tribologija u industriji

YU ISSN 0351-1642
GODINA VI
DECEMBAR '84.
4

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

YU ISSN 0351—1642

GODINA VI
BROJ 4
DECEMBAR 1984.

tribologija u industriji

sadržaj contents содержание

UVODNIK
INTRODUCTION
ПЕРЕДОВИЦА

M. NEDELJKOVIĆ: Ekonomski aspekti tehničke dijagnostike - Economical aspects of technical diagnostics - Економические взгляды технической диагностики - 91

ISTRAŽIVANJA
RESEARCH
ИССЛЕДОВАНИЯ

S. DJEKIĆ: Otpornost na habanje klipnjača hidrauličkih amortizera u funkciji režima brušenja - The wear resistance of shock rods as function of the grinding regime - Износостойкость шатунов гидравлических амортизаторов в функции режима шлифовки - 93

S. SEKULIĆ: Maksimalna hrapavost obradjene površine na strugu u zavisnosti od brzine rezanja za dve vrste čelika - Maximum roughness of surfaces machined on a lathe vs. the cutting speed for two steels - Наибольшая шероховатость поверхности обработанной на токарном станке, для двух видов стали, в зависимости от скорости резания - 99

P. BLAŠKOVIĆ, A. KOPČAJ, M. MOSNY: Matematičko-logičko modeliranje problema navarenih slojeva i njihova optimizacija - Mathematical-logical modeling of the problem of welded layers, and their optimization - Математико-логическое моделированные вопроса наплавак и их оптимизация - - - - - - - - - - - - - - 102

B. BATORA: Tribološke karakteristike obradjenih površina i njihov uticaj - Tribological characteristics of machined surfaces, and their effects - Трибологические характеристики обработанных поверхностей и их влияние - - - - 106

E. KAZAZIĆ, F. PAVLOVIĆ: Neki rezultati istraživanja procesa habanja teleskopa kardanskih vratila - Some results of investigations of the wear process on telescopes of vehicle driving shafts - Некоторые результаты исследования процесса изнашивания шлицевых скользящих соединений карданных валов - 109

ZA NEPOSREDNU PRAKSU
FOR DIRECT PRACTICE
ДЛЯ НЕПОСРЕДСТВЕННУЮ ПРАКТИКУ - 114

KNJIGE I ČASOPISI
BOOKS AND JOURNALS
КНИГИ И ЖУРНАЛЫ - 116

NAUČNI SKUPOVI
SCIENTIFIC MEETINGS
НАУЧНЫЕ СОБРАНИЯ - 117

REZIMEA
ABSTRAKS
РЕЗЮМЕ - 118

M. NEDELJKOVIĆ

Ekonomski aspekti tehničke dijagnostike

Povećanje produktivnosti i sniženje troškova proizvodnje su bitni uslovi za egzistenciju i napredak svakog radnog kolektiva. Van svake sumnje je da taj uslov postaje imperativ sadašnjeg vremena. Povećavajući ukupni stepen iskorišćenja proizvodnih kapaciteta ostvaruju se pretpostavke za efikasniji poslovni uspeh. Na ukupni stepen iskorišćenja proizvodne opreme u industriji prerade metala bitno utiče stanje radne sposobnosti te opreme, pošto ona, zbog triboloških procesa i posledice zamora materijala, postepeno smanjuje radnu sposobnost. Pošto je proces opadanja radne sposobnosti mašina i uredjaja neminovan i prirodan, neophodno je sistematski dijagnosticirati njihovo tehničko stanje s ciljem da se otkriju resursi radne ispravnosti i spreče iznenadni i neočekivani otkazi u radu proizvodne opreme. Takvi otkazi narušavaju ritam proizvodnje, produžavaju projektovani ciklus proizvodnje i uvećavaju rokove isporuke. Ne ulazeći u kvantitativnu ocenu materijalnih gubitaka i narušavanja poslovnog ugleda zbog navedenih otkaza, može se tvrditi da su takvi gubici naša realnost. Na pitanje da li se takve pojave mogu reducirati može se potvrdno odgovoriti, jer sistem tehničke dijagnostike i profilaktike sprečava pojavu iznenadnih otkaza u funkcionisanju proizvodne opreme.

Uvodjenje tehničke dijagnostike zahteva odredjene stalne troškove proizvodnje, pa se može postaviti pitanje ekonomskog aspekta primene tehničke dijagnostike. Pošto sada postoje različiti postupci za dijagnozu stanja tehničke ispravnosti strukturnih elemenata i podsistema složenih tehničkih objekata, praksa je pokazala da se razlikuju i troškovi zavisno od primenjenog postupka i mernih sredstava za dijagnosticiranje. Pošto u praksi postoje alternativne mogućnosti, postavlja se kao cilj izbor takve tehničke dijagnoze koja bi obezbedila najvišu radnu gotovost uz najmanje troškove. Dakle, problem se svodi na optimizaciju. Pravilo je da treba primenjivati mere dijagnosticiranja samo na takvoj opremi gde se realno mogu očekivati pozitivni ekonomski efekti. Ako se metod povremene kontrole stanja radne ispravnosti proizvodne opreme uporedjuje sa sistemom krutih vremenskih ciklusa za remont, onda se ocenom mora utvrditi za svaku mašinu kritično stanje, metod i merni pribor za dijagnosticiranje i učestanost kontrole, dakle, uporedjuju se troškovi obe metode. Može se, u najopštijem slučaju, smatrati da je povoljnija ona metoda čiji su troškovi održavanja radne ispravnosti mašine po jedinici efektivnog rada manji.

Na strukturu troškova tehničke dijagnoze utiču više faktora: kvalitet i tačnost dijagnoze, učestanost kontrole, karakter i intenzitet promene radne sposobnosti elemenata, sklopova ili podsistema i granična vrednost kontrolisane funkcije iznad koje je neminovna zamena ili regeneracija nosioca funkcije (ležaj, spojnica, ventil). Ako se odrede intervali za kontrolu i kritične vrednosti za radnu funkciju, onda se za različite delove dobija različit broj planskih i vanplanskih intervencija radi reosposobljavanja, a takodje i različit stepen iskorišćenja resursa radne ispravnosti. Ako su intervali za kontrolu veći, veća je verovatnoća neočekivanih otkaza, ali sa porastom broja redovnih intervencija na reosposobljavanju opada iskorišćavanje srednjeg veka trajanja delova i sklopova. Najpovoljnijim izborom intervala izmedju dijagnosticiranja i kritične vrednosti stanja svakog strukturnog elementa postižu se najmanji troškovi tehničke dijagnostike. Da bi se mogao sačiniti matematički model za optimizaciju troškova tehničke dijagnostike treba imati sledeće podatke: funkcije raspodele veka trajanja elemenata, srednje krive habanja i rasipanja vrednosti, funkcije raspodele resursa u zavisnosti od veka trajanja i procesa istrošenja i strukturu troškova za plansko i vanplansko održavanje radne ispravnosti mašina i uredjaja. Može se odmah istaći da naše proizvodne organizacije u većini slučajeva za svoju opremu nemaju takve podatke. Instituti i istraživačke laboratorije mogu u st-

varanju ovih podataka znatno pomoći industriji.

Neki praktični rezultati za optimizaciju troškova dijagnostike postoje za poljoprivredne mašine, ali iz toga mogu se izvući i opšti zaključci:

- krive habanja se mogu smatrati linearnim ako se zanemari period uhodavanja,
- za funkcije raspodele krivih habanja i resursa važi normalna raspodela,
- granica pogonske sigurnosti treba da budu konstantno iznad propisanog veka trajanja,
- prekoračenje kritičnih vrednosti kontrolisanog parametra uvek znači otkaz.

Istraživanja su pokazala da dozvoljeni troškovi dijagnosticiranja treba da rastu ako su veći koeficijenti varijacije veka trajanja elemenata mašina. Ova zavisnost je veoma izražena za takve slučajeve kada su gubici usled otkaza veliki. Iz ovoga sledi zaključak: za visoke troškove usled otkaza treba dozvoliti veće troškove za tehničku dijagnostiku. Neka ispitivanja su pokazala da je najnepouzdaniji element aksijalnih ležajeva njegov kavez pri ispitivanju lučkih dizalica i da je istovremeno veoma skupo stajanje broda u luci bez istovara. Pored toga, treba imati na umu da svako odstupanje stvarne kritične vrednosti od optimalne bitno smanjuje efekte mera dijagnostike. Isto tako vidan uticaj na troškove ima tačnost metode dijagnosticiranja, te ukoliko se uoči pojava da metoda nema dovoljno efekta, treba naći tačniju metodu.

Da bi se povećali tehnoekonomski efekti tehničke dijagnostike neophodno je ovu metodu primenjivati na širem planu, a pogotovo za takve tribološke i oscilatorne pojave na mašinama gde su u laboratorijama i u eksploataciji istraženi uticajni parametri na pomenute pojave, gde su izradjeni merni pribori (tribometri, vibrometri i dr.); poznata je zakonitost procesa sa graničnim vrednostima za funkciju elemenata ili sklopa (habanje vodjica, zupčanika, kočnica, spojnica). Na kraju treba istaći da se savremena tehnološka oprema projektuje sa ugradjenim sredstvima za tehničku dijagnozu. Takva rešenja baziraju se na sledećim smernicama:

- ugradjivati sredstva za tehničku dijagnostiku tamo gde se mogu očekivati pozitivni ekonomski efekti,
- treba birati takav postupak i sredstva za kontrolu stanja radne ispravnosti koja će uz najmanje troškove obezbediti visoku radnu gotovost opreme,
- prilagoditi konstrukciju mašine za pogodno priključivanje merne opreme, ako nije ugradjena u mašinu, ali tako da vreme kontrole bude što kraće,
- postaviti davače signala za dijagnosticiranje što bliže kontrolnom punktu, jer tačnost zavisi i od dužine kanala,
- u toku ispitivanja prototipa istovremeno proveriti i sve organe za tehničku dijagnostiku u simuliranim eksploatacionim uslovima.

Iz prethodno iznetog slede odredjene konstatacije koje zadiru i u oblast obrazovanja visokostručnih kadrova, koji bi trebalo da upoznaju teoriju pouzdanosti mašinskih sistema, tribotehniku i metrologiju, te da na osnovu novih inženjerskih znanja konstruišu i koriste proizvodnu opremu sa znatnim mogućnostima za upravljanje radnom ispravnošću i gotovošću.

Svim svojim čitaocima
želimo
srećnu i uspešnu
1985.
godinu

REDAKCIJA ČASOPISA
»TRIBOLOGIJA U INDUSTRIJI«

UDK 621.867.7.004.62

S. ĐEKIĆ

Otpornost na habanje klipnjača hidrauličnih amortizera u funkciji režima brušenja

UVOD

Hidraulički amortizeri su veliku primenu našli pre svega kod transportnih sredstava, a naročito kod putničkih vozila gde imaju ulogu da prigušuju oscilacije pri kretanju.

Jedan od vitalnih elemenata hidrauličkog amortizera (naročito kod teleskopskih) je klipnjača čija je uloga višestruka. S obzirom da je klipnjača u stalnom kontaktu sa zaptivkom i vodjicom, praktično predstavlja elemenat jednog složenog tribomehaničkog sistema (1) od čijih karakteristika u mnogome zavisi pouzdanost amortizera u radu, jer je poznato da gubitak radne sposobnosti predstavlja posledicu triboloških procesa koji se odvijaju u površinskim slojevima elemenata.

U uslovima koji vladaju kod ovakvog tribomehaničkog sistema prisutno je i habanje klipnjače, bez obzira što su zaptivka i vodjica od nemetalnog materijala daleko manje tvrdoće, a površina klipnjače obično prevučena slojem hroma vrlo velike tvrdoće. Habanjem vodjice i klipnjače dolazi do povećanja zazora, koji je vrlo bitan, a kao posledicu toga imamo opadanje sile amortizacije. Iz tih razloga proučavanje triboloških karakteristika klipnjače, pa i drugih elemenata, je značajno.

Otpornost na habanje, kao i druge tribološke karakteristike zavisne su od kvaliteta površinskih slojeva koji su pak zavisni od uslova i režima obrade. S toga se ukazuje potreba za uspostavljanje korelacione veze izmedju režima obrade i triboloških karakteristika.

U radu je iznet deo istraživanja obavljen u Fabrici amortizera u Prištini a odnosi se na uticaj pojedinih elemenata režima prethodnog i završnog brušenja klipnjače Ø20 amortizera za vozilo "Zastava 101".

Dobijeni eksperimentalni rezultati, uz korišćenje odredjenih statističkih metoda obrade, omogućuju i uspostavljanje jasnih analitičkih zavisnosti na osnovu kojih se mogu izvući i konkretni zaključci.

PROGRAM ISPITIVANJA

Eksperimentalna istraživanja su imala za cilj da se utvrdi uticaj režima brušenja klipnjača hidrauličih amortizera na tribološke karakteristike pri kontaktu sa nemetalnim elementima.

S obzirom da se kontaktna površina klipnjače formira kroz više operacija, za ulazne parametre koji su varirani pri pripremi uzoraka usvojeni su:

- uzdužni posmak kod prethodnog brušenja (S_1), (brušenje pre hromiranja klipnjače),
- uzdužni posmak kod završnog brušenja (S_2), (brušenje posle hromiranja klipnjače),
- dubina završnog brušenja (δ).

Brušenje je vršeno na klipnjačama amortizera za vozilo "Zastava 101" (prednji) čiji je normalni prečnik Ø20. Klipnjače su obradjivane sa različitim kombinacijama elemenata režima brušenja (S_1, S_2, δ) a prema unapred razradjenom planu (metod optimalnog planiranja eksperimenata (2)). Ostali elementi tribomehaničkog sistema koji je ispitivan (zaptivka i vodjica) bili su iz normalne proizvodnje te možemo smatrati da su sve njihove karakteristike bile iste kod svih ispitivanih uzoraka.

Elementi režima brušenja su varirani na po tri nivoa istovremeno (vidi tablicu 1), sa kombinacijama koje su date u tabeli 3. Za srednje nivoe parametara uzete su vrednosti koje se koriste u normalnoj proizvodnji dok su gornji i donji nivo odabrani prema mogućnostima obradnog sistema, tako da zadovolje uslov:

$$X_{isr}^2 = X_{imin} \cdot X_{imax} \qquad (1)$$

Kao izlazna karakteristika procesa ispitivanja praćena je veličina linijskog habanja klipnjače na strani gde je delovala bočna sila i koja se uglavnom i haba.

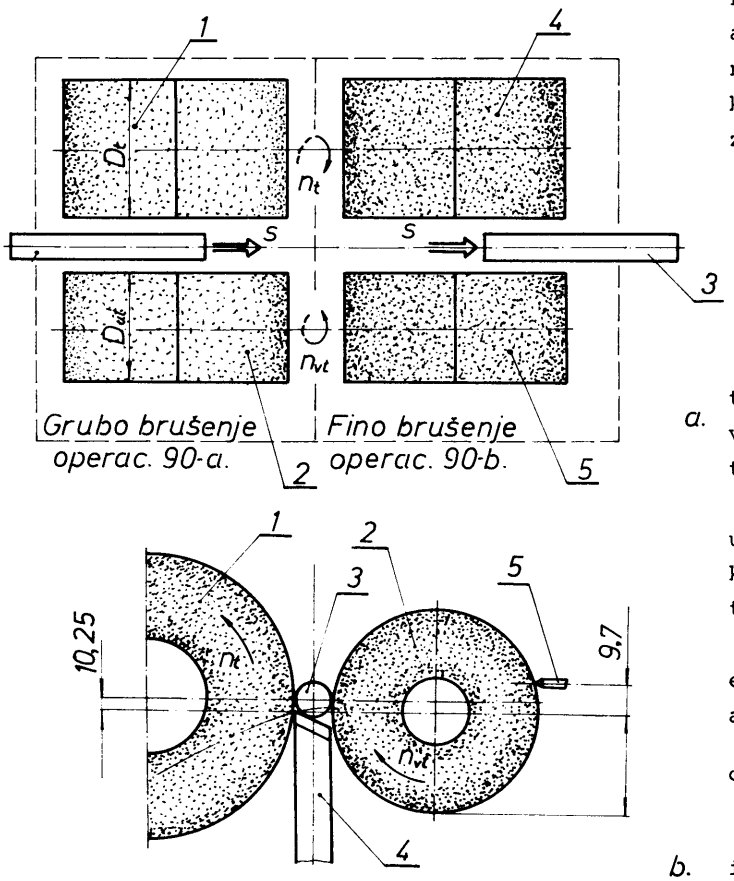
TABELA 1.

Nivoi variranja faktora	Kodovna oznaka	F a k t o r i - režimi brušenja				
		prethodno brušenje		završno brušenje		
		S_1 mm/min	n_{v-1} min	S_2 mm/min	n_{v2-1} min	δ mm
Gornji	+1	2715	49	2113	49	0,025
Srednji	0	1938	35	1520	35	0,020
Donji	-1	1385	25	1078	25	0,015
Interval variranja		1330	24	1035	24	0,010

USLOVI ISPITIVANJA

a) U s l o v i f o r m i r a n j a p o v r š i n s k o g s l o j a k l i p n j a č a

Obrada klipnjača brušenjem bez šiljaka sa kombinacijama elemenata režima datih u tabeli vršena je na brusilici "CINCINATI 3-500" sa snagom motor P = 30 kw. Prethodno brušenje je vršeno praktično kroz dve operacije (grubo i fino) na istoj mašini. S obzirom da su pripremci sa dosta grubom površinom i tolerancijama a potrebno je bilo skinuti priličan sloj materijala (sa Ø 20,2h11 grubim brušenjem se skida na Ø20-$^{0,050}_{0,060}$ a finim na Ø 20-$^{0,080}_{0,090}$). Na sl. 1. je data šema operacija brušenja.



Sl. 1. - Šema operacije brušenja klipnjača

Materijal klipnjača je bio Č.15.80.5, koji se pre brušenja indukciono kali na dubini 1-1,5 mm i $HV_{0,05} \leq$ 680. Za prethodno grubo brušenje korišćeno je tocilo prečnika Ø610 mm i širine B = 2x250 mm (zbog velike širine spojena su po dva tocila). Kvalitet tocila je bio 52A60/3J7V30 za prvo, a 52A120/3M9B22 za drugo. Tocila su proizvod "SVATY" - Maribor.

Vodeća tocila su prečnika Ø355 mm i širine 2x250 mm (NK90/12QCu ATLANTIK) sa bakelitnim vezivnim sredstvom, a zaokrenuta zbog aksijalne sile za $\alpha = 3^{o}$. Korišćeno rashladno sredstvo je "BRUSOGRIN". Završno brušenje klipnjača vršeno je na istoj mašini gde su klipnjače propuštene samo na fino brušenje sa grafitnim tocilom.

Nakon prvog brušenja, klipnjače su hromirane postupkom elektrolize, pri čemu je nanošen sloj hroma debljine nekoliko desetina mikrona, tvrdoće HV = 840+1000.

b) U s l o v i i s p i t i v a n j e

Ispitivanje uzoraka vršeno je na uredjaju za ispitivanje amortizera na vek trajanja u Fabrici amortizera u Prištini. Na uredjaju su ostvareni potrebni uslovi rada amortizera (hod, brzina kretanja, učestanost, opterećenje i dr.). Amortizeri su vezivani elementima koji se koriste kod vozila da se taj faktor ne bi odrazio na rezultate.

Uslovi rada amortizera na uredjaju bili su:

- amplituda: $a = \pm$ 45 mm,
- učestanost: f = 5 Hz
- bočna sila: F = 588 N
- spoljna temperatura tela: θ = 80 - 90°C

Bočnom silom se delovalo u visini vodjice dok je temperatura održavana posebnom komorom u koju je postavljeno telo amortizera i kroz koju protiče voda ulazne temperature približno 26°C.

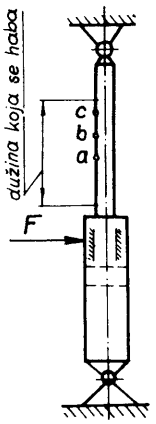
Pod ovakvim uslovima ispitivanja (koji u svakom slučaju nisu isti kao u realnom radu amortizera na vozilu) klipnjača klizi, po vodjici sa teflonskom oblogom i zaptivki od gume, sa naizmeničnim sinusoidnim kretanjem.

Nakon odredjenih brojeva ciklusa rada proces je prekidan radi merenja, a ispitivanje je završeno kada je amortizer ostvario N = 17,68.10^{5} ciklusa.

c) U s l o v i m e r e n j a h a b a n j a

S obzirom da se klipnjača kretala po zakonu sinusoide, gde su brzine klizanja različite po dužini hoda, vršeno je merenje veličine habanja na više mesta. Rezultati dati u radu odnose se na maksimalna habanja koja se

javljaju pri kraju hodnog dela klipnjače (mesto 6 na slici 2).



Sl. 2. - Položaj mesta merenja habanja na klipnjači

Habanje je mereno indirektno preko merenja opadanja debljine sloja hroma na površini klipnjače. Metodologija merenja se sastojala u sledećem: uredjajem za merenje debljina galvanskih prevlaka "PERMASKOP ESP9" koji je pored ostalog snabdeven i štampačem, merena je na početku rada i kasnije u odredjenim trenucima debljina hroma na istim mestima uz pomoć posebnog držača-vodjice merne sonde. Debljine sloja hroma merene su u desete delove mikrometara koliko je uredjaj dozvoljavao. Veličine habanja odredjivane su kao razlike izmerenih debljina. Primera radi, na slici 3. je dat zapis - odštampane vrednosti debljina hroma u dva uzastopna merenja.

```
n = 001    SCHICHT  d        =    25.3
n = 002    SCHICHT  d        =    25.5
n = 003    SCHICHT  d        =    25.6

n = 001    SCHICHT  d        =    25.1
n = 002    SCHICHT  d        =    25.3
n = 003    SCHICHT  d        =    25.5
```

Sl. 3.

REZULTATI ISPITIVANJA

U cilju odredjivanja triboloških karakteristika klipnjače amortizera vršeno je merenje linijskog habanja u toku ispitivanja na uredjaju. Na osnovu rezultata merenja crtane su krive habanja od kojih su neke date na sl. 4.

Primenom metode najmanjih kvadrata formirane su jednačine kojima se ove krive opisuju. Pri tome je usvojen opšti oblik zavisnosti:

$$h = C.N^{z} \qquad (1)$$

odnosno

$$N = C'h^{z'} \qquad (2)$$

gde su:

$h/\mu m/$ - veličina habanja,

$N/10^5$ ciklusa/ - broj ciklusa rada

C, C' - konstante,

z, z' - eksponenti

Konstante C i eksponenti z su odredjivani na osnovu korigovanog sistema normalnih jednačina:

$$\ell uC\Sigma h^2 + z\Sigma h^2 \ell uN = \Sigma h^2 \ell uh$$

$$\ell uC\Sigma h^2 \ell uN + Z\Sigma h^2 (\ell uN)^2 = \Sigma h^2 \ell uN \ell uh \qquad (3)$$

Dobijene zavisnosti date su u tabeli 2.

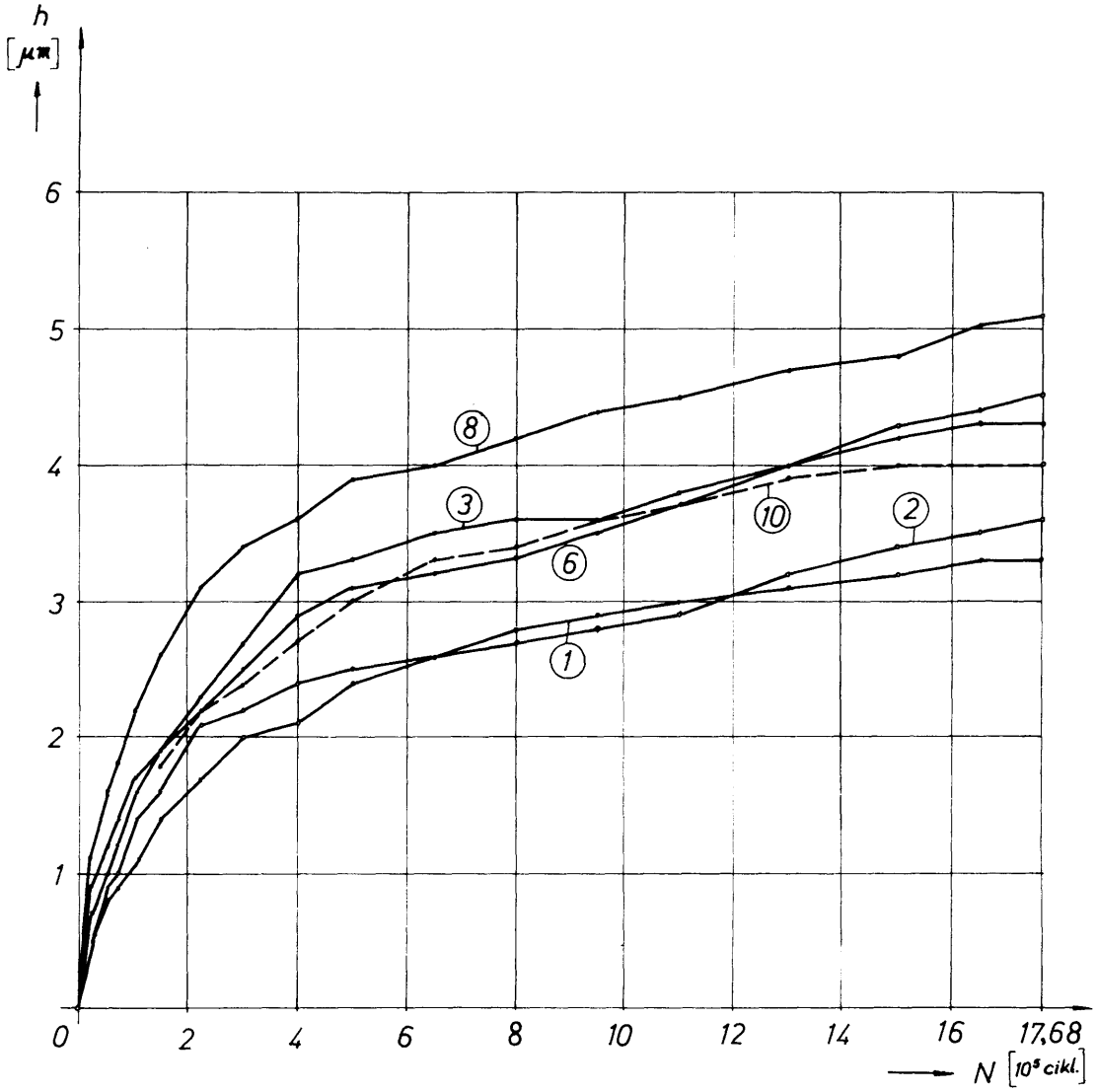
Dobijene funkcije dosta dobro opisuju dobijene krive habanja s obzirom da se dobija vrlo visok koeficijent korelacije.

TABELA 2.

Broj uzor.	Vrednosti za C i z, (C',z') u izrazima: $h=CN^z$ i $N=C'h^{z'}$				Koef. korel.	Vrednosti C i C' za $z=z_{sr}=0,32$		Koef. korel.
	C	z	C'	z'	r	C	C'	r'
1	1,26	0,35	0,52	2,81	0,986	1,39	0,35	0,966
2	1,42	0,32	0,33	3,11	0,98	1,41	0,33	0,96
3	1,79	0,31	0,15	3,13	0,97	1,79	0,16	0,95
4	2,08	0,31	0,09	3,19	0,98	2,04	0,10	0,96
5	1,53	0,29	0,23	3,38	0,96	1,42	0,33	0,95
6	1,63	0,35	0,25	2,82	0,97	1,80	0,16	0,96
7	2,17	0,27	0,05	3,64	0,98	1,90	0,13	0,96
8	2,27	0,28	0,05	3,45	0,98	2,08	0,10	0,96
9	1,80	0,31	0,15	3,18	0,96	1,77	0,16	0,95
10	1,59	0,34	0,26	2,87	0,97	1,72	0,18	0,96
11	1,66	0,31	0,20	3,13	0,96	1,66	0,20	0,94
12	1,80	0,33	0,17	2,94	0,97	1,90	0,13	0,95

S obzirom da se vrednosti eksponenta z i z' ne razlikuju bitno od uzorka do uzorka, tj. za različite kombinacije elemenata režima brušenja, može se uzeti neka njegova srednja vrednost (z = 0,32). Na osnovu ove usrednjene vrednosti odredjene su nove konstante C. Na ovaj način se preko konstante C može praktično ceniti uticaj uslova tj. režima brušenja na tribološke karakteristike.

Predstavljene grafički u logaritamskom sistemu, jednačine krivih habanja (za z = 0,32) za sve uzorke daju snop paralelnih pravih koje su prikazane na slici 5.



Sl. 4.

TABELA 3.

Broj uzoraka	KODOVI				Izlazni parametri
	X_0	X_1	X_2	X_3	
1	+1	-1	-1	-1	3,3
2	+1	+1	-1	-1	3,6
3	+1	-1	+1	-1	4,3
4	+1	+1	+1	-1	5,0
5	+1	-1	-1	+1	3,5
6	+1	+1	-1	+1	4,5
7	+1	-1	+1	+1	4,6
8	+1	+1	+1	+1	5,1
9	+1	0	0	0	4,3
10	+1	0	0	0	4,1
11	+1	0	0	0	4,0
12	+1	0	0	0	4,7

Za ocenu uticaja variranih elemenata režima brušenja na veličinu habanja, a time i na ostale tribološke karakteristike korišćena je teorija planiranja eksperimenata (2). Zavisnost konstante C od elemenata režima uzeta je u obliku:

$$C = k.S_1^{\alpha}S_2^{\beta}.\delta^{\gamma} \tag{4}$$

pri čemu je dobijeno:

$$C = 0{,}0417.S_1^{0{,}139}S_2^{0{,}544}\delta^{0{,}298} \tag{5}$$

Histogram uticaja pojedinih parametara prikazan je na sl. 6.

Očigledno je da najveći uticaj ostvaruje posmak pri završnom brušenju (S_2), a najmanji dubina (δ), što je i logično s obzirom da se dubina brušenja menja u uskim granicama i ne utiče na promene u površinskom sloju s obzirom na veliku tvrdoću hroma. Uticaj posmak S_1 je dos-

ta velik (u odnosu na δ), a ispoljava se preko formiranja različite mikrogeometrije i valovitosti koju prati sloj hroma.

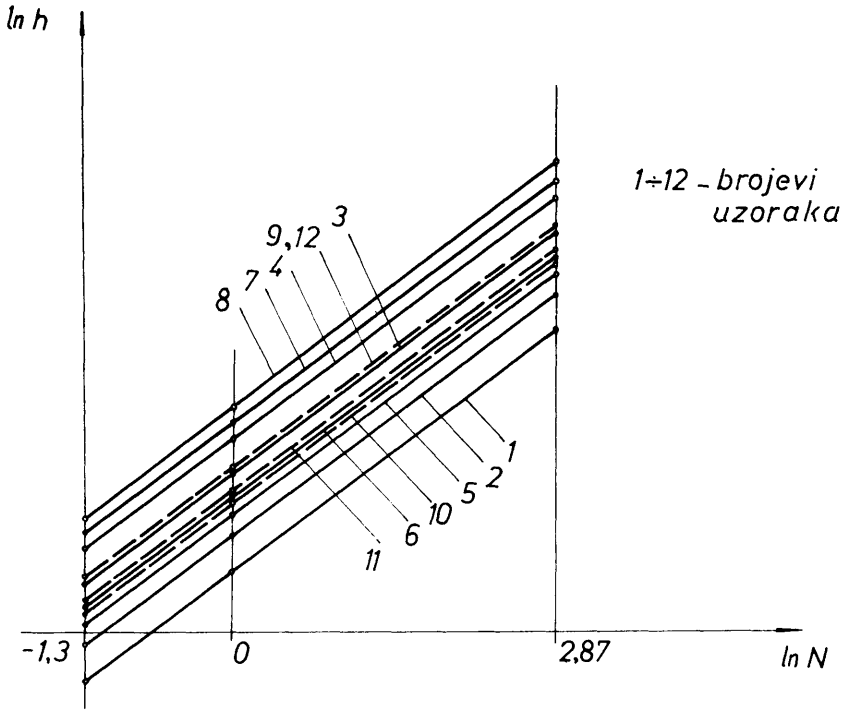
Ako se otpornost na habanje, po definiciji, izrazi kao:

$$R = \frac{dN}{dh} = C_1 . h^{z_1} \qquad (6)$$

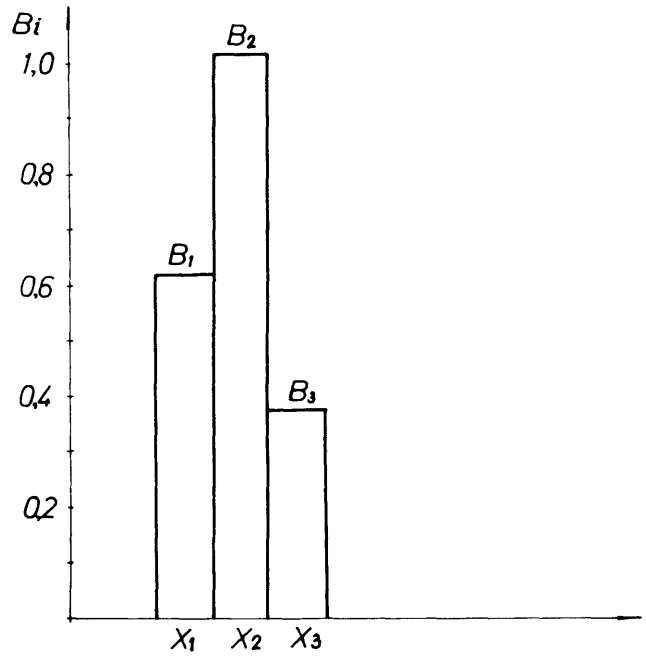
dobijaju se odredjene vrednosti konstante C_1 i eksponenta z_1 date u tabeli 4.

TABELA 4.

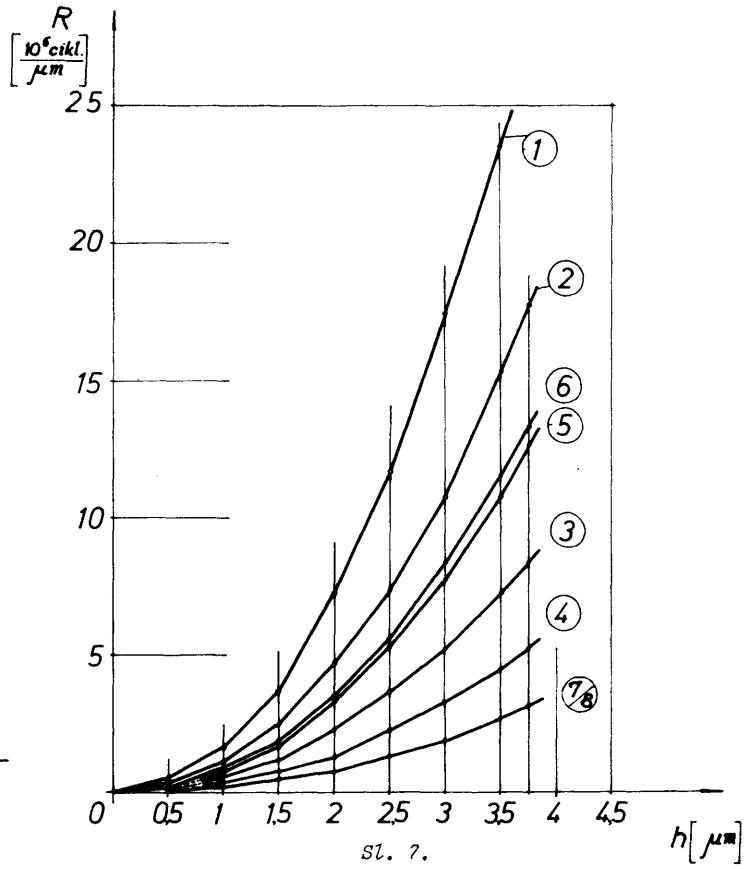
Broj uzor.	Vrednos.kons.C_1 i ekspon. z_1 u izrazima: $R = C_1 h^{z_1}$		
	C_1	z_1	C_1 za $z_1 = z_{1sr} = 2,125$
1	1,467	1,816	1,635
2	1,038	2,115	1,045
3	0,497	2,131	0,496
4	0,306	2,193	0,298
5	0,802	2,387	0,741
6	0,706	1,824	0,785
7	0,214	2,647	0,182
8	0,202	2,454	0,182
9	0,488	2,181	0,480
10	0,756	1,869	0,825
11	0,627	2,138	0,628
12	0,520	1,943	0,552



Sl. 5.



Sl. 6. - Histogram faktora: X_1, X_2, X_3



Sl. 7.

Grafički postavljene krive otpornosti na habanje za period ispitivanja do $N = 17{,}68 \times 10^5$ ciklusa izgledaju kao na sl. 7.

ZAKLJUČCI

Otpornost na habanje kao jedna od bitnih triboloških karakteristika, zavisi od niza faktora medju kojima važno mesto zauzimaju uslovi obrade kontaktne površine koji diktiraju pre svega kvalitetom površine.

Na osnovu rezultata eksperimentalnog istraživanja i uspostavljenih korelacija vidi se da postoji tesna veza izmedju veličina S_1, S_2, i δ i otpornosti na habanje R. Najveći je uticaj završnog brušenja, tj. uzdužnog posmaka S_2 koji svakako pri razradi tehnologije obrade zaslužuje posebnu pažnju.

S obzirom da se kod prethodnog brušenja, formirani površinski sloj prekriva hromom, to njegove fizičko - mehaničke karakteristike nemaju nikakvog uticaja na habanje. Medjutim, uticaj posmaka S_1 je ipak izražen verovatno preko formiranja, u prvom redu valovitosti koja pri završnom brušenju utiče na mikrogeometriju bitnu za početni period habanja. Ovo utoliko pre kad se u završnoj operaciji skida vrlo tanak sloj veoma tvrdog hroma.

Kako je klipnjača u kontaktu sa mnogo mekšim materijalima (guma i teflon) to neravnine na površini klipnjače imaju još veći uticaj na njihovo habanje, a time i vek trajanja. Iz tih razloga je pre svega poželjno obradu klipnjača vršiti sa što manjim vrednostima posmaka i voditi računa o prethodnim operacijama, a ne samo o završnim.

LITERATURA

|1| IVKOVIĆ, B.: Osnovi tribologije u industriji prerade metala, Gradjevinska knjiga, Beograd, 1983.

|2| DJEKIĆ, S.: Identifikacija tribomehaničkih sistema sadržanih u hidrauličkim amortizerima putničkih vozila, Tribologija u industriji, 1, 1984.

|3| STANIĆ, J.: Metod inženjerskih merenja, MF Beograd, 1981.

|4| VUKADINOVIĆ, S.: Delementi teorije verovatnoće i matematičke statistike, Beograd, 1973.

O B A V E Š T E NJ E P R E T P L A T N I C I M A

Poštovani pretplatnici,

U opštem skoku cena ni troškovi štampe i izdavanja časopisa, kao što Vam je poznato, nisu mimoidjeni. To nas, i pored pokušaja da odolimo uvećanju štamparskih i drugih troškova, konačno opredelilo da i sami podignemo cenu časopisu, jer je to jedini način da održimo dalje njegovo izlaženje. Znamo da je ova mera nepopularna, ali uvereni smo da ćete je shvatiti - i nužna.

Sigurni smo da ste zapazili da tri godine nismo menjali cenu časopisu. Pokušali smo, od promene tehnike štampanja do svih oblika štednje, da se suprotstavimo skoku cena papira, štamparskih i poštanskih usluga. Naše mogućnosti suprotstavljanja daljem skoku cena su iscrpljene. Zbog toga smo prinudjeni da za 1985. godinu podignemo cenu časopisu na 2.000 dinara za radne organizacije i 1.000 dinara za pojedince.

Ubedjeni smo da ćete ovu meru prihvatiti, jer je isključivo u funkciji daljeg izdavanja časopisa.

Redakcija

UDK 621.9.015 : 621.941.004.5

S. ST. SEKULIĆ

Maksimalna hrapavost obrađene površine na strugu u zavisnosti od brzine rezanja za dve vrste čelika

UVOD

Na veličinu maksimalne hrapavosti pri obradi na strugu utiče vrlo veliki broj faktora. Medjutim, nije potrebno posebno naglašavati da se kvalitet obradjene površine menja u toku vremena rezanja.

Posmatrajući geometrijski model hrapavosti pri obradi na strugu i veličinu maksimalne hrapavosti koja se iz njega izvodi u funkcija pomaka s i poluprečnika zaobljenja vrha noža r

$$R_z = s^2/8r$$

i uporedjujući vrednosti dobivene pri stvarnim uslovima rezanja, a naročito kod malih veličina pomaka, stvarni kvalitet obradjene površine u odnosu na onaj dobiven posmatranjem geometrijskog modela, znatno je lošiji.

Na promenu veličine maksimalne veličine geometrijske hrapavosti značajan uticaj imaju tribološke pojave na kontaktnim površinama i krutost dinamičkog sistema. U početnoj fazi rezanja oštrim alatom na kvalitet obradjene površine utiču: 1° mikroneravnine sečiva (nastaju kao presek grudne i ledjne površine odredjene hrapavosti), 2° naslaga (koja se peroidično stvara i lomi, a za posledicu ima promenu dubine rezanja i geometrijskih karakteristika ugla klina noža), 3° plastično tešenje površinskog sloja i plastične deformacije na messtu kontakta izmedju alata i obradka.

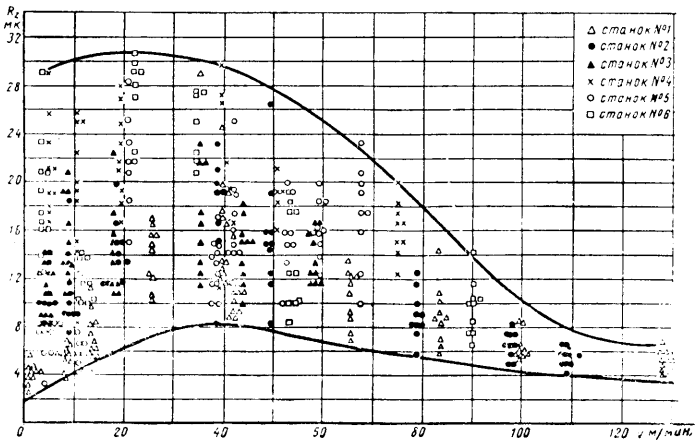
Kako ispitivanja pokazuju, stvarna maksimalna hrapavost i srednja aritmetička hrapavost pri obradi oštrim alatom može se izraziti u funkciji r/s^2 (obzirom na vezu izmedju maksimalne i srednje aritmetičke hrapavosti), gde je s pomak i r poluprečnik zaobljenja vrha noža |1|.

U produžnoj fazi rezanja naročiti uticaj ima pohabanost alata, a posebno pri izrazitoj pojavi tzv."koncentrisanog" habanja. U ovoj fazi veličina teorijske maksimalne hrapavosti daje se u zavisnosti od parametara habanja, geometrijskih karakteristika reznog klina, pomaka i prečnika obradka |1|.

Na hrapavost obradjene površine značajan uticaj ima i krutost elastičnog tehnološkog sistema MPOA (mašina alatka M - pribor P - obradak O - alat A) i kao što je poznato hrapavost se značajno povećava pri pojavi vibracija.

Sredstvo za podmazivanje i hladjenje (SHP) takodje ima značajan uticaj na veličinu hrapavosti obradjene površine |2|.

Kvalitativni uticaj brzine rezanja na hrapavost obradjene površine najčešće se predstavlja zavisnošću $R_z = f(v)$, pri čemu se ograničava gornja i donja granica oblasti u kojoj se javlja rasipanje rezultata. Na sl. 1. pokazan je dijagram $R_z = f(v)$ na kojem se uočava ra-



Sl. 1.

sipanje rezultata, pri čemu je izdiferenciran uticaj krutosti sistema na hrapavost praćenjem hrapavosti pri obradi na šest strugova različite konstrukcije (različitih krutosti MPOA) |2|.

2.0. *ISTRAŽIVANJE UZROKA RASIPANJA REZULTATA U ZAVISNOSTI: MAKSIMALNA HRAPAVOST - BRZINA REZANJA*

Da bi se rasvetlio uzrok rasipanja eksperimentalnih vrednosti, ne uzimajući u obzir promene krutosti sistema MPOA, odn. uticaj mašine alatke, izvršena su obimna ispitivanja stvarne maksimalne hrapavosti R_z u zavisnosti od brzine rezanja v, pri različitim vrednostima pojasa habanja b, tj.

$$R_z = f(v) \; ; \qquad \text{za } b = \text{const.}$$

2.1. *USLOVI PRI EKSPERIMENTALNOM ISPITIVANJU I PRIKAZ DOBIVENIH VREDNOSTI*

Eksperimentalna ispitivanja su izvršena na dve vrste materijala obradka i to: 1° teškoobradivom čeliku 33XH3MA sledećeg hemijskog sastava - 0,38% C, 0,55% Mn, 0,19% P, 0,014% S, 1,00% Cr, 2,25% Ni, 0,36% Mo, tvrdoće 320 do 360 HB i jačine materijala na kidanje σ_M = 107,8 kN/cm^2, relativnog izduženja 12,33% i relativnog suženja 60,6%; i 2° konstrukcionom čeliku Č.45(St. 45) standardnog hemijskog sastava i mehaničkih osobina.

Opiti su izvedeni na univerzalnom strugu "Krasnij proletarij", model 1620, sa kontinualnom promenom broja obrta.

Hrapavost je merena pomoću mikroskopa MIS-11 (metoda svetlosnog preseka).

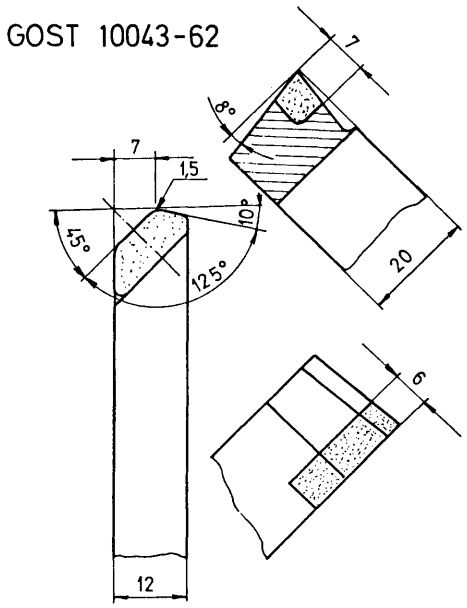
Za merenje pojasa habanja na ledjnoj površini noža korišćena je lupa za očitavanje otisaka pri ispitivanju tvrdoće po Brinell-u, koja povećava 20 puta, tako da je tačnost očitavanja iznosila $\pm$ 0,05 mm.

Za obradu je korišćen standardni alat - strugarski nož, za uzdužnu obradu, pravi, sa pločicom od brzoreznog čelika GOST-10043-62, P-20x12-45°. Materijal pločice je brzorezni čelik P18 (R18). Geometrijske karakteristike reznog dela noža: grudni ugao $\gamma = 5^o$, ledjni ugao $\alpha = 8^o$, napadni ugao $\gamma = 45^o$, pomoćni napadni ugao $x_1 = 10^o$, ugao nagiba sečiva $\lambda = 0^o$, poluprečnik zaobljenja vrha noža r = 1,5 mm.

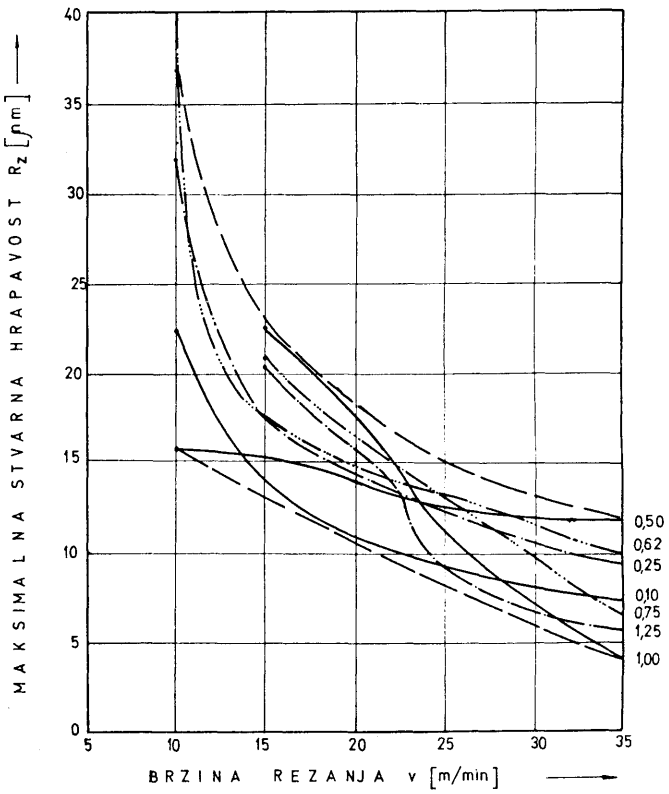
Ispitivanja su izvedena pri dubini rezanja δ = 1,5 mm i pomaku s = 9,2 mm/ob., odnosno preseku strugotine A = 1,5x0,2 = 0,3 mm.

Kod teškoobradivog čelika 33XH4MA primenjene su sledeće brzine rezanja v : 10, 15, 20, 25, 30 i 32,5 m/min. Sve serije opita, za pojedine brzine rezanja, ponavljane su tri puta i izvedene sa istim alatom, što znači da je posle svake serije vršeno njegovo preoštravanje.

Na osnovu podataka iz protokola ispitivanja načinjen je dijagram zavisnosti stvarne maksimalne hrapavosti R_z u funkciji brzine rezanja v, pri različitim veličinama pojasa habanja b, koji je predstavljen na sl. 3.



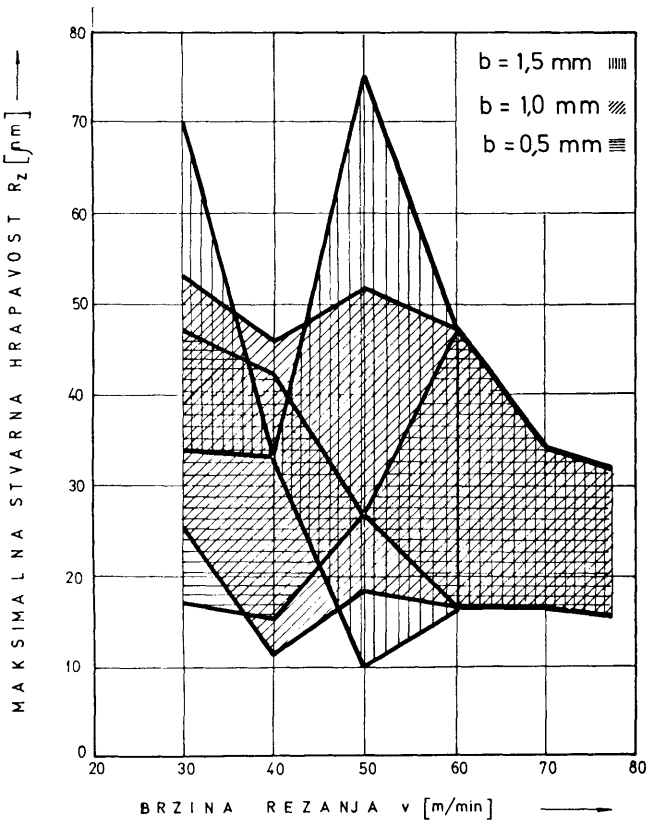
Sl. 2.



Sl. 3.

Kao što se iz dijagrama vidi stvarna maksimalna hrapavost R_z, za odredjenu brzinu rezanja, zavisi od veličine pojasa habanja b. Krive b = const. ne obrazuju familiju krivih linija, već je svaka za sebe posebnog karaktera (neke su monotone, a neke imaju i prevojne tačke). Ovo ukazuje na vrlo složeni mehanizam uticaja pojedinih parametara koji su posredne funkcije vremena. Kako su pored toga krive medjusobno blizu, pa se neke i presecaju, to obvojnice (sa gornje i donje strane) ograničavaju ranije pomenutu oblast u kojoj valja očekivati vrednosti stvarne maksimalne hrapavosti. Prema gore izloženom sledi zaključak da zavisnost stvarne maksimalne hrapavosti u funkciji od brzine rezanja ne može biti definisana jednom krivom linijom već mnoštvom linija za različite vrednosti b = const., koje obrazuju oblast hrapavosti.

Pri ispitivanju konstrukcionog čelika Č45 brzine rezanja su bile: 30, 40, 50, 60, 70 i 77,2 m/min. Za svaku od brzina izvedene su tri serije opita i za svaku seriju upotrebljen je, kao i pri prethodnom ispitivanju, isti nož. Komplet noževa, uz naročitu pažnju, specijalno je izradjen za ova ispitivanja (VNII, Moskva). Dijagram zavisnosti stvarne maksimalne hrapavosti u funkciji brzine rezanja pri različitim vrednostima pojasa habanja



Sl. 4.

dat je na sl. 4. Posmatranjem pojedinih oblasti na grafiku možemo zaključiti da pojedinim vrednostima širine pojasa habanja odgovaraju oblasti (različito osenčene), u kojima se može, sa dovoljno sigurnosti očekivati vrednosti za hrapavost obradjene površine u intervalu ispitivanih brzina rezanja. Granice oblasti za pojedine vrednosti pojasa habanja na ledjnoj površini alata, pri brzinama rezanja v = 60 m/min se ne preklapaju već imaju specifičan oblik. Uočljivo je npr. pri v = 40 m/min. i b = 1,5 mm i v = 50 m/min. i b = 0,5 mm, da rasipanja rezultata praktično nema dok pri b = 1,0 mm, u ispitivanom intervalu nema ove tačke nagomilavanja.

3.0. ZAKLJUČCI

Na osnovu napred izloženog mogu se doneti sledeći zaključci:

- značajne razlike, u kvalitativnom i kvantitativnom pogledu, vezane za hrapavost obradjene površine posledica su triboloških pojava na kontaktnim površinama, izmedju strugotine i grudne površine i obradjene površine i ledjne površine, pri čemu pored materijala alata i obradka, brzine rezanja i krutosti sistema MPOA značajan uticaj ima i pohabanost površina koje obrazuju rezni klin alata;
- prostim poredjenjem dijagrama $R_z = f(v)$, pri b = const., za obe vrste ispitivanih materijala, može se uočiti znatna razlika, medjutim, opšti zaključak o karakteru promene stvarne maksimalne hrapavosti u zavisnosti od brzine rezanja je zajednički, i
- kompleksni uticaj krutosti sistema MPOA i stanje radnih površina alata utiče na rasipanje rezultata, što i otežava postavljanje opšteg modela koji bi realno opisao hrapavost obradjene površine.

LITERATURA

|1| ŠOLAJA, V.: Prilog studiji koncentrisanog habanja alata pri obradi čelika na strugu, Mašinstvo, 6 (1958), 83, Beograd.

|2| ZOREV, N.N. i dr.: Razvitie nauki o rezanii metalov, Mašinostroenie, (1967), Moskva.

|3| AVAKOV, A.A.; Fizičeskie osnovy teorij stojkosti režušćih instrumentov, Mašgiz, (1960), Moskva.

|4| MAKAROV, A.D.: Iznos i stojkost režušćih instrumentov, Mašgiz, (1966.), Moskva.

|5| SEKULIĆ, S.: Hrapavost obradjene površine na strugu teško obradljivog čelika i konstrukcionog čelika u funkciji pohabanosti pri različitim brzinama rezanja, Zbornik radova MF, 4, (1968), Novi Sad.

UDK 621.9.015.004.6

P. BLAŠKOVIĆ, A. KOPČAJ, M. MOSNY

Matematičko-logično modeliranje problema habajućih slojeva i njihova optimizacija

(Sa slovačkog preveo: *Dr Milorad Jovanović*)

1. UVOD

Navarivani slojevi koji se nanose na mašinske elemente koji rade u tribološkim uslovima nalaze sve veću primenu u praksi s obzirom na uštedu rada, energije i materijala.

Primena pravilne tehnologije navarivanja i izbor pogodnog dodatnog materijala presudni su za uspešan rad triboloških parova. Svi tehnološki i konstrukcioni činioci mogu jako uticati na kvalitet navarenih mašinskih delova, a oni u velikoj meri zavise od tačnosti podataka koji se odnose na rad triboloških sistema u eksploatacionim uslovima.

Veliki broj faktora, koji se pojavljuju pri izradi navarenih slojeva i veliki broj drugih uticaja koji deluju na radnu površinu ovih slojeva mogu se analizirati i objektivno proceniti samo sistematskim pristupom za rešenje konkretnog tribološkog problema.

Ovde se sa uspehom može primeniti metod matematičko-logičkog modeliranja, koja je opisana u radovima 1, 2,4,5,6,7 s ciljem da se objasne njena sredstva i postupci pri proceni inovacije, prednosti i kvalitativnih činilaca transformacionih sistema. Pomoću ovog metoda može se izabrati i optimalna tehnologija navarivanja,hemijski sastav i obrada navara na mašinskim delovima, koji će u tribološkim parovima raditi prema unapred ustanovljenom programu rada sa obezbedjenim optimalnim vekom para.

U ovom radu usvajamo slučaj pristupaka optimizaciji navarivanje elemenata triboloških parova uredjaja onako kako se to u praksi radi. Ukazaćemo na matematičko-logički pristup pri proceni inovacije, prednosti i kvaliteta triboloških parova koji se odnose na navarene slojeve i njihovu optimizaciju.

2. OPTIMIZACIJA NAVARIVANJA ELEMENATA TRIBOLOŠKIH PAROVA

Pod optimizacijom navarivanja elemenata triboloških parova uredjaja uglavnom se podrazumeva minimizacija pojedinih dodataka za popunjavanje, obradu i reparaturu tih elemenata. Rešenje ove optimizacije ima za zadatak bilo ustanovljenje optimalnog vremena eksploatacije para, proračun vremena njihove sledeće reparacije, ili ustanovljenje optimalnog načina renoviranja parova navarivanjem za dato konstantno vreme njihove eksploatacije. Prvi od navedenih slučajeva se koristi naročito kod onih uredjaja kod kojih opterećeni tribološki parovi čine znatan deo uredjaja (npr. valjci valjaoničnih staza). Drugi slučaj je pogodniji za početno istraživanje manje značajnih triboloških parova.

S obzirom na činjenicu da je drugi od navedenih slučajeva češći u praksi i da je opštijeg karaktera ispitivaćemo uslove optimizacije navarivanja elemenata ovih parova uz pretpostavku, da je ustanovljeno vreme njihove eksploatacije t_p konstantno i da je proračunato i prema drugim pokazateljima a ne samo prema potrebi repariranja elemenata parova.

Za potrebe optimizacije neophodno je poznavati habanje elemenata para u toku vremena za različite vrsta navara, opterećenje triboloških parova, njihovu reparaturu uključujući demontažu i montažu i proračun ciklusa reparature.

Najvažniji zadatak je ustanoviti funkcionalnu zavisnost izmedju habanja, tj. gubitka mase elementa para uključujući potrebu umanjenja mase na pojasu koji se priprema za navarivanje i vremena eksploatacije para za proizvoljan tip navarenih slojeva. Potrebno je poznavati graničnu veličinu habanja, do koje može eksploatacija tribološkog para efektivno teći uzimajući u obzir proračunsku vrednost odstupanja tog habanja.

UDK 621.9.015.004.6

P. BLAŠKOVIĆ, A. KOPČAJ, M. MOSNY

Matematičko-logično modeliranje problema habajućih slojeva i njihova optimizacija

(Sa slovačkog preveo: *Dr Milorad Jovanović*)

1. UVOD

Navarivani slojevi koji se nanose na mašinske elemente koji rade u tribološkim uslovima nalaze sve veću primenu u praksi s obzirom na uštedu rada, energije i materijala.

Primena pravilne tehnologije navarivanja i izbor pogodnog dodatnog materijala presudni su za uspešan rad triboloških parova. Svi tehnološki i konstrukcioni činioci mogu jako uticati na kvalitet navarenih mašinskih delova, a oni u velikoj meri zavise od tačnosti podataka koji se odnose na rad triboloških sistema u eksploatacionim uslovima.

Veliki broj faktora, koji se pojavljuju pri izradi navarenih slojeva i veliki broj drugih uticaja koji deluju na radnu površinu ovih slojeva mogu se analizirati i objektivno proceniti samo sistematskim pristupom za rešenje konkretnog tribološkog problema.

Ovde se sa uspehom može primeniti metod matematičko-logičkog modeliranja, koja je opisana u radovima 1, 2,4,5,6,7 s ciljem da se objasne njena sredstva i postupci pri proceni inovacije, prednosti i kvalitativnih činilaca transformacionih sistema. Pomoću ovog metoda može se izabrati i optimalna tehnologija navarivanja,hemijski sastav i obrada navara na mašinskim delovima, koji će u tribološkim parovima raditi prema unapred ustanovljenom programu rada sa obezbedjenim optimalnim vekom para.

U ovom radu usvajamo slučaj pristupaka optimizaciji navarivanje elemenata triboloških parova uredjaja onako kako se to u praksi radi. Ukazaćemo na matematičko-logički pristup pri proceni inovacije, prednosti i kvaliteta triboloških parova koji se odnose na navarene slojeve i njihovu optimizaciju.

2. OPTIMIZACIJA NAVARIVANJA ELEMENATA TRIBOLOŠKIH PAROVA

Pod optimizacijom navarivanja elemenata triboloških parova uredjaja uglavnom se podrazumeva minimizacija pojedinih dodataka za popunjavanje, obradu i reparaturu tih elemenata. Rešenje ove optimizacije ima za zadatak bilo ustanovljenje optimalnog vremena eksploatacije para, proračun vremena njihove sledeće reparacije, ili ustanovljenje optimalnog načina renoviranja parova navarivanjem za dato konstantno vreme njihove eksploatacije. Prvi od navedenih slučajeva se koristi naročito kod onih uredjaja kod kojih opterećeni tribološki parovi čine znatan deo uredjaja (npr. valjci valjaoničnih staza). Drugi slučaj je pogodniji za početno istraživanje manje značajnih triboloških parova.

S obzirom na činjenicu da je drugi od navedenih slučajeva češći u praksi i da je opštijeg karaktera ispitivaćemo uslove optimizacije navarivanja elemenata ovih parova uz pretpostavku, da je ustanovljeno vreme njihove eksploatacije t_p konstantno i da je proračunato i prema drugim pokazateljima a ne samo prema potrebi repariranja elemenata parova.

Za potrebe optimizacije neophodno je poznavati habanje elemenata para u toku vremena za različite vrsta navara, opterećenje triboloških parova, njihovu reparaturu uključujući demontažu i montažu i proračun ciklusa reparature.

Najvažniji zadatak je ustanoviti funkcionalnu zavisnost izmedju habanja, tj. gubitka mase elementa para uključujući potrebu umanjenja mase na pojasu koji se priprema za navarivanje i vremena eksploatacije para za proizvoljan tip navarenih slojeva. Potrebno je poznavati graničnu veličinu habanja, do koje može eksploatacija tribološkog para efektivno teći uzimajući u obzir proračunsku vrednost odstupanja tog habanja.

Proračun optimalnog režima reparacije uredjaja zasniva se potom na proračunu pojedinačnih dodataka za svaki tribološki par i sve kotrišćene vrste navara na njihovim elementima i zatim minimizaciji tih dodataka.

Najzad je potrebno iz oblika pojedinih vrsta navarenih elemenata ustanoviti teorijski vek njihovog efektivnog korišćenja do graničnog habanja ΔW_v. Praćenjem teorijskog vremena efektivnog korišćenja navara sa vremenom eksploatacije tribološkog para t_p dobija se stvarno vreme korišćenja navara t_v, koje je sasvim blisko donjem broju ciklusa eksploatacije tribološkog para.

Pojedinačni dodaci mogu se ustanoviti pomoću izraza (1):

$$\frac{CN}{T} = \frac{N_w}{n_v \cdot t_v} + \frac{N_o}{t_v} + \frac{\Delta W_v \cdot N_n}{t_v} \qquad (1)$$

gde je:

CN - ukupan dodatak,

T - ukupno vreme eksploatacije uredjaja,

N_w - dodaci na tribološki par,

t_v - vreme korišćenja navara,

n_v - broj ciklusa korišćenja tribološkog para.

Broj ciklusa korišćenja tribološkog para n_v, koji je jednak broju ciklusa renoviranja elemenata tribološkog para navarivanjem, izračunavamo prema izrazu (2):

$$n_v = \frac{T}{t_v} \qquad (2)$$

N_o - pomoćni dodaci za renoviranje bez dodatka za stvarno navarivanje elemenata tribološkog para,

N_n - dodatak za navarivanje jedinične mase,

ΔW_v - vrednost habanja tribološkog elementa po isteku vremena njihovog korišćenja uključujući i neophodan dodatak mase radi pripreme elementa za navarivanje.

Dodatke na celi navareni sloj elementa tribološkog para C_n izračunavamo po izrazu (3):

$$C_n = \Delta W_v \cdot N_n \qquad (3)$$

Za reparaturu elemenata tribološkog para biće izabran takav navar i takav ciklus navarivanja kod kojeg su pojedinačni dodaci najmanji.

Ako pristupimo daljoj razradi navarivanog materijala i tehnologije, mora važiti izraz (4):

$$\frac{CN_1}{T} \geq \frac{CN_2}{T} \qquad (4)$$

gde je:

CN_1 - ukupni dodatak za dati način renoviranja uredjaja,

CN_2 - ukupni dodatak za projektovani način renoviranja uredjaja.

Smenama u izrazu (4) i sredjivanjem dobijamo izraz (5).

$$C_2 \leq \frac{N_{01}+C_1}{t_1} \cdot t_2 - N_{02} \qquad (5)$$

Izraz (5) odredjuje granični dodatak za novu tehnologiju i materijal navara.

3. MATEMATIČKO-LOGIČKI PSTISTUP KA MODELIRANJU INOVACI - JA, PREDNOSTI I KVALITETA TRIBOLOŠKIH PAROVA S OBZIROM NA NAVARIVANJE NJIHOVIH ELEMENATA I OPTIMIZACIJU

Pri identifikaciji kompleksnih osobina proizvoda u fazi njihove izrade, korišćenja, renoviranja i isključenja iz rada posebnu ulogu ima odgovarajući klasifikacioni sistem. Takav klasifikacioni sistem zasniva se i zavisi od identifikacije kompleksnih osobina izrade, korišćenja, renoviranja i isključenja triboloških sistema sklopova mašina. U radu (5) uveden je matematičko-logički pristup za izradu klasifikacionog sistema koji služi za ocenu inovacija, prednosti i kvaliteta konstruisanih, izradjenih i praktično korišćenih proizvoda. U ovom radu bila je, za procenu navedenih osobina proizvoda izabrana referentna osnova koja predstavlja osobine proizvoda svetskog nivoa.

U slučaju identifikacije kompleksnih osobina triboloških parova *X* svrsishodno je za referentnu bazu procene njihovih osobina izabrati proizvod i korišćeni originalni tribološki par *PX* mašinskog sklopa. Identifikovaćemo različite osobine parova prema njihovoj vrsti i intenzitetu ispoljavanja tih osobina. Pritom je potrebno razlikovati početne osobine triboloških parova *PX*, habanih triboloških parova *OX*, repariranih pohabanih triboloških parova *ROX* i najzad i oštećenih triboloških parova *NOX* za istrošene parove.

Klasifikacioni sistemi obrazovani putem matematičko - logičkog modeliranja imaju zajednički imenilac u tome što u sebi sadrže informacione lance, u kojima su šifrovani podaci o osobinama istraživanog predmeta. Informacioni sadržaj tih lanaca je po pravilu složen. Povezanost pojedinih delova podataka u lancu kontroliše se s obzirom na realnost pomoću modela.

U slučaju izrade klasifikcionog sistema koji služi za procenjivanje triboloških parova i njihove promene kao i renoviranje polazimo od karakterisanja njihove inovacije *XNO* prednosti *XPO* i kvaliteta *HKV*. Njihova inovacija zavisi od sastava materijala *KNOMZ*, od prostornog oblikovanja *XNOPV*. Njihova prednost zavisi od cene njihove proizvodnje *XPO1H* i od njih proizvedenih kao i korišćenih parova zavisi od njihove inovacije i prednosti *XKVNPX*.

Inovacija *XNOMZ*, *XNOPV* prednosti *XPO1H*, *XPO2H* i kvalitet *XKVNPY* triboloških parova *X* dalje se dele na vrste, kako je to dato u tablici 1. Tu je:

XNOMZA - Inovacija sastava materijala *X* sa gledišta broja sastojaka (elemenata) *A*.

XNOMZB - Inovacija sastava materijala *X* sa gledišta količine sastojaka (elemenata) *B*.

TABELA 1.

OZNAKA STANJA TRIB. PARA	VRSTE INOVACIJA, PREDNOSTI I KVALITETA TRIB. PARA																							
	AZMONX	BZMONX	YZMONVKX	TRVPONX	RVPONX	YVPONVKX	AHO1PX	BHO1PX	CHO1PX	EO1PX	YHO1PVKX	AHO2PX	BHO2PX	CHO2PX	HO2PX	YHO2PVKX	YZMONVKX	YVPONVKX	YHO2PVKX	YHO1PVKX	YHO2PVKX	YOPVKX	YONVKX	YOPVKX	YPNVKX
	Vredn. inovacija, prednosti i kvaliteta tribol. para																							
PX	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
10X	2	2	2	1	1	1	2	2	2	2	1	1	1	2	1	2	1	1	2	1	1	1	1	1
1NOX	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	2	0	0	2	2	2	2	0	0	2	0	0
2NOX	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	2	2	2	2	1	1	2	1	1
3NOX	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
4NOX	2	2	2	3	3	3	2	1	2	1	2	3	3	2	3	2	3	3	1	3	3	3	3	3
1ROX	1	2	1	1	3	1	3	2	3	3	2	2	2	2	2	1	1	1	3	2	3	1	3	0
2ROX	3	3	3	2	2	2	3	2	3	3	1	1	2	3	1	3	2	3	3	1	1	3	1	1
3ROX	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
4ROX	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2	3	2	3	2	3	3
5ROX	3	3	3	3	3	3	3	3	1	1	2	2	3	3	3	3	3	3	1	3	3	3	3	3

XNOPVT - Inovacija prostornog oblikovanja *X* sa gledišta njegovog oblika *T*.

XNOPVR - Inovacija prostornog oblikovanja *X* sa gledišta dimenzija njegovog oblika *R*.

XPO1HA - Prednost *X* sa gledišta cene ljudskog rada na njegovo oblikovanje *A*.

XPO1HB - Prednost *X* sa gledišta cene radnih sredstava na njegovo oblikovanje *B*.

XPO1HC - Prednost *X* sa gledišta cene radnih predmeta za njegovo oblikovanje *C*.

XPO2HA - Prednost *X* sa gledišta njime proizvedenih sredstava kao i ušteda u ceni *A*.

XPO2HB - Prednost *X* sa gledišta njegove efikasnosti *B*.

XPO2HC - Prednost *X* sa gledišta njegovog veka *C*.

XPO2HD - Prednost *X* sa gledišta utrošene cene u vidu ljudskog rada, radnih sredstava, radnih predmeta za njegovu eksploataciju i održavanje *D*.

XKVNOY - Kvalitet *X* koji proizilazi iz njegove inovacije *NO*.

XKVNOMZY - Kvalitet *X* koji proističe iz inovacije sastava njegovog materijala *MZ*.

XKVNOPVY - Kvalitet *X* koji prostiče iz inovacije njegovog prostornog oblikovanja *PV*.

XKVPOY - Kvalitet *X* koji proizilazi iz njegove prednosti *PO*.

XKVPO1HY - Kvalitet *X* koji proizilazi iz prednosti uštede sredstava za njegovu proizvodnju.

XKVPO2HY - Kvalitet *X* koji proizilazi iz prednosti sredstava kao i uštede njim proizvedenih i sredstava korišćenih za njegovu eksploataciju i održavanje^*2H*.

XKVNPY - Kvalitet *X* koji proizilazi iz njegove inovacije i prednosti *NP*.

Inovacija *XNO*, prednost *XPO* i kvalitet tribološkog para *X* i njihove ostale gore navedene karakteristike procenjujemo pomoću četiri nivoa. Te nivoe označavamo brojevima *0,1,2,3*, koji imaju sledeća značenja:

Nivo *2* ima za procenu osobina poseban značaj jer se smatra za referentnu vrednost. Nivoima *2* su označene takve kompleksne osobine konkretnog tribološkog para *PX* koje biramo za osnovne pri proceni njegovog habanja *OX*, zamene novim parom *NOX* kao i renoviranja pohabanog para *ROX*.

Nivoima *0,1* i *3* označavamo procenjene osobine konkretnog tribološkog para, koje se razlikuju od osobina referentnog tribološkog para.

Nivoima *1* označena je grupa osobina konkretnog pohabanog tribološkog para *OX*, njegova zamena novim parom, *NOX* kao i renoviranje pohabanog para *ROX*, koje pokazuje niže pojedine osobine nego referentni tribološki par *PX*.

Nivoima *3* označena je grupa osobina konkretno zamenjenog tribološkog para *NOX*, kao i renoviranog pohabanog para *RNX*, koje pokazuju više odgovarajuće osobine nego referentni tribološki par *PX*.

Nivoima *0* označena je grupa osobina konkretnog pohabanog tribološkog para *OX*, njegovog zamenika tribološkog para *NOX* ili renoviranog pohabanog para *RNX*, na kome je habanje početnog tribološkog para *PX* odstranjeno a pri zameni tribološkim parom *NOX* ili renoviranim tribološkim parom *ROX* se te vrednosti ne dostižu.

Klasifikacioni sistem za procenu kompleksnih osobina konkretnog tribološkog para kako smo ga gore opisali, jeste veoma obiman. S obzirom na četiri stepena procene svake grupe osobina i to *XKNOMZA* do *XKVNPX*, kojih je *24*, razmatrani klasifikacioni sistem imaće 4^{24} informacionih lanaca. Ovi lanci nisu svi realni. Njihova realnost testira se pomoću modela uvedenih u radu |5|. Procena referentnog tribološkog para *PX* kao i procena jednog njegovog stanja pohabanosti *10x*, četiri slučaja njegove zamene novim tribološkim parovima *NOX* i procena 5 slučajeva renoviranja pohabanih parova *ROX*, data je u tab. 1.

Tablica 1. sadrži 3 vrste informacija primenjenih za procenjivanje triboloških parova:

a) oznaku stanja triboloških parova,
b) oznaku inovacija, prednosti i kvaliteta triboloških parova,
c) nivoe inovacija, prednosti i kvaliteta triboloških parova.

Tablica 1. sadrži procene kompleksnih osobina referentnog para *PX*, procenu jednog slučaja njegove pohabanosti *10X*, četiri slučaja procene zamene tog para *1NOX* do *4NOX* i pet slučajeva procene renoviranja pohabanih parova *1ROX* do *5ROX*.

Za razjašnjavanje kompletne procene grupe osobina tribološkog para *PX*, uvodimo dešifrovanje informacionog sadržaja šifrovano izraženog stanja njegove pohabanosti *10X* :

XNOMZA = 2 - Inovacija materijala sastava *A* se nije menjala.

XNOMZB = 2 - Inovacija materijala sastava se nije menjala.

XKVNOMZY = 2 - Kvalitet inovacije materijala sastava *MZ* nije se menjao.

XNOPVT = 1 - Inovacija prostornog oblikovanja *T* se snizila.

XNOPVR = 1 - Inovacija prostornog oblikovanja *R* se snizila.

XKVNOPVY = 1 - Kvalitet inovacije prostornog oblikovanja *PV* umanjio se.

XPO1HA = 2 - Prednost sa gledišta utrošenih sredstava *A* nije se promenila.

XPO1HB = 2 - Prednost sa gledišta utrošenih sredstava *B* nije se promenila.

XPO1HC = 2 - Prednost sa gledišta utrošenih sredstava *C* nije se promenila.

XKVPO1HY = 2 - Kvalitet prednosti utrošenih sredstava *1H* nije se promenila.

XPO2HA = 1 - Prednost sa gledišta proizvedenih sredstava kao i uštede *A* se smanjila.

XPO2HB = 1 - Prednost sa gledišta efikasnosti se smanjila.

XPO2HC = 1 - Prednost sa gledišta veka trajanja se smanjila.

XPO2HD = 2 - Prednost sa gledišta upotrebljenih sredstava nije se promenila.

XKVPO2HY = 1 - Kvalitet prednosti rada i uštedjenih sredstava se smizio.

Procene kvaliteta *XKVNOMZY*, *XKVNOPVY*, *XKVPO1HY* i *XKVPO2HY* izvršili smo pomoću modela uvedenih u radu |5|. Od tih modela smo pošli i pri ocenjivanju i sledećih kvaliteta *XKVNOY*, *XKVPOY* kao i rezultujućeg kvaliteta *XKVNPY*.

Kvalitet *XKVNOMZY* = 2 i kvalitet *XKVNOPVY* = 1, zatim kvalitet *XKVNOY* = 1, kao kvalitet koji proizilazi iz inovacija pohabanog tribološkog para *10X*, opali su.

Kvalitet *XKVPO1HY* =2 i kvalitet *XKVPO2HY* = 1, zatim kvalitet *XKVPOY* = 1, kao kvaliteti koji proizilaze iz pohabanog tribološkog para *10X* snižavaju se.

Najzad kvalitet *XKVNOY* = 1 i kvalitet *XKVPOY* = 1 , zatim kvalitet *XKVNPY* = 1, kao i rezultujući kvalitet pohabanog tribološkog para *10X* snižavaju se.

Iz šifrovanog prikazivanja osobina pohabanog tribološkog para *10X* u tablici 1. tada smo protumačili, da se habanjem promenio oblik i dimenzije tribološkog para a time su opale i njegove druge osobine i kvalitet. Tribološki par *10X* možemo zameniti parom *3NOX* ili ga možemo renovirati u obliku para *3ROX*, čime se postiže uspešna zamena za pohabani par *10X*.

Tako je moguće dešifrovati informacioni sadržaj svih uvedenih stanja istraživanog tribološkog para *PX* datog u tablici 1.

Izrada klasifikacionih sistema koji služe za procenu stanja i osobina konkretnih triboloških parova predstavlja složen i neskvakidašnji zadatak. Njegovo rešenje zahteva primenu kvalitativnog prilaza ka rešenju problemu, što u našem slučaju predstavlja matematičko-logički pristup, kao i pristup optimizaciji koji je poznat iz rešenja kvantitativnih pitanja istraživane materije.

LITERATURA

|1| MOSNY, M., MOZOLIKOVÁ, M.: Matematicko-logické modelovanie, Bratislava, Dom techniky ČSVTS 1981, s.105.

|2| MOSNY, M.: Návrh analýzy a syntézy činitelu pracovnich soustav pri hodnoceni jejich novosti a užitečnosti, Praha, VOSTE 1975, s. 87.

|3| BAČKOVSKY, K.: Hodnoceni a ochrana rešeni technických problému, Praha,Strojnicka společnost ČSVTS 1976., s. 30.

|4| MOSNY, M.: Metodické pristupy k zistovaniu novosti a pokrokovosti pri formulácii výskumných úloh. In: Rizeni ve výskumných a vývojových organizacich. Sbornik 4. semináre 20.-22.3.84.Vsetin,s.88-97.

|5| MOSNY,M.: Matematicko-logický pristup k zistovaniu novosti a pokrokovosti konštruovaných a prakticky využivaných výrobkov. In: Metodika konštruovania v praxi. Zbornik z IX.Československoj konferencie konštruktérov 5.-7.juna 1984.,Bratislava s.69-91.

|6| MOSNY, M.: Pristupy k ohodnocovaniu kvality činitelov transformačných systémov, Nepublikovaná práca autora.

UDK 621.9.015 : 621.8.031.6

B. BATORA

Tribološke karakteristike obrađene površine i njihov uticaj

(Sa slovačkog preveo: *Dr Milorad Jovanović*)

UVOD

Pri objašnjavanju triboloških karakteristika obradjenih površina treba poći pre svega od fizičke osnove procesa rezanja. Proces rezanja koncentriše se na oblast dodira rezne ivice alata sa obradjivanim materijalom na tzv. zonu rezanja. U kontaktnoj zoni se tada ostvaruje promena predmeta obrade u gotov proizvod. Da bismo mogli oceniti proces obrade u vezi sa njegovim uticajem na buduće tribološke karakteristike obradjenih delova, potrebno je ispitati medjusobne odnose alata i predmeta obrade, kao i uslove koji na to medjudejstvo utiču.

Iz zone rezanja kao ulazni elementi ulaze obradjena površina i strugotina. Sa gledišta našeg interesa, pre svega je zanimljiva obradjena površina, jer je to osnova budućih triboloških dejstava.

Pri rešenju tehnologičnih problema inženjerske prakse, tehnolog mora s obzirom na ekonomske efekte i kvalitativne aspekte rešiti probleme intenzifikacije, optimizacije i racionalizacije procesa obrade. Treba priznati, da pri tom prvorazredni uticaj na rešenje često imaju ekonomski efekti. Pri razmatranju kvalitativnih aspekata obrade često se zadovoljavamo površnim, nedoslednim rešenjima. Upravo takva površina rešenja mogu kao posledicu u eksploataciji stvoriti velike ekonomske gubitke.

ANALIZA PROBLEMATIKE

Na tribološke osobine delova mašina, kao što je već naglašeno, utiče stanje površinske obrade. Obradjena površina procenjuje se prema pokazateljima hrapavosti. Hrapavost obradjene površine karakterišu |2|:

- geometrija obradjene površine, naročito mikrogeometrija,
- fizičko-hemijske osobine površinskog sloja-tvrdoća, ojačanje, zaostali naponi i fizičko-hemijsko stanje površine. Hrapavost površine je različita za razne uslove obrade. To zavisi pre svega od načina obrade, posmaka i geometrije reznog dela alata. Dalje tu imaju uticaj elastične i plastične deformacije za vreme formiranja strugotine (naknadan porast), dinamičke pojave koje nastaju u tehnološkom sistemu (vibracije) i tačnost proizvodne mašine.

Kako se navodi u |3| hrapavost obradjene površine ima uticaja na tok trošenja a samim tim i na vek trajanja mašinskih elemenata. Što se više hrapavost obradjene površine približava hrapavosti koja se traži za pravilnu razradu funkcionalnih delova površine, tim je kraće vreme razrade i manje trošenje za vreme razrade. To ima povoljan uticaj na dalji period ustaljene eksploatacije, u tom smislu što se produžuje vek mašinskog elementa.

Pod uticajem plastične deformacije pri obradi menjaju se fizičko-mehaničke osobine površinskog sloja. Reč je tzv. ojačanju površine. Osnovni uzrok ojačanju površine pri obradi, prema |2| jeste zaobljena rezna ivica alata, čijim se odredjenim delom površina obradjenog materijala pritiskuje a time i ojačava. Pri obradi višezubnim reznim alatom, prema |4| granica ojačanih slojeva metala data je površinom obvojnice ojačanih zona pojedinim reznim zubima. Osim zaobljenja rezne ivice, na intenzitet i dubinu ojačanja površinskih slojeva dalje utiču osobine obradjivanog materijala, posmak rezanja i geometrija reznih zuba. Pri brušenju, nasuprot drugim metodama obrade, prema |5|, najveće dejstvo na fizičko-mehaničke osobine obradjene površine pokazuje znatno veća količina toplote.

Povećana tvrdoća površinskih slojeva, koja je osnovni pokazatelj ojačanja, dalje utiče i na povećanje njihove otpornosti prema trošenju. Ne menja ulogu u procesu razaranja površine pri trošenju imaju i zaostali naponi, koji nastaju u ojačanim slojevima.

Hemijsko obradjene površine prema više autora |2| reprezentuju razni površinski slojevi koji predstavljaju npr. film od gasova apsorbovanih iz atmosfere zatim

slojeve oksida, nitrida i čestice metala razugljeničene delovanjem visokih temperatura.

Kako se pokazuje u |5,6| pri brušenju se, usled postizanja visokih temperatura na obradjivanim površinama, dogadjaju i fazne promene. Osim toga na obradjenim površinama se mogu naći ostaci brusnog materijala i mikrostrugotine. Svakoj tehnologiji obrade odgovara drukčiji hemijski sastav površinskih slojeva, a time i različito tribološko ponašanje obradjenih površina.

MATERIJAL I METODIKA

Cilj izvedenih eksperimenata bio je da se istraži proces trošenja obradjenih površina, da se odrede činioci koji utiču na proces trošenja i da se predvidi nivo uticaja tih činilaca.

Kao osnovni probni materijal korišćen je umireni čelik 11600 (oznaka ČSN standarda) u stanju isporuke.

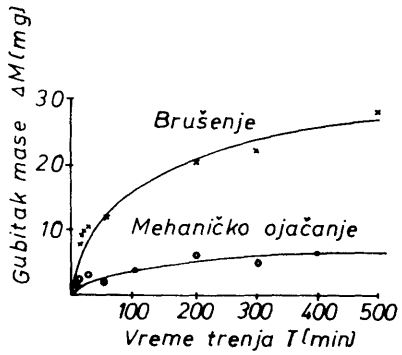
U prvom delu ispitivanja bio je istražen tok trošenja brušenih i mehanički ojačanih površina. Na brušenim površinama bila je postignuta hrapavost površine Ra = 0,562 µm, tvrdoća površine 295 HM i stepen ojačanja ϕ = 25%. Ojačana površina imala je hrapavost Ra = 0,25 µm, tvrdoću površine 305 HM i stepen ojačanja ϕ = 32%.

U drugom delu ispitivanja istraživan je uticaj parametara sfernog brušenja na promenu kvalitativnih pokazatelja površine, a medju njima naročito promenu veličine trošenja.

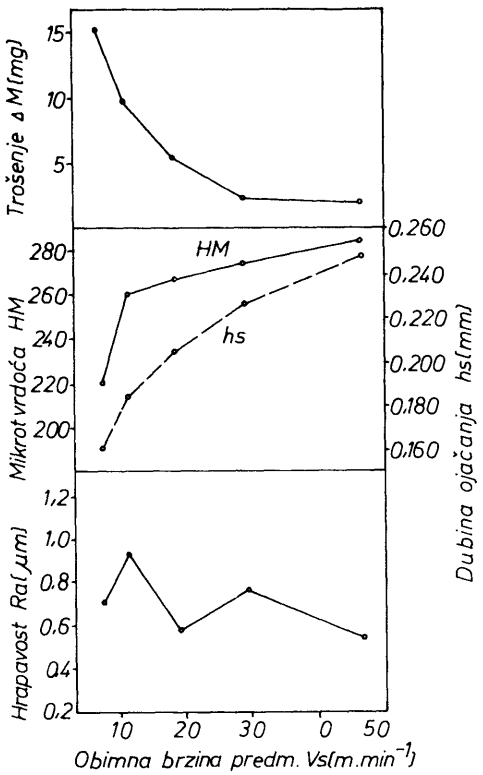
Za merenja hrapavosti površine korišćen je merač profila ME-10 firme Zeiss. Ojačani slojevi odredjivani su merenjem mikrotvrdoće PMT-3, prema ČSN 420375. Probe trošenja su izvedene na uredjaju razvijenom na Katedri pouzdanosti mašina VŠP u Nitri |1|. Trošenje je utvrdjeno na analitičkoj vagi na osnovu gubitka mase.

REZULTATI MERENJA I NJIHOVA OCENA

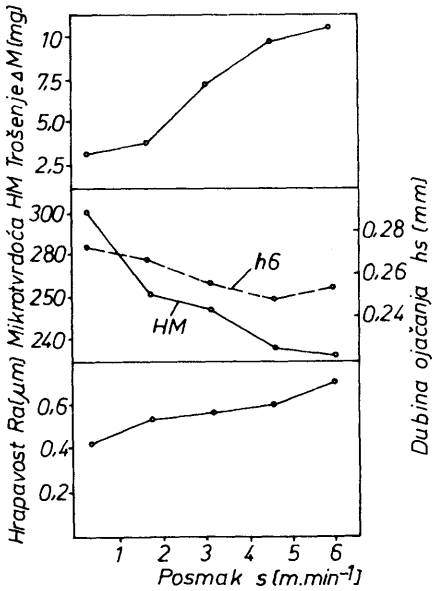
Rezultati eksperimenata su obradjeni i grafički prikazani na priloženim slikama.



Sl. 1. - Krive trošenja brušene i mehanički ojačane površine



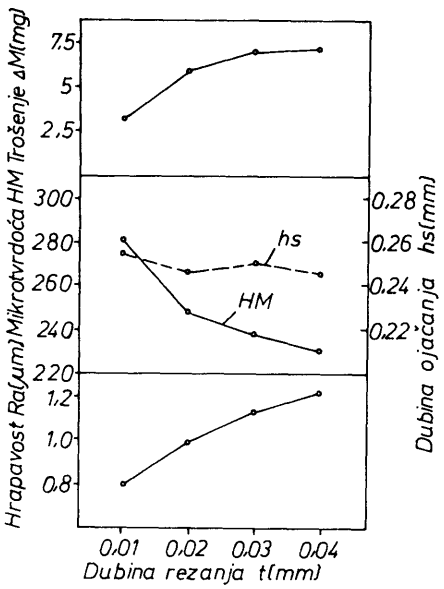
Sl. 2. - Tok hrapavosti, ojačanje i trošenja površine pri promeni obimne brzine brušenog predmeta



Sl. 3. - Tok hrapavosti, ojačanje i trošenje površine pri promeni uzdužnog posmaka

Sa sl. 1. se može dokumentovati izraziti uticaj tehnologije obrade na tribološke osobine površine. Tehnologija mehaničkog ojačanja, svojim kvalitativnim pokazateljima površine pokazuje povoljnije uslove sa gledišta trošenja nego tehnologija brušenja. Kriva trošenja ojačane površine ime ravan karakter, a vrednosti trošenja su u celom njenom toku znatno niža od brušenih površina. To

se ispostavlja preko uticaja hrapavosti i ojačanja površine.



Sl.4. - Tok hrapavosti, ojačanja i trošenja površine pri promeni dubine brušenja

Na sl. 2, 3 i 4 vidi se uticaj parametara brušenja na promenu kvalitativnih pokazatelja, tako da se promenom obimne brzine obrtanja predmeta obrade, promenom podužnog pomaka i dubine reza može objasniti uticaj kako hrapavosti površine, tako i ojačanja. Promena kvalitativnih pokazatelja dalje utiče na trošenje obradjene površine. Sa slika se može konstatovati činjenica, da manjoj hrapavosti površine i većoj tvrdoći odgovara veća otpornost prema trošenju i obrnuto.

ZAKLJUČCI

Iz izvedenih eksperimenata moguće je izvesti zaključke:

- tribološke osobine površina odredjuje pre svega tehnologija obrade,
- za odredjenu tehnologiju karakter trošenja zavisi od parametara obrade, što je izraženo promenom kvalitativnih pokazatelja površine. Stoga se promenom parametara obrade menjaju i veličine i tok trošenja.

Navedene činjenice pri njihovom pravilnom korišćenju u tehnologiji izrade mogu dovesti do znatne uštede sa gledišta manjih gubitaka materijala i produžavanja veka mašinskih elemenata.

LITERATURA

|1| BATORA, B., MARKO, M., SEČKAR, P.: Pristroj na prevádzanie skušok opotrebenia mechanicky spevnených povrchov. Autorské osvedčenie Č.164 537, 1976.

|2| BUDA, J., SOUČEK, J., VASILKO, K.: Teoria obrábania. ALFA Bratislava, SNTL Praha, 1983., 352 a.

|3| KOROUS, F.: Technologie a organizace oprav. strojů . SPN Praha, 1962, 258 s.

|4| OKAMURA, K. a kol.: Analysis of Work Hardened Layer in the Transitional Cutting Process. Bull.Japan Soc. of Prec. Engg. č. 3, 1973., s.78-82.

|5| SKRINIVASA BAIRI, B., RADHAKRISHNAN, V.: Study of the surface Layer of ground high strength steels, Wear 35, 1975, a. 41-52.

|6| FIELD, M.: Surface integrity can affect reliability of your high - atrength parts. Machine and Tool BLUE BOOK, februar 1974., a. 90-97.

25 GODINA STUDIJA MAŠINSTVA U KRAGUJEVCU

UDK 621.824.004.60

E. KAZAZIĆ, F. PAVLOVIĆ

Neki rezultati istraživanja procesa habanja teleskopa kardanskih vratila

1. UVOD

U okviru naučnoistraživačkog projekta "Razvoj produktivnosti i ekonomičnosti u industriji prerade metala", dio: Tribološka ispitivanja kardanskih vratila, na Mašinskom fakultetu u Mostaru obavljena su eksperimentalna istraživanja sa ciljem da se identifikuju i kvantificiraju faktori koji sa tribološkog aspekta utiču na vijek trajanja i pouzdanost kardanskih vratila u eksploataciji.

Uslovi pod kojima su se kardanska vratila ispitivala slični su radnim, a prikaz uredjaja koji je simulirao radne uslove dat je u časopisu "Tribologija u industriji" br. 4/83.

Obzirom na dosadašnja istraživanja došlo se do odredjenih saznanja od kojih će neka ovdje biti navedena.

Pri prenošenju snage kardanskih vratila u njihovim zglobovima i teleskopu neizbježno nastaje trenje koje izaziva habanje tarnih površina i zagrijavanje elemenata kardanskog vratila. Gubici usljed trenja su tim veći što je veća snaga koja se prenosi (broj obrtaja $n|\mathrm{min}^{-1}|$ i torzioni moment M_t |kNcm|), kao i ugao otklona vratila γ $|^{o}|$. Gubici uslijed trenja u poredjenju sa snagom koja se prenosi najčešće nisu veliki kod dobro projektovanih, tačno izradjenih, pravilno sklopljenih i uredno održavanih kardanskih vratila. Veličine tarnih površina su vrlo male uslijed čega specifični pritisci i specifični rad trenja mogu dostići veoma velike vrijednosti. Zato se vrijednosti parametara koji karakterišu rad kardanskog vratila od velikog značaja za ispravno funkcionisanje istog, a od njihovog medjusobnog odnosa zavisi dugotrajnost i pouzdanost kardanskog vratila u eksploataciji.

Ovo je takodje u vezi sa vrstom habanja koje se odvija na tarnim površinama pri čemu je u teleskopu prisutno trenje klizanja, a u ležajevima kardanskih zglobova trenje kotrljanja, te se kao posljedica trenja javlja habanje odredjene vrste. Na dugovijekost tarnih površina (teleskopa i igličastih ležajeva) značajno utiče vrsta habanja koja se javlja u toku eksploatacije.

2. PROGRAM EKSPERIMENTALNIH ISTRAŽIVANJA

Preliminarna istraživanja obavljena u toku realizacije ovog projekta imala su za cilj prikupljanje osnovnih informacija o habanju teleskopa kardanskog vratila tip SK - 125 (proizvodjač je SOUR "Soko" RO Transmisije-Mostar).

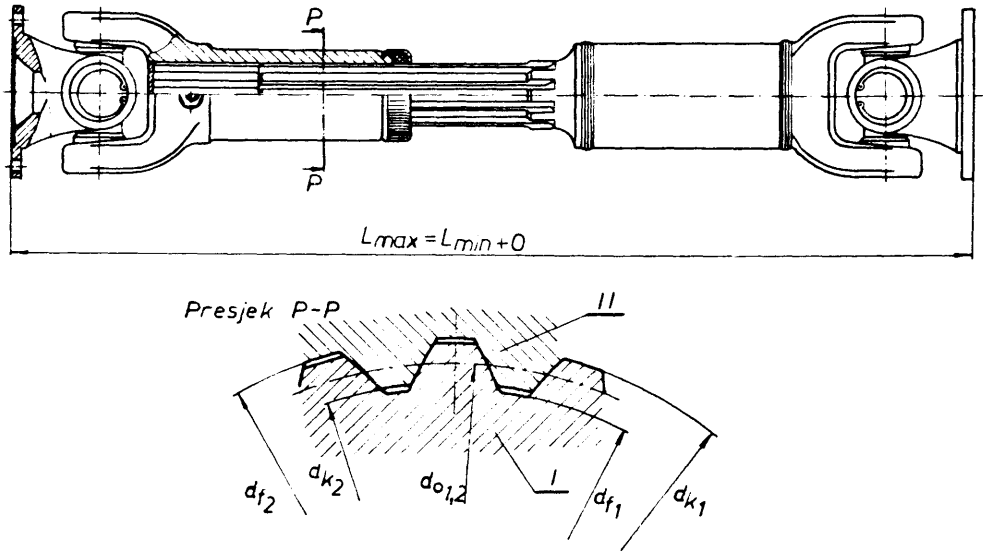
Eksperiment je izveden pri slijedećim uslovima rada kardanskog vratila:

- Moment uvijanja M_{tmin} = 80,4 kNcm, M_{tmax} = 86,4 kNcm.
- Brzina klizanja teleskopa v_{klmin} = 0 mm/s, v_{klmax} = 21,6 mm/s.
- Dužina kontakta reducitrana na 2/3 nominalne kontaktne dužine.
- Ispitivanja su izvršena bez primjene sredsava za podmazivanje.
- Ukupna kontaktna površina $|\mathrm{cm}^2|$ maksimalna/minimalna 92,81/43,31.
- Kontaktna površina jednog spregnutog para zubaca $|\mathrm{cm}^2|$ maksimalna/minimalna 3,094/1,444.
- Površinski pritisak ($\mathrm{kN/cm}^2$) minimalni/maksimalni 2,58/5,53.
- Srednje odstupanje profila Ra (μm) žljebasto vratilo/žljebasta viljuška 3,2/6,3.
- Evolventno ozubljenje DIN 5482.

Prečnici žljebastog vratila (cm)	Prečnici žljebas.viljuške (cm)
tjemeni d_{k1} = 6,43 h11	tjemeni d_{k2} = 6,0 H11
podioni d_{01} = 6,3	podioni d_{02} = 6,3
podnožni d_{f1} = 5,95	podnožni d_{t2} = 6,5 H12

- Podaci o materijalu:

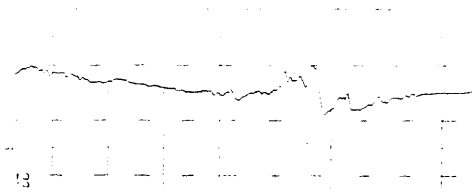
Unutrašnji deo teleskopa (sl. 1-I) uradjen je od čelika Č.4130. Nakon poboljšanja i kalenja tvrdoća kontaktne površine je 57 HRc. Vanjski dio teleskopa (sl. 1-II) uradjen je od čelika Č.4130.



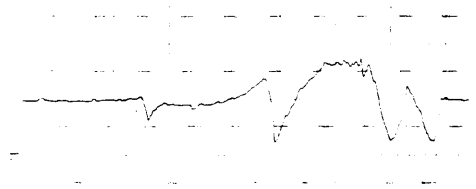
Sl. 1.

U toku eksperimenta, korištenjem metode otisaka u prvoj fazi (od 0 do 100.000 ciklusa) praćene su promjene topografije površine teleskopa, dok je u drugoj fazi eksperimenta (od 100.000 do 150.000 ciklusa) praćen proces razvoja jamica na kontaktnim površinama bokova zubaca unutrašnjeg i vanjskog dijela teleskopa.

Prvu fazu habanja karakteriše vrlo intenzivna izmjena topografije kontaktnih površina (sl. 2-a,b) uz stalno pogoršanje parametara kojima se ocenjuje kvalitet površine (*Ra,Rz,Rm*).

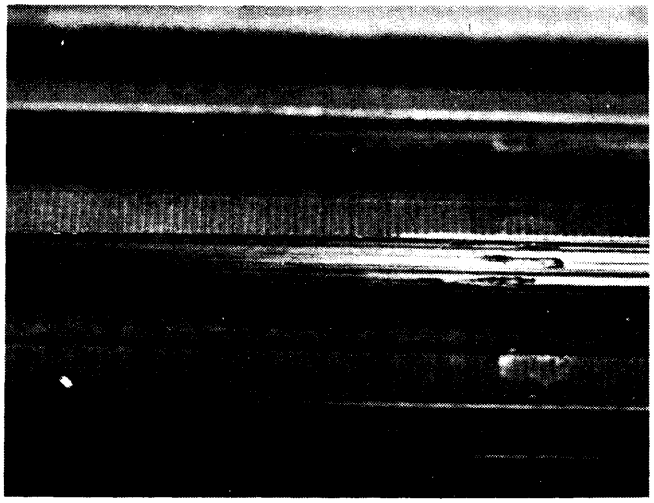


Sl. 2.a. - Efektivni profil površine unutrašnjeg dijela teleskopa pri n = 0 ciklusa



Sl. 2.b. - Efektivni profil površine unutrašnjeg dijela teleskopa pri n = 100.000 ciklusa

Drugu fazu habanja na unutrašnjem dijelu teleskopa karakteriše pojava jamica (sl. 3) koje se intenzivno šire u pravcu klizanja teleskopa. Dubina jamica je približno jednaka debljini otvrdnutog sloja bokova zubaca teleskopa. Habanje vanjskog elementa teleskopa karakteriše intenzivno zadiranje i ljuštenje kontaktnih površina.

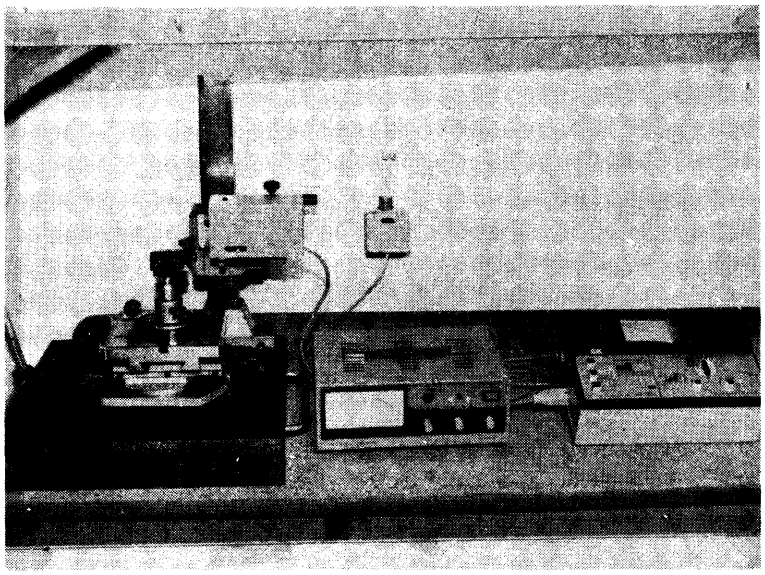


Sl. 3.

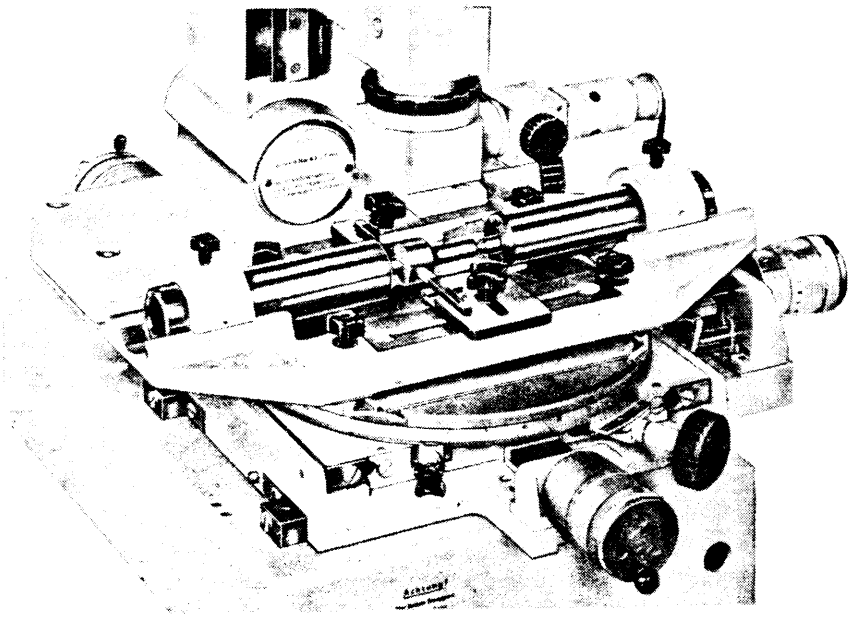
3. MJERNA INSTRUMENTACIJA

Za praćenje i analizu razvoja procesa habanja na teleskopu kardanskog vratila korištena je metoda profilografisanja, te metoda odredjivanja veličine linijskog habanja na osnovu promjene širine zupca na podionom krugu profila.

DA LI RAZMIŠLJATE O POVEĆANJU PRODUKTIVNOSTI KROZ TRIBOLOGIJU?



Sl. 4. - Oprema za mjerenje parametara habanja-profilometar



Sl. 5. - Mikroskop za odredjivanje veličine linijskog habanja

4. ISPITIVANJA TELESKOPA IZRADJENIH OD RAZLIČITIH MATERIJALA

Analizirajući materijale koji se mogu koristiti za izradu teleskopa, uzimajući u obzir uslove rada teleskopa (visoko opterećenje, dinamički karakter opterećenja, visoki specifični površinski pritisci, promjenjive brzine klizanja, uticaj atmosferilija, prisustvo abraziva, povišene temperature), te uzimajući u obzir režime obrade materijala u toku procesa izrade (struganje, odvalno glodanje, brušenje, zavarivanje, termička ili termo - hemijska obrada), došlo se do grupe čelika koji bi mogli biti adekvatna zamjena za standardni materijal od kojeg je izradjeno teleskopsko vratilo (Č.4130).

Analizirajući stanje na tržištu, mogućnosti nabavke potrebnih količina i u odgovarajućim rokovima izabran je kao supstituirajući za standardno - primjenjivan materijal, čelik Č.1531, za kojeg su podaci o hemijskom sastavu, mehaničkim osobinama, obradi u toplom stanju i termičkoj obradi, dati u standardu JUS C.B9.021.

Uporedni podaci o ispitivanim materijalima

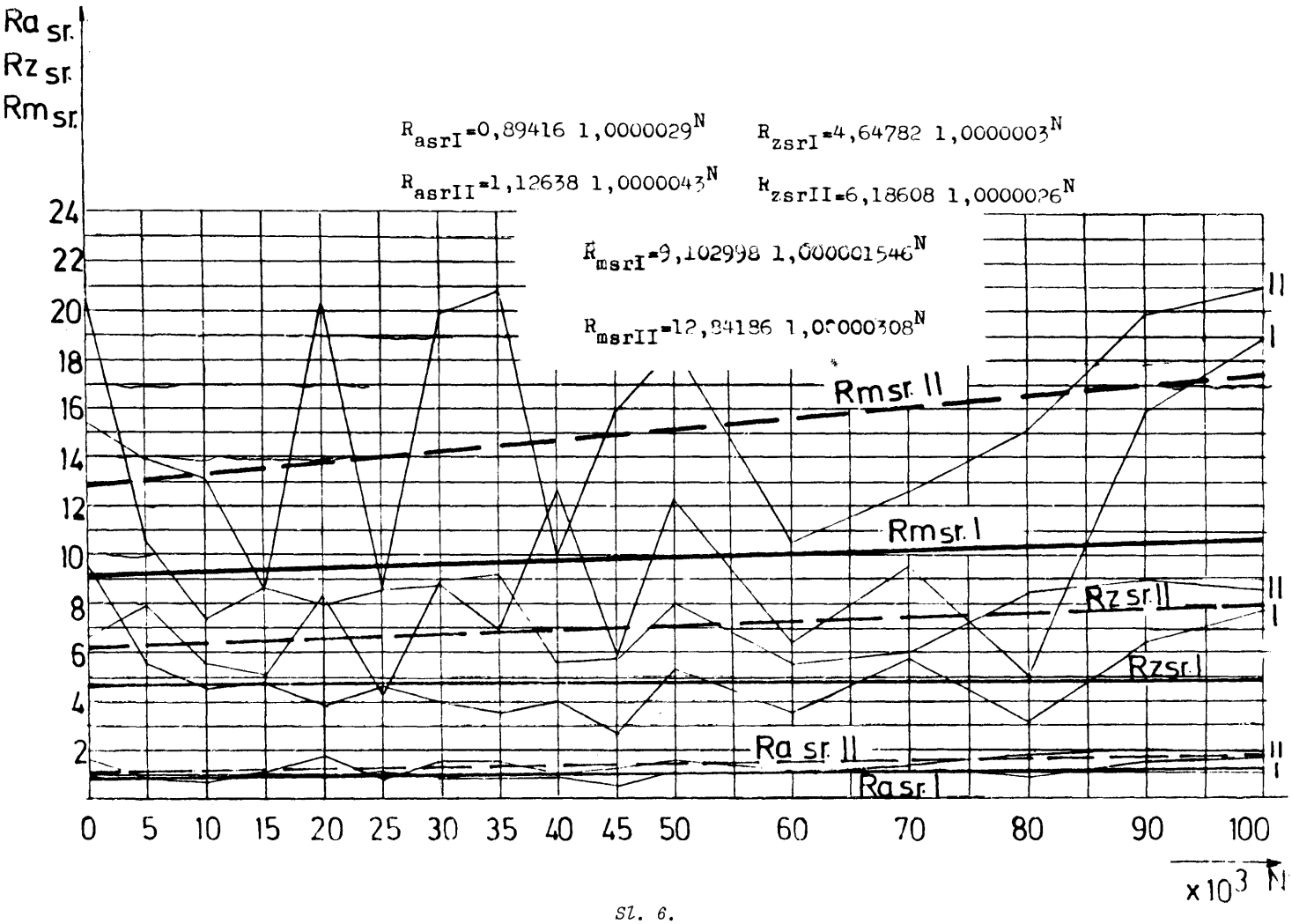
	Č.4130	Č.1531
Poboljšan na (daN/mm^2)	77	77
Indukciono kaljen *HRc*	57	57
Dubina otvrdnutog sloja δ (mm)	2,5	2,5
Brzina rezanja v (m/min)	25	25
Posmak s (mm/obrt.)	1,32	1,32
Kvalitet površine Ra (μm)	3,2	3,2

Obzirom da je preliminarnim istraživanjima utvrdjeno da ne postoji bitna razlika u razvoju procesa habanja na različitim prečnicima teleskopa praćeno je habanje samo na jednom (podionom) prečniku i svi dobijeni rezultati odnose se na taj prečnik.

Eksperiment koji je ukupno imao 250.000 ciklusa podjeljen je u dvije faze, prema primjenjenim metodama mjerenja.

U prvoj fazi (0-100.000 ciklusa) praćena je promjena mikrogeometrije površine na četiri unakrsna proizvoljno izabrana zupca, pri čemu su podaci dati u dijagramu na sl. 6. srednje vrijednosti parametara (Ra_{sr}, Rz_{sr} i Rm_{sr}). Na dijagramu su tankim (izlomljenim) linijama obilježene srednje izmjerene vrijednosti parametara, a debljim linijama (puna i crtana) prikazani su matematski modelirani zakoni promjene parametara, pri čemu se linije sa indeksom I odnose na supstituirajući materijal (Č.1531), a linije sa indeksom II odnose se na standardno primjenjivan materijal (Č.4130).

U drugoj fazi eksperimenta (od 100.000 do 250.000 ciklusa) kardanska vratila su bila izložena dalje cikliranju pod opterećenjem, a nakon provedenog eksperimenta obavljena su mjerenja linijskog habanja na mik-



Sl. 6.

roskopu sa digitalnim dodatkom i tačnošću očitavanja ± 0,5 μm. Nakon obavljenih mjerenja utvrdjeno je da je ukupna vrijednost linijskog habanja svih 28 zubaca kod teleskopskog vratila izradjenog od čelika Č.4130:

$bo = 4,8440$ *mm.*

Ukupna vrijednost linijskog habanja svih 28 zubaca kod teleskopskog vratila izradjenog od čelika Č.1531 je:

$b1 = 4,6200$ *mm.*

Razlika prethodnih veličina, kao komparativna mjera habanja, iznosi:

$b = bo - b1 = 4,8440 - 4,6200 = 0,2240$ *mm*

Prosječna vrijednost linijskog habanja jednog zupca kod teleskopskog vratila izradjenog od čelika Č.4130 iznosi:

$bo' = 173$ μm/*zupcu.*

Prosječna vrijednost linijskog habanja jednog zupca kod teleskopskog vratila izradjenog od čelika Č.1531 je:

$b1' = 165$ μm/*zupcu.*

Razlika prosječnih vrijednosti linijskog habanja iznosi:

$b' = bo' - b1' = 173 - 165 = 8$ μm/*zupcu.*

Ovi podaci ukazuju na činjenicu da se teleskopsko vratilo izradjeno od supstituirajućeg materijala (Č.1531) pohabalo za približno 5% manje od teleskopskog vratila izradjenog od standardno primjenjivanog materijala (Č.4130), pri identičnim ostalim uslovima.

ZAKLJUČCI

Zahvaljujući nekim rezultatima eksperimentalnih istraživanja koji su dobijeni realizacijom ovog naučno - istraživačkog projekta može se tvrditi slijedeće:

- Identifikaciju tribo-mehaničkih sistema sadržanih u kardanskim vratilima došlo se do saznanja da isti bitno utiču na pouzdanost kardanskih vratila u toku eksploatacije.
- Razmatrajući moguće konstrukcije uredjaja za ispitivanje kardanskih vratila utvrdjeno je da uredjaj sa centralnim plivajućim elementom (i zatvorenim opterećenjem) obezbedjuje optimalne uslove

provodjenja eksperimenta.

- U toku preliminarnih ispitivanja utvrdjeno je da su izabrane metode mjerenja dovoljno osjetljive za praćenje razvoja procesa habanja.
- Zahvaljujući tribološkim istraživanjima na telesskopima izradjenih od različitih materijala, sa ciljem kvantificiranja uticaja materijala na razvoj triboloških procesa na kontaktnim površinama, došlo se do saznanja da se tribološki procesi odvijaju sporije kod supstituirajućeg materijala (Č.1531) u odnosu na standardno primjenjivan materijal (Č.4130).
- Rezultati eksperimenta ukazuju na to da na razvijanje procesa habanja preovladjujući uticaj imaju polazno stanje površine (hrapavost) i tvrdoća materijala, dok vrsta upotrebljenog materijala ima manji značaj.

LITERATURA

|1| HOLZAPFEL, E.: Gelenkwellen mit verminderten gewicht, Antriebs - technik, 1979, 18, No 7-8.

|2| HOLZAPFEL, E.: Über dichtungen an kreuzgelenklagern von Gelenkwellen, Konstruktion, 1973, 25., No 5.

|3| IVKOVIĆ, B.: Tribologija rezanja, Beograd, 1979.

|4| Katalozi: Soko, ELBA, GWB.

PRODUKTIVNOST KROZ TRIBOLOGIJU

Internacionalni naučno-istraživački projekt, koji se realizuje u saradnji Mašinskog fakulteta - Kragujevac, Western Illinois University i Oregon state University sadrži sledeće osnovne teme:

- Produktivnost direktnog i indirektnog rada u industriji prerade metala,
- Struktura pokazatelja produktivnosti indirektnog rada,
- Tribološki sistemi u sredstvima rada, ponašanje u funkciji ciljeva rada,
- Otpornost na habanje kontaktnih površina u funkciji tehnologije obrade, i
- Tribometri za modelska ispitivanja triboloških procesa u osnovnim tribomehaničkim sistemima.

Istraživanja su otvorena za sve naučno-istraživačke i stručne radnike, zaposlene na univerzitetima, naučnim institutima i privrednim organizacijama.

Za bliže informacije obratiti se na adresu:

MAŠINSKI FAKULTET - KRAGUJEVAC
Laboratorija za obradu metala i tribologiju
34000 K r a g u j e v a c
ul. S. Janjića br. 6
Telefon: 67-500
ili sekretarijatu časopisa
TRIBOLOGIJA U INDUSTRIJI