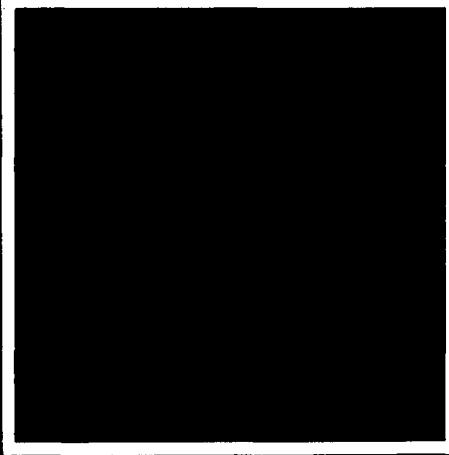
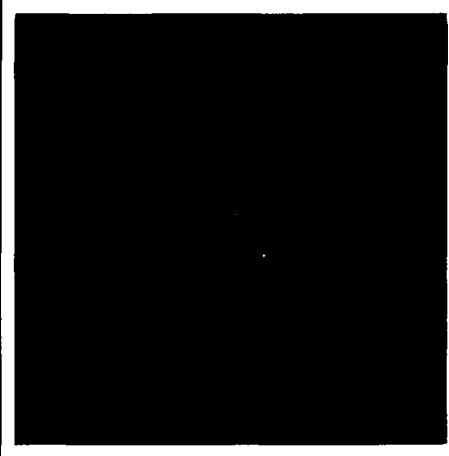
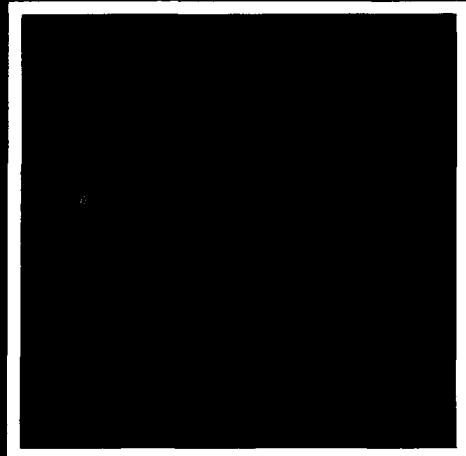
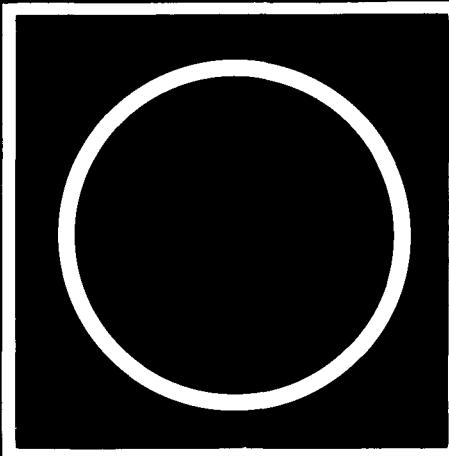
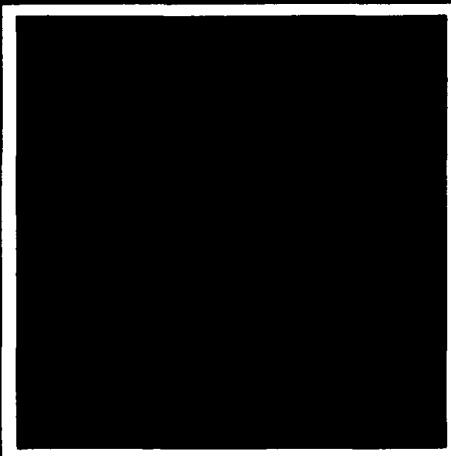


tribologija u industriji

YU ISSN 0351-1642
GODINA VIII
DECEMBAR '86.

4



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



tribologija u industriji

sadržaj contents содержание

UVODNIK INTRODUCTION ПЕРЕДОВИЦА	N. MANOLOV: Strategijski pravci razvoja tribologije u NR Bugarskoj - Strategic Directions in the Tribology Development in Bulgaria - Стратегические направления развития трибологии в НР Болгарии	99
ISTRAŽIWAJUĆA RESEARCH ИССЛЕДОВАНИЯ	M. LAZIĆ: Tribološki aspekt projektovanja i konstruisanja mašina (tribološka banka podataka) - Tribological aspects of machine Tool design (tribological data bank) - Трибологический аспект проектирования и конструирования станков (трибологический банк данных)	102
ZA NEPOSREDNU PRAKSU FOR DIRECT PRACTICE ДЛЯ НЕПОСРЕДСТВЕННОГО ПРАКТИКУ	M. CICHOWICZ, B. NOWICKI: Ispitivanje uticaja hravavosti površine na njene kontaktne deformacije - Investigation of the effect of the surface roughness on the surface contact deformations - Исследования влияния шероховатости поверхности на ее контактные деформации	108
KNJICE I ČASOPISI BOOKS AND JOURNALS КНИГИ И ЖУРНАЛЫ	B. KRŠLJAK: Postojanost tocila različitih karakteristika - Tool life of grinding wheels with different characteristics - Износостойкость шлифовального круга различных характеристик	113
NAUČNI SKUPOVNI SCIENTIFIC MEETINGS НАУЧНЫЕ СОБРАНИЯ	V. SAVIĆ: Proračun sistema za centralno podmazivanje mastima (II)	117
REZIMEA ABSTRACTS РЕЗЮМЕ	124
	126
	127

Strategijski pravci razvoja tribologije u NR Bugarskoj

(S bugarskog preveo SLAVKO ARSOVSKI)

Istorijska nauke dokazuje da njen razvitak postoji u dugom periodu vremena na delimično naučnom pristupu u izučavanju pojava u prirodi i društvu. To je period produbljenih i diferenciranih nauka što dovodi do postojanja granica između njih. Sadašnji razvitak nauke karakteriše se težnjom ka integraciji čime se ruše granice izmedju pojedinih nauka i učvršćuje se veza između njih. Mnogobrojna istraživanja objekata i pojava su preduslov za naučno-tehničku revoluciju čime se povećava efektivnost nauke, a time i proizvoda snaga rada. Primer za takav interdisciplinarni pristup kompleksnim naukama predstavljaju kibernetika, bionika, fizičko-hemijska mehanika, molekularna biologija, pouzdanost, tribologija i dr.

Tribologija je jedna od najmladijih kompleksnih nauka. Njen početak se vezuje za Prvi evropski kongres iz tribologije, koji je održan u Londonu 1973. godine, gde je ista definisana kao samostalna nauka. Prva specijalizovana naučna ustanova iz oblasti tribologije u Bugarskoj je Laboratorija za tribologiju u sastavu Elektromehaničkog instituta (VMEI) "Lenjin" koja je osnovana 1974. godine, a prvi nacionalni simpozijum iz tribologije i efektivnosti proizvodnje je održan 1977. godine u Varni.

Pristupajući suštinskom delu teme treba naglasiti, da je tribologija kao i svaka druga nauka složen sistem za proizvodnju znanja, koja sadrži sledeće osnovne elemente: metodologiju, kadrove, instrumentarium, strukturu i rezultate. Organsko jedinstvo ovih elemenata, a u skladu sa strategijskim zadacima razvoja, je sadržano u ovom radu.

Tribologija je ne samo nauka o trenju (tribos-trenje) već ima šire značenje. Blok je naziva multidisciplinarnom naukom; Hruščov, Danov je posmatraju kao deo tehničkih nauka; Džost je posmatra kao opštetechničku nauku i tehnologiju; časopis "Mehanika" je posmatra kao kompleksnu mehaniku, a Solomon kao iskustvo i način mišljenja (1 - 6). Iza ovih razmišljanja o tribologiji nalaze se mnogobrojni interesni, pristupi i ciljevi naučnih istraži-

vanja, organizaciona i obrazovna uloga u različitim okolicama i kolektivima. Sve to je ozbiljna smetnja u razradi i sprovodjenju jedne naučno zasnovane politike rezultata tribologije u svetskim, nacionalnim i lokalnim razmerama.

Uopštavajući dosadašnja iskustva iz tribologije i stvaranje nauke iz oblasti složenih integralnih procesa [7] može se reći da je tribologija kompleksna nauka o kontaktu tela bez obzira na njegov oblik i strukturu.

Posmatranjem tribologije kao samostalne nauke uočava se prvo veliki značaj kontaktnih procesa, i drugo, njihova kompleksna priroda. Veliki značaj kontaktnih pojava u privredi proizilazi iz njihove intenzivnosti i masovnosti. Kontakt se javlja kao funkcionalni i konstruktivni element svih tehničkih sistema. U jednom tehničkom sistemu mogu postojati stotine i hiljade kontaktnih parova. Kao svaka nova nauka, tribologija se nije pojavila trenutno, već ima dugu predistoriju. Koreni tribologije se razvijaju u okviru mehanike, fizike, hemije, mašinstva, poznavanja materijala, metrologije, energetike, itd. Na taj način ova naučna dostignuća iz drugih nauka su treća pretpostavka za pojavu tribologije kao nauke. Karakteristično za delimično naučni pristup ka pojavnama u kontaktu je njegova epizodičnost i jednostranost. Za mehaniku npr. kontaktne oblast se modelira kao treće telo sa nelinearnim karakteristikama. U poznavanju materijala, treće telo se posmatra kao vid defekta strukture, a u fizičkoj hemiji kao složeno mnogofazno formiranje sa molekularnom kinetikom pri formiranju i razrušavanju. Pouzdanost tretira promene u zoni kontakta u vremenu, što je osnova za složenu dinamiku kvaliteta mašina i delova.

Tribologija se osposobljava kao samostalna nauka da bi registrovala kvalitetno novu etapu u razvoju teorijskih i praktičnih aspekata kontakta utvrđujući organsko jedinstvo mehaničkih, fizičkih, hemijskih i drugih strana ponašanja u zoni kontakta. Novost u tribologiji sastoji

se još u razmatranju trećeg tela kao samostalnog objekta naučnog istraživanja [8]. Najopštije rečeno, tribologija je nauka graničnih struktura, sastava i svojstava materijala, a delimično izučava i optimizira trenje, habanje i podmazivanje tela, kao i stabilnost kontakta i pouzdanost tehničkih sistema. Metodološki posmatrano, tribologija je izgradjena na bazi kompleksnog prilaženja cilju. To znači da metodi i sredstva istraživanja pojava u zoni kontakta ne treba da se mehanički prenose iz drugih naučnih oblasti, već treba da se usklade sa odgovarajućim kompleksnim karakterom pojave i postavljenim ciljem. Drugim rečima, primenjuje se metod koji dovodi do najbržeg i najtačnijeg ostvarenja cilja. U vezi sa kompleksno-ciljnim prilažom tribologija iziskuje nove pristupe u oceni kriterijuma naučnog procesa. Od uobičajenih kriterijuma za svako naučno ostvarenje: novost, objektivnost, značaj u tribologiji treba da se naglasak stavi na društveni značaj naučnih rezultata.

Globalni zadaci tribologije su:

- u oblasti teorije - izgradnja opštih triboloških modela koji odražavaju složenost strukture, sastava i kinematike kontakta u pogodnom obliku,
- u oblasti tribometrije - razrada unificiranih metoda i sredstava za ispitivanje, kontrolu i davanje informacija o kvalitetu triboloških materijala, elemenata i sistema,
- u oblasti tribotehnike - razrada novih konstrukcija i tehnologija u cilju povećanja kvaliteta i pouzdanosti kontaktnih parova i sistema u celini. Sinteza novih podmazujućih, frikcionih i antifrikcionih materijala sa povišenim eksploatacionim karakteristikama.

Centralno mesto u tribologiji je razrada kompleksnih matematičkih modela kontakta. Pristupajući izgradnju teorijskih osnova tribologije treba imati u vidu reči Markska [9] da "nauka samo tada dostiže savršenstvo, kada koristi matematički aparat", i Mendeljštama [10] "Svaka fizička teorija sastoji se iz dva dela koji se međusobno dopunjaju. Prvi deo čine teorijske jednačine preko odgovarajućih matematičkih simbola, a drugi deo čine veze između tih simbola i fizičkih objekata. Bez drugog dela teorija je prazna, a bez prvog dela nema teorije". Vreme će pokazati kakva će biti teorija kontakta: fotonološka ili kvantno-mehanička, deterministička ili stohastička. U svakom slučaju teorija kontakta treba da ima kvantativni karakter. Ukratko, tribologija zahvaljuje doprinisu Njutna, Ajnštajna, Šredingera, Vinera i dr.

Strategijsko mesto tribologije u središtu ostalih nauka je određeno značenjem i karakterom njenog objekta koji je po svojoj suštini na granici mikro i makro sveta.

U svim razvijenim zemljama su obrazovani koordinacioni centri u kojima se sprovode istraživanja iz tribologije, publikuju periodični časopisi, organizuju nacionalne konferencije, obučavaju kadrovi. Istraživanja u oblasti tribologije vrše se i u Bugarskoj, ali je to najčešće stihijsko i sa pozicija drugih nauka. Pri tome Bugarska tribologija je već registrovala svoj doprinos u fundamentalnoj i aplikativnoj oblasti. Fundamentalna dostignuća, koja imaju međudržavno priznanje, su neki teorijski modeli u oblasti kontakta u mehanici, kontaktne propustljivosti tela i samopohuđnih procesa. U navedenoj oblasti razvijeni su novi tribotehnički materijali - za podmazivanje, hlađenje, frikcioni i prevlake sa povećanom otpornošću na habanje, razvijene su nove tehnologije koje povećavaju efektivnost završne obrade plastičnim, hidroplastičnim deformisanjem, nove mašine sa povišenim karakteristikama tribotehničkih pokazatelja. Najveća aktivnost u oblasti tribologije u Bugarskoj se ostvaruje na fakultetima u Bugarskoj.

Organska veza tribologije sa strategijskim pravcem naučno-tehničkog progresa proističe iz geneze objekta metoda i zadatka te nauke. Ekonomija energije, materijala, rada, kvaliteta i efektivnosti izrade proizvoda na bazi razvoja nove tehnologije, elektronizacije, robotizacije i automatizacije proizvodnje na bazi novih izvora energije i osvajanje kosmosa su samo neki od problema naučno-tehničke revolucije u čijem rešavanju najaktivnije učestvuje tribologija.

Da bi se uspešno rešili ovi i drugi globalni problemi tribologije potrebni su sledeći preduslovi; društvena podrška, obrazovani visokokvalifikovani kadrovi, odgovarajuća organizaciona struktura i naučni instrumentarium. Prva prepostavka vezana za društvenu podršku postoji u okviru više programa: program ministarstva za visoko obrazovanje (SVO) "Tribologija, kvalitet, pouzdanost", program "Tribologija" privrednog kombinata (SMK) "Brežnjev", program "Razvoj i uvođenje savremenih tribotehničkih materijala i proizvoda" privrednog kombinata SK "Zebra", itd. Neophodno je sve ove programe objediniti u jedan opšti, nacionalni program "Tribologija", pri čemu treba da se formulišu konkretni problemi; programi rada kolektiva koji će raditi na njihovom rešavanju. Tu se pojavljuje pitanje pripreme visokoobrazovanih kadrova iz tribologije. U Bugarskoj nema srednjih i viših obrazovnih ustanova u kojima se obučavaju profesionalni tribolozi. Kadrovi sa kojima se raspolaze poseduju specijalizovana znanja iz oblasti drugih nauka, stečena kroz specijalizaciju ili diplomske rade. Ova priprema se ostvaruje od strane elektromehaninskog instituta (VME) "Lenjin", ustanova u drugim zemljama (SSSR, DDR, Poljska), Nezavisno od krajnjeg

nezadovoljstva stanjem kadrova razvijena je odgovarajuća organizaciona struktura. U tom smislu karakterističan je program ministarstva za visoko obrazovanje (SVO) "Tribologija, kvalitet, pouzdanost" koji objedinjava specijaliste sa nekoliko ustanova. Program obuhvata sledeće teme:

- kvalitet površinskih slojeva i prevlaka vezan za otpornost na habanje,
- tribološki metodi i sredstva za poboljšanje zaptivosti i pouzdanosti sklopova,
- delovanje na fluid preko tvrdog tela. Strujno-mehanički kontrolno-merni sistem i davači,
- razvoj elemenata sa povećanim tribološkim pokazateljima i povećanom pouzdanošću u radu,
- metodi i sredstva za istraživanje i povećanje pouzdanosti vagona,
- povećanje proizvodnosti i tačnosti brušenja. Uredaj za adaptivno upravljanje radnog hoda tocila,
- habanje elemenata kontaktnog para. Kvalitet i pouzdanost pri održavanju mašina,
- tribološki i dijagnostički metodi i sredstva za povećanje kvantiteta i pouzdanosti reduktora,
- dijagnostika kod kompenzacionih materijala. Tehnologija kontrole bez razaranja materijala,
- matematički metodi za istraživanje i upravljanje kvalitetom tehničkih sistema.

Ovi zadaci su povereni kolektivima BME "Lenjin" - Sofija, tehničkom fakultetu (VIU) "Angel-Kinčev" - Ruse. Sofijskom univerzitetu - matematičkom fakultetu u Bugarskoj.

oj Akademiji nauka - Institutu za matematiku i mehaniku. Programom kao celinom rukovodi Laboratorijski za naučno istraživački rad (PNIL) "Tribologija" pri BMEI "Lenjin". Završetak aktivnosti se predviđa do kraja 1987. godine.

U vezi sa potrebom za naučnim instrumentariumom za tribologiju početkom 1986. godine osnovano je specijalizovano malo preduzeće "Intertribo" za razvoj i proizvodnju tribotehničkih elemenata i sistema. Pomoć od strane nauke ostvaruje se preko PNIL "Tribologija" na BMEI "Lenjin" - Sofija. Jedan od osnovnih zadataka "Intertribo"-a je razvoj unikatnih tribotehničkih aparata za potrebe naučnih ustanova, laboratorijski i instituta.

Postignuti rezultati u razvoju tribologije odgovaraju postignutim zahtevima sa XIII kongresa BKP u oblasti naučno-tehničkog progresa. To daje osnovu da se tribologija tretira kao novi naučni proces sa strategijskim značajem za naučno-tehničku revoluciju u Bugarskoj. Analizirajući postignute rezultate zaključuje se da je potrebno:

1. Da se obrazuje nacionalni koordinacioni centar iz oblasti tribologije za istraživanje, pripremu kadrova i proizvodnju,
2. Da se sve aktivnosti iz oblasti tribologije organizuju prema osnovama nacionalnog programa "Tribologija".
3. Da se izgradi jedan sistem specijalizovanih naučnih i proizvodnih organizacija u celoj zemlji.
4. Da se organizuje izdavanje časopisa "Tribologija, kvalitet, pouzdanost".

N A P O M E N A

Tribologija i kao nauka i kao tehnologija sve više se širi i primenjuje u industrijskim sistemima u našoj zemlji, a postaje i predmet istraživačkih programa u sve većem broju naučnih i drugih institucija u SFRJ. Ova

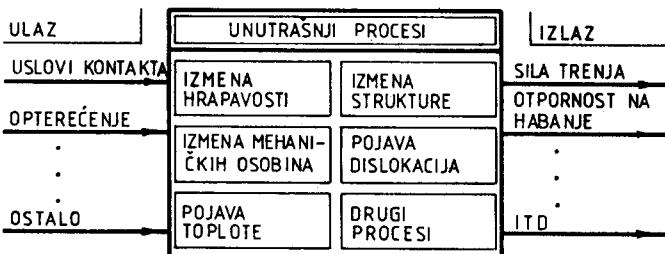
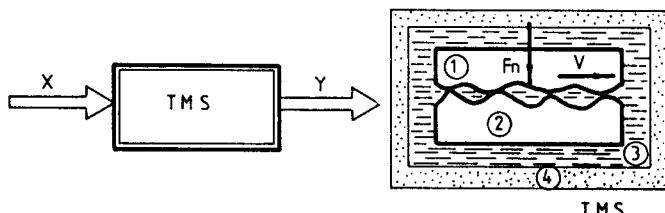
naučna disciplina nalazi primenu sve više i u drugim zemljama. O tome šta se dešava sa razvojem tribologije u susednoj NR Bugarskoj govori Docent N. Monolov, rukovodioč Laboratorije za tribologiju na Tehničkom institutu u Sofiji. Njegov tekst može da doprinese daljem razvoju strateških pravaca tribologije i u našoj zemlji. Ovo je razlog zbog čega se prostor u ovom broju časopisa ustupa kolegi N. Monolovu.

Tribološki aspekt projektovanja i konstruisanja mašina alatki

- tribološka banka podataka -

1. UVOD

Savremene metode i postupci projektovanja i konstruisanja elemenata mašina i mašina u celini baziraju na dostignućima relevantnih naučnih oblasti. Jedna od posebno značajnih naučnih disciplina uticajnih na proces oblikovanja i stvaranja novih proizvoda je i TRIBOLOGIJA. To tim pre što se problematika kontakta, trenja i habanja i niza drugih propratnih pojava u tribomehaničkom sistemu (sl. 1) ne može rešavati samo adekvatnim izborom jednog od elemenata sistema (sredstva za podmazivanje).



Sl. 1. - Tribomehanički sistem (TMS) i osnovni faktori uticajni na tribološke procese (1, 2 i 3-elementi TMS, 4-okolina)

Poznavanje i identifikacija triboloških procesa i triboloških karakteristika elemenata TMS je jedan od osnovnih pravaca formiranja tribološki ispravne konstrukcije, konstrukcije koja obezbeđuje maksimalne tehnološke pokazatelje mašina. Formiranje tribološki ispravne konstrukcije moguće je samo adekvatnom analizom triboloških

pojava i procesa na elementima TMS, razvojem tribološke banke podataka i razvojem sistema, ne samo, automatskog projektovanja i konstruisanja (CAD), već i sistema automatskog projektovanja tehnoloških procesa (CAM), automatskog praćenja kvaliteta proizvoda (CAQ), automatske organizacije i praćenja procesa proizvodnje (CAP) i sl.

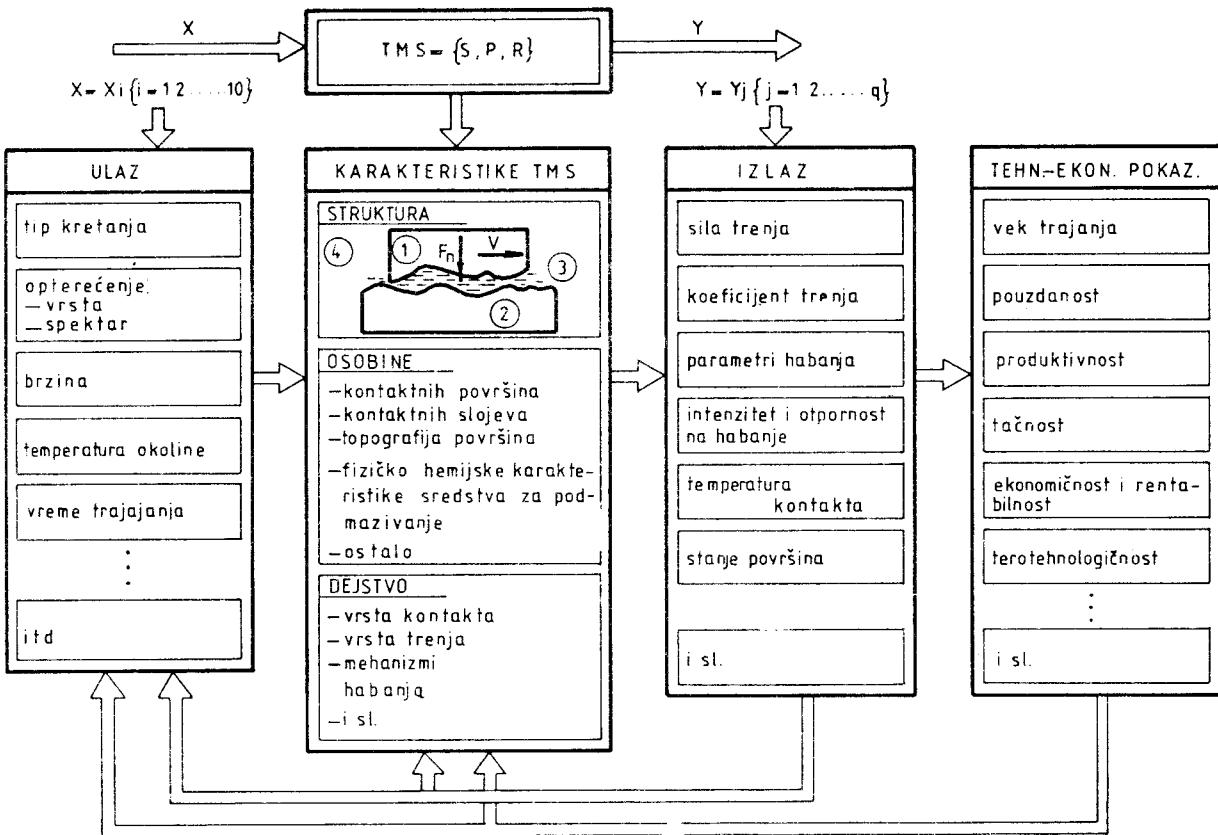
Sa šeme date na sl. 1 može se uočiti sva složenost i kompleksnost procesa identifikacije, analize, definisanja i upravljanja tribološkim pojавama. Rešenje tog problema, u eri eksplozivnog razvoja računarskih sistema velikih i raznovrsnih mogućnosti, je razvoj, oblikovanje i prilagodjavanje tribološke banke podataka savremenim računarskim sistemima. Upravo iz tih razloga proizilazi i osnovni cilj rada da ukaže na neke premise izgradnje tribološke banke podataka, uz iniciranje što šireg uključivanja stručnjaka različitih profila u problematiku njenog formiranja, oblikovanja, inoviranja, dogradnje i sl.

2. OSNOVNE - POLAZNE PRIMESE

Vek trajanja, pouzdanost i druge tehnološke karakteristike elemenata TMS i mašina u celini (sl. 2) зависе 60-70% [9] od otpornosti na habanje, odnosno triboloških karakteristika elemenata TMS. To znači da se obezbeđenje tribološki ispravne konstrukcije u fazi projektovanja, konstruisanja, tehnološke razrade i pripreme proizvodnje, može postići utvrđivanjem direktne zavisnosti tehnoloških pokazatelja mašina i triboloških karakteristika elemenata TMS (izlaz Y - sl. 2), uslova odvijanja kontakta (ulaz X) i osnovnih karakteristika TMS (struktura S, osobina P i međuzavisnosti R).

Utvrđivanje ove zavisnosti podrazumeva adekvatno, kompleksno i celovito identifikovanje:

- parametara, uticajnih na uslove ostvarivanja kontakta (ulaznih parametara):



Sl. 2. - Šema medjuzavisnosti tehno-ekonomskih pokazatelja mašina, ulaznih, izlaznih parametara i karakteristika TMS

$$X = X_i \{i=1, 2, \dots, P\},$$

- osnovnih karakteristika TMS definisanih: strukturom TMS

$$S = S \{s_1, s_2, \dots, s_n\},$$

osobinama elemenata TMS

$$P = P \{p_1, p_2, \dots, p_m\} \quad i$$

osnovnim procesima u kontaktu elemenata TMS (medjudejstvom)

$$R = R \{r_1, r_2, \dots, r_z\},$$

- izlaznih parametara (triboloških karakteristika elemenata TMS) uticajnih na funkcionisanje i tehno-ekonomiske karakteristike mašina:

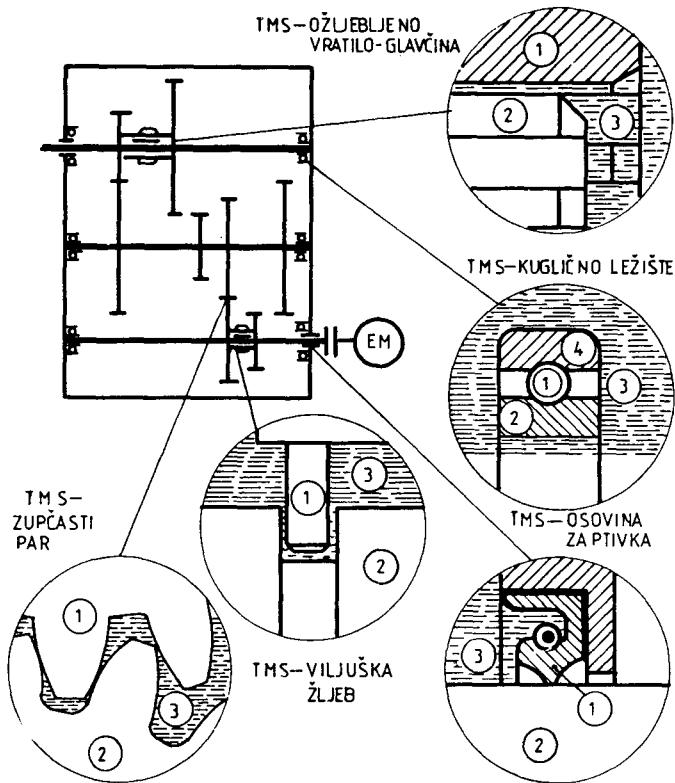
$$Y = Y_j \{j=1, 2, \dots, q\},$$

kao i njihove medjusobne zavisnosti i korelacije.

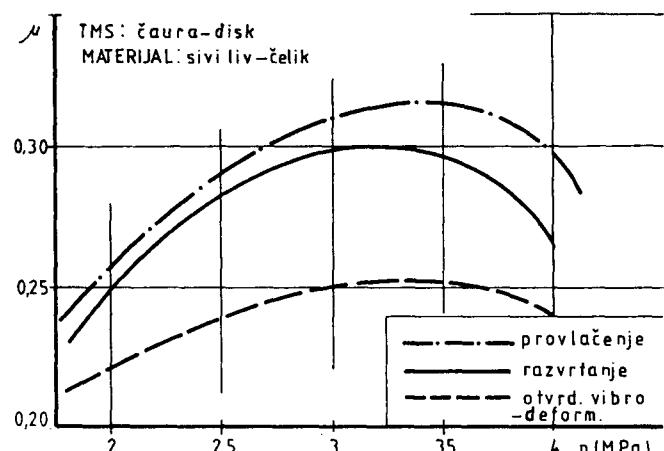
Veliki broj parametara uticajnih na uslove ostvarivanja kontakta (p), osnovnih TMS (r) maštine, elemenata TMS (n), osobina elemenata TMS (m), medjusobnih karakterističnih pojava i procesa (z) i izlaznih relevantnih parametara (triboloških karakteristika elemenata TMS-q), čine razjašnjenje triboloških procesa u TMS:

$$X \rightarrow TMS = \{S, P, R\} \rightarrow Y,$$

veoma složenim i kompleksnim. Identifikacija pomenutih parametara i faktora podrazumeva niz aktivnosti, kao što su razvoj metoda identifikacije TMS (sl. 3) i definisanja osnovnih karakteristika TMS, metoda i postupaka istraživanja triboloških procesa i definisanja triboloških karakteristika elemenata TMS i niza drugih metoda i postupaka značajnih za razjašnjenje triboloških procesa, poboljšanje triboloških karakteristika elemenata TMS, upravljanje tribološkim procesima, itd. To tim pre što niz rezultata eksperimentalnih i teorijskih istraživanja ukazuje na značajan uticaj mikrogeometrije kontaktnih površina.



Sl. 3. - Identifikacija TMS zupčastog prenosnika alatne mašine



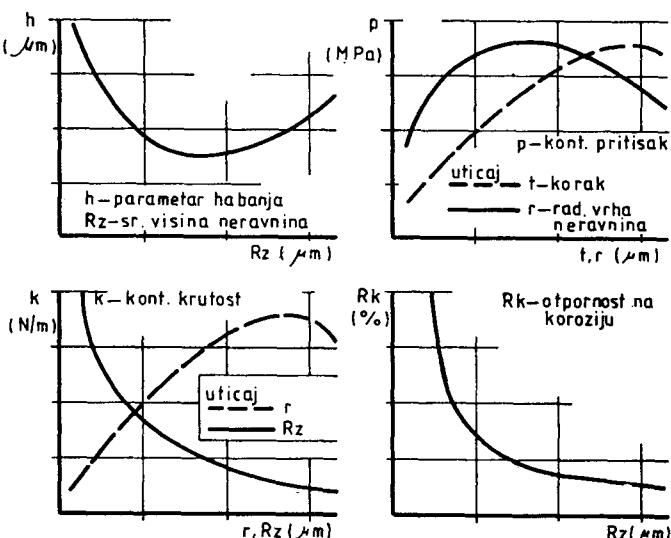
Sl. 5. - Uticaj postupka formiranja kontaktnih slojeva i opterećenja na koeficijent trenja pri klizanju

Rešenje ovog problema je očigledno usmereno na razvoj odgovarajućeg informacionog sistema i sistema automatskog projektovanja i konstruisanja (CAD-sistema), sistema baziranih na tribološkoj banci podataka kao osnovnog elementa.

3. OSNOVE TRIBOLOŠKE BANKE PODATAKA

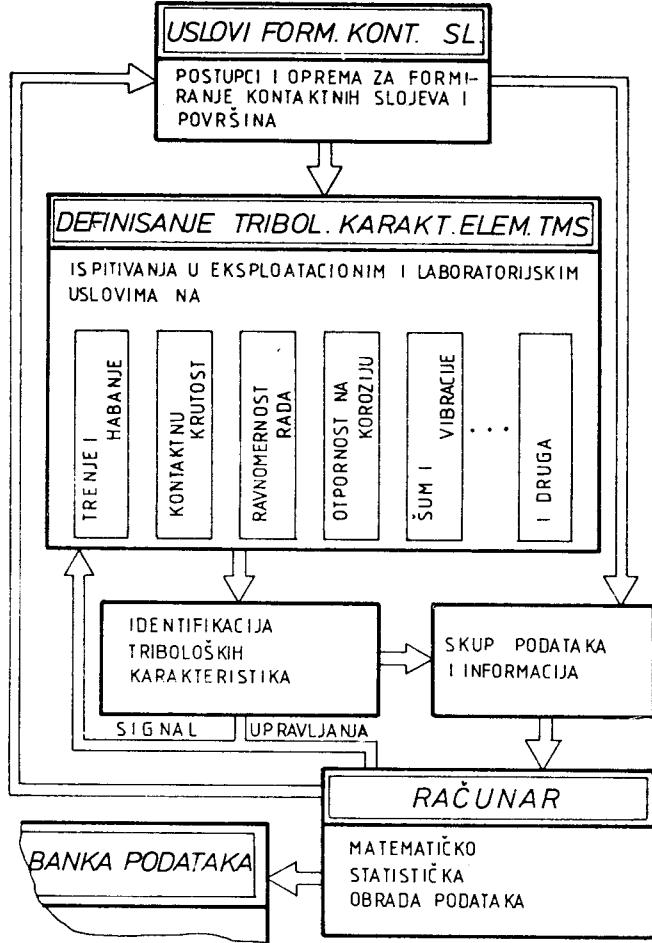
Formiranje tribološke banke podataka podrazumeva identifikaciju svih relevantnih parametara, proučavanje triboloških procesa i definisanje triboloških karakteristika elemenata TMS (sl. 6) i oblikovanje odgovarajuće dokumentacije za prikupljanje (snimanje), smeštaj i čuvanje, inoviranje (izmenu), dogradnju i prikazivanje (korišćenje) relevantnih podataka. Oblikovanje banke podataka bazira na mnoštvu matematičko-statističkih analiza literaturnih podataka, rezultata teorijskih i eksperimentalnih istraživanja, kritičkoj oceni svih, pa i iskustvenih podataka i sl. Sve aktivnosti u fazi izgradnje i formiranja tribološke banke podataka (sl. 7) usmerene su na prikupljanje podataka vezanih za:

- identifikaciju TMS alatnih mašina i osnovnih karakteristika elemenata TMS (strukture, osobina i procesa u kontaktu - blok 1 na sl. 7),
- identifikaciju uslova ostvarivanja kontakta elemenata TMS (2),
- definisanje metodologije izbora i proračuna parametara kojima su odredjene tribološke karakteristike elemenata TMS (3),
- razradu metodologije analize uticaja triboloških karakteristika elemenata TMS na eksploatacione pokazate-



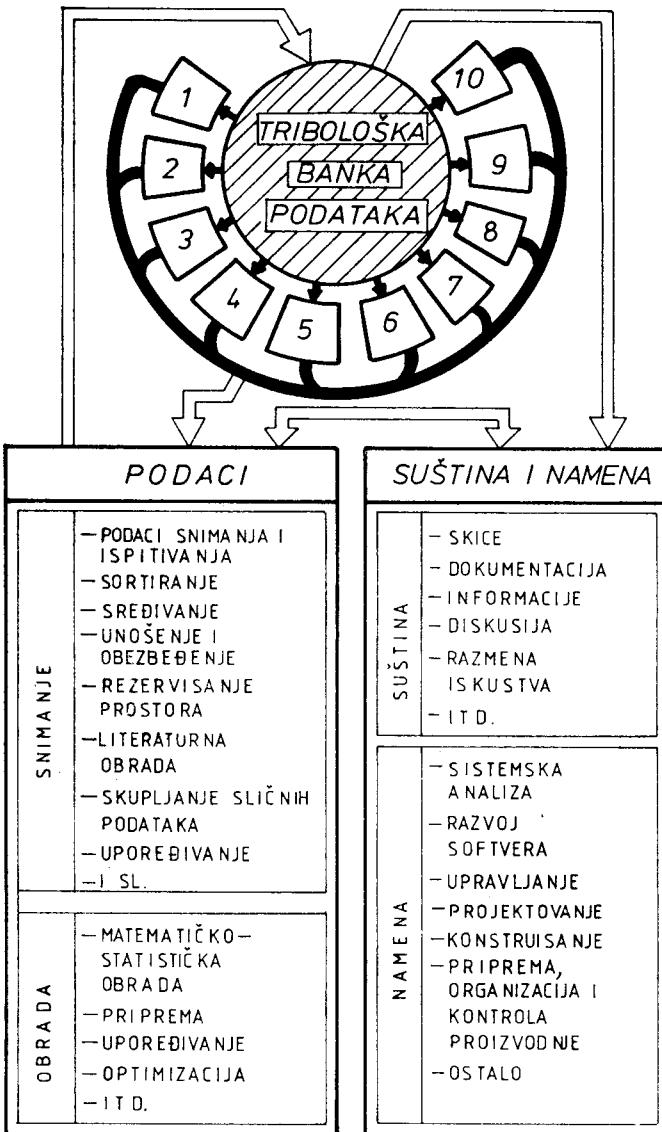
Sl. 4. - Uticaj mikrogeometrije kontaktnih površina na eksploatacijske (tribološke) karakteristike elemenata TMS

ina (sl. 4), uslova formiranja kontaktnih slojeva (vrste i režima obrade - sl. 5), uslova nastanka i debljine uljnog filma, uslova eksploatacije i niza drugih manje ili više relevantnih faktora saglasno šemom prikazanoj na sl. 2.



Sl. 6. - Moguća blok-šema određivanja triboloških karakteristika elemenata TMS i izbora optimalnih uslova formiranja kontaktnih slojeva

- Ije istih i tehnno-ekonomske pokazatelje mašina (4),
- iznalaženje postupka definisanja optimalnog konstruktivnog oblikovanja elemenata TMS (5) sa tribološkog aspekta (formiranje tribološki ispravne konstrukcije - sl. 8),
 - identifikaciju triboloških procesa u proizvodnim eksploracijskim uslovima (6),
 - rešavanje specijalnih-konkretnih problema iz industrijske prakse (eksploracije - 7),
 - kritičku ocenu relevantnih faktora uticajnih na tribološke procese, kroz razmenu iskustva, diskusiju, analizu rezultata eksperimentalnih i teorijskih istraživanja i sistemsku analizu procesa (8),
 - razradu i oblikovanje adekvatne dokumentacije (tabela 1, na primer) neophodne za optimalno korišćenje tribološke banke podataka, ne samo u fazi projektovanja i konstruisanja, već i u eksploraciji, upravljanju proizvodnjom, pripremi proizvodnje i sl. (9),

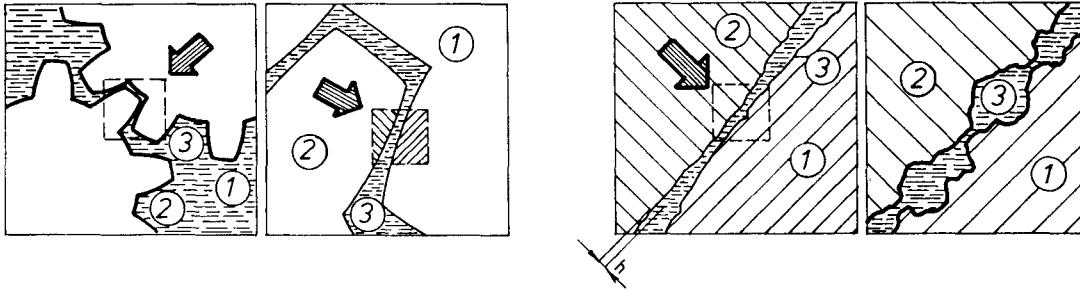


Sl. 7. - Jedna od mogućih strukturalnih šema tribološke banke podataka

- realizaciju i drugih aktivnosti usmerenih ka kompletiranju procesa oblikovanja tribološke banke podataka (10).

Kratka analiza pomenutog sadržaja pokazuje da se tribološka banka podataka može koristiti za rešavanje niza konkretnih problema kako u fazi projektovanja i konstruisanja alatnih mašina, tako i u fazi njihove proizvodnje i eksploracije, kao i za razradu odgovarajućeg informacionog sistema. Time bi se stvorili uslovi za projektovanje tribološki ispravne konstrukcije alatne mašine, konstrukcije koja će obezbediti maksimalne tehnno-ekonomske pokazatelje mašina uz minimalne utroške raspolaživih resursa.

TABLICA 1: MOGUĆI SADRŽAJ KARTE TMS

TMS : zupčasti par br. _____		List 1 Listova N			
ŠEMA TMS					
					
RADIONIČKI CRTEŽ		Karakteristike ozubljenja			
element 1	element 2	element 1	element 2		
		broj zuba modul ugao dodirnice prečnici merni broj zuba mera preko zuba i slično	z_1 m α d_{i1} z_{w1} w_1		
			z_2 m α d_{i2} z_{w2} w_2		
OSOBINE ELEMENATA TMS					
	element 1	element 2	element 3		
<ul style="list-style-type: none"> - materijal hemski sastav mehaničke karakteristike struktura i sl. - kontaktna površina hrapavost kriva nošenja i sl. - kontaktni sloj struktura karakteristika - uslovi formiranja postupak režim vrsta i sl. 			<ul style="list-style-type: none"> - vrsta oznaka - kinematska viskoznost indeks viskoznosti - temperaturna paljenja - temperaturna stinjavanja - temperaturna kapanja - relativna gustina - penetracija - ostale karakteristike 		

4. ZAKLJUČCI

Razvoj novih sistema projektovanja i konstruisanja elemenata TMS i mašina alatki u celini zahteva, evidentno, i razvoj tribološke banke podataka. Na taj način, sa-glasno šemi datoju na sl. 9, stvaraju se uslovi za formiranje tribološki ispravnih konstrukcija. Osnovne pretpostavke za izgradnju tribološke banke podataka su:

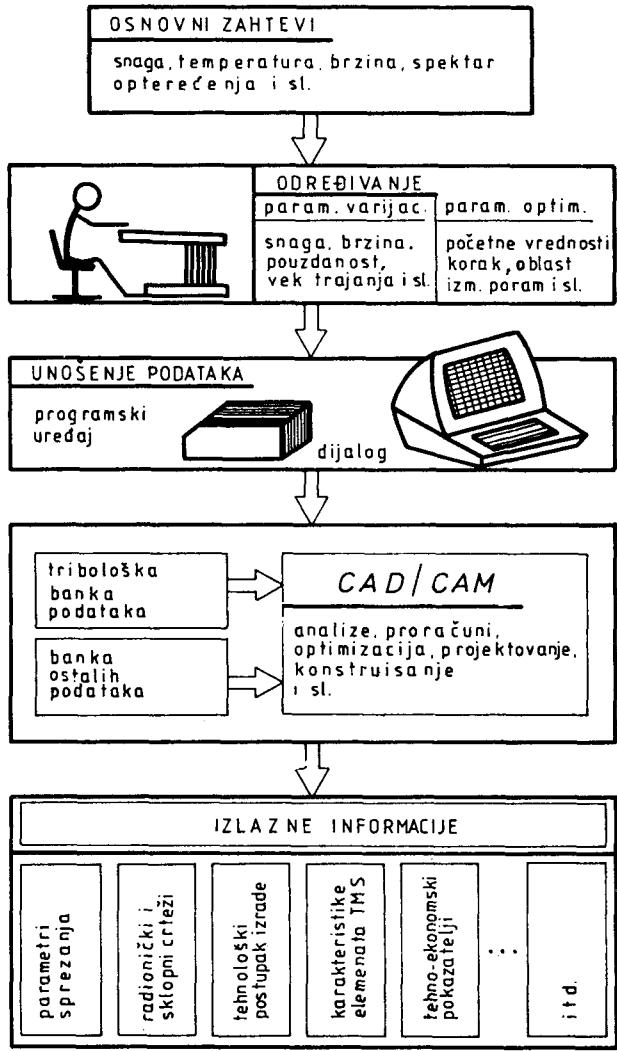
i - razvoj metoda i postupaka definisanja triboloških karakteristika elemenata TMS u eksploatacijskim i laboratorijskim uslovima,

ii - razvoj metoda definisanja tehn-ekonomskih po-kazatelia mašina i analize uticaja triboloških karakteristi-ka elemenata TMS na iste,

iii - razvoj metoda automatskog definisanja mogućih varijantnih rešenja konstrukcija i izbora optimalnog,

iv - razvoj metoda i postupaka snimanja i prikuplja-nja podataka, njihove matematičko-statističke obrade, pri-kazivanja i čuvanja i sl.

Treba naglasiti svu složenost i interdisciplinarnost izgradnje tribološke banke podataka. Međutim, njenim fo-rmiranjem stvaraju se uslovi za usavršavanje i dograđuju-

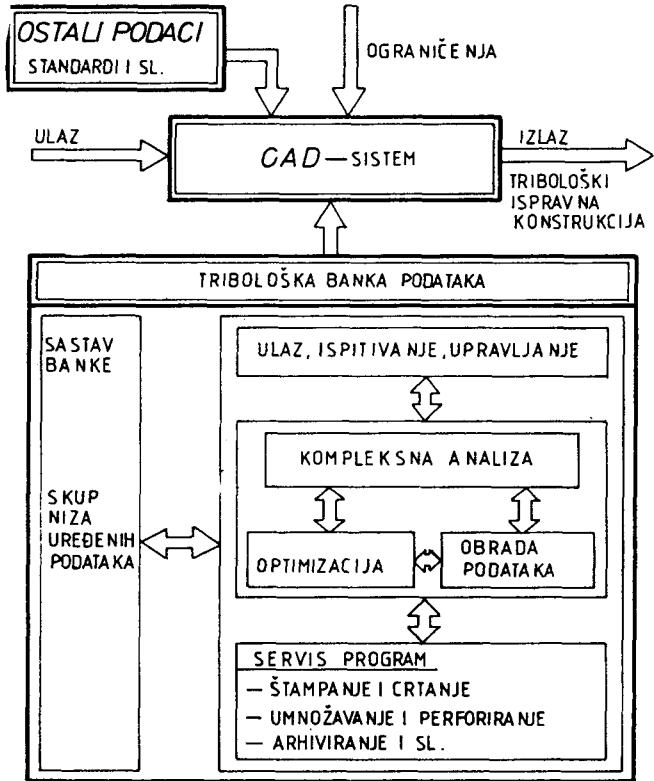


Sl. 8. - Sistem izbora optimalnog konstruktivnog rešenja i formiranja tribološki ispravne konstrukcije zupčastog prenosnika alatne maštine

sistema automatskog projektovanja proizvoda i tehnoloških procesa (CAD/CAM-sistema), automatske pripreme, organizacije, praćenja i kontrole procesa proizvodnje, automatskog upravljanja uslovima eksploatacije, itd.

LITERATURA

- [1] BABIĆ, M., Karakteristike kontaktnih slojeva dobijenih ravnim brušenjem u funkciji uslova obrade, magistarски рад, Mašinski fakultet, Kragujevac, 1984.
- [2] EHRIENSPIEL, K., und zweite, Anwendungsmöglichkeiten für die mathematische Optimierung der Konstruktionspraxis, Konstruktion, No. 11, 1982.
- [3] IVKOVIĆ, B.: Osnovi tribologije u industriji prerade metala, Gradjevinska knjiga, Beograd, 1984.



Sl. 9. - Šema povezivanja tribološke banke podataka u fazi projektovanja

- [4] LAZIĆ, M., Mogući prilaz optimizaciji i automatizaciji projektovanja zupčastih prenosnika alatnih mašina, doktorska disertacija, Mašinski fakultet, Kragujevac, 1982.
- [5] LAZIĆ, M.: Tribološki aspekt projektovanja i konstruisanja maština alatki-osnove sistemskog pristupa, Tribologija u industriji, No 3, 1986.
- [6] OPITZ, H., Moderne produktionstechnik-stand und tendenzen, Verlag W, Girardet, Essen, 1970.
- [7] ОРЛОВ, П.И., Основы конструирования, Машиностроение, Москва, 1977.
- [8] СУСУЛОВ, А.Г., Возможности обеспечения износостойкости деталей машин на стадии конструкторско-технологической подготовки производства, Тренинг и износ, Том VII, № 4, 1986.
- [10] МНЕЙДЕР, Ю. Г., Эксплоатационные свойства деталей с регулярным микрорельефом, Машиностроение, Ленинград, 1982.
- [9] RAKIĆ, R., Prilog istraživanju pouzdanosti maština alatki u funkciji triboloških svojstava maziva, doktorska disertacija, Mašinski fakultet, Kragujevac, 1985.



Ispitivanje uticaja hrapavosti površine na njene kontaktne deformacije

(S poljskog prevela JELENA MAKSIMOVIC-CUPURDIJA)

Deformacije mnogih mašina, npr. strugova i mernih instrumenata, predstavljaju jednu od njihovih najbitnijih eksploracionih osobina. Ove deformacije su superpozicija deformacija zapreminskih (elastičnih) i kontaktih, pri čemu ove poslednje čine obično oko 90% ukupnih deformacija.

Kontaktne deformacije potiču od elastičnih deformacija grešaka oblika i talasavosti kao i elastičnih, plastičnih ili elastično-plastičnih deformacija hrapavosti. Prognoziranje grešaka oblika i talasavosti kao i njihovih kontaktih deformacija je teško i retko primenjivano s obzirom na teškoće u definisanju unapred njihovih parametara. Na vrednost parametara hrapavosti površine može se uticati kroz izbor načina i parametara obrade. Sa tog staničišta određivanje veze parametara hrapavosti sa njenim kontaktnim deformacijama je objekt mnogih teorijskih i eksperimentalnih ispitivanja. Teoretski radovi u toj oblasti oslanjaju se na uprošćene modele hrapavosti i mehaničke osobine površinskog sloja; povrh toga kod njih se usvaja ista vrsta deformacija za sve vrhove neravnina koji se dodiruju, tj. elastične i plastične. Uticaj mikrogeometrije uziman je obično pomoću radijusa zaobljenja vrhova neravnina i nosivosti površine, a zanemarivane su tako bitne odlike hrapavosti kao: raspored učestanosti pojavljivanja vrhova neravnina u funkciji blizine, nagib profila, rastojanje između vrhova neravnina, itd.

U tzv. plastičnom modelu deformacija 1.3 usvaja se, da su pritisci u oblastima stvarne površine kontakta jednak tvrdoći materijala (HB i HV). U zavisnosti vrednosti stvarne površine kontakta od opterećenja i tvrdoće definisano je učešće nosivosti površine

$$t_p = \frac{q}{HB}, \quad (1)$$

dok su kontaktne deformacije hrapavosti (blizina) određene jednačinom krive nosivosti u obliku

$$t_p = be^v \quad (2)$$

gde su b i v parametri krive nosivosti, ϵ pak relativna blizina ($\epsilon = a/R_{max}$).

Iz jednačina (1) i (2) imamo

$$a = \left(\frac{q}{bHB} \right)^{1/v} R_{max} \quad (3)$$

Za tipične površine dat je obrazac u uprošćenom obliku [10]:

$$a = 4,1 Ra \left(\frac{q}{HB} \right)^{1/2} \quad (4)$$

U modelima kontakta koji ima elastične deformacije vrhova neravnina primenjen je najčešće sferični oblik vrhova, definisan radijusom r . Neravnine i fizičke osobine obe površine pripisivane su jednoj tzv. ekvivalentnoj površini čiji parametri proizilaze iz osobina jedne i druge površine, tj.

$$r = \frac{r_1 r_2}{r_1 + r_2} \quad (5)$$

$$R_\alpha = R_{\alpha 1} + R_{\alpha 2} \quad (6)$$

$$\theta = \frac{1-\mu_1^2}{E_1} + \frac{1-\mu_2^2}{E_2} \quad (7)$$

N. Demkin [1] usvajajući razmotrene pretpostavke kao i dodatne vezane za uticaj osobina materijala i gornjeg sloja kao i oblika mikroneravnina i krive nosivosti, izveo je zavisnost za relativnu vrednost kontaktih deformacija ($\epsilon = a/R_{max}$),

$$\epsilon = (1,5\pi\theta r^{1/2}/q(KR_{max}^{1/2}b))^{2/2v} + 1$$

gde je K konstanta zavisna od parametara krive nosivosti

v, nagiba profila y i rasporeda napona na vrhovima.

Sličan oblik zavisnosti dobio je takođe Kambalow,

$$\epsilon = \left\{ \frac{2\pi q \theta}{K_1} \left(\frac{r}{R_{max}} b^2 \right)^{1/2} \right\}^{2/2+1} \quad (9)$$

(K_1 - konstanta zavisna od v), kao i N. Michin,

$$\epsilon = \frac{3\theta^{2/3} q^{2/3} r^{1/3}}{R_{max}^{1/3}} + \frac{V-1}{(bv^v)^{1/v-1}} \quad (9a)$$

Po usvajanju dodatnih uprošćavajućih pretpostavki u vezi opisa krive nosivosti ove zavisnosti su dovedene u oblik

$$\epsilon = 4,5 R_\alpha^{0,8} q^{0,4} r^{0,2} \theta^{0,4}. \quad (10)$$

Modeli kontakta hrapavih površina predloženi su povrh toga od Greenwoda i Williamsa [9], koji su pretpostavili normalan raspored ordinata profila i vrhova neravnina. Witchouse i Archard [9] u predloženom modelu polazeći od funkcije autokorelacije odredili su raspored vrhova neravnina u zavisnosti od njihovog položaja, tzn. usvojili, da što je vrh viši, to je njegov radijus manji. B. Nowicki [6], oslanjajući se na analize zavisnosti između visinskih i horizontalnih parametara profila i radijusa zaobljenja i nagiba vrhova neravnina, utvrdio je da se kontakt dve hrapave površine javlja ne na suprotnim vrhovima, već

na vrhovima površine više hrapavosti i bokovima neravnina, glatkijih površina. Model kontakta hrapavih površina mora se oslanjati na parametre koji opisuju ove osobine profila i uzimati u obzir efekt uzajamnog prodiranja hrapavosti, kao i činjenicu da se mnogo stereometrijskih osobina hrapavosti bitno razlikuju od osobina profila. Pri kontaktu stvarnih delova mašina javljaju se uslovi koji se bitno udaljavaju od usvojenih u navedenim razmatranjima. Na sl. 1. dat je (prema [8]) dijagram prevladavajućih vrsta deformacija pri kontaktu dve hrapave površine. Iz njega proizilazi, da na

tipičnim funkcionalno važnim delovima mašina, kod kojih hrapavost iznosi $R_\alpha = 0,1 - 5 \mu m$, pojavljuje se tzv. "elastično-plastični" kontakt, za vreme koga deo vrhova koji se dodiruje je deformisan elastično, a u ostalim javljaju se zone plastičnih (vrhovi) i elastičnih (niže oblasti) deformacija. Prema Demkin-u [1] deformacije vrhova imaju karakter elastični, kad su uglovi njihovih nagiba manji od 1° , ili deformacije površina prethodno opterećenih silom nisu manje od razmatrane.

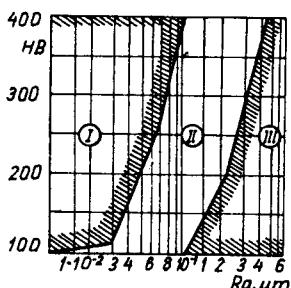
Isto tako opšte usvojen model kontakta hrapavih površina koji ima dodir suprotnih vrhova opisan preko njihovih visina R_{max} , radijusa r i parametra krive nosivosti stvara mnoga ograničenja u izboru parametara i njihovom definisanju.

Parametri primjenjeni za opisivanje klasičnih modela kontakta hrapavih površina ne služe za usmeravanje kvaliteta površina kontaktne opterećenih. Iz tih razloga pristupilo se radu na obradi statističkih zavisnosti među parametrima hrapavosti i njenim kontaktnim deformacijama koja se oslanja na parametre, koje je moguće odrediti pristupačnom aparaturom.

Parametre krive nošenja (b, v) karakteriše veliko rasipanje i osim Sovjetskog Saveza oni nisu šire primjenjeni. Ovo potiče od činjenice, da je koordinatni sistem, u kojem su oni odredjeni, vezan za najviši vrh profila, čiji položaj ima slučajni karakter, a povrh toga aktuelno dostupni merni uređaji ne omogućavaju neposredno merenje tih parametara.

Radijusi zaobljenja vrhova neravnina r nisu mereni neposredno. U slučaju merenja profilomerima spregnutim sa mikroprocesorima odredjeni su oni aproksimacijom diskretnih vrednosti profila parabolama na osnovu jednačina, iz kojih su izračunati redom izvodi i vrednosti radijusa vrhova; ipak njihove vrednosti su najčešće ocenjene zahvaljujući merenju tetive i visine špiceva vrhova profilograma. Obe ove metode opterećene su znatnim greškama i omogućavaju određivanje radijusa vrha profila, a ne najviših vrhova površine u stereometrijskom smislu, tj. onih, koji se dodiruju sa suprotnom površinom za vreme kontakta. Osim toga, ovi modeli ne uzimaju u obzir mnoge bitne osobine hrapavosti, kao npr. nagib delova profila, učestanost pojavljivanja vrhova duž srednje linije kao i parametara krive nošenja. Parametri koji opisuju te osobine su više rasprostranjeni od primenjivanih u klasičnim modelima kontakta hrapavih površina, figurišu u poslednje vreme u predloženim modelima, a dostupna aparatura omogućava u većini slučajeva njihovo neposredno merenje.

U savremenim eksperimentalnim radovima i industrijskoj praksi primenjuju se uređaji, koji omogućavaju



Sl. 1.-Oblasti prevladavajućih deformacija hrapavosti pri kontaktu dve iste čelične površine; I-prevladavaju elastične deformacije, II-elasto-plastične deformacije, III-prevladavaju plastične deformacije

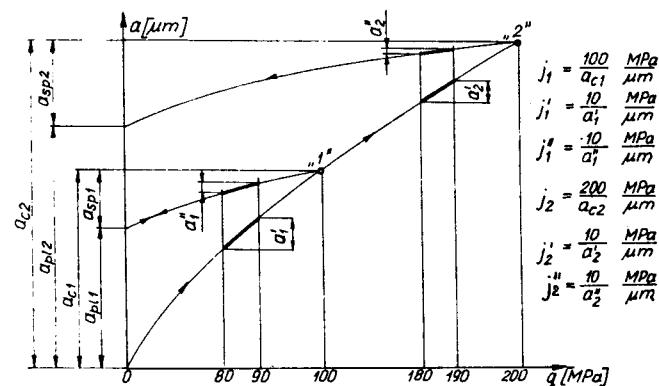
takta hrapavih površina mora se oslanjati na parametre koji opisuju ove osobine profila i uzimati u obzir efekt uzajamnog prodiranja hrapavosti, kao i činjenicu da se mnogo stereometrijskih osobina hrapavosti bitno razlikuju od osobina profila. Pri kontaktu stvarnih delova mašina javljaju se uslovi koji se bitno udaljavaju od usvojenih u navedenim razmatranjima. Na sl. 1. dat je (prema [8]) dijagram prevladavajućih vrsta deformacija pri kontaktu dve hrapave površine. Iz njega proizilazi, da na

merenje sledećih parametara hraptavosti:

R_a - prostirn uredjajima za kontrolu hrapavosti;
 R_d , Δq , S_m - laboratorijskim uredjajima za opšte korišćenje;
 R_a , R_z , R_p , R_{max} , R_{tm} , S_m , HSC, $\Delta \alpha$, Δq , t_p , R_{sk} - laboratorijskim uredjajima visoke klase.

Obezbedjenje dodirne čvrstoće predviđjene od konstruktora u procesu izrade mašinskih delova moguće je kroz upravljanje parametrima obrade tako, da se dobiju predviđeni parametri hrapavosti. Neizostavna je ipak, u tom slučaju primena osnovnih parametara hrapavosti, koje je moguće meriti tipskim uredjajima i za koje su unapred poznate zavisnosti sa parametrima obrade. Ispitivanja koja su vršili autori imaju za cilj obradu statističkih zavisnosti između standardnih parametara hrapavosti i njenih kontaktnih deformacija.

Ispitivanja su eksperimentalno izvedena na površinama epruveta od čelika 45 i 1H13 obradjenim poliranjem, struganjem, rendisanjem, frezovanjem. Epruvete su posle mehaničke obrade žarene u vakuumu u cilju ujednačenja mehaničkih osobina jezgra i gornjeg sloja. Hrapavost površine merena je profilografmetrom Talysurf 5. Određeni su parametri R_a , R_p , R_{max} , Δq , S_m , HSC, R_{sk} , t_{20} , t_{50} a u drugoj etapi ispitivanja dodatno su izračunati nagib krive nošenja profila (za blizinu 20% i 50%) G_{20} , G_{50} , kao i koeficijent punoće profila $K = R_{v}/R_{max}$. Ovaj koef-

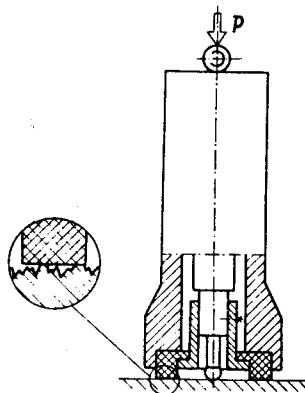


Sl. 2. - Šema obrade rezultata merenja kontaktnih deformacija

icijent određuje relativan položaj srednje linije u odnosu na ekstremne tačke profila i predstavlja uopštenu mjeru nošenja profila. Kontaktne deformacije mjerene su u odnosu na površinu uzorka, tj. vrlo tačno obradjenu površinu prstena izradjenog od pečenog karbida (sl. 2). Za svaku površinu određene su karakteristike deformacija u funkciji blizine (sl. 3), zahvaljujući kojima su određene vrednosti ukupnih deformacija - α_c , plastičnih - α_{pl} i elastičnih - α_{sp} za prvi i drugi ciklus opterećenja kao

i šest koeficijenata kontaktnih krutosti.

U prvoj etapi računanja određeni su koeficijenti korelacije svih 12 parametara koji opisuju deformacije ($\alpha_{c1}, \alpha_{p1}, \alpha_{s1}, \alpha_{c2}, \alpha_{p2}, \alpha_{s2}$) i kontaktnu krutost ($j_1, j_1^*, j_1'', j_2, j_2^*, j_2''$) kao i sledećih parametara hrapavosti $R_\alpha, R_p, R_{max}, \Delta q, S_m, R_{sk}, HSC$. Račun je sproveden korišćenjem programa višestrukih re-



Sl. 3. - Glava za uporedna merenja kontaktnih deformacija površina

gresije koraka iz biblioteke CDC, kao i standardne računske procedure. U tab. 1 data je matrica koeficijenata korelacije među tim parametrima kao i dodatno uvedenim u sledećim etapama parametrima nosivosti profila: t_{20} , t_{50}, G_{20}, G_{50} , koeficijentom ispunjenja profila K i HB .

Oslanjajući se na analizu koeficijenata korelacije između parametara koji opisuju kontaktne deformacije i čvrstoću istipovani su za ocenu ovih osobina sledeći parametri: a_{c2} , a_{s2} , a_{p2} , j_2 , j_2'' . U sledećim etapama izvršena su sračunavanja jednačina regresije, koeficijenata višestruke korelacije - R , testova Fiszera i Studenta kao i odstupanja standardnih funkcija.

Analizirajući rezultate računanja utvrđeno je da pojavljivanje u grupi nezavisnih promenljivih međusobno dosta jako korelisanih takvih podataka kao: R_a , R_p i R_{max} kao i S_m i HSC prouzrokuje generisanje jednačina regresije, u kojima su reprezentovane samo neke odlike profila (preko nekoliko parametara), a vrednosti koeficijenata višestruke korelacije, brojeva Fiszera i Studen- ta su niske. Interesantno je i to, da je vrednost koeficijenata korelacije među srednjom visinom vrhova profila R_p i kontaktnim deformacijama bila viša od preostalih visinskih parametara hravavosti.

U drugoj etapi računanja ostavljene su kao nezavisne promenljive: R_a , S_m , Δq , uvodeći dodatno parametre nosivosti t_{p20} i t_{p50} , kao i tvrdoču HB (pored odžarivanja epruvete su se razlikovale među sobom i tvrdočom). Na osnovu rezultata ovih izračunavanja utvrđeno je, da parametar t_{p50} ima najslabije veze sa deformacijama i povučen je iz računanja. U sledećoj etapi uvedeni su umesto povučenog parametra t_{p50} parametri G_{20} i G_{50} , koji karakterišu nagib krive nosivosti, kao i koeficijent ispunje-

TABELA 1. - MATRICA KOEFICIJENATA KORELACIJE KONTAKTNIH DEFORMACIJA I HRAPAVOSTI POVRŠINE (čelik 45 odžaren u vakuumu)

	a_{p1}	a_{s1}	j_1	j_1''	a_{p2}	a_{s2}	j_2	j_2''	R_a	R_p	R_t	Δq	S_m	R_{sk}	HSC	G_{20}	G_{50}	t_{20}	t_{50}	HB	K			
a_{c1}	.88	.26	.99	.50	.05	.89	.89	.16	.89	.24	.04	.58	.58	.56	.12	.59	.17	.58	.19	.12	.10	.12	.11	-
a_{sp1}	.09	.88	.35	.23	.77	.99	.16	.77	.06	.20	.82	.84	.82	.33	.73	.30	.75	.07	.20	.05	.03	.34	-	
a_{sp2}	.26	.78	.91	.51	.03	.98	.51	.83	.87	.46	.50	.52	.47	.24	.25	.28	.40	.28	.23	.01	.72	-		
j_1																							-	
j_1'																							-	
j_1''																							-	
a_{c2}																							.25	
a_{p12}																							.43	
a_{sp2}																							.23	
j_2																							.25	
j_2'																							.25	
j_2''																							.25	
R_a																							.39	
R_p																							.39	
R_t																							.39	
Δq																							.47	
S_m																							.16	
R_{sk}																							.16	
HSC																							.39	
G_{20}																							.39	
G_{50}																							.39	
t_{20}																							.22	
t_{50}																							.22	

nja provila K . Iz računanja rezultira da su za ove podatke jednačine u daljem toku "razvodnjene" i imaju niske vrednosti brojeva R , F i T .

Poslednja etapa računanja sprovedena je za promenljive R_a , Δq , S_m , G_{20} , K i HB . Dobijene zavisnosti imaju približan karakter teorijskih zavisnosti. Vrednosti deformacija i kontaktne krutosti su funkcija standardnih parametara hrapavosti:

- srednjeg odstupanja profila od srednje linije - R_a , neposredno povezano sa R_{max} ,

- nagiba profila Δq , koji je mera priraštaja vrednosti elementarnih polja kontakta za vreme promene opterećenja,

- razmere hrapavosti S_m , koja je mera površinske gustoće vrhova hrapavosti,

- nagiba krive nosivosti G_{20} , koji opisuje priraštaj nosećeg udela površine pri malim vrednostima blizina,

- koeficijenta ispunjenja profila K , koji je mera maksimalnih relativnih deformacija a i vezan je za noseći ideo većih blizina.

Pojedini parametri kontaktnih deformacija su funkcije:

$$a_p = f|R_a|K \quad , \quad (11)$$

$$j = f|R_a(S_m)|, K, |\Delta q|, \quad (12)$$

$$a_s = f|R_a|\Delta q|K| \quad , \quad (13)$$

TABELA 2. - SASTAV ODABRANIH REZULTATA RAČUNANJA KONTAKTNIH DEFORMACIJA POVRŠINE EPRUVETA IZRADJENIH OD ČELIKA 45

Eta-pa	Prome-njive	Jednačina regresije	R	F/F _k
I	HSC, R_a, R_p	$a_{c2} = -6,46 S_m^{1,21} HSC^{0,85}$	0,5	1,2
	$R_1, \Delta q, S_m, R_{sk}$	$a_{sp2} = 1,74 R_1^{-0,7} \Delta q^{-0,37} R_a^{0,4}$	0,64	1,7
		$a_{p12} = -2,9 R_p^{1,8} \Delta q^{-0,84} R_1^{-0,88} R_{sk}^{-0,61}$	0,85	3,7
II	$R_a, S_m, \Delta q, G_{20}$	$a_{c2} = 6,32 S_m^{0,34} HB^{-0,95} \Delta q^{0,75} G_{20}^{0,14} K^{-0,53}$	0,70	1,5
	$K, (HB)$	$a_{sp2} = 10 HB^{-1,43} \Delta q^{0,41} G_{20}^{0,1}$	0,82	5,2
		$a_{p12} = 4,8 R_a^{0,96} HB^{-0,89} K^{-1,06} G_{20}^{0,15}$	0,85	5,3
III	$R_a, \Delta q, (HB), K$	$a_{c2} = 7,9 R_a^{0,44} HB^{-1,1} K^{-0,32} \Delta q^{0,11}$	0,68	1,5
		$a_{sp2} = 10,8 HB^{-1,53} \Delta q^{0,45} K^{0,3}$	0,81	4,8
		$a_{p12} = 4,92 R_a^{0,97} HB^{-0,94} K^{-0,88} \Delta q^{-0,14}$	0,86	5,0

$$j'' = f|\Delta q, K, (R_a)| . \quad (14)$$

Analizirajući sve dobivene rezultate računanja može se utvrditi:

- kontaktne plastične deformacije određene su preko visine hrapavosti i koeficijenta ispunjenja profila,

- na ukupne deformacije i kontaktnu krutost koja iz njih rezultira najjači uticaj ima visina hrapavosti ili njena razmara, kao i nagib profila i koeficijent njegovog ispunjenja,

- najveći uticaj na elastične deformacije ima nagib profila i koeficijent njegovog ispunjenja; uticaj visine hrapavosti je u ovom slučaju znatno slabiji nego u prethodnim slučajevima.

Osim osobina hrapavosti opisanih standardnim parametrima postoji niz drugih osobina gornjeg sloja, koji bitno utiču na kontaktne deformacije, a količinsko određivanje njihovog uticaja na kontaktne deformacije računskim putem do sada nije rešeno. Iz tih razloga u savremenim radovima nastoji se da se do rešenja ovog problema dodje preko neposrednog merenja kontaktnih deformacija na stvarnom objektu.

LITERATURA

- |1| DEMKIN, N.: Kontaktirowanie szerochowatych powierzchniostej, Nauka, Moskva, 1970.
- |2| DRAPER, N., SMITH, H.: Analiza regresji stosowana, PWN, Warszawa 1973.
- |3| KOMBALOV, V.: Ocena tribotechniczeskikh stwojstw kontaktiryjuszczich powierzchnostej, Nauka, Moskva, 1983.
- |4| LEWIN, Z., RESZTOV, D.: Kontakttnaja žestkost maszin, Maszinostrojenie, Moskva, 1971.
- |5| MICHIN, N.: Wnieszne trenie twerdych tel., Nauka, Moskva, 1977.
- |6| NOWICKI, B. Three dimensional model of contact surface, Zagadnienia Eksploatacji Maszyn, 1983, z.3 (55).
- |7| NOWICKI, B., Badania mikrostruktury geometrycznej powierzchni i metod jej oceny. Prace Naukowe, Politechnika Warszawska, Mechanika, 1970, z. 70.
- |8| RUDZIT, Ja.: Mikrogeometrija i kontaktne wzajemodejstwie powierzchnostej, ZINATNE, Riga. 1975.
- |9| THOMAS, T.: Rough surfaces, Longman, London, 1982.
- |10| Trenie iznasziwanie i smazka, Spraw, Maszinostrojenie, Moskva, 1978.

Obaveštenje čitaocima

Prinudjeni smo da izvestimo naše cenjene pretplatnike da je materijalno-finansijska situacija časopisa "Tribologija u industriji" veoma teška. Razlozi su, svakako poznati, jer ne čine nikakvu specifičnost koja bi se odnosila samo na naš i vaš časopis. Ipak, treba reći da su, kao što vam je poznato i iz vaše poslovne prakse, svi ulazni troškovi rasli mnogo brže nego što smo očekivali i veći su nego što su planirani za 100 odsto. To nas, u interesu daljeg izlaženja časopisa, prisiljava da za 1987. godinu podignemo cenu, što znači da će godišnja pretplata za radne organizacije iznositi 6.000, a za pojedince 1.500 dinara. Pretplata za inostranstvo ostaje nepravljena.

Nadamo se da ćete uvećanje godišnje pretplate uvažiti, tim pre što je diktirana razlozima izvan redakcije časopisa.

*Rедакција часописа
Трибологија у индустрији*

B. KRŠLJAK

Postojanost tocila različitih karakteristika

ISTRAŽIVANJA

1. UVOD

Određivanje postojanosti tocila (trenutka zatupljenja) je vrlo bitan pokazatelj za kvalitet brušene površine i ekonomiku procesa obrade. U ovom radu se kao kriterijum za definisanje trenutka zatupljenja tocila koristi odnos varijacije normalne komponente otpora brušenja i normalne komponente za tocila različitih karakteristika.

U periodu dostizanja postojanosti tocila srednja vrednost (statički deo) normalne komponente otpora brušenja F_n se ustaljuje a njena varijacija (dinamički deo) ΔF_n se naglo povećava, pa odnos $\Delta F_n/F_n$ ima znatno uvećanje. Postepeno zatupljenje tocila pri radu, izaziva povećanje otpora rezanja i temperature brušenja usled čega nastaje pogoršanje kvaliteta brušene površine.

Da bi se zatupljenom tocilu obnovila i povratila radna sposobnost i potreban oblik (profil) izvodi se poravnavanje odnosno profilisanje ("oštrenje") tocila.

Određivanje trenutka poravnavanja-profilisanja je vrlo važan zadatak obzirom na njegov značaj vezan za kvalitet brušene površine i ekonomiku procesa brušenja.

2. METODOLOGIJA I USLOVI IZVODJENJA ISPITIVANJA

Ispitivanja su obavljena na brusilici za ravno brušenje sa pravougaonim radnim stolom tip 3G71 [1]. Brušenje je vršeno obimnom površinom koturastih elektrorundnih tocila i to: 2B54K4V, 2B54K6V, 2B54K8V, 2B54G6V, 2B54N6V, 2B36K6V i 2B70K6V, prečnika $D_t = 250$ mm i širine $B = 25$ mm, proizvedena u industriji "8 Mart" u Adi. Uzorci za ispitivanje su bili od brzoreznog čelika Č.9780 iz istog konada prizmatičnog oblika dimenzija $100 \times 42 \times 20$ mm, termički obradjeni tvrdoće $64H_{RC}$ i termički neobradjeni. Za merenje komponenata otpora brušenja i njihovih varijacija korišćen je dvokomponentni dinamome-

tar sa odgovarajućim tehnološkim mernim sistemom [2]. Elementi režima brušenja su bili: brzina rezanja $v_t = 35$ m/s, uzdužni pomak $v_u = 10$ m/min, poprečni pomak $s_p = 1,6$ mm/h i dubina brušenja $a = 0,01$ mm.

U toku ispitivanja praćena je promena komponenata otpora brušenja (normalne F_n i tangencijalne F_t) i njihovih varijacija ΔF_n i ΔF_t u zavisnosti od teorijske zapremine obrušenog materijala V_{mt} u mm, koja je srazmerna vremenu brušenja.

Ulazni parametri u obradni sistem su:

- karakteristike tocila (struktura, tvrdoća, krupnoca zrna).

Stalni parametri obradnog sistema su:

- karakteristike materijala obratka,
- sredstvo za hladjenje i podmazivanje,
- dinamičko stanje obradnog sistema (mašine, pribora, obratka, alata),

- obimna brzina tocila (brzina rezanja) V_t ,
- elementi režima brušenja (uzdužni pomak V_u , poprečni pomak s_p , dubina brušenja a).

Izlazni parametri iz obradnog sistema su:

- normalna komponenta otpora brušenja F_n
- tangencijalna komponenta otpora brušenja F_t
- varijacija normalne komponente otpora brušenja ΔF_n
- varijacija tangencijalne komponente otpora brušenja ΔF_t [2].

**POUZDANOST
PRODUKTIVNOST
TRIBOLOGIJA**

3. REZULTATI ISPITIVANJA

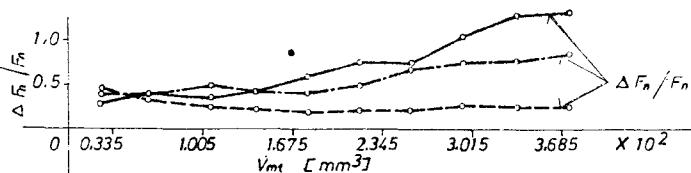
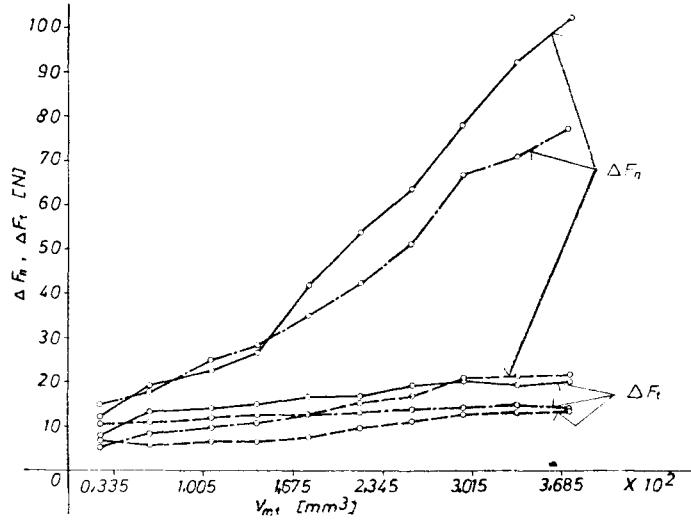
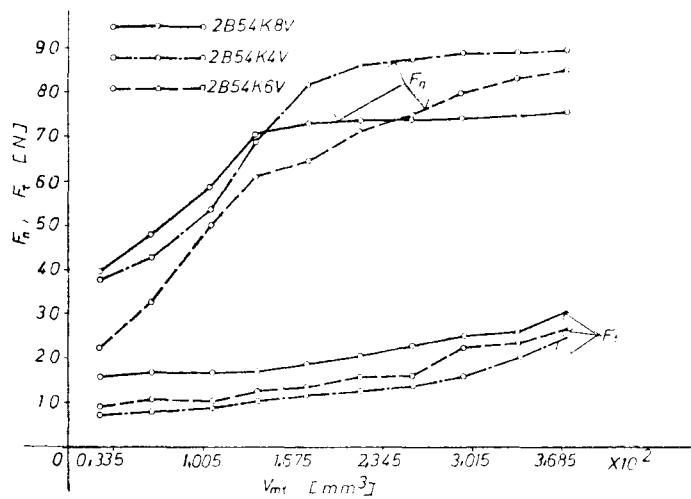
3.1. Promena izlaznih parametara obradnog sistema u zavisnosti od teorijske zapremine obrušenog materijala pri brušenju tocilima različite strukture

Promena izlaznih parametara sa porastom teorijske zapremine obrušenog materijala prikazana je na sl. 1. Pre-

ma dobijenim rezultatima sa vremenom brušenja rastu komponente otpora brušenja i njihove varijacije.

Odnos $\Delta F_n/F_n$ počinje da raste; pri $V_{mt} = 130 \text{ mm}^3$ pri radu sa tocilom 2B54K8V, pri $V_{mt} = \text{mm}^3$ pri radu sa tocilom 2B54K4V, dok pri radu sa tocilom 2B54K6V ovaj odnos ima približno ustaljenu vrednost u posmatranom području zapremine V_{mt} .

Tocilo 2B54K6V poseduje bolja rezna svojstva u odnosu na druga dva sa strukturama 4 i 8 pa je povoljnije za brušenje ispitivanog materijala.

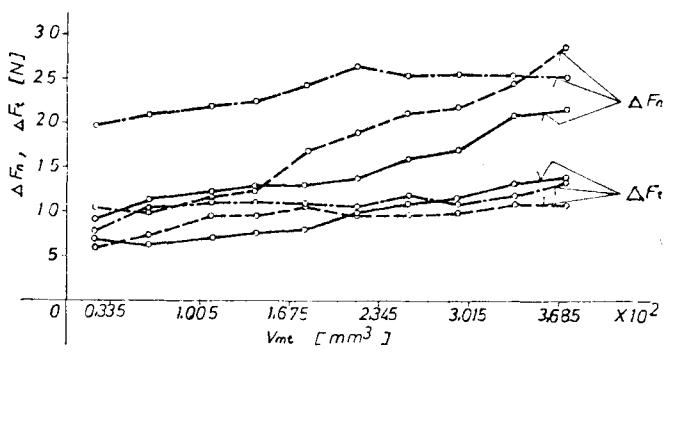
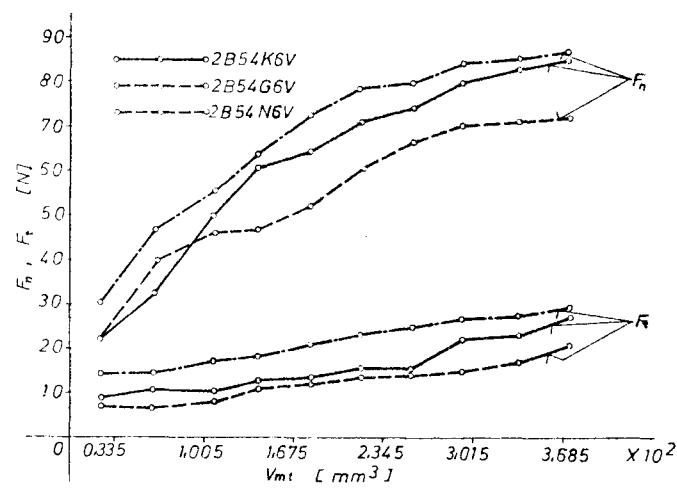


Sl. 1. - Promena veličina F_n , F_t , ΔF_n i ΔF_t i odnosa $\Delta F_n/F_n$ sa porastom V_{mt} pri brušenju č. 9780 tocilima različite strukture

ma dobijenim rezultatima sa vremenom brušenja rastu komponente otpora brušenja i njihove varijacije.

Odnos $\Delta F_n/F_n$ počinje da raste; pri $V_{mt} = 130 \text{ mm}^3$ pri radu sa tocilom 2B54K8V, pri $V_{mt} = \text{mm}^3$ pri radu sa tocilom 2B54K4V, dok pri radu sa tocilom 2B54K6V ovaj odnos ima približno ustaljenu vrednost u posmatranom području zapremine V_{mt} .

Tocilo 2B54K6V poseduje bolja rezna svojstva u odnosu na druga dva sa strukturama 4 i 8 pa je povoljnije za brušenje ispitivanog materijala.



Sl. 2. - Promena veličina F_n , F_t , ΔF_n i ΔF_t i odnosa $\Delta F_n/F_n$ sa porastom V_{mt} pri brušenju č. 9780 tocilima različite tvrdote

3.2. Promena izlaznih parametara obradnog sistema u zavisnosti od teorijske zapremine obrušenog materijala pri brušenju tocilima različite tvrdoće

Promena izlaznih parametara sa porastom teorijske zapremine obrušenog materijala kod tocila različite tvrdoće prikazana je na sl. 2.

Komponente otpora brušenja, za sva tri tocila, rastu u toku vremena brušenja a varijacije rastu pri radu tocilima 2B54G6V i 2B54K6V, dok kod tocila 2B54N6V imaju približno ustaljenu, ali veću, vrednost.

Promene odnosa $\Delta F_n/F_n$ kod svih tocila imaju približno ujednačene vrednosti do $V_{mt} = 300 \text{ mm}^3$, a tada počinju da rastu. Najpovoljnije tocilo je 2B54K6V.

3.3. Promena izlaznih parametara obradnog sistema u zavisnosti od teorijske zapremine obrušenog materijala pri brušenju tocilima različite finoće

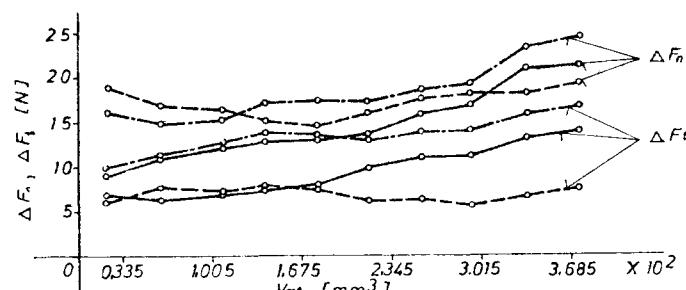
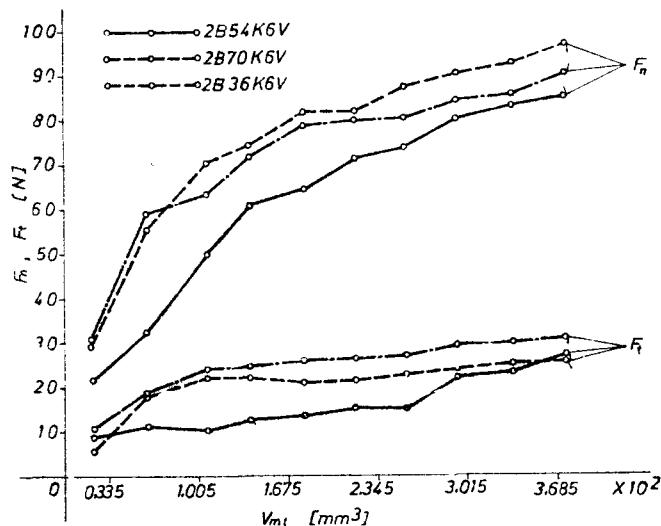
Promena izlaznih parametara sa porastom teorijske zapremine obrušenog materijala za tocila različite krupnoće zrna data je na sl. 3.

Prema dobijenim rezultatima, kao i u prethodnim slučajevima, sa porastom zapremine V_{mt} rastu komponente otpora brušenja i njihove varijacije. Intenzivniji porast varijacije ΔF_n je u slučaju brušenja tocilima 2B36K6V i 2B54K6V, dok je pri radu tocilom 2B70K6V promena varijacije ΔF_n ravnomernija. Odnos $\Delta F_n/F_n$ pri $V_{mt} = 280 \text{ mm}^3$ za tocilo 2B36K6V počinje da raste, što znači da je tocilo počelo da gubi radnu sposobnost. Ovaj odnos za tocila 2B54K6V i 2B70K6V i dalje je približno ravnomoran s tim što je kod tocila 2B70K6V manji.

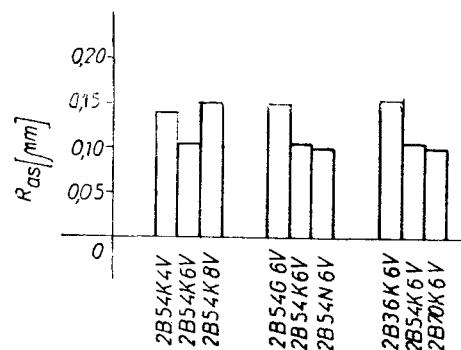
Prema ovim pokazateljima tocilo krupnoće zrna 70 je povoljnije za brušenje posmatranog materijala od krupnije druge dva tocila (54 i 36). Povoljniji rad se odvija sa tocilima manje dimenzije abrazivnih zrna, jer ih je veći broj na radnoj površini tocila odnosno u zahtevu sa materijalom pošto je brušeni obradak velike tvrdoće.

Gubitkom rezne sposobnosti tocila nastaju otežani uslovi rada što dovodi do uvećanja otpora rezanja, povećanja temperature u zoni rezanja usled čega dolazi do pogoršanja kvaliteta brušene površine.

Na sl. 4 pokazane su veličine srednje aritmetičke hrapavosti R_{as} , merene u pravcu poprečnog pomaka nakon vremena brušenja $t = 231 \text{ s}$.



Sl. 3. - Promena veličina F_n , F_t , ΔF_n i ΔF_t i odnosa $\Delta F_n/F_n$ sa porastom V_{mt} pri brušenju Č.9780 tocilima različite finoće



Sl. 4. - Veličine srednje aritmetičke hrapavosti R_{as} pri brušenju Č.9780 tocilima različitih karakteristika

Prema dobijenim veličinama hrapavosti R_{as} vidi se da je ona najmanja kod tocila strukture 6, tvrdoće N i krupnoće zrna 70.

Prema parametru $\Delta F_n/F_n$ zaključeno je da je najpovoljnije tocilo prema karakteristikama strukture i tvrdoće 2B54K6V, a prema karakteristici krupnoće zrna 2B70K6V.

Pri radu sa ovim tocilima dobijene vrednosti hrapavosti R_{as} su manje od hrapavosti dobijene pri radu ostalim posmatranim tocilima, jer su ova posedovala bolju reznu sposobnost.

4. ZAKLJUČCI

Promena odnosa $\Delta F_n/F_n$ je pouzdan pokazatelj za određivanje postojanosti tocila (gubitka rezne sposobnosti). Usled jednostavnog merenja komponente i njene varijacije ovaj pokazatelj za određivanje trenutka zatupljenja tocila ima prednost u odnosu na druge pokazatelje. Karakteristike tocila imaju bitan uticaj na njegovu postojanost. Prema posmatranom kriteriju $\Delta F_n/F_n$ najveću postojanost pri brušenju Č.9780 imalo je tocilo 2B54K6V (po karakteristikama strukture i tvrdoće), a tocilo 2B70K6V po karakteristici finoće.

Postojanost tocila je važan pokazatelj i za ekonomiku procesa brušenja, jer se može koristiti kao parametar za izbor optimalnog tocila (tocila optimalnih karakteristika) za brušenje određenog materijala.

LITERATURA

- [1] KRŠLJAK B., Uticaj režima brušenja na postojanost i reznu sposobnost tocila, XIX Savetovanje proizvodnog mašinstva Jugoslavije, Kragujevac, septembar 1985.
- [2] KRŠLJAK B., Optimizacija procesa ravnog brušenja alatnih čelika sa stanovišta uticaja karakteristika tocila i uslova obrade. Doktorska disertacija, Mašinski fakultet, Beograd, 1981.

Dr BOGOLJUB KRŠLJAK, dipl. inž. maš., vanredni profesor, Tehnički fakultet, Čačak



Rodjen 9.04.1936. god. u Bakionici opština Požega. Srednjo-tehničku školu Mašinski odsek završio u Valjevu 1957. god., Mašinski fakultet u Beogradu 1962. god. Na istom fakultetu magistrirao 1977. a doktorirao 1981. god. na katedri za proizvodno mašinstvo.

Zaposlen na Tehničkom fakultetu u Čačku kao nastavnik za predmete: Alati i pribori i Automatizacija kontrole i upravljanje kvalitetom. Pored izvodjenja nastave navedenih predmeta radi na tehnologiji brušenja alatnih čelika tocilima sa kubnim nitridom bora.