologija koje se ubrzano pojavljuju oko nas. Napretci u sintetičkim fluidima, keramici, mešavinama, plastici i tehnologijama inženjerskih površina omogućavaju mnoge druge stvari. To su darovi naše tehnološke braće koji mogu da zapale vatru triboloških inovacija za devedesete. Mi imamo rudnik zlata, sada treba da iskopamo zlato. Plaćimo se da možemo ostati paralizovani pred ovim mogućnostima, ili da se možemo izgubiti medju tribološkim stubovima koje smo stvorili.

Treće: Biti svetan snaga motivacije.

Stvaranje triboloških inovacija i njihov tok ka tehnološkim primenama može se ostvariti na dva načina, svaki sa svojim sopstvenim faktorima motivacije.

„Tehnološki zahtev“ je kad su naše inovacije odgovor na zahtev specifičnih tehničkih potreba koje se pojavljuju.

„Tehnološka primena“ je kada su inovacije koje smo sami stvorili i koje nude nove tehničke mogućnosti, stavljene u primenu.

Snage motivacije koje stoje iza ova dva procesa su potpuno različite.

Tehnološki zahtev je naša dužnost. To je deo našeg posla. To je bio jedan efektivan način razvijanja tribološke tehnologije. Loša strana ovog procesa je što dopuštamo okolnostima da određuju naše delovanje. To je reakcionaran proces. On teži da pokupi samo stvari koje su dostupne. On stvara ograničeno kreativno delanje.

Izazov devedesetih je „tehnološka primena“. Kakve to novine mi možemo da stvorimo koje su važne? To je jedan aktivran proces. On omogućava interno stvaranje koje je podstaknuto i motivisano našom sopstvenom vizijom.

VIZIJA

Inovacije uključuju tri dela: rodjenje vizije, njen razvoj i njenu realizaciju.

Došao sam do zaključka da je vizionarski deo procesa najvažniji. Važno je živeti sa vizijom. Rad, karijera i život tada dobijaju nov kvalitet. Uspešno preduzeće ima visoko artikulisanu viziju tribološkog sveta u kome živimo i kakva njegova budućnost treba da bude. To će nam omogućiti da nastavimo i da se ne spotaknemo o stubove koje smo podigli. Moramo da shvatimo tribološke granice koje određuju tehnologiju, pa tek onda da stvorimo viziju za njihovo proširenje.

Vizija počinje sa individualnim. Lična vizija vodi do korporativne vizije. Ona nastaje iz najdubljih iskustava. Da bi uspeli u tome, treba da udružimo naše snage. Postoji stara poslovica koja kaže: „Brinuću se o tebi, ako se ti brineš o meni...“ Sada nam je potrebno više od ovoga. Bolje je reći: „Radiću na sebi zbog tebe, ako ti radiš na sebi zbog mene...“ U tribologiji mi smio potrebni jedni drugima. Nečija vizija stimuliše viziju drugog čoveka. To nije šta mi izvlačimo od posla, već šta posao izvlači od nas. To je ono što sve menja. To je ono što stvara dobru korporativnu kulturu. To je ono što menja kulturu preduzeća da vredi dok deluje.

Vredna vizija ne nastaje preko noci. Treba puno vremena da izbije na površinu. Naša radna okolina može biti nepogodna da bi se to dogodilo. Postoji pritisak da se to ubrza. Ali tako možemo izgubiti svu objektivnost. Potreban nam je mir da bi stavili stvari u perspektivu. Svake nedelje je potrebno odvojiti nešto vremena za to, možda kad i svi napuste radna mesta. Mir je teleskop koji pomaže da nadjemo viziju za sutrašnjicu.

Kada imate ideju, uhvatite je. Radite i radite na njoj dok ne dobijete korene. Ako ste samo jednom o njoj razmišljali, to nije znak da je imate. Naš život je onakav kakvimi ga naprave naše misli. Sve što stvorimo u fizičkom svetu počinje kao ideja u nečijoj glavi. Svest uradi ono za šta je programirana. Podsvest omogućuje da vizija postane jasna. Svest je sjajan alat. Kada je slobodna, otkriće nam toliko načina kako možemo da postignemo ono što želimo.

S jasnom vizijom mi predvidjamo budućnost sa ubedjenjem. Jaka ubedjenja u tribologiji prethode velikim delima u tribologiji i postavljanju ciljeva.

CILJEVI/PLANNOVI

Mada možda bolno saznanje, ali je činjenica da ljudi koji imaju ciljeve postignu više od onih koji ih nemaju, a oni koji imaju napisane ciljeve postignu najviše od svih. Ako ste dali da se vaš cilj odštampa pokušajte da to sprečite. Samo razmišljanje o cilju nije obaveza, ali njegovo zapisivanje jeste. Ako možete da vidite, čujete, dodirnete, pomirišete i okusite vaš cilj, postaće realniji. A što su slike realnije, rezultati su bolji.

O cilju moramo dā razmišljamo do naj-sitnijih detalja, imajući na umu da dos-tignuće je skoro automatsko, kada cilj postaje unutrašnja obaveza. Velika dela nastaju iz naših unutarnjih obaveza.

„Radiću na sebi za tebe, ako ti radiš na sebi za mene..“

Budućnost mora biti dobro osmišljena. Isplanirajte šta ćete raditi. Ne propustite ništa. Entuzijazam možete izvući iz vizije i ostvarenja dobrog plana. Ako su tu vizija i plan možemo imati volje da uradimo nešto što ranije nismo želeli. Važno je da se oseti veza između dos-tignuća i vaše sposobnosti da uradite stvari koje se moraju uraditi.

Život nam ne daje stalno mogućnosti da ostvarimo plan. Ponekad plan mora da čeka na svoj trenutak, ali mora biti spremna. Ako je vredan rada, vredan je i čekanja. Treba da budemo spremni sa planom kada se pojavi mogućnost. Tada možemo da iskoristimo naše znanje u praksi. Ako je vizija jasna i plan pripremljen, možemo odbaciti svu sigurnost, bogatstvo, fizičku udobnost i bezbednost ako je neophodno. Sigurno igranje u tribologiji je samo igranje sa tribologijom.

RIZIK

Neke velike korporacije pokušavaju da se izoluju od rizika. To je u redu s akcionarima. Ali, za budućnost, to je recept za propast. Moramo preuzeti rizik.

Napredne kompanije šalju svoje direkto-van da bi razvili lične kvalitete neophodne za posao. Teraju ih da se penju na litice visoke 40 stopa zavezanih očiju. Teraju ih da skaču s planina samo s kanapom oko pasa. Postoji teorija da će iskustvo ohrabriti ljude da prihvataju rizik. Uzimanje rizika je važan deo širenja naših granica.

USPEH

Uvek ćemo znati kada je pravo tribološko delo u pitanju. To se dešava onda kada ostvarenje naše vizije stvara mogućnost za važnu tehničku priliku. To je unutarnja kreacija koja omogućava našim kupcima jedinstvenu priliku, priliku van svih očekivanja, priliku koju nisu tražili. Mi smo samo ograničeni našom vizijom u ostvarenju dobrih ideja. Dobre ideje privlače novac. Dobre ideje privlače dobre ljude. Dobre ideje privlače posao koji može da ih ostvari.

RAVNOTEŽA

Konačno važno je da uravnotežite svoj život. Naučite kako da živite. Kontakt-

tirajte sa drugima. Ne želite da dostignite samo ono što vi želite i onda shvatite da ste to preskupo platili. Posmatrajte šta ste postali dok ste ostvarivali to što ste želeli. Neke knjige nas uče kako da težimo „savršenstvu“. One nas vode samo do jednog dela našeg života. Moramo da tragamo za ravnotežom. Uvek će biti onih kojima će sticanje još više novca, moći i drugih simbola uspeha biti adekvatni ciljevi; ali, to nisu oni ljudi koji će doneti inovacije u devedesetim.

Što više postajemo opsednuti bogatstvom, to glad koja nikad ne može biti zadovoljena, postaje i sama sve veća. Tada ne istražujemo, radimo na pogrešnim stvarima. Sutra, kog će se ticati koliko je novca zaradjeno ili koliko radova napisano! Zar nije važnije znati šta gradimo našim radom i čemu? Uraditi više je lako, uraditi bolje je teško.

Ako merimo bogatstvo i identitet sa materijalnim dobrima i statusom bićemo dobri koliko i naš sledeći uspeh-privremeni dogadjaj praćen prazninom.

Zadovoljstvo dolazi od uverenja, vrednosti, ciljeva. Prioritet bi trebalo da imaju: zadovoljstvo na poslu, cenjenje

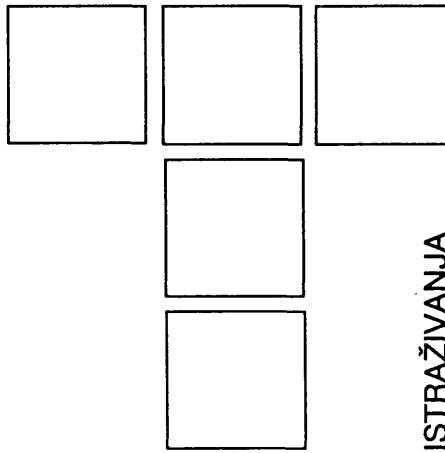
ličnog napretka, briga o porodici i prijateljima. Status, slava i novac, ako želite, će doći sami.

Treba da težimo pre aktivnom nego pasivnom smeru u tribologiji za devedesete, smer ka širokim granicama tribologije. Treba otkriti vredne VIZIJE koje nas vode ka budućim tehničkim mogućnostima. Tako će sledeće desetleće biti ne obično, nego izuzetno.

Dobra stvar kod budućnosti je što ona dolazi polako, dan po dan. Budućnost može biti sjajna ako je živimo bogato i potpuno.

Na kraju trebalo bi da možemo da kažemo o svom radu ovo: „Čovek ne može da misli o drugom mestu gde bi želio da bude ili bilo kom drugom mestu uopšte; ne propušta i ne žali za prošlošću, niti se boji niti čezne za budućnošću. Činjenica da je tu je objašnjava jednostavno sve, i to je dovoljno. To daje čoveku glavni standart i glavni razlog za njegov rad.“

Ja ću raditi na sebi za tebe, ti radi na sebi za mene.



Uticaj stepena pohabanosti alata na hrapavost površina

1. UVOD

U procesu proizvodnje koji se ostvaruje obradom metala rezanjem rezni alati najveći deo vremena vrše svoju funkciju sa određenim stepenom pohabanosti.

Od ukupnog veka trajanja alata deo vremena rezanja u kome su rezni elementi relativno oštiri (pohabanost do najviše 0.1 mm širine pojasa habanja na ledjnoj površini reznog klina), učestvuje najviše sa 10 %. Ostali deo vremena rezanja rezni elementi vrše obradu sa pohabanošću od $h = 0.1 - 0.6$ mm kada je u pitanju obrada glodanjem. Kod operacija grube obrade kriterijum pohabanosti alata se kreće i do $h = 1.0$ mm.

Radom u okviru istraživačkog programa čiji je cilj formiranje baze podataka za upravljanje procesima rezanja u industrijskim sistemima, a koji se izvodi poslednjih godina u Laboratoriji za obradu metala i tribologiju Mašinskog fakulteta u Kragujevcu, razmatra se i veza između pohabanosti alata i hrapavosti obradjene površine.

U ovom radu daje se kratak prikaz rezultata istraživanja dobijenih pri obradi struganjem alatima od tvrdog metala koji pokazuju da kvalitet obradjene površine, tj. klasa hrapavosti koja se ostvaruje u proizvodnim procesima zavisi veoma mnogo od toga da li je površina dobijena obradom sa alatima manjeg ili većeg stepena pohabanosti.

2. PROGRAM I USLOVI ISPITIVANJA

Ispitivanja su vršena u laboratorijskim uslovima na univerzalnom strugu „Prvomajska“ D-430 snage $P = 11$ kW bez primene sredstva za hladjenje i podmazivanje. Kao alat

Tabela 1.

Č. 5430								Meh. osobine
Hemijski sastav								
C	Si	Mn	P&S	Cr	Mo	Ni	σ_m (MPa)	HB daN/mm ²
%	%	%	%	%	%	%		
0.36	0.3	0.7	0.035	0.1	0.2	0.1	1250-1450	220

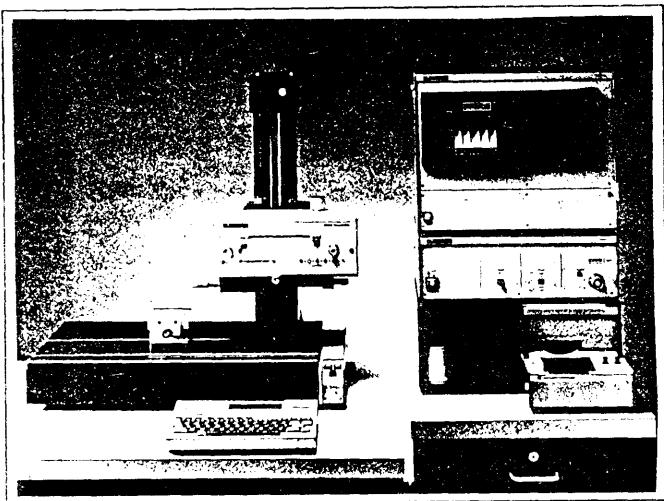
korišćen je strugarski nož sa izmenljivom pločicom, nosač CTNGL 2525M16 pločica TNCC 160412 u kvalitetu P20 sa prevlakom od TiN. Materijal predmeta obrade bio je Č.5430.5 hladno vučen jačine na kidanje 1300 MPa (Tabela 1).

Prvi deo programa istraživanja izveden je sa nepohabanom pločicom, a drugi deo programa istraživanja izveden je sa drugom pločicom koja je prethodno bila pohabana do različitog stepena pohabanosti reznih elemenata. Pločice su bile trouglaste sa ukupno šest reznih elemenata. Program istraživanja izveden je sa jednom dubinom rezanja i to $\delta = 0.6$ mm. Pri tome su korišćene tri veličine koraka po obrtaju i to: 0.14 mm/o; 0.25 mm/o; 0.315 mm/o. Brzine rezanja sa

Tabela 2.

N		h 1 Omm	h 2 0.18	h 3 0.4	h 4 0.44	h 5 0.5	h 6 0.66	h 7 0.76
s 1 0,14 mm/o	V1 90m/min	1	13	25	37	49	61	73
	V2 100m/min	2	14	26	38	50	62	74
	V3 132m/min	3	15	27	39	51	63	75
	V4 168m/min	4	16	28	40	52	64	76
s 2 0,25 mm/o	V1 90m/min	5	17	29	41	53	65	77
	V2 100m/min	6	18	30	42	54	66	78
	V3 132m/min	7	19	31	43	55	67	79
	V4 168m/min	8	20	32	44	56	68	80
s 3 0,315 mm/o	V1 90m/min	9	21	33	45	57	69	81
	V2 100m/min	10	22	34	46	58	70	82
	V3 132m/min	11	23	35	47	59	71	83
	V4 168m/min	12	24	36	48	60	72	84

kojima se izvodila obrada bile su: 90 m/min; 100 m/min; 132 m/min; 168 m/min. Za realizovanje programa istraživanja korišćena je jedna rezna pločica koja je bila oštra i druga čiji su rezni elementi prethodno bili pohabani od 0.18 - 0.76 mm širine pojasa habanja na ledjnoj površini reznog klina. Merenje stepena pohabanosti alata je vršeno na univerzalnom alatnom mikroskopu UIM - 21. U tabeli 2 date su numeracije opitnih operacija sadržane u programu ispitivanja uticaja pohabanosti alata na kvalitet obradjene površine.

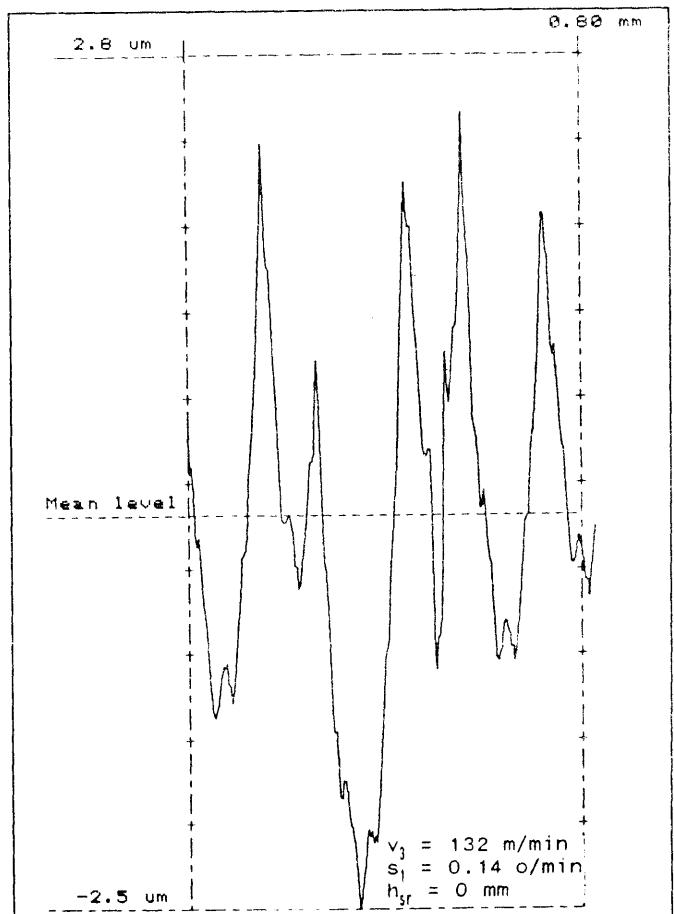


Slika 1. Sistem TALYSURF - 6 - Taylor Hobson za analizu topografije površine

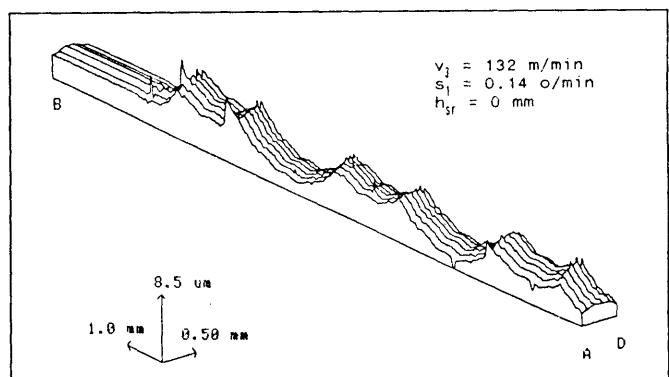
Merjenje hrapavosti obradjenih površina nastalih obradom sa alatima različitog stepena pohabanosti vršeno je na uredjaju za merenje topografije površine „TALYSURF - 6., na kome su dobijene vrednosti četrnaest parametara hrapavosti (Tabela 3). Krive nošenja profila (sl. 13), histogramski prikaz krive raspodele amplituda (sl. 2), i grafički prikazi površine u dve dimenzije (sl. 3) i tri dimenzije (sl. 4).

Hrapavost površina dobijenih realizacijom programa ispitivanja merene su sa 14 parametara (Tabela 3) gde pojedini parametri imaju sledeća značenja:

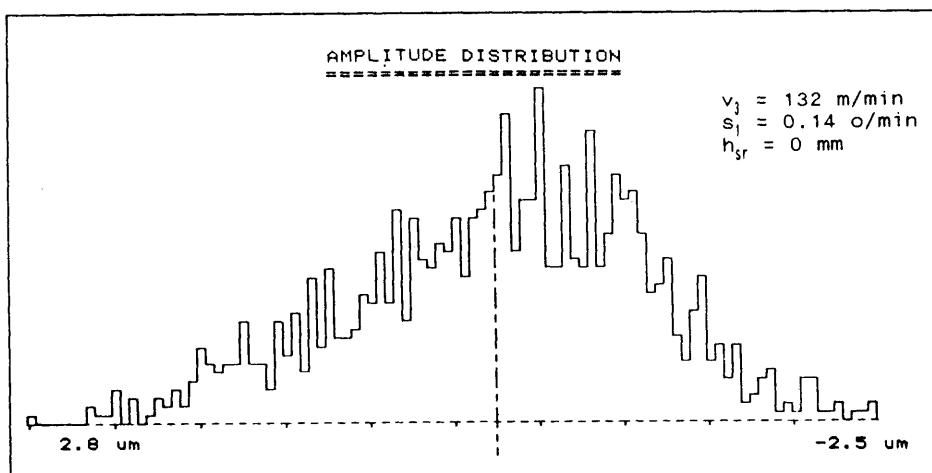
Ra - srednje aritmetičko odstupanje profila na dužini ocenjivanja; Rq - srednje kvadratno odstupanje profila na dužini ocenjivanja; Ry - maksimalna R_t vrednost, gde R_t predstavlja maksimalnu visinu profila na dužini ocenjivanja; Rtm - srednja maksimalna visina neravnina; Rv - maksimalna dubina udubljenja profila na dubini ocenjivanja; Rp - maksimalna visina ispuštenja profila na dužini ocenjivanja; Sm - srednji korak ispuštenja profila na dužini ocenjivanja; DEL Q - srednji kvadratni nagib profila; Rsk - koeficijent asimetrije profila predstavlja meru asimetrije raspodele amplituda; S - srednji korak lokalnih ispuštenja profila na dužini ocenjivanja; R3z - srednja vrednost rastojanja trećeg po visini ispuštenja i trećeg po dubini udubljenja na



Slika 3. Grafički prikaz površine u 2D



Slika 4. Grafički prikaz površine u 3D



Slika 2. Kriva raspodele amplituda

referentnim dužinama u okviru dužine ocenjivanja; Rpm - srednja R_{pi} vrednost odredjenih na referentnim dužinama, gde je Rp najveća visina ispuštenja profila na dužini ocenjivanja; R3y - najveće rastojanje trećeg po visini ispuštenja i trećeg po dubini udubljenja u okviru dužine ocenjivanja.

U prvoj koloni tabele 3 date su oznake parametara hrapavosti, u drugoj merne jedinice istih, zatim S predstavlja standarno odstupanje, X - srednju vrednost parametra, X_{MAX} - najveće kvadratno odstupanje i X_{MIN} - najmanje kvadratno odstupanje

Tabela 3.

$V_3 = 132 \text{ m/min}$ $S_1 = 0.14 \text{ o/min}$ $h_{sr} = 0/\text{min}$					
		S	X	X MAX	X MIN
R _a	um	0.22	0.86	1.18	0.74
R _q	um	0.23	1.16	1.38	0.92
R _y	um	0.5	5.8	6.1	5.0
R _{tm}	um	0.8	5.0	5.8	4.3
R _v	um	0.1	2.5	2.8	2.5
R _p	um	0.4	3.2	3.7	2.8
S _m	um	50	181	237	140
DELQ	deg	0.2	3.4	3.8	3.2
R _{sk}		0.1	0.2	0.3	0.1
R _k		0.3	2.4	2.7	2.1
S	um	6	54	61	51
R _{3z}	um	0.4	3.7	4.2	3.3
R _{pm}	um	0.5	2.9	3.4	2.5
R _{3y}	um	0.4	4.3	4.8	3.8

3. OBRADA REZULTATA ISTRAŽIVANJA

Rezultati istraživanja sadrže podatke vezane za:

a) vrednosti svih 14 navedenih parametara hrapavosti za sve optitne operacije,

Tabela 4.

Ra (μm)		h 1 0mm	h 2 0.18	h 3 0.4	h 4 0.44	h 5 0.5	h 6 0.66	h 7 0.78
s_1 $0,14$ mm/o	V1 90m/min	1.29	1.66	2.1	1.99	1.43	2.17	3.13
	V2 100m/min	0.97	1.58	0.51	2.24	2.99	3.08	3.37
	V3 132m/min	0.96	1.57	1.99	2.11	2.13	1.56	2.87
	V4 168m/min	1.05	1.39	2.01	2.38	2.48	3.18	2.55
s_2 $0,25$ mm/o	V1 90m/min	2.19	2.57	1.83	3.21	2.11	3.32	5.26
	V2 100m/min	2.36	2.77	2.07	3.52	2.46	4.17	785.02
	V3 132m/min	2.24	3.01	3.7	4.06	3.21	4.2	6.08
	V4 168m/min	2.22	3.16	2.66	4.3	3.13	3.82	6.2
s_3 $0,315$ mm/o	V1 90m/min	3.22	3.4	2.1	4.26	2.81	4.17	5.72
	V2 100m/min	2.2	3.06	2.83	4.37	3.03	4.46	5.69
	V3 132m/min	2.09	2.73	2.51	3.42	2.55	3.43	5.48
	V4 168m/min	2.12	2.28	2.25	3.89	3	3.1	5.39

Tabela 5.

	N	Koeficijent		
		A	B	C
$h = 0 \text{ mm}$	1	1.386302	2.30387-04	2.28854-06
	2	1.004431	2.33891-03	1.03348-06
	3	0.993562	2.59316-03	2.22230-07
	4	1.016764	1.81237-03	2.25839-06

b) krive nosivosti profila,

c) krive raspodele amplituda,

d) grafički prikaz površine u 2D,

e) grafički prikaz površine u 3D

U tabeli 4. su prikazane sve izmerene vrednosti jednog od parametara hrapavosti površine.

Obradom rezultata ispitivanja došlo se do zaključka da je uticaj stepena pohabanosti alata na kvalitet obradjene površine značajan. Za definisanje uticaja pohabanosti alata na kvalitet obradjene površine korišćeno je sedam parametara hrapavosti. Najbolja korelacija pri aproksimaciji eksperimentalnih rezultata dobijena je korišćenjem parabole oblika:

$$P_i = A + B h + C h^2$$

gde je: P_i - parametar hrapavosti; h - parametar habanja alata; A , B , C - konstante koje zavise od uslova pod kojima se rezanje izvodi.;

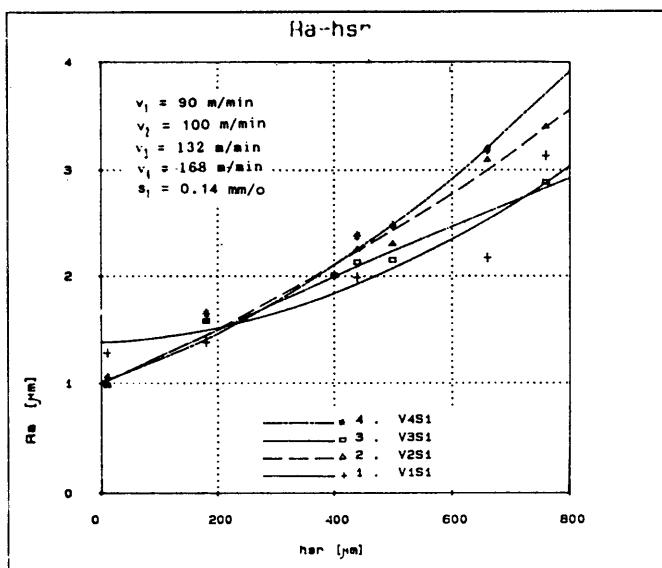
U ovom eksperimentalnom programu svi faktori obrade su bili konstantni izuzev brzine rezanja i koraka. U Tabeli 4. date su, primera radi, vrednosti konstanti A , B , C dobijeni obradom rezultata merenja u optinim operacijama N.1, N.2, N.3 i N.4 (Tabela 2).

Najveći koeficijent korelacije dobijen je pri aproksimaciji eksperimentalnih rezultata merenja srednje aritmetičke hrapavosti R_a , a najmanji kod maksimalne R_{ti} vrednosti - R_y . Veličina koeficijent korelacije kretala se u granicama od 0.9 do 0.99. Ovako visok stepen korelacije dobijen obradom rezultata eksperimentalnih merenja u većini optinih operacija pokazuje da je izabrani oblik parabole dovoljno dobar.

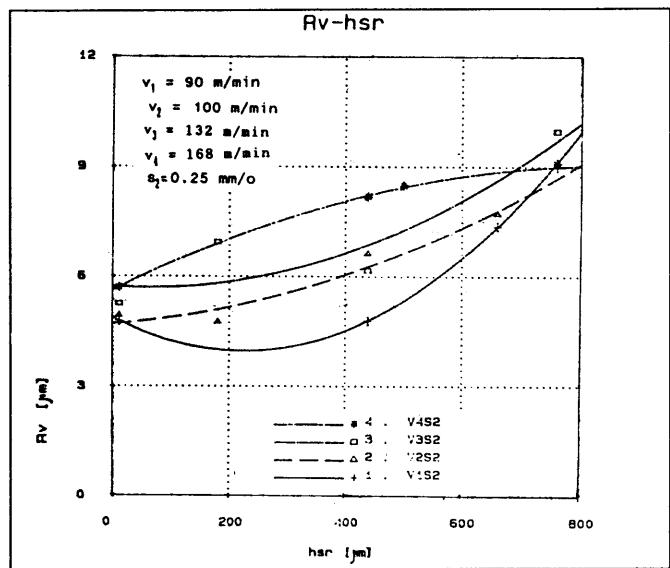
Problem koji se javlja sa korišćenjem funkcije $R_a = f(h)$ ovog oblika (tročlana parabola), odnosi se na korišćenje ovog izraza u drugim matematičkim operacijama vezanim za problem definisanja obradivosti materijala sa aspekta kvaliteta obradjene površine. Na slikama od 5-11 prikazan je uticaj pohabanosti alata meren širinom pojasa habanja na lednjoj površini reznog klina sa sedam parametara hrapavosti, čija je grafička interpretacija dobijena obradom rezultata ispitivanja.

Raspored eksperimentalnih tačaka i oblik parabola u odgovarajućim koordinatnim sistemima ukazuju na značajan uticaj pohabanosti alata na kvalitet obradjene površine u ovoj vrsti obrade rezanjem (obrada struganjem alatima od TM).

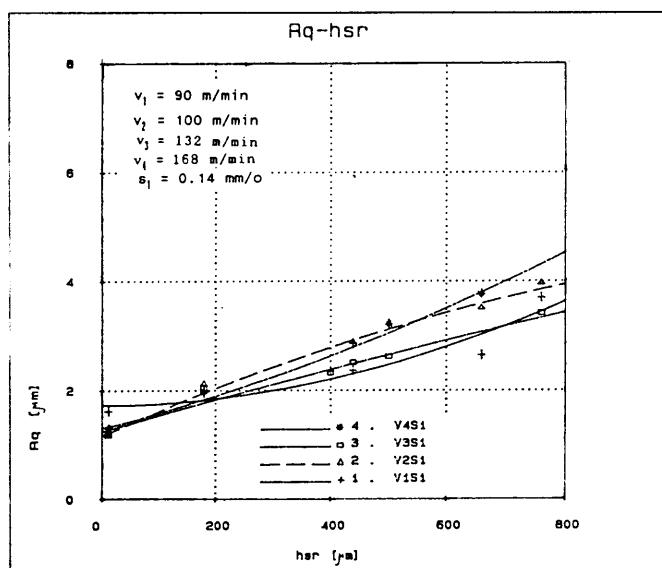
Na slici 12. prikazan je uticaj pohabanosti alata na krivu nosivosti profila površine dobijene obradom sa korakom 0.25 mm/o i brzinom rezanja 132 m/min.



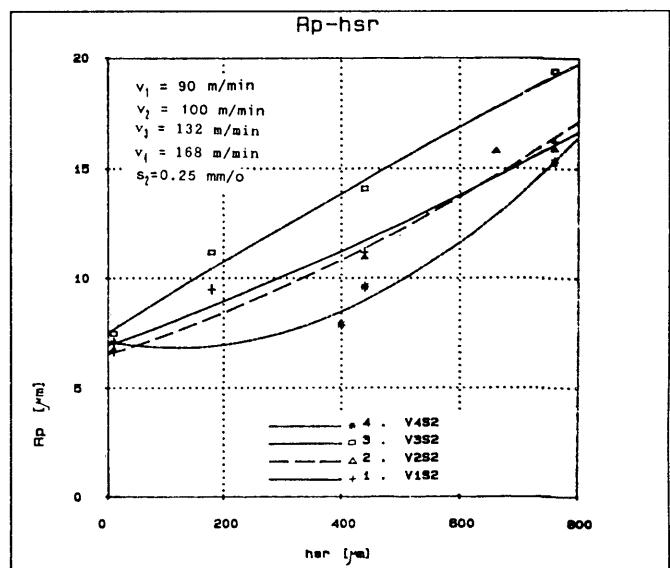
Slika 5.



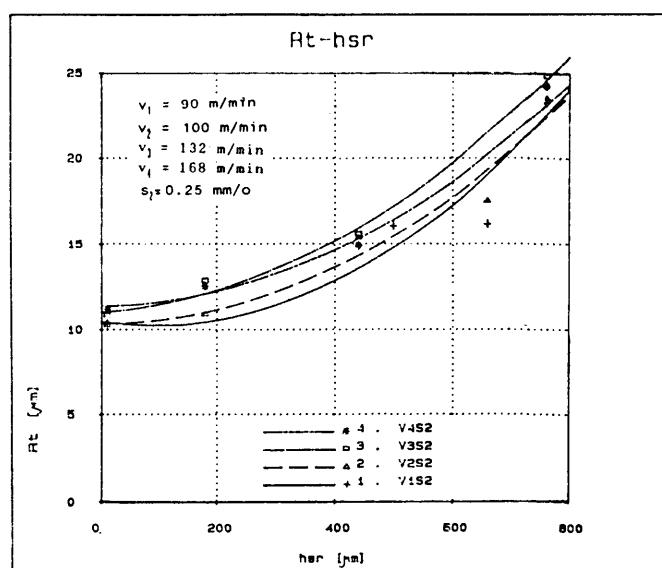
Slika 8.



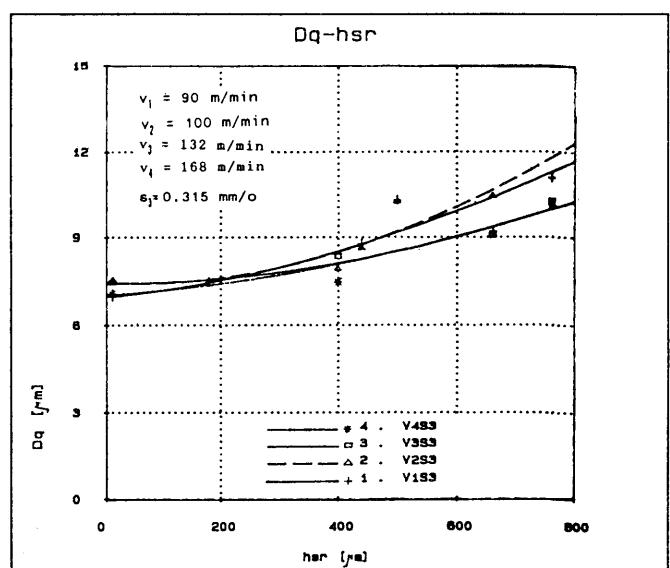
Slika 6.



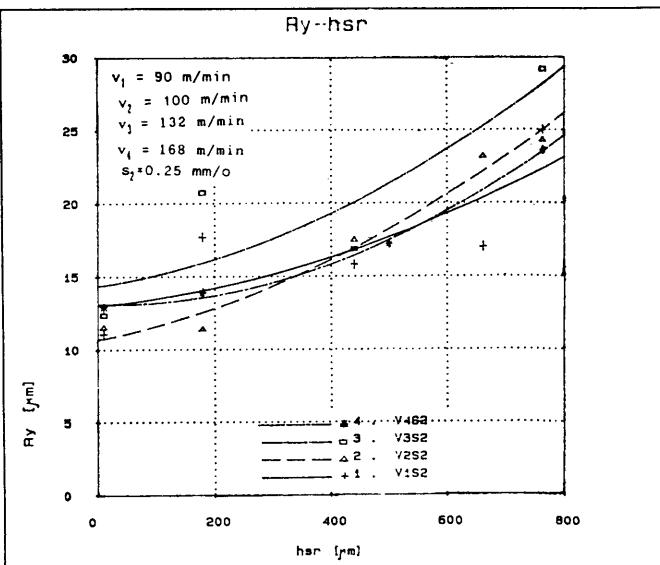
Slika 9.



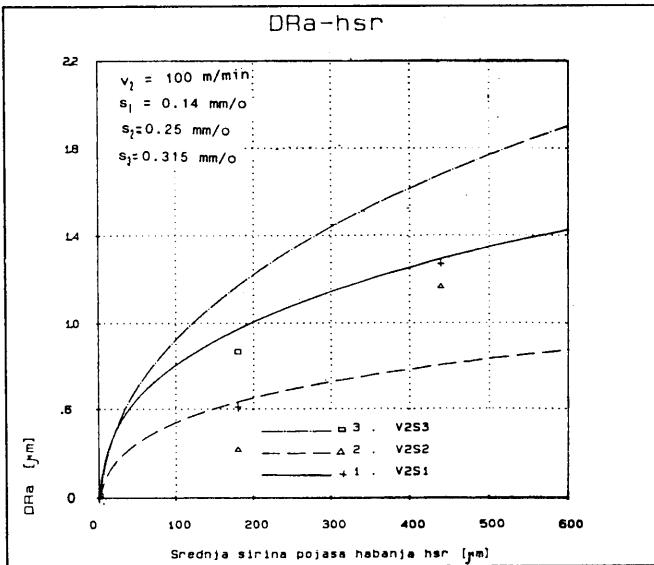
Slika 7.



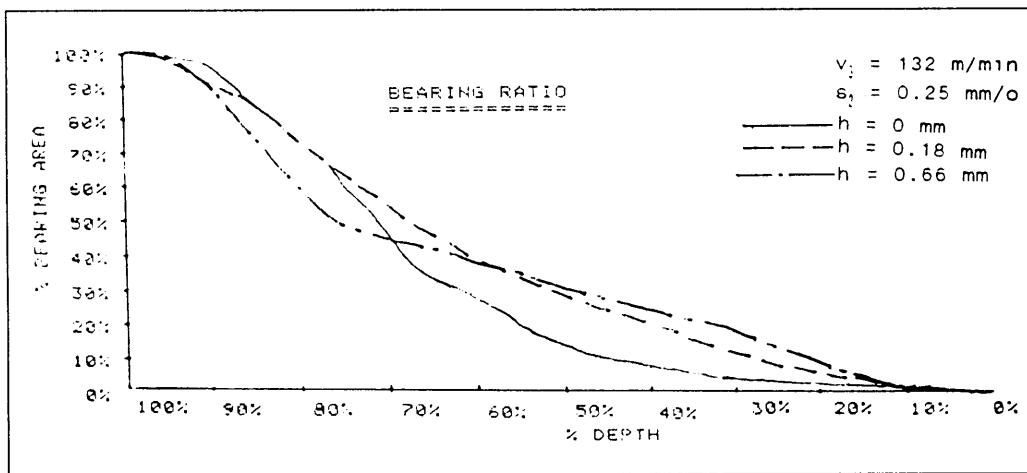
Slika 10.



Slika 11.



Slika 14.



Slika 12.

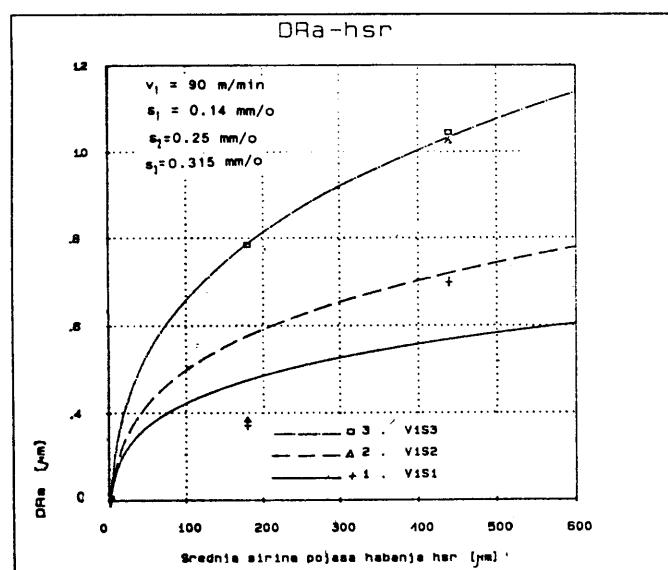
Interesantno je primetiti da je nosivost površine obradljene oštrim alatima manja od nosivosti površina dobijenih obradom sa alatima čiji je stepen pohabanosti $h = 0.18 \text{ mm}$ i $h = 0.66 \text{ mm}$ i ako su hrapavosti ovih površina, merene

standardnim parametrima hrapavosti (Ra , R_{max} , Rz), veće. Ova pojava zahteva posebno razmatranje i istraživanje.

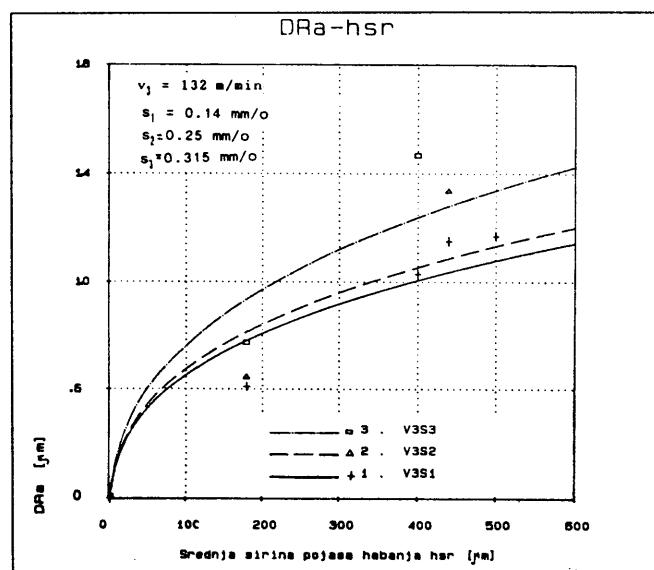
S obzirom da se za završnu obradu struganjem koristi kritični stepen pohabanosti (kriterijum zatupljenja) definisan sa najviše $h = 0.4 \text{ mm}$ to je radi uspostavljanja veze između indeksa obradivosti materijala sa aspekta postojanosti alata i indeksa obradivosti materijala sa aspekta kvaliteta obradljene površine izvršena obrada rezultata istraživanja u eksponencijalnoj formi

$$Y = A h^n \quad \text{tj.}$$

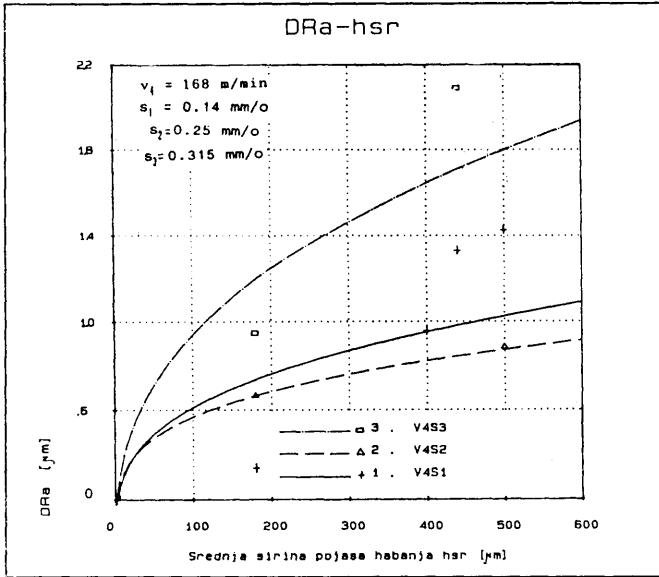
$$P_i = C h^n$$



Slika 13.



Slika 15.



Slika 16.

Na slikama od 13-16 prikazane su funkcije $Ra = f(h)$ koje se odnose na površine obradjene struganjem sa četiri različite brzine rezanja i tri različita koraka.

Veličina konstante „C“ kreće se za ove eksperimentalne funkcije u granicama između 1.4 - 1.8, a veličina eksponenta „n“ između 0.2 i 0.4. Pri daljoj obradi rezultata biće izvršena i obrada sa konstantnom srednjom vrednošću „n“ i različitim „C“. Koeficijent korelacije se kretao od 0.88 - 0.99 pri čemu je najčešća vrednost oscilirala oko 0.97.

4. ZAKLJUČAK

Na osnovu analize rezultata obavljenih istraživanja moguće je izvesti i sledeće zaključke:

1) kvalitet površine obradjene struganjem nalazi se, po pravilu u 8, 9 i 10-toj klasi hrapavosti u zavisnosti od toga sa kojom veličinom pohabanosti alata je obrada izvršena.

Ovo znači da se na početku izrade serije od „z“ komada dobijaju predmeti obrade na kojima obradjene površine pripadaju osmoj klasi hrapavosti (obrada sa oštrim alatom), a kasnije dolazi do pogoršanja kvaliteta obradjene površine, tako da u zavisnosti od kriterijuma pohabanosti alata predmeti obrade mogu da se svrstaju u devetu i desetu klasi hrapavosti.

Osmojoj klasi hrapavosti odgovara kriterijum pohabanosti alata $h = 0.2 \text{ mm}$, a desetoj klasi hrapavosti kriterijum pohabanosti definisan sa $h = 0.8 \text{ mm}$.

2) kriva nosivosti profila menja se sa povećanjem pohabanosti alata. Međutim ova promena, kako pokazuju dosadašnja merenja, zahteva dodatna ispitivanja jer nije jednoznačna.

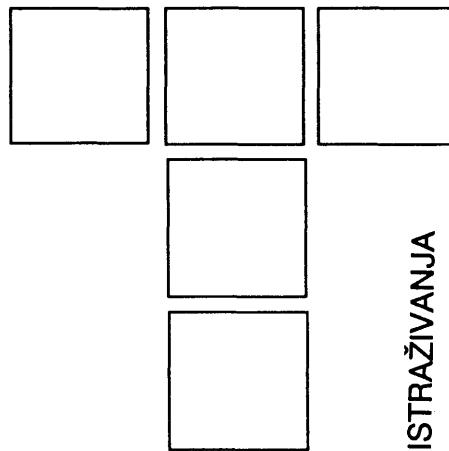
Na osnovu obavljenih istraživanja nije moguće izvesti zaključak o uticaju pohabanosti alata na nosivost obradjenih površina.

3) od 14 korišćenih parametara hrapavosti za merenje kvaliteta obradjenih površina parametri Ra , Rq , Ry , Rtm , Rv , Rp i del q menjaju se značajnije sa porastom habanja alata, dok ostali ostaju približno konstantni.

U daljim istraživanjima ove vrste neophodno je uključiti odgovarajuća sredstva za hladjenje i podmazivanje i ispitati njihov uticaj na kvalitet obradjene površine pri obradi sa alatima različitih stepena pohabanosti.

LITERATURA

1. B. IVKOVIĆ: Tribologija rezanja, Gradjevinska knjiga, 1979.
2. B. VASILJEVIĆ, M. BABIĆ: Identifikacija topografije kontaktnih površina; Prevlake i tribometrijske metode, Kragujevac, 1988, pp. 91-106.



ISTRAŽIVANJA

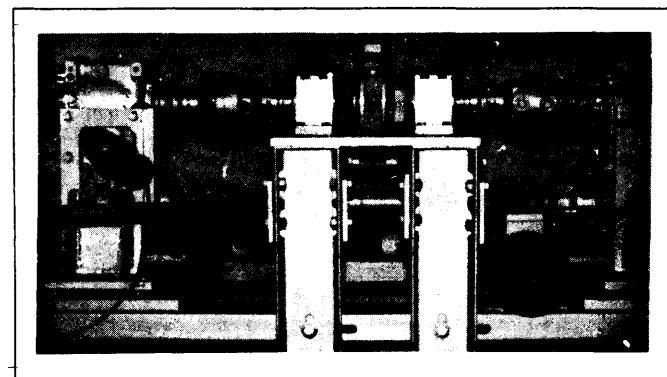
Neke karakteristike habanja helikoidnih zupčanika uradjenih od Č4321 i Č1530 u uslovima visokih opterećenja

UVOD

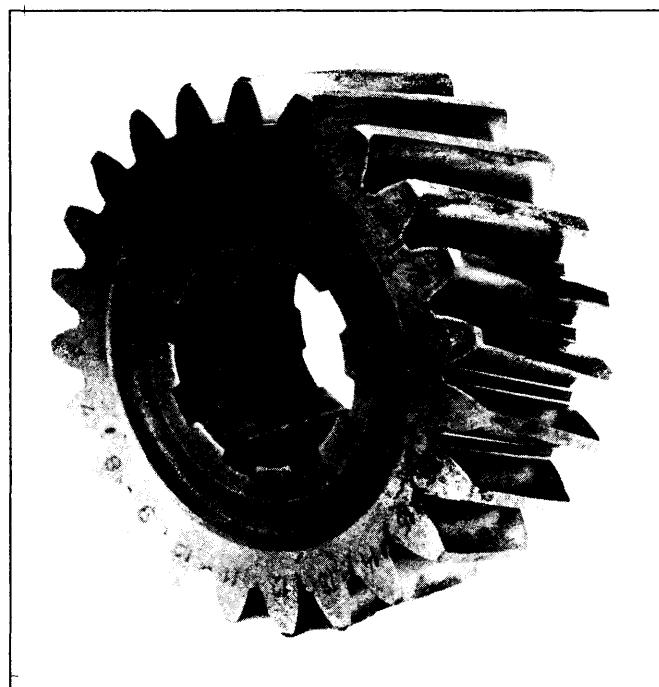
Pred savremene zupčaste prenosnike postavljaju se diferencijalni, a često i vrlo rafinirani zahtjevi. U različitim kombinacijama postavljaju se zahtjevi ravnomernosti i bešumnosti pogona, prenos visoke specifične snage, visokog stepena korisnosti, visoke pouzdanosti u ograničenom vijeku trajanja, dugog vijeka trajanja i sl. Ovi i drugi specifični uslovi zahtjevaju preispitivanje stvarnih i razradu novih metoda proračuna mašinskih elemenata koji čine sklopove zupčastih prenosnika i posebno zupčanika kao njihovih najvitalnijih i najsloženijih elemenata. Osnovu preispitivanja starih i razrade novih metoda daju prije svega istraživanja uzroka i mehanizama narušavanja radne sposobnosti zupčastih parova. Sa takvim zadatkom na Mašinskom fakultetu u Mostaru izveden je cio niz ispitivanja habanja zupčastih parova u uslovima visokih opterećenja. Rezultati nekih ispitivanja su predmet ovog saopštenja.

OPIS ISTRAŽIVANJA

Istraživanja su vršena na uredaju sa zatvorenim krugom opterećenja, sl. 1. U istraživanju su korišteni helikoidni zupčanici, sl. 2. čije su osnovne karakteristike date u tabeli



Slika 1.



Slika 2.

1. U istraživanju su korišteni zupčanici uradjeni od Č4321 i Č1530. Bokovi zubaca zupčanika uradjenog od Č4321 otvrđnuti su na 62 HRc, cementacijom, a zatim brušeni različitim režimima obrade na sektorima od po 4 zupca. Podaci o završnim režimima obrade dati su u tabeli 2. Nakon izrade zupčanici su podvrgnuti kontroli koja je pokazala da ne postoje značajne razlike u kvalitetu površina i tačnosti izrade zubaca različitih sektora.

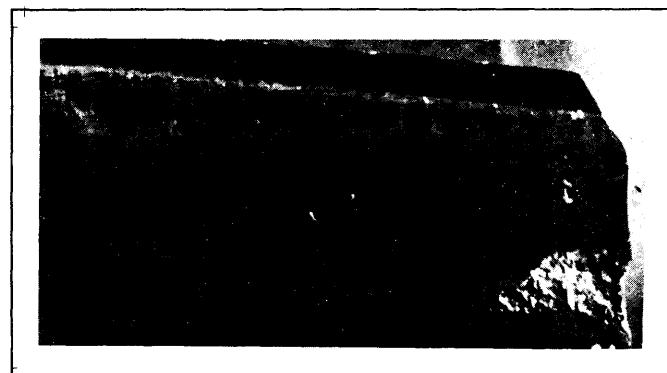
Bokovi zubaca zupčanika uradjenog od Č1530, nakon brušenja izvedenog istim režimima kao kod zupčanika uradjenog od Č4321, otvrđnuti su karbonitriranjem na 62 - 64 HRc. Nakon izrade zupčanici su podvrgnuti kontroli koja je pokazala da ne postoje značajne razlike u kvaliteti površine i tačnosti izrade zubaca različitih sektora. Kontrola je pokazala

značajne razlike kvalitete izrade zubaca u odnosu na prethodni zupčanik.

Podmazivanje je izvršeno potapanjem spregnutog zupčanika u kupatilu ispunjenim uljem B SEA 90 sa EP aditivima. Ispitivani zupčanici su bili opterećeni obrtnim momentom $M=4453 \text{ Nm}$ kod $n = 14,73 \text{ s}^{-1}$ pri reduciranom kontaktu zubaca. Ocjena otpornosti na habanje, pored ostalog, osnovana je na mjerenu linijskog habanja bokova zubaca.

REZULTATI EKSPERIMENTALNIH ISTRAŽIVANJA

Na sl. 3, 4, 5 i 6 dati su dijagrami linijskog habanja radnih površina bokova zubaca 2, 14, 18 i 22 na prečnicima do +5 mm do -5 mm i do +8 mm zupčanika urađenog od Č4321.



Slika 6.

Na sl. 7, 8, 9 i 10 pokazane su kontaktne površine navedenih zubaca po završetku eksperimenta. Na sl. 11 dat je prikaz prosječnog linijskog habanja zubaca nakon 40 i 120 sati rada zupčastog para.

Na sl. 12, 13, 14 i 15 dati su dijagrami linijskog habanja radnih površina bokova zubaca 2, 14, 18 i 22 na prečnicima do +5 mm, do -5 mm i do +8 mm zupčanika urađenog od Č1530.

Tabela 1.

Broj zubaca	23
Standardni modul	5
Modul	5, 25731
Pomjeranje profila	2,65
Prečnik podionog kruga	120,918
Prečnik osnovnog kruga	112,72



Slika 3.



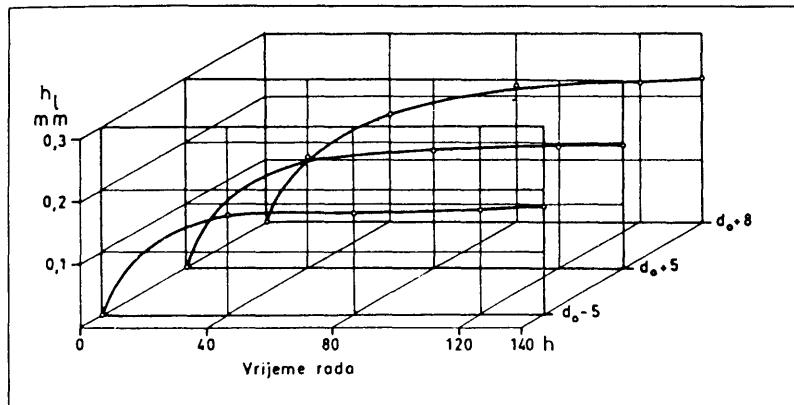
Slika 4.



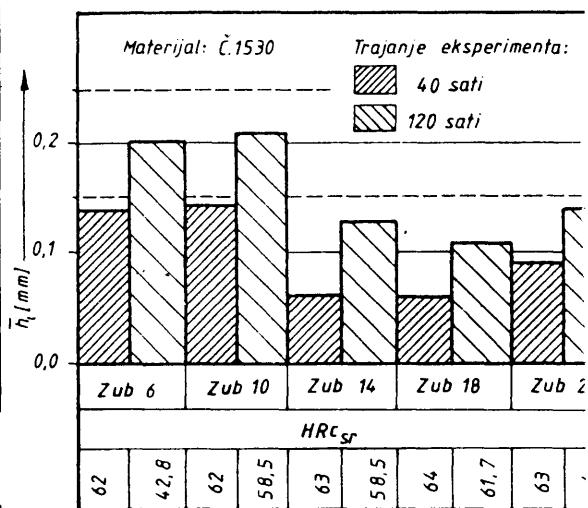
Slika 5.

Tabela 2.

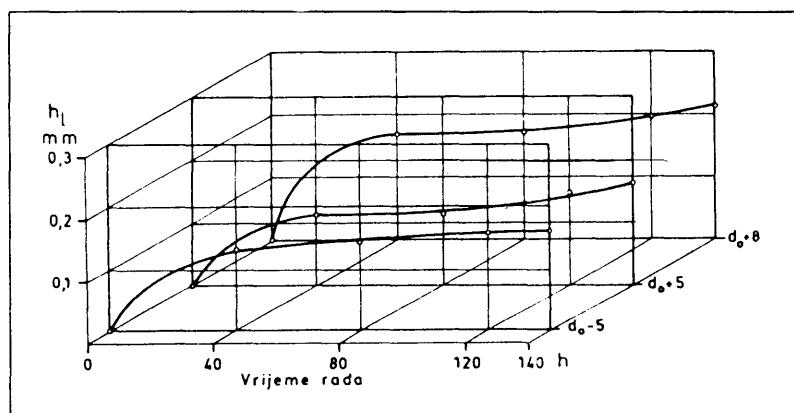
BROJ ZUBA	BRZINA POMOĆNOG KRETANJA (mm/min)	BROJ OBRTAJA RADNOG PREDMET. (min ⁻¹)	DUBINA BRUŠENJA (mm)
1, 2, 3, 4	GRUBA OBRADA	190	GRUBA OBRADA 0,025 x 2 0,020 x 1 0,015 x 2 0,010 x 4
	FINA OBRADA		FINA OBRADA 0,005 x 2
5, 6, 7, 8	GRUBA OBRADA	190	GRUBA OBRADA 0,025 x 2 0,020 x 1 0,015 x 2 0,010 x 4
	FINA OBRADA		FINA OBRADA 0,005 x 2
9, 10, 11, 12	GRUBA OBRADA	190	GRUBA OBRADA 0,025 x 2 0,020 x 1 0,015 x 2 0,010 x 4
	FINA OBRADA		FINA OBRADA 0,005 x 2
13, 14, 15, 16	GRUBA OBRADA	190	GRUBA OBRADA 0,025 x 2 0,020 x 4
	FINA OBRADA		FINA OBRADA 0,010 x 2
17, 18, 19, 20	GRUBA OBRADA	190	GRUBA OBRADA 0,025 x 4 0,020 x 1
	FINA OBRADA		FINA OBRADA 0,015 x 2
21, 22, 23, 24	GRUBA OBRADA	190	GRUBA OBRADA 0,030 x 3
	FINA OBRADA		FINA OBRADA 0,030 x 2



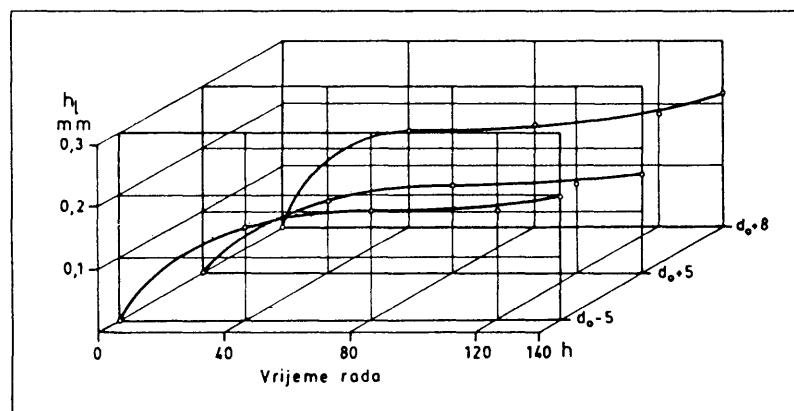
Slika 7.



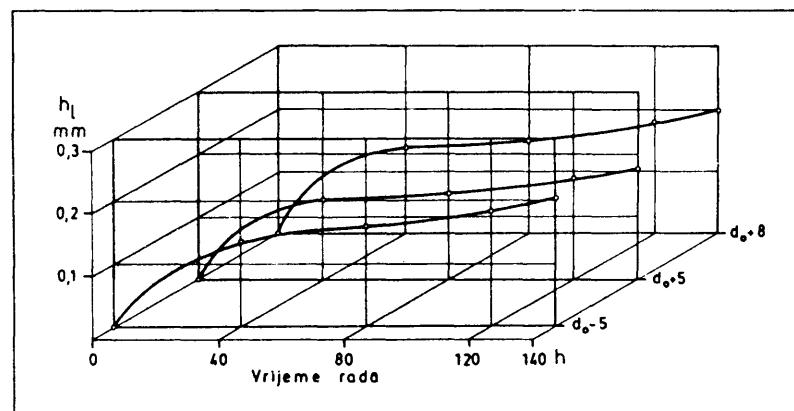
Slika 11.



Slika 8.



Slika 9.



Slika 10.

Realizacijom

triboloških

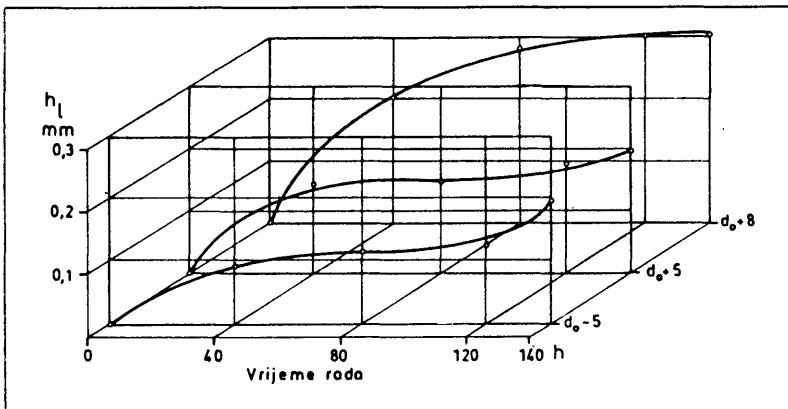
saznanja

imacete

izrazito visoke

uštede u

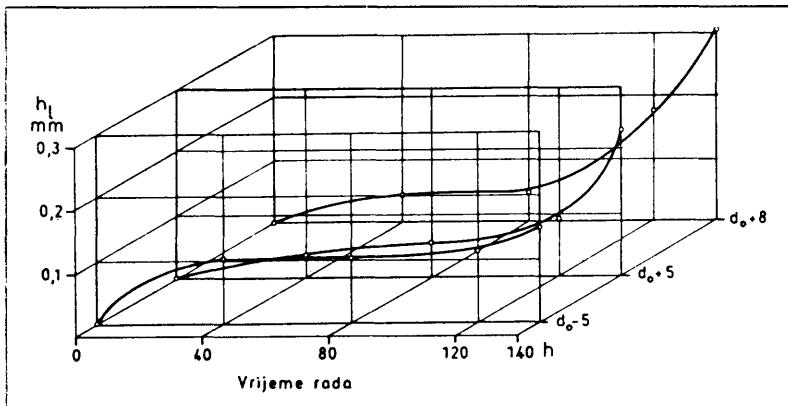
troškovima



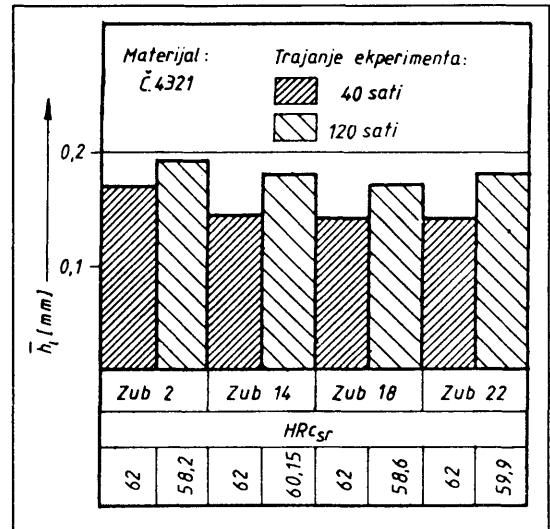
Slika 12.



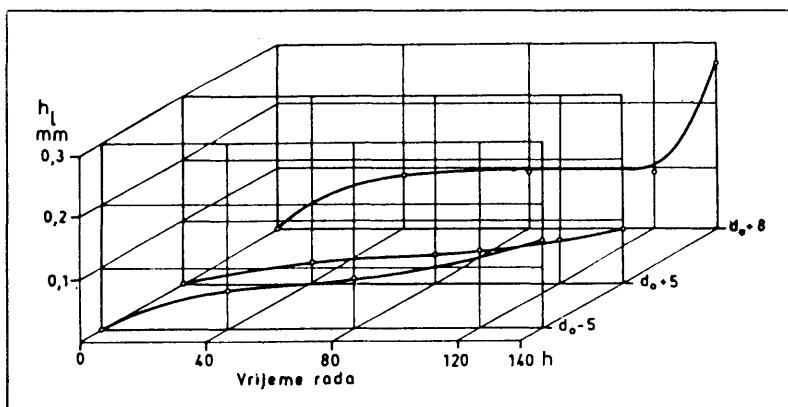
Slika 16.



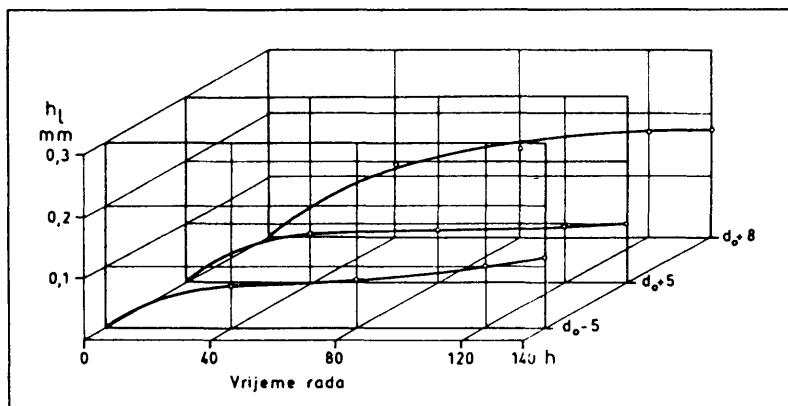
Slika 13.



Slika 17.



Slika 14.



Slika 15.

Na sl. 16 dat je karakterističan izgled aktivne površine boka zupca. Na sl. 17 dat je prikaz prosječnog linijskog habanja zubaca nakon 40 i 120 sati rada.

Razvoj procesa habanja zupčanika urađenog od Č.4321, koji je u uslovima visokih opterećenja intenzivan, na svim zupcima je ujednačen i ne omogućava donošenje zaključaka o uticaju režima završne obrade na intenzitet habanja radnih površina bokova zubaca. Na radnim površinama bokova zubaca, u zonama ekstremno visokih kontaktnih pritisaka, pojavljuje se razorni pitting ranije i intenzivnije na zupcima čija je završna obrada izvedena sa većom dubinom brušenja. Na zupcima čije su radne površine formirane manje oštrim režimima brušenja nije došlo do pojave razornog habanja. Naknadnim mikroskopskim pregledom bokova zubaca nadjene su inicijalne pukotine i na zupcima na kojima nije nastupila faza razornog habanja.

Razvoj procesa habanja zupčanika urađenog od Č1531 u uslovima visokih opterećenja je različito intenzivan na pojedinim sektorima zupčanika. Primjetno je da zupci kod kojih je došlo do manje

izmjene tvrdoće boka imaju sporiji razvoj procesa habanja. Na bokovima zubaca zupčanika nije došlo do razvoja razornog pitinga. Naknadnim mikroskopskim pregledom bokova kod zubaca kod kojih je sačuvana visoka tvrdoća kontaktnih površina primjećene su inicijalne piting pukotine.

ZAKLJUČCI

- Nasljedne osobine odredjene završnim režimima obrade, kod zupčastih parova izloženih visokim opterećenjima, a koji posjeduju stabilnu martenzitnu strukturu površinskog sloja, utiču na pojavu pitinga posebno u zonama nepovoljne raspodjele kontaktnog opterećenja.

- Razvoj pitinga u uslovima visokih opterećenja je vrlo intenzivan.

- Zupci 2, 6 i 10 brušeni su u završnoj obradi manjom dubinom brušenja. Na tim zupcima do kraja eksperimenta nije došlo do pojave pitinga, što upućuje na zaključak da završni režimi obrade utiču na dužinu eksploatacionog vijeka zupčanika do nastanka razornog habanja.

- Radne površine zubaca zupčanika uradjenog od Č1530, u uslovima visokih opterećenja, imaju značajnu izmjenu tvrdoće bokova zubaca što rezultira različitoj otpornosti na habanje.

LITERATURA

1. S. TANASIJEVIĆ: Prilog istraživanju uticaja uslova formiranja aktivnih površina zuba na razvoj procesa habanja cilindričnih evolventnih zupčanika, Univerzitet u Kragujevcu, Kragujevac, 1980. god.
2. F. PAVLOVIĆ, Prilog istraživanju uticaja nasljednih osobina na habanje visokoopterećenih helikoidnih zupčanika, Univerzitet u Mostaru, Mostar, 1988. god.
3. S. TANASIJEVIĆ, F. PAVLOVIĆ: Uticaj opterećenja na zamorno habanje cilindričnih zupčanika, YUTRIB 89, Kragujevac, 1989. god.

Rezultati istraživanja ponašanja TiN-prevlaka na elementima tribo-mehaničkog sistema u hermetičkom rashladnom kompresoru

1. UVOD

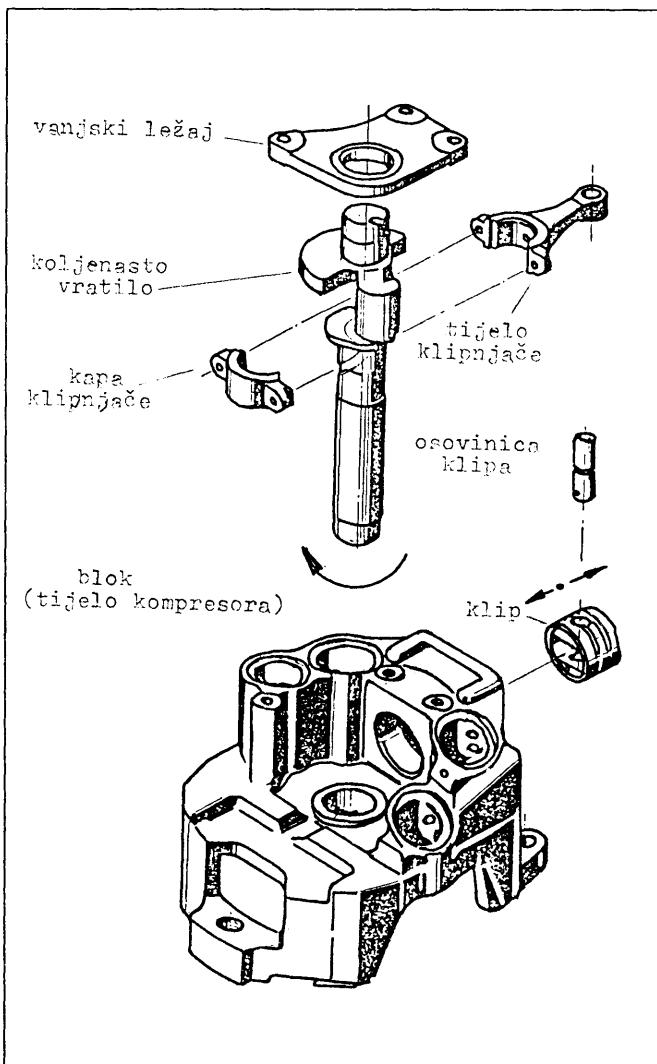
Proizvodni program RO „Hermetički kompresori“ čine hermetički kompresori dijapazona snage 80W-325W (LBP). Primjenjuju se u rashladnim sistemima kućanskih rashladnih uređaja.

Hermetički kompresor je (kao što je to na sl. 1 prikazano) skup više tribomehaničkih sistema u kojima se ostvaruju kontakti metal-metal i metal-nemetal:

- a) sistem „cilindar-klip.“ (gdje je cilindar od sivog liva, a klip od sinterovanog željeza);
- b) sistem „osovinica klipa-tijelo klipnjače.“ (osovinica klipa je cementirani konstrukcioni čelik, a klipnjača od aluminijeve legure);
- c) sistem „klipnjača-koljenasto vratilo.“ (koljenasto vratilo je od sivog liva);
- d) sistem „koljenasto vratilo-blok.“ (blok je od sivog liva);
- e) sistem „koljenasto vratilo-vanjski ležaj.“ (vanjski ležaj je od sivog liva);

Uzimajući u obzir režime rada hermetičkog rashladnog kompresora (učestalost uključivanja i isključivanja, radni pritisak u cilindru, broj obrtaja koljenastog vratila, period nepotpunog podmazivanja), a želeći kao krajnji cilj dugovječniji kompresor, neminovno je analizirati mogućnosti koje vode ka cilju.

Tribomehanički sistem „koljenasto vratilo-blok.“ (sa aspekta tribologije) je pored sistema „klipnjača-koljenasto vratilo“ najopterećeniji i u analizi je poslužio kao granični.



Slika 1. Elementi tribomehaničkih sistema u hermetičkom kompresoru

2. ANALIZA OPTEREĆENJA TRIBO-MEHANIČKIH SISTEMA

Sabijajući rashladni medij u cilindru klip stvara maksimalni pritisak od 12,6 bara koji se preko čela klipa, klipnjače i koljenastog vratila prenosi na oslonce (blok), kao što je to prikazano slikom 2.

Maksimalna sila F_{MAX} koja se javlja na čelu klipa prenosi se na oba ležista podjednako tako da se može napisati da je:

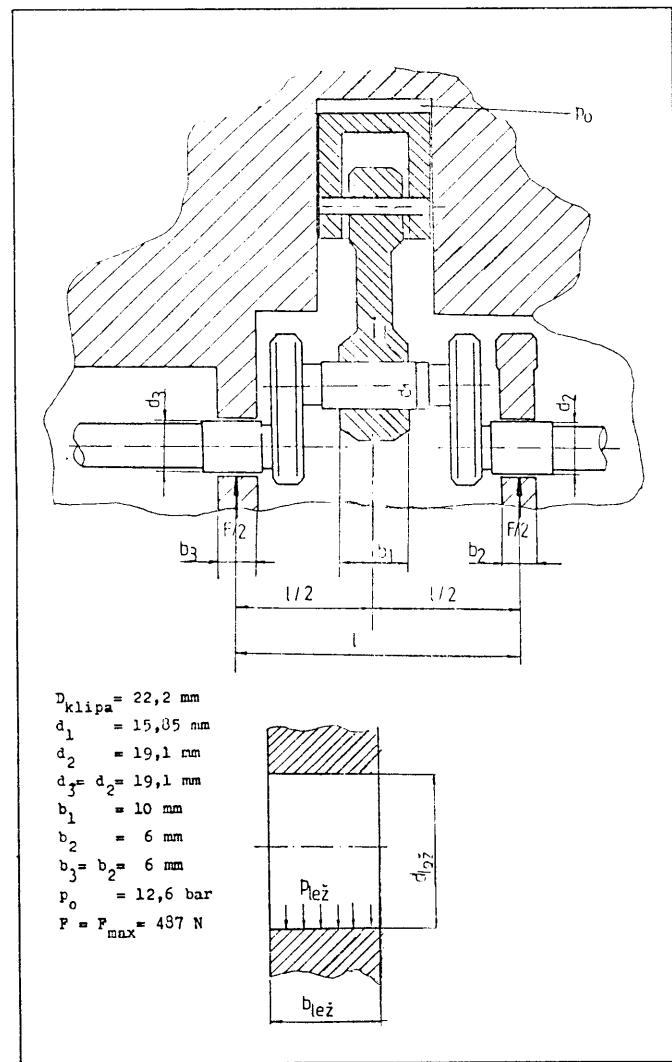
$$p_{lež} = \frac{F_{max}/2}{A_{lež}} = \frac{487N/2}{114,6mm^2} = 2,123 N/mm^2$$

$$A_{lež} = b_{lež} d_{lež} = 19,1mm \cdot 6mm = 114,6mm^2$$

gde je:

p - pritisak na čelu klipa N/mm

A - površina jednog ležista u mm²



Slika 2. Opterećenje ležista klipnjače u hermetičkom kompresoru

3. REZULTATI ISPITIVANJA TiN PREVLAKA U LABORATORIJSKIM I REALnim USLOVIMA

Da bi se ispitala mogućnost povećanja pouzdanosti i veka trajanja hermetičkih kompresora na delovima kolenastog vratila nanošena je prevlaka od TiN sa namerom da se ispitaju njena tribološka svojstva u realnim uslovima.

U isto vreme nanešena je prevlaka TiN i na disk od sivog liva radi laboratorijskih ispitivanja ponašanja TiN prevlaka na sistemu TiN - SL. Pin je bio izvađen od sivog liva.

A) Laboratorijska ispitivanja

Poznavajući podatak za koeficijent trenja za TiN/TiN [1] u eksperimentu je formiran sistem TiN/SL i to tako da je u tribomehaničkom sistemu „koljenasto vratilo-blok“ koljenasto vratilo presvučeno slojem TiN (deponiranje izvršeno u Institutu „J. Stefan“ - Ljubljana) radi utvrdjivanja koeficijenta trenja kod ovog sistema kao potencijalnog za ovaj tretman sa aspekta povećanja vijeka trajanja konstrukcije kompresora.

Radi uvida u eventualni uticaj sloja TiN na hrapavost izvršeno je mjerjenje hrapavosti radnih površina na koljenastom vratilu prije i poslije deponiranja i konstantovano da su promjene neznatne (mjerjenje izvršeno na Phertometru):

hrapavost [μm]	prije deponiranja		poslije deponiranja	
	R_a	R_{max}	R_a	R_{max}
	0,33	3,75	0,38	4,62

Laboratorijsko ispitivanje je izvršeno na tribometru „disk-pin“ (CAMERON-PLINT) u Laboratoriji za tribologiju pri Fakultetu za strojarstvo u Ljubljani. Sistem je formiran tako da je disk napravljen od sivog liva presvučen TiN, a pin je napravljen od sivog liva (uporedjivanje je izvršeno sa tribomehaničkim sistemom koji je primjenjen u konstrukciji).

U laboratorijskim ispitivanjima korišćeno je ulje koje se koristi i u realnim uslovima. Šematski prikaz ispitivanja u laboratorijskim uslovima dat je na sl. 3.

Uslovi pod kojima su vršena laboratorijska istraživanja bila su:

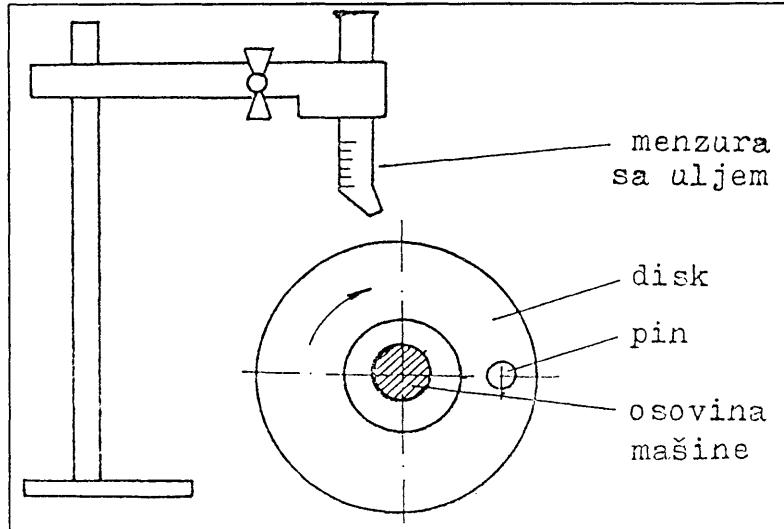
$$A_{pin} = \frac{\pi r^2}{4} = \frac{(7,8\text{mm})^2 \cdot 3,14}{4} = 47,8\text{mm}^2$$

Sila na pinu:

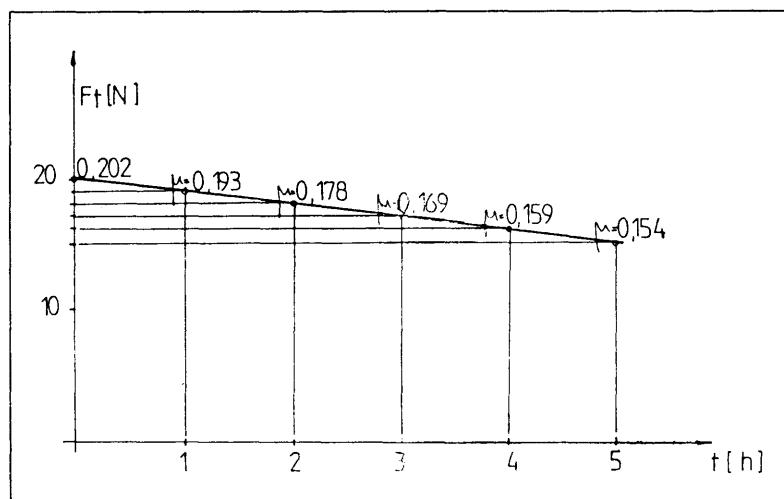
$$F_{pin} = p_{lež} A_{pin} = 2,123 \text{ N/mm}^2 \cdot 47,8 \text{ mm}^2 = 101,47 \text{ N}$$

Primjenjen pritisak na tribometru disk-pin izbran je prema uputstvu proizvodjača tribometra.

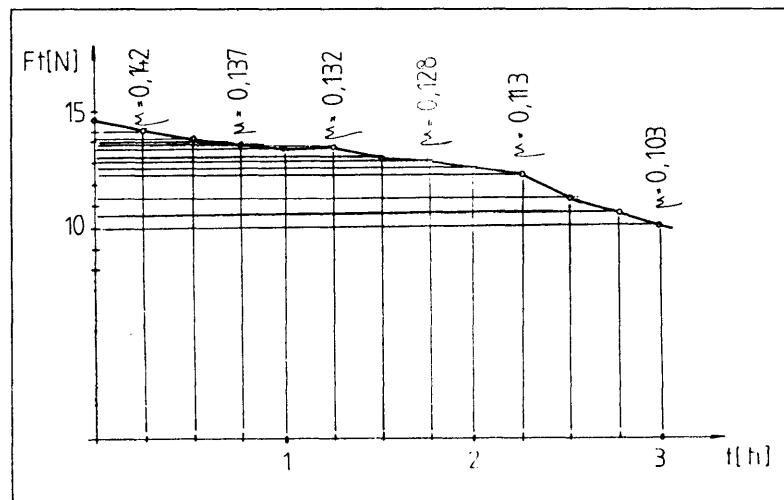
$$P = \frac{L}{53,09}$$



Slika 3.



Slika 4. Sila trenja sistema DISK (SL+TiN)-P (SL.)

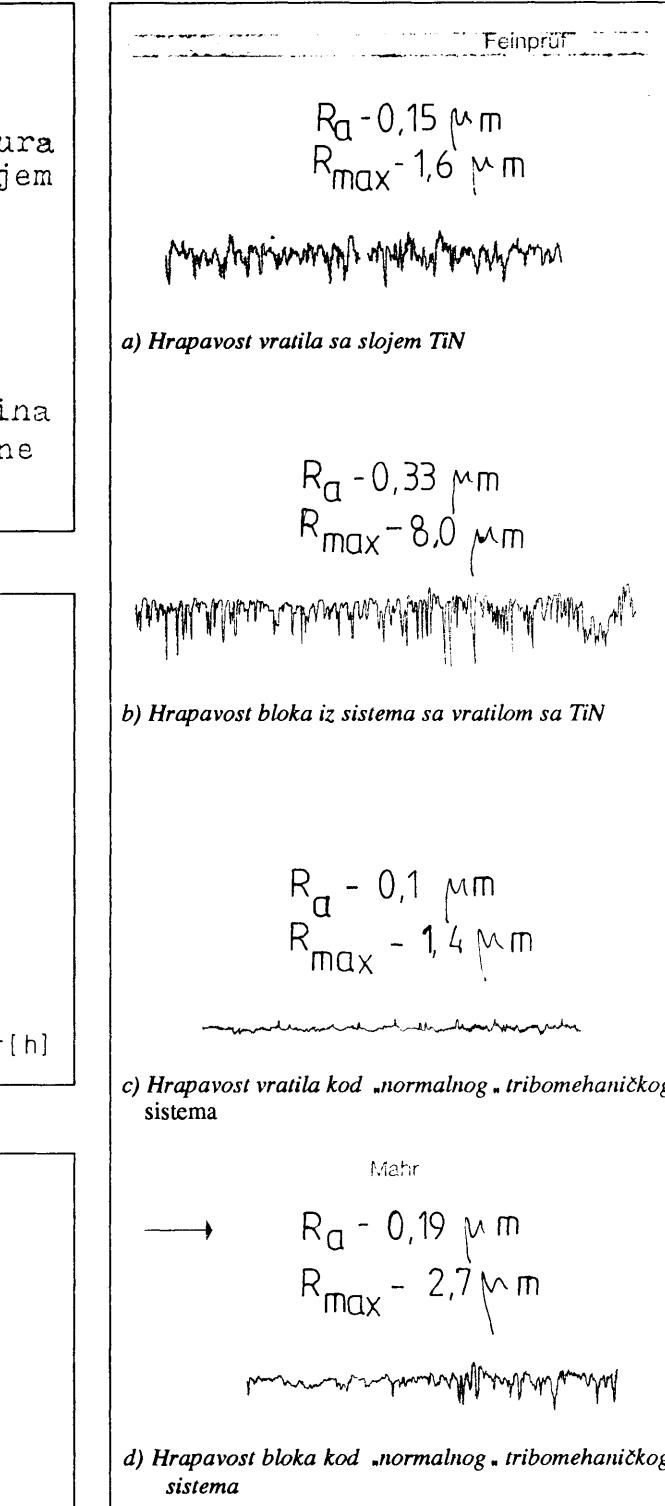


Slika 5. Sila trenja u sistemu DISK(SL.) - PIN(SL.)

$L = F_{pin}$ = sila na pinu

53,09 - koeficijent

$$P = \frac{101,47N}{53,09} = 1,911 \text{ bara } 2\text{bara}$$



Slika 6. Rezultati merenja hrapavosti kontaktnih površina

Rezultati ispitivanja koeficijenta trenja u sistemu Disk + TiN - pin od sivog liva dati su na slici 4.

Rezultati za sistem sastavljen od diska i pina koji su izrađeni od sivog liva bez TiN-prevlaka dati su na sl. 5.

U oba slučaja (rad sa i bez TiN-prevlaka) koeficijent trenja i sila trenja opadaju sa vremenom ostvarivanja kontakta. Pri tome su izmerene na tribometru veća sila trenja i veći koeficijent trenja u slučaju sistema sa prevlakom od TiN-a.

B) Ispitivanje na prototipu u realnim uslovima

Metodom mjerjenja produkata habanja u kompresoru kod kojeg je ugradjeno koljenasto vratilo sa slojem TiN i kod kompresora sa „normalnim“ elementima vršena je uporedna analiza razvoja procesa habanja.

Kompresori su radili na ispitnom stolu, u eksploatacionim uslovima, 5 sati (kao i na tribometru disk-pin). Rezultati su sledeći:

1 - ukupne netopive nečistoće u kompresoru sa „normalnim“ elementima su 0,0424 gr.

2 - ukupne netopive nečistoće u kompresoru sa ugradjenim koljenastim vratilom presvućenim slojem TiN su 1,5989 gr.

U postupku ispitivanja mjerene su i hrapavosti kontaktnih površina nakon rada na ispitnom stolu. Rezultati su dati na slici 6.

4. ZAKLJUČCI

Osnovni zaključak izведен na osnovu obavljenih ispitivanja u laboratorijskim i realnim uslovima glasi:

U uslovima rada hermetičkog rashladnog kompresora nije preporučljivo primjenjivati presvlačenje pojedinih elementa slojem TiN. Razlozi su sledeći:

- a) sloj TiN ima u tribološkom sistemu ulogu abraziva i „brusi“ materijal elementa u kontaktu;
- b) ulogu abraziva TiN-da više dolazi do izražaja kod funkcionalnog-učestalog startovanja konstrukcije kada podmazivanje nije još potpuno;
- c) početne čestice habanja su inicijalne za veća habanja i habajuća masa je veća kod primjene TiN.

Prednosti koje prevlake od TiN-a imaju u pogledu smanjenja hrapavosti kontaktnih površina u ovom slučaju se nisu potvrđile. Ovo je još jedan razlog protiv primene TiN-prevlaka u hermetičkom rashladnom kompresoru.

5. LITERATURA

1. Trde zaštitne prevleke, Ljubljana, 21. oktobra 1987., 2. seminar o rezultatih testiranja s TiN trdo prevlako prekritih orodij uporabljenih v serijski proizvodnji
2. J. VIŽINTIN: Laboratorij za tribologijo, Strojniški vestnik, Ljubljana (33) 1987/7-9.