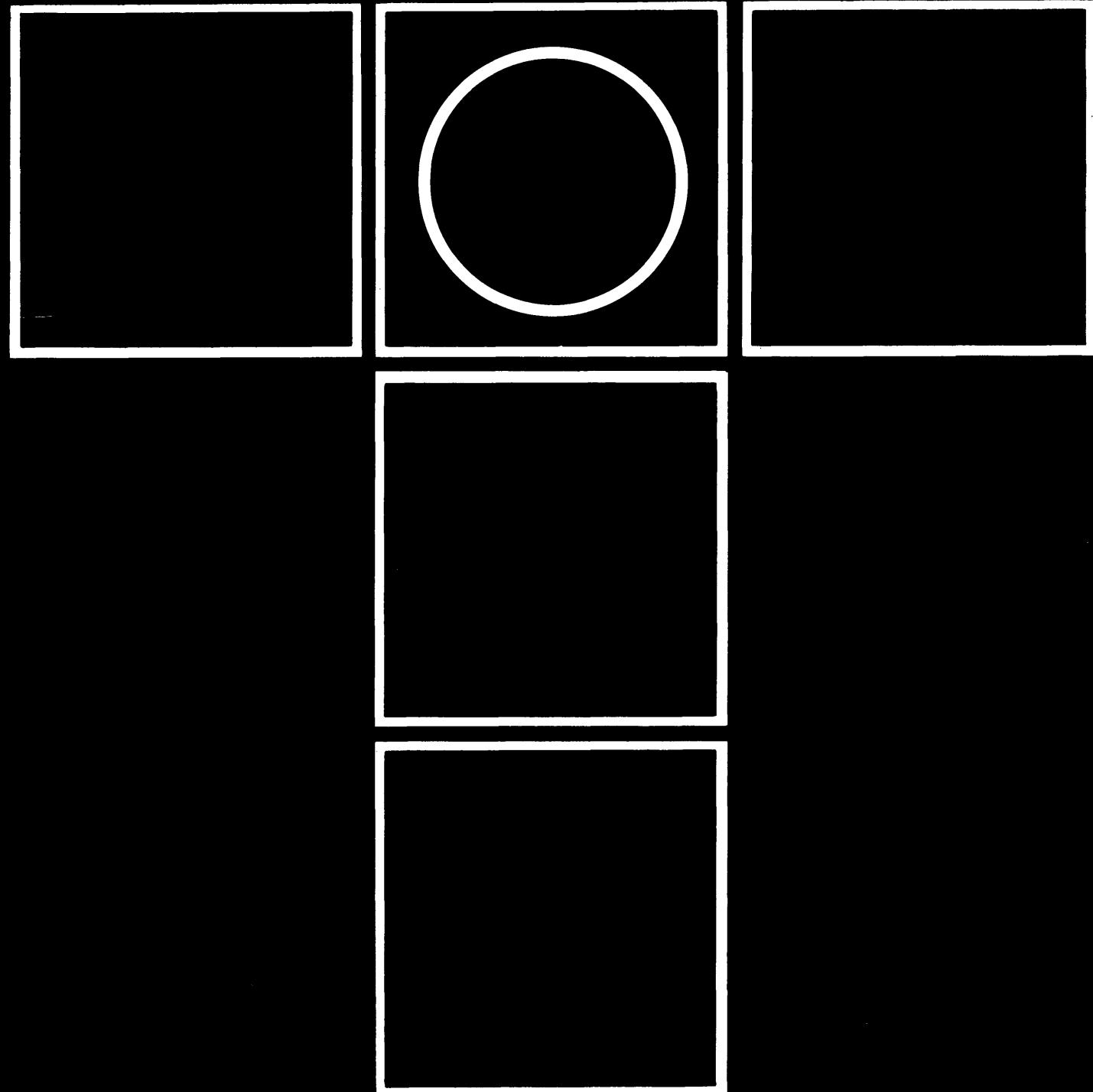


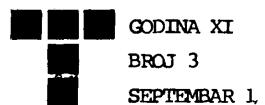
tribologija u industriji

YU ISSN 03551-1642
GODINA XI
SEPTEMBAR 1989.

3



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



tribologija u industriji

sadržaj contents содержание

UVODNIK INTRODUCTION ПЕРЕДОВИЦА	Prva jugoslovenska konferencija o tribologiji YUTRIB'89 - The first yugoslav tribology conference YUTRIB'89 - Первая югославская конференция по трибологии YUTRIB'89	67
ISTRAŽIVANJA RESEARCH ИССЛЕДОВАНИЯ	P. DAŠIĆ, Lj. PAPIĆ: Analiza pouzdanosti reznog alata - Reliability analysis of cutting tools - Анализ надежности режущего инструмента	69
	J. INDOF: Primjena polimernih materijala za izradu elemenata tribomehaničkih sistema - Application of polymeric materials in making tribological components - Применение полимерных материалов в изготовлении деталей трибомеханических систем	73
	B. TANKOŠIĆ: Ocjena istrošenosti alata na bazi sile rezanja - Tool wear estimation on the basis of the cutting force - Оценка износа инструмента на основе силы резания	77
	D. NIKOLIĆ: Aktivne sile trenja u procesu oblikovanja plastičnim deformisanjem - Active friction forces in the plastic deformation process - Активные силы трения в процессе формовки пластичным деформированием	82
NOVOSTI NEWS ИЗВЕСТИЯ	B. IVKOVIĆ: Novi dometi u tribološkim istraživanjima	87
KNJIGE I ČASOPISI BOOKS AND JOURNALS КНИГИ И ЖУРНАЛЫ	89	
NAUČNI SKUPOVIT SCIENTIFIC MEETINGS НАУЧНЫЕ СОБРАНИЯ	92	
REZIMEA ABSTRACTS РЕЗЮМЕ	95	

B. IVKOVIĆ

Prva jugoslovenska konferencija o tribologiji YUTRIB 89

Prva jugoslovenska konferencija o tribologiji organizovana je od strane Jugoslovenskog komiteta za tribologiju i Mašinskog fakulteta održana je od 20. do 22. septembra 1989. godine u Kragujevcu. Plenarna sednica na kojoj je saopšteno šest referata uvodnog karaktera održana je u plavoj sali Hotela "Šumarice" a rad po sekcijama obavljen je u novim laboratorijama Mašinskog fakulteta u Kragujevcu.

Konferenciju je otvorio predsednik Jugoslovenskog komiteta za tribologiju Prof. Dr ing. Branko Ivković a učesnike su pozdravili u ime predsedništva SFRJ Prof. Dr. D. Zelenović, a u ime grada domaćina predsednik Skupštine Opštine Kragujevac P. Galović, u ime Zavoda "Crvena zastava" predsednik Poslovodnog odbora Dr R. Micić i u ime Univerziteta "Svetozar Marković" Prof. Dr Ž. Stevanović.

U radu Konferencije učestvovalo je 204 učesnika i to iz SR Srbije 148, SR Hrvatske 27, SR Slovenije 11, SR Makedonije 2, SR Bosne i Hercegovine 11, SR Crne Gore 1.

Kroz četiri sekcije prezentirano je u toku dvodnevnom rada ukupno 79 referata koji su bili, manje više, ravnomerno rasporedjeni po sekcijama.

U prvoj sekciji (Sekcija A) razmatrana je opšta problematika trenja i habanja u tribomehaničkim sistemima zajedno sa savremenim prilazima razvoju tribometrijskih metoda. Ukupan broj referata na ovoj sekciji iznosio je 22.

U drugoj sekciji (Sekcija B) saopšteno je ukupno 14 referata u kojima je razmatran tribološki aspekt primene materijala za elemente tribomehaničkih sistema. U okviru ove sekcije razmatrana je i problematika savremenih postupaka modifikacija kontaktnih površina (prevlake i sl.).

Saopštenja u trećoj sekciji (Sekcija C) odnosila su se na tribomehaničke sisteme u kojima se realizuju procesi obrade u industriji prerade metala. U prvom delu ove sekcije saopšteni su radovi u kojima je razmatrana tribološka problematika obrade deformisanjem. Drugi deo ove sekcije posvećen je bio tribologiji rezanja i to sa svih aspekata. Poseban interes u ovoj sekciji privukli su referati sa rezultatima istraživanja triboloških karakteristika alata prevučenih sa TiN prevlakama. Ukupan broj referata saopšten na ovoj sekciji iznosio je 27.

Četvrta sekcija (Sekcija D) odnosila se jednim delom na primenu maziva kao trećeg elementa tribomehaničkih sistema *Tribologija u industriji*, god. XI, br. 3, 1989.

a u drugom delu saopšteni su referati iz oblasti dijagnostike tehničkih sistema. Broj referata na ovoj sekciji iznosio je 16.

Poslednjeg dana Konferencije organizovan je "Okrugli sto" sa temom RAZVOJ JUGOSLOVENSKOG TRIBOLOŠKOG INFORMACIONOG SISTEMA. Uvodno saopštenje dao je Dr Slavko Arsovski. Diskusija je bila veoma obimna i zabeleženo je dosta ideja o tome na koji način i u kojim pravcima treba organizovati razvoj jugoslovenskog tribološkog informacionog sistema u narednom periodu.

Za jedan broj učesnika organizovana je bila i poseta Zavodima "Crvena zastava" odnosno Fabrici automobila.

Struktura saopštenih referata kao i rezultati istraživanja koji su kroz njih prezentirani stručnoj javnosti na ovoj Konferenciji ukazuju na postojanje već znatnog broja istraživača u različitim oblastima tribologije i u našoj zemlji i na postojanje većeg broja centara odnosno institucija u kojima se razvijaju tribološka istraživanja različitih vrsta.

Postojanje, očigledno, značajnog kadrovskog potencijala u oblasti tribologije kao nauke i tehnologije o procesima trenja i habanja u industrijskim i transportnim sistemima, u našoj zemlji, kao i kroz radove iskazane mogućnosti većeg broja institucija za sprovodenje eksperimentalnih istraživanja (postojanje tribometara i sl.) obavezuju na organizovanje intenzivne razmene informacija, razmatranje mogućnosti za formiranje istraživačkih projekata u čijoj bi realizaciji učestvovalo više institucija i posebno na stvaranje čvrstih i obimnih veza sa industrijskim razvijenim svetom.

Medjusobnom razmenom informacija o aktuelnim programima istraživanja u domaćim institucijama koje se bave i tribologijom danas se praktično vrši kroz objavljanje radova i informacija u časopisima "TRIBOLOGIJA U INDUSTRIJI" i "GORIVA I MAZIVA", saopštavanju radova na konferencijama koje organizuje JUGOM-a svake dve godine (Konferencija o problematici podmazivanja u industrijskim i drugim sistemima) i na konferencijama različitih vrsta na kojima se pojavljuju i sekcije za tribologiju (Jugoslovensko društvo za mašinske elemente, Zajednica za proizvodno mašinstvo Jugoslavije i sl.). Ove godine

održana je i ova prva Jugoslovenska konferencija o tribologiji sa namerom da se svake dve godine i na njoj saopštavaju rezultati istraživanja iz svih oblasti tribologije.

Kada se govori o razmeni informacija o sopstvenim rezultatima istraživanja između naših institucija ne treba zanemariti ni postojanje ličnih kontakata koji su posledica izuzetno dobrih kolegijalnih odnosa između naučno istraživačkih radnika u ovoj oblasti.

Ono što danas, očigledno, nedostaje to su tzv. "vladini programi" iz oblasti tribologije koji u industrijskim razvijenim zemljama posebno u SAD i Zapadnoj Nemačkoj ima veoma veliki broj. Istraživački programi iz oblasti tribologije finansiraju se, uglavnom, iz sredstava privredne i regionalnih odnosno republičkih i pokrajinskih fondova u manjoj meri u našoj zemlji. Programa istraživanja u čijem bi finansiranju učestvovala i institucija na nivou Jugoslavije praktično nema.

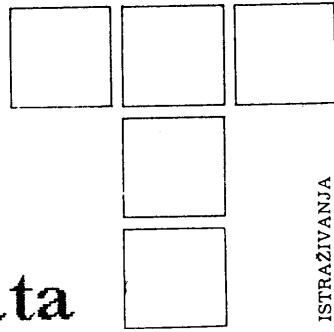
Program istraživanja iz oblasti tribologije koji bi mogli biti organizovani na nivou Jugoslavije odnosili bi se na stvaranje uslova za smanjenje utroška energije

u industrijskim i transportnim sistemima i na smanjenje trošenja sredstava rada i transportnih sredstava u privredi i transportu.

Druga akcija iz oblasti tribologije koja bi mogla biti organizovana na nivou cele zemlje odnosi se i na formiranje jugoslovenskog tribološkog informacionog sistema preko koga bi se poboljšao znatno kvalitet međusobnog informisanja i preko koga bi bila obezbedjena veza sa razvijenim svetom u ovoj oblasti.

Tribološki informativni sistem nije moguće razviti bez korišćenja računara tako da je njegova kompjuterizacija neophodna a u ovom trenutku i moguća s obzirom na raspoložive kapacitete u računarskoj tehnici u većini domaćih institucija koje se bave tribologijom.

Jugoslovenski komitet za tribologiju upravo u ova dva pravca ima nameru da deluje u narednom periodu kako bi doprineo da se tribološka istraživanja još više razmehnu i omoguće industrijskim i transportnim sistemima realizaciju proizvodnih i drugih programa sa visokom produktivnošću.



P. DAŠIĆ, LJ. PAPIĆ

ISTRAGIVANJA

Analiza pouzdanosti reznog alata

Sve funkcionalne celine tehnološkog ili obradnog sistema nemaju podjednak uticaj na njegovu pouzdanost. Celinama čiji otkazi prouzrokuju zastoje u radu čitavog sistema posvećuje se posebna pažnja u smislu optimizacije njihovog veka upotrebe. Polazeći od značaja reznog alata, kao komponente tehnološkog ili obradnog sistema ukazuje se potreba za određivanje njihove pouzdanosti u fazi realne eksploracije. Pri tome treba napomenuti, da rezni alat zajedno sa mašinom alatkom i pomoćnim priborom predstavlja pod sistem u okviru pouzdanosti obradnog sistema, koji su povezani serijски (redno), tj. u nizu (sl. 1) /1, 2/. Međutim, sama mašina alatka predstavlja složen sistem pa se njena pouzdanost sastoji od pouzdanosti pojedinih komponenti i elemenata.



Sl. 1. - Rezni alat kao pod sistem u okviru pouzdanosti obradnog sistema

Analiza pouzdanosti reznog alata obuhvata: izračunavanje eksperimentalnih pokazatelja pouzdanosti, identifikaciju teorijskog zakona raspodele i izračunavanje teorijskih pokazatelja pouzdanosti. Pri tome, osnovni pokazatelji pouzdanosti su /3,5,7,8,9,10/:

- funkcija pouzdanosti ili verovatnoća ispravnog funkcionisanja sistema $R(t)$,
- funkcija nepouzdanosti ili verovatnoća pojave otkaza $F(t)$,
- funkcija učestanosti (gustine) otkaza ili učestanost pojave otkaza $f(t)$ i
- funkcija intenziteta (brzine) otkaza ili brzina pojave otkaza $\lambda(t)$.

POSTUPAK ODREĐIVANJA POUZDANOSTI REZNOG ALATA

Primenom statističkih metoda, a na osnovu praćenja otkaza reznog alata u fazi realne eksploracije, moguće je po određenoj proceduri utvrditi teorijski model pouzdanosti

reznog alata kao pod sistema (komponente) obradnog sistema. Pri tome se mogu sresti uzorci bez grupisanja (tzv. mali uzorak kod kojeg je broj posmatranih elemenata $n \leq 20$) i uzorci sa grupisanjem (tzv. veliki uzorak kod kojeg je broj posmatranih elemenata $n > 20$).

U ovom radu pouzdanost reznog alata biće određena na osnovu izbora teorijskog zakona raspodele kojim se najbolje aproksimiraju eksperimentalni podaci, a po kriterijumima koji su detaljno opisani u radovima /7,8/. Pri izboru najbolje raspodele vrši se analiza onih zakona raspodele koji se najčešće primenjuju u oblasti pouzdanosti tehničkih sistema, a to su: eksponencijalni, normalni, log-normalni, Weibullov ili Reyleighjev zakon raspodele ili zakon raspodele ekstremnih (minimalnih ili maksimalnih) vrednosti tipa I. Pri tome, glavne karakteristike za izbor teorijskog zakona raspodele, koji najbolje aproksimira eksperimentalne podatke, su /7,8/:

- srednje vreme bezotkaznog rada \bar{t} ,
- medijana M_e ,
- standardna devijacija uzorka σ ,
- ponašanje funkcije intenziteta otkaza $\lambda(t)$ i
- parametar oblika Weibullove raspodele β .

PRIMER ANALIZE POUZDANOSTI REZNOG ALATA

U cilju određivanja pouzdanosti reznog alata kao komponente obradnog sistema posmatrana je operacija struganja (zahvat spoljašnjeg poprečnog struganja) zupčanika na univerzalnom strugu D-480. Materijal obratka bio je Č.4721 kaljen na tvrdoču 58-60 HRC. Rezni alat za obradu struganjem bila je izmenljiva pločica od mešane keramike (držać pločice CCINR2525 M16 i izmenljiva pločica CNGN160812 T02020 SH1 firme SPK-Feldmuhle sa poluprečnikom zaobljenja vrha alata $r = 1,2 \text{ mm}$). Elementi režima rezanja bili su: dubina rezanja $a = 0,5 \text{ mm}$, broj prolaza $i = 1$, broj obrtaja $n = 280 \text{ } 10/\text{min}$, odn. brzina rezanja $v = 95,002-68,612 \text{ m/min}$ i korak $s = 0,16 \text{ mm/o}$, pri čemu je glavno mašinsko vreme $t_g = 0,66964 \text{ min}$. Obrada je realizovana bez sredstva za hladjenje i podmazivanje. U toku obrade praćeni su otkazi reznog alata, pri čemu je kriterijum zatupljenja bio tehnološki,

vezan za pogoršanje kvaliteta obradjene površine (zahtevana hraptovost obradjene površine bila je $R = 0,8 \text{ } [\mu\text{m}]$). Otkazi reznog alata registrovani su i kao posledica otežanih uslova obrade ili pri promeni oblika strugotine. Eksperiment je realizovan u proizvodnim pogonima Industrije "14. oktobar" u Kruševcu, kod veličine uzorka $n = 27$. Otkazi reznog alata t u $[\text{min}]$ i broj obradjenih komada do otkaza, odn. broj obradjenih komada posle kojih je izvršena zamena reznog alata N u $[\text{kom/seč}]$ prikazani su u tabeli T.1.

T.1.

Redni broj	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
t [min]	15.4018	13.3929	14.0625	16.7411	16.7411	18.0803	15.4018	18.7500	17.4107	18.0803
N [kom/seč]	23	20	21	25	25	27	23	28	26	27
Redni broj	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
t [min]	14.7321	14.7321	12.7232	14.0625	14.7321	16.0714	16.0714	16.7411	15.4018	13.3929
N [kom/seč]	22	22	19	21	22	24	24	25	23	20
Redni broj	21	22	23	24	25	26	27			
t [min]	12.0536	16.0714	19.4196	15.4018	17.4107	14.0625	14.7321			
N [kom/seč]	18	24	29	23	26	21	22			

T.2.

i:	Grupni intervali	t_{mi}	Δt	$f_i(t)$	$N_i(t)$	$F_i(t)$	$n_i(t)$	$R_i(t)$	$\lambda_i(t)$
1:	12.0000 - 13.2500	12.6250	1.25	2	0.0741	2	0.0741	25	0.9259
2:	13.2500 - 14.5000	13.8750	1.25	5	0.1852	7	0.2593	20	0.7407
3:	14.5000 - 15.7500	15.1250	1.25	8	0.2963	15	0.5556	12	0.4444
4:	15.7500 - 17.0000	16.3750	1.25	6	0.2222	21	0.7778	6	0.2222
5:	17.0000 - 18.2500	17.6250	1.25	4	0.1481	25	0.9259	2	0.0741
6:	18.2500 - 19.5000	18.8750	1.25	2	0.0741	27	1.0000	0	0.0000

Na osnovu izvršene računarske obrade podataka i za utvrđene ekstremne vrednosti otkaza reznog alata formiran je interval statističkog skupa $12 \leq t_i \leq 19,5$, koji se, na osnovu ukupnog broja podataka ($n = 27$), deli na $k = 6$ grupnih intervala jednakih širina $\Delta t = 1,25$. Broj grupnih intervala ($k = 6$) izračunat je prema Sturgesovom izrazu, i usvaja se kao ceo broj. Za formiran interval statističkog skupa ($12 \leq t_i \leq 19,5$) i usvojene vrednosti ($k = 6$ i $\Delta t = 1,25$) mogu se, izračunati osnovni eksperimentalni pokazatelji pouzdanosti, čije su vrednosti prikazane u tabeli T.2.

Glavne karakteristike na osnovu kojih se bira najbolji teorijski zakon raspodele, su: $\bar{t} = 15,6343$; $M_e = 14,8906$; $\sigma = 1,6756$ i funkcija $\lambda(t)$ raste.

Pošto je $\bar{t} = 15,6343 \approx M_e = 14,8906$ izračunati su pokazatelji normalnog modela pouzdanosti.

Na osnovu metode najmanjih kvadrata određena je teorijska prava u listu verovatnoće normalnog zakona raspodele:

$$y = -8,6741 + 0,5768 \cdot x \quad (1)$$

sa koeficijentom korelacije $r = 0,9987$. Ista je uporedno sa nanetim eksperimentalnim tačkama u listu verovatnoće normalnog zakona raspodele, prikazana na sl. 2. Na osnovu jednačine (1) mogu se odrediti parametri teorijske raspodele ($\bar{t} = 15,0383$ i $\sigma = 1,7337$).

Provera saglasnosti eksperimentalnih podataka sa teorijskim normalnim modelom pouzdanosti realizovana je pomoću neparametarskih testova za nivo značajnosti $\alpha=5\%$ (tabela T.3). Iz tabele T.3. može se uočiti da se hipoteza o saglasnosti eksperimentalnih podataka i teorijskog normalnog modela pouzdanosti prihvata na osnovu sva pet neparametarskih testova. Pri tome treba napomenuti, da se kod testa Pearsona vodilo računa o objedinjavanju dva ili više susedna intervala sa $\Delta n_e < 5$ u jedan, kako bi bio ispunjen uslov $\Delta n_e \geq 5$.

Na osnovu parametara teorijske raspodele (t i σ) mogu se lako formirati funkcije osnovnih teorijskih pokazatelja pouzdanosti, i to u obliku:

- funkcije pouzdanosti:

$$R(t) = 0,5 + \phi\left(\frac{t - \bar{t}}{\sigma}\right) = 0,5 + \phi\left(\frac{t - 15,0383}{1,7337}\right)$$

- funkcije nepouzdanosti:

$$F(t) = 0,5 - \phi\left(\frac{t - \bar{t}}{\sigma}\right) = 0,5 - \phi\left(\frac{t - 15,0383}{1,7337}\right)$$

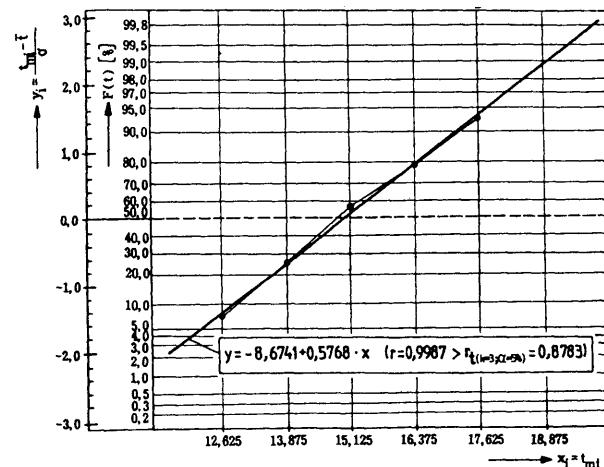
- funkcije gustine otkaza:

$$f(t) = 0,2876$$

$$\exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{t - \bar{t}}{\sigma}\right)^2\right) = \exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{t - 15,0383}{1,7337}\right)^2\right)$$

- funkcije intenziteta otkaza:

$$\lambda(t) = \frac{0,2876 \cdot \exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{t - \bar{t}}{\sigma}\right)^2\right)}{0,5 - \phi\left(\frac{t - \bar{t}}{\sigma}\right)} = \frac{0,2876 \cdot \exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{t - 15,0383}{1,7337}\right)^2\right)}{0,5 - \phi\left(\frac{t - 15,0383}{1,7337}\right)}$$



Sl. 2. - Teorijska prava u listu verovatnoće normalnog zakona raspodele

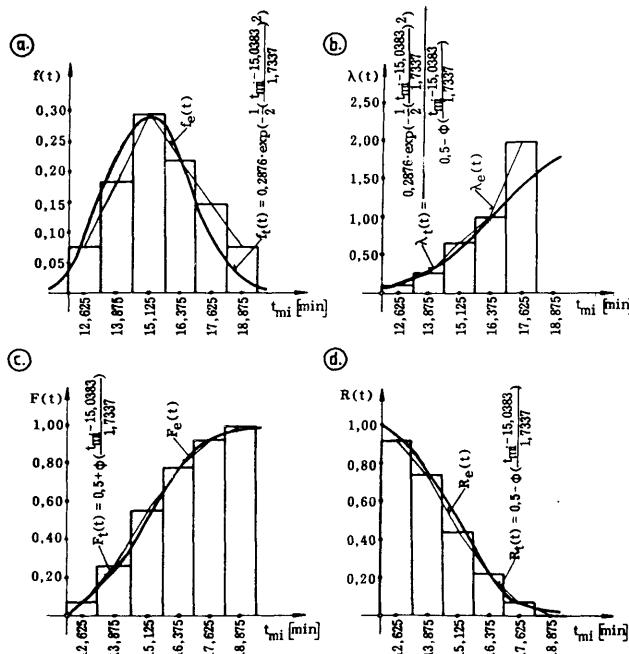
Pri tome su, vrednosti teorijskih pokazatelja pouzdanosti prikazane u tabeli T.4. Dok je grafički prikaz teorijskih pokazatelja pouzdanosti, uporedno sa eksperimentalnim, prikazan na sl. 3 (funkcija gustine otkaza $f(t)$ na sl. 3-a, funkcija intenziteta otkaza $\lambda(t)$ na sl. 3-b, funkcija nepouzdanosti $F(t)$ na sl. 3-c i funkcija pouzdanosti $R(t)$ na sl. 3-d).

T.3.

Naziv testa	k	Racun. vred	Krit. vred	Ocena
Test Pearsona	1	2.91469	3.8410	Hipoteza se prihvata
Test Romanovskog	-	1.35389	3.0000	Hipoteza se prihvata
Test Kolmogorova	-	0.18527	1.3580	Hipoteza se prihvata
Test Kolmog.-Smir.	27	0.03566	0.2544	Hipoteza se prihvata
Test Misesa	-	0.10090	0.4614	Hipoteza se prihvata

T.4.

i	t _{mi}	X _{e1}	Y _{e1}	dein	f _{t(t)}	N _{t(t)}	F _{t(t)}	n _{t(t)}	R _{t(t)}	I _{am(t)}
1	12.6250	0.1263E+2	-1.450E+1	2.95	0.109	2.22	0.082	24.78	0.918	0.119
2	13.8750	0.1388E+2	-6500E+0	6.20	0.230	6.79	0.252	20.21	0.748	0.307
3	15.1250	0.1513E+2	0.1400E+0	7.76	0.287	14.04	0.520	12.96	0.480	0.598
4	16.3750	0.1638E+2	0.7600E+0	5.77	0.214	21.04	0.779	5.96	0.221	0.969
5	17.6250	0.1763E+2	0.1450E+1	2.55	0.095	25.16	0.932	1.84	0.068	1.388
6	18.8750	-	-	0.67	0.025	26.62	0.986	0.38	0.014	1.788



Sl. 3. - Eksperimentalni i teorijski pokazatelji pouzdanosti reznog alata

Iz teorijskog modela pouzdanosti (sl. 3-d) moguće je odrediti za određenu verovatnoću vreme bezotkaznog rada reznog alata. Na primer, za verovatnoću 50% vreme bezotkaznog rada je $T_{50\%} = 15,0383 \text{ [min]}$ a za verovatnoću 90% je

$$T_{90\%} = 12,8192 \text{ [min].}$$

ZAKLJUČAK

Iz izloženog slede osnovni zaključci:

- Može se uočiti, dosta pouzdano, da teorijski normalni model pouzdanosti dobro reprezentuje eksperimenta-

lne podatke pri praćenju otkaza reznog alata,

- Analiza pouzdanosti reznog alata je svakako interesantna, jer otkazi reznog alata prouzrokuju zastoje u radu čitavog obradnog sistema,

- Predložena metodologija omogućuje izbor teorijskog modela pouzdanosti koji najbolje aproksimira eksperimentalne podatke, što se potvrđuje preverom saglasnosti datog modela pomoću neparametarskih testova. Ujedno ovakva metodologija omogućava,

u oblasti teorije pouzdanosti obradnih sistema pa i šire, sveobuhvatno i pouzdano donošenje zaključaka o pouzdanosti pojedinih komponenti obradnih sistema, što potvrđuje i analiza datog primera i

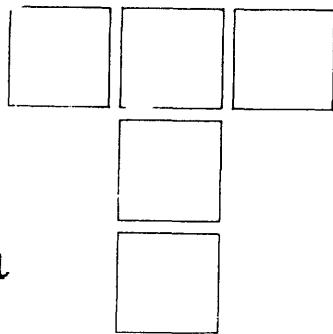
- Rezultati sprovedenih istraživanja omogućavaju pouzданo određivanje broja obradjenih komada posle kojih može nastupiti vremenski period u kome treba izvršiti zamenu reznog alata i pravilno planiranje količine reznog alata u odnosu na zahtevanu količinu proizvodnje.

LITERATURA

- /1/ KALAJDŽIĆ M.: Tehnologija mašinogradnje I, I deo, Mašinski fakultet, Beograd, 1983.
- /2/ DAŠIĆ P., STANIĆ J., JEČMENICA R.: Određivanje pouzdanosti reznog alata na savremenim obradnim sistemima, 1. Jugoslovenska konferencija o tribologiji - YUTRIB'89, Kragujevac, septembar, 1989.
- /3/ VUJANOVIĆ N.: Teorija pouzdanosti tehničkih sistema, Vojno-izdavački i novinski centar, Beograd, 1987.
- /4/ TODOROVIĆ J., ZELENOVIĆ D.: Efektivnost sistema u mašinstvu, Naučna knjiga, Beograd, 1981.
- /5/ SEKULIĆ S.: Metodologija za određivanje pouzdanosti reznog alata, Zbornik radova Fakulteta tehničkih nauka u N.Sadu, br. 14, 1983, str. 128-142.

- /6/ STANIĆ J.: Upravljanje kvalitetom proizvodnje, Metodi I, Gradjevinska knjiga, Beograd, 1987.
- /7/ DAŠIĆ P., PAPIĆ LJ.: Odredjivanje pouzdanosti reznih alata na osnovu izbora najbolje raspodele u fazi realne eksploatacije, XXII Jugoslovensko savetovanje za proizvodstveno mašinstvo, knjiga II, Ohrid, maj 1989., str. 77-86.
- /8/ DAŠIĆ P., PAPIĆ LJ.: Reliability of Cutting Tools on the Basis of the Choice of the Best Distribution, The Xth International Conference on Production Research - ICPR 89, Nottingham, august 1989.
- /9/ HITOMI K., NAKAMURA N., INOUE S.: Reliability Analysis of Cutting Tools, Journal of Engineering for Industry, january 10, 1989.
- /10/ British Standard, BS 5760, Reliability of systems equipments and components, BSI, London, 1981.
- /11/ ZELENOVIĆ D., KAMEROVIĆ B., KECOJEVIĆ S.: Postupak utvrđivanja parametara pouzdanosti u eksploatacionim uslovima, časopis Kvalitet i pouzdanost br. 59, God. 16 (1988.), str. 11-18.

J. INDOF



Primjena polimernih materijala za izradu elemenata tribomehaničkih sistema

1. UVOD

Uspoređujući polimerne materijale s metalima obično ističemo njihovo veće toplinsko rastezanje, nižu čvrstoću i manji modul elastičnosti, kao i ograničenu toplinsku postojanost. Unatoč tomu oni u nizu slučajeva pri tarijem opterećenjima pokazuju stanovite prednosti pred metalnim materijalima. Te prednosti su uvjetovane postojanošću prema koroziji, ekonomičnom prerađom, dobrom ponašanjem u uvjetima kada pri trenju dolazi do manjkavog podmazivanja, odnosno u uvjetima suhog trenja. Iako anali-

ze pokazuju povećanje primjene polimernih materijala u navedene svrhe, opseg te primjene općenito ne zadovoljava. Uzroci tomu su različiti, a posebno treba istaknuti nedovoljno poznavanje polimernih materijala, njihovih svojstava i mogućnosti primjene. U cilju objašnjanja pojava pri trenju polimernih materijala provedena su i provode se odgovarajuća istraživanja. Kod toga su u prvom planu neki tipovi poliamida i polietilena, kao i kompozita na osnovi fenol-formaldehidne i drugih smola. Posebno se naglašava da se u pravilu radi o tipovima polimernih materijala koji se proizvode ili u najmanju ruku prerađuju u našoj zemlji. U vezi s primjenom polimernih materijala za izradu elemenata tribomehaničkih sistema razvijene su značajne aktivnosti u domeni izbora materijala, konstrukcijskog oblikovanja i dimen-

Doc. dr Janez Indof, dipl.inž., Fakultet strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu, Đure Salaja 5, Zagreb

**Sa tribološkim problemima
srećete se svakodnevno;
da li ste se zapitali
kako da ih rešite ?**

**Odgovore Vam, možda, nudi
časopis
TRIBOLOGIJA U INDUSTRIJI**

zioniranja, kao i u domeni laboratorijskih ispitivanja.

2. ISTRAŽIVANJE TRIBOLOŠKIH POJAVA PRI TRENU KONSTRUKCIJSKIH POLIMERNIH MATERIJALA

O vlastitim istraživanjima ponašanja polimernih materijala u uvjetima trenja, ili drugim riječima u uvjetima djelovanja triboloških opterećenja, izvješteno je u nizu radova i na više skupova /1 - 6/. Pri tome su bili više zastupljeni plastomerci (termoplasti), ali u posljednje vrijeme intenzivnije se radi i na duromerima (duroplastima). Tokom izvođenja radova, te pri ocjenjivanju rezultata i njihovoj prezentaciji, polazi se od osnovne postavke da za opisivanje ponašanja polimernih (isto kao i drugih) materijala pri klizanju, kotrljanju ili nekom drugom obliku tribološkog opterećenja, tj. za definiranje pojave otpora gibanju i trošenja, općenito ne dostaje navođenje kemijskih, fizičkih i mehaničkih svojstava materijala. Također se promatranju i opisivanju pojava pri trenju pristupa u okvirima određenog sustava koji se obično naziva tribološki ili tribotehnički sustav. Takav pristup je općenito prihvaćen i zastupa ga niz autora /7, 8/. Prema /9/, što je potvrđeno i radovima /1, 2/ kod istraživanja pojave pri trenju polimernih materijala vrlo je pogodan energijski pristup. Takav pristup primijenjen je i u vezi s tzv. "konceptom prividne gustoće energije trenja" /10/.

3. NAJVAŽNIJI POLIMERNI MATERIJALI PRIMJENJIVI U UVJETIMA TRIBOLOŠKIH OPTEREĆENJA I NJIHOVA SVOJSTVA

Polimerne materijale je uobičajeno klasificirati na osnovi njihova ponašanja pri zagrijavanju. Tako razlikujemo:

- plas tomere (mekšaju pri zagrijavanju),
- duromere (ne mekšaju pri zagrijavanju) i
- elastomere (izraženo svojstvo elastičnosti).

U uvjetima triboloških opterećenja primjenjuju se polimerni materijali iz svih navedenih skupina, od čega elastomeri rjeđe, odnosno u specijalnim slučajevima. Radi toga će u nastavku biti riječi samo o primjeni plas tomera i duromera.

Iz skupine plastomera najčešće se susreću sljedeći polimerni materijali:

- poliamidi
- polietilen visoke gustoće,
- ultravisokomolekularni polietilen,
- polietilentereftalat,
- poliacetali i
- politetrafluoretilen.

Poznato je da unutar svake vrste polimernih materijala postoji mnoštvo tipova. Razumljivo je da nisu svi tipovi pogodni za sve primjene. Na ovom mjestu nije moguće dati cjeloviti pregled vrsta i tipova, a još manje njihovih svojstava i primjene. U tu svrhu potrebno je konzultirati specijalističku literaturu i koristiti druge izvore informacija (npr. banke podataka).

Iz skupine duromera najčešće se susreću materijali dobiveni na osnovi fenol-formaldehidnih i sličnih smola, a uz dodavanje raznih dodataka u obliku punila i/ili ojačala.

Kada je riječ o svojstvima relevantnim za primjenu polimernih materijala kod izrade elemenata tribomehaničkih sistema, na prvom mjestu valja spomenuti faktor trenja i pokazatelje trošenja. Ranije napomene o istraživanju triboloških pojava pri trenju konstrukcijskih polimernih materijala ukazuju i na druge značajke pogodne za opisivanje ponašanja tih materijala u uvjetima trenja, kao što je npr. "prividna gustoća energije trenja". Uočeno je kako je ta značajka vrlo koristan pokazatelj, osobito kada je u prvom planu promatranje trošenja materijala, odnosno njegova valorizacija i uspoređivanje s drugim materijalima sa stajališta trošenja. Ovo je potvrđeno i istraživanjem izgleda površine trenja i produkata trošenja /1, 2/.

Budući da su brojčane vrijednosti značajki u velikoj mjeri ovisne o velikom broju utjecajnih faktora, u ovom, ponajprije preglednom radu, ne mogu se navoditi konkretnе vrijednosti. Ostaje se dakle pri osnovnim i načelnim konstatacijama, tako što se ukazuje na prednosti i nedostatke pojedinih polimernih materijala.

Po niskom faktoru trenja odlikuju se polite trafluoretilen i polietileni. Poliamidi (neki tipovi), polietilentereftalat i poliacetali, kao i materijali na osnovi fenol-formaldehidnih smola imaju zapaženu otpornost trošenju. Osobito oprezan treba biti kod primjene poli-

tetrafluoretilena, koji s jedne strane ima vrlo nizak faktor trenja i izuzetne je kemijске postojanosti, ali je s druge strane vrlo podložan trošenju. Takva i slična, često protuslovna obilježja, nisu rijetka kod polimernih materijala, te zbog toga treba biti oprezan i pri izboru materijala pomno analizirati zahtjeve na materijal i svojstva materijala ne zanemarjući utjecajne faktore koji su na prvi pogled bez većeg značenja.

Za primjenu polimernih materijala u uvjetima djelovanja triboloških opterećenja, npr. kod kliznih ležajeva od značaja su i podaci o:

- dozvoljenom pritisku,
- dozvoljenoj brzini klizanja,
- dozvoljenoj temperaturi eksploatacije i
- dozvoljenoj (p.v) vrijednosti.

Ovi podaci nisu informacije koje bi neposredno opisivale ponašanje materijala u uvjetima trenja, ali su čisto u tijesnoj vezi s pojavama pri trenju. U nizu literaturnih izvora, kao što je npr. /11/ dane su orijentacijske vrijednosti koje mogu pošlužiti pri izboru materijala i dimenzioniranju dijela konstrukcije. Preporuča se da u cilju veće pouzdanosti budu korišteni podaci dobiveni ispitivanjem konkretnog materijala u uvjetima koji su što je moguće sličniji uvjetima u eksploataciji, ili još bolje povratne informacije iz primjene, tj. iskustva iz eksploatacije istih ili sličnih polimernih materijala

U vezi s ovim napomenama kao i u cilju ilustriranja uspješne suradnje na ovom području ukazuje se na literaturne izvore /12, 13/.

4. PRIMJERI PRIMJENE

Primjena polimernih materijala može se ilustrirati mnoštvom primjera. U prvom planu su klizni ležaji i zupčanici. Česta je također primjena pri izradi lančanika, pužnih kola, te najrazličitijih kliznih elemenata (vodilice, klizne staze itd.). Ovisno o zahtjevima koji se na ove elemente postavljaju u eksploataciji provodi se izbor materijala i dimenzioniranje konstrukcijskih dijelova. Značajno je napomenuti da određeni tipovi materijala, npr. neki poliamidi, zadovoljavaju i u vrlo teškim uvjetima eksploatacije (npr. ulošci kardanskih zglobova valjaoničkih stanova), te da u usporedbi s metalnim dijelovima imaju duži vijek trajanja, a

osim toga se pri eksploataciji postižu i neke druge prednosti (mirniji i tiši rad uslijed prigušivanja vibracija). Pojedinosti o tim i drugim slučajevima primjene mogu se između ostalog naći i u /14, 15/.

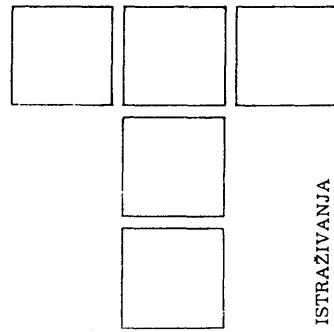
5. ZAKLJUČAK

Aktivnosti o kojima je bilo riječi u ovom radu, kao i informacije o polimernim materijalima i njihovo primjeni, omogućuju sagledavanje primjenljivosti nekih polimernih materijala u konstrukcijske svrhe, posebno kada se radi o naglašenom tribološkom opterećenju. Obzirom na razvoj polimernih materijala, kao i zbog širokih mogućnosti primjene, koje niti izdaleka nisu iskorištene, otvaraju se perspektive za intenzivan rad i to, kako u domeni istraživanja, tako i u domeni rješavanja zadataka iz svakodnevne prakse konstruktora, tehničara, održavalaca itd. Budući da uspješan rad na tako raznolikom i interdisciplinarnom području nije moguće bez povezivanja i suradnje u širim okvirima, očekuje se da će ovaj prilog kao i drugi iz Sekcije "Materijali elemenata tribomehaničkih sistema" doprinjeti tješnjem povezivanju, izmjeni iskustava i zajedničkom rješavanju aktualnih zadataka primjene polimernih materijala.

LITERATURA

- /1/ INDOF J.: Tribološke pojave pri trenju konstrukcijskih plastomera, Disertacija, Fakultet strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 1981.
- /2/ INDOF J.: Tribološke pojave pri trenju konstrukcijskih plastomera, STROJARSTVO 25(1983)3/4, 149.
- /3/ INDOF J.: Ponašanje duromera pod tarnim opterećenjima, Savjetovanje "Duromeri za prešanja", Zagreb, 1981.
- /4/ INDOF J., NENADIĆ N., ČATIĆ I.: "Beitrag zur Untersuchung von tribologischen Eigenschaften von Polymerverbunden auf der Basis PA 6 und POM", "Verstärkte Plaste", Berlin, 1984.
- /5/ KRSTULOVIĆ A., INDOF J.: "Istraživanje po-dobnosti materijala na bazi polietilena za primjenu u brodo-gradnji", VII simpozij "Teorija

- i praksi brodogradnje", Pula,
1986.
- /6/ INDOF J.: "Tribološka svojstva i značajke
za izbor polimernih materijala",
Savjetovanje "Tribologija v te-
oriji in praksi", Ljubljana,
1986.
- /7/ CZICHOS H.: "Tribologie und Zuverlässig-
keit technischer Systeme",
MATERIALPRÜFUNG 20(1978)1, 33.
- /8/ HABIG K.H., CZICHOS H.: "Eine auf der
Systemanalyse von Reibungs- und
Verschleissvorgängen aufbauende
Methodik zur Auswahl von tribologischen
Werkstoffen", ZEITSCHRIFT FÜR WERKSTOFFTECHNIK
7(1976)7, 247.
- /9/ LEE L. H.: "Effect of Surface Energetics
on Polymer Friction and Wear",
Advances in Polymer Friction
and Wear, Plenum Press, New
York - London, 1974.
- /10/ FLEISCHER G.: "Energetische Methode der
Bestimmung des Verschleisses",
SCHMIERUNGSTECHNIK 4(1973)9,
269.
- /11/ ... VDI-RICHTLINIEN 2541 "Gleitlager
aus thermoplastischen Kunststo-
ffen"
- /12/ INDOF J.: "Primjer proračunavanja kliznog
ležaja od polimernih materija-
la", predavanje održano za
"Društvo vzdrževalcev Slovenije",
Ljubljana, 1989.
- /13/ ... "Značilnosti plastičnih mas pri
vzdrževanju", VZDRŽEVALEC
14(1989)21, 9.
- /14/ VLAHOVIĆ D.: Termoplasti u strojograd-
nji, MK Željezara Sisak, 1972.
- /15/ MARINČIĆ A.: Primjena polimernih mate-
rijala u tehnici, Zagreb, 1982.



B. TANKOSIĆ

Ocjena istrošenosti alata na bazi sile rezanja

1. UVOD

Visok stepen automatizacije u metalopreradjičkoj industriji, u savremenim uslovima proizvodnje, osnovni je činilac konkurenčne sposobnosti preduzeća na svjetskom tržištu. Potpuna automatizacija proizvodnje, osim niza drugih elemenata, zahtijeva i rješenje pitanja aktivnog nadzora procesa tokom njegovog neprekidnog odvijanja, s ograničenom ljudskom poslугom.

U okviru ukupnih aktivnosti na problemima podrške automatisaciji procesa sa stanovišta aktivne kontrole, a u cilju obezbjedjenja kvaliteta proizvoda, optimalnog iskoristenja resursa i podizanja nivoa pouzdanosti, nastao je i ovaj rad. Osnovni cilj je da se pokaže mogućnost ocjene stanja alata na bazi varijacije otpora rezanja, kao osnova za pravovremenu zamjenu istrošenog alata i predupredjiva - nje njegovog loma.

2. ORGANIZACIJA EKSPERIMENTA

Eksperiment je izведен u procesu struganja cilindrično-konusnih radnih komada na numerički upravljanom strugu.

Radni komad: Otkovak od specijalnog čelika za poboljšanje, tvrdoće 35 do 40 HRC. Alat: Troublasta rezna pločica od tvrdog metala, radijusa 0,8 mm, kvaliteta ACIO, tip TNM, proizvodnje, Sumimoto Japan. Mjerna naprava: Indukcioni trokomponentni dinamometar s pokaznim instrumentom i dvokoordinatnim pisačem. Mjerenje je provedeno tokom obrade šest partija s tri različita režima obrade, kako je prikazano u tabeli 1.

Tabela 1: Parametri obrade

Broj partije	I	II	III	IV	V	VI
Brzina rezanja v (m/min)	80	160	160	160	160	120
Posmak s (mm/o)	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,45

3. ANALIZA REZULTATA EKSPERIMENTA

Prema skraćenoj Taylor-ovoj jednačini vijek trajanja alata T u funkciji konstante materijala i alata Ct , te brzine rezanja v , izražava se kao:

$$T = \frac{Ct}{v^z}, \quad (1)$$

gde je $z = 1/m$ - stepen uticaja brzine rezanja a uzima u obzir materijal obratka i kvalitet alata /1/. Očito je najznačajniji uticaj brzine rezanja na životni vijek alata, a zatim mehaničkih svojstava materijala, kvaliteta alata, posmaka i dubine rezanja.

Kako se u radu želi dovesti u korelaciju vijek trajanja alata sa otporom rezanja, u eksperimentu se analiziraju varijacije otpora (sile) rezanja sa životnom dobi alata.

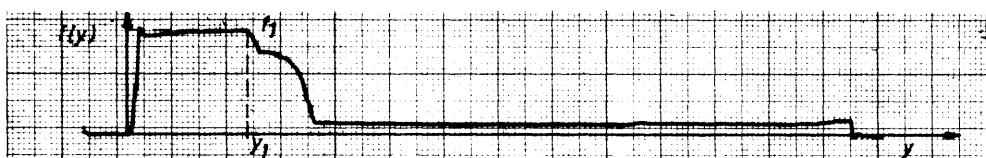
Dubina rezanja je vrlo često promenljiva tokom obrade radnog komada, a često i njegova mehanička svojstva. Logično je za očekivati da će se te promjene odraziti na promjene sile rezanja, što potvrđuju dijagrami sile F u funkciji pozicije obrade y /2/, (slike 1, 2 i 3), (sila F u N dobije se množenjem očitanja f sa dijagrama u mm s konstantom K u N/mm). Zapaža se da se obrada završava s veoma izraženim oscilacijama tangencijalne i radikalne komponente, koje nastaju zbog izrazite promjene brzine rezanja (mali prečnik obrade) i rotacione ne-simetričnosti komada na tom dijelu.

Pojave diskontinuiteta u mehaničkoj strukturi, zbog šupljina u materijalu ili tvrdih uključaka, izazivaju izrazite promjene sile rezanja (Δf), kao na slici 4. Može se uočiti da je uticaj promjene mehaničkih svojstava više izražen kod tangencijalne komponente sile, nego kod ostale dvije.

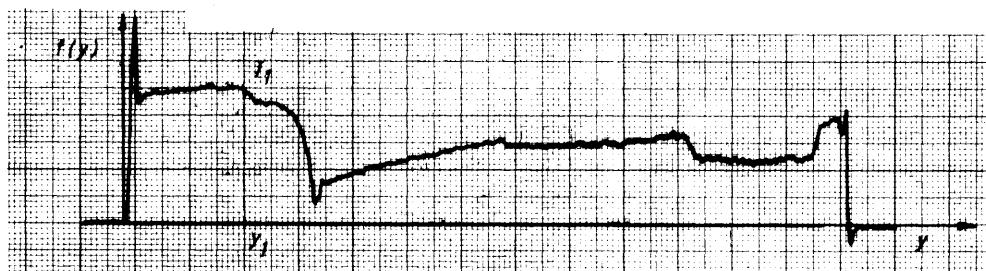
Samopobudne oscilacije, koje mogu nastati zbog nepravilnog stezanja ili osne nesimetrije radnog komada, kao i zbog neispravnosti mašine ili alata, predstavljaju daljnju smetnju u ocjeni stanja alata. Moguće je, međutim, odgovarajućom analizom ustanoviti uzrok nastajanja oscilacija pa prema tome i usmjeravati daljni tok procesa. Oscilacije koje nastanu zbog radnog komada imaju frekvenciju identičnu ili djeljivu s frekvencijom obrtanja glavnog vretena, kao na sl. 5, i pojavljuju se povremeno, dok se oscilacije zbog neispravnosti mašine ili alata pojavljuju sistematski i imaju frekvenciju blisku vlastitim frekvencijama tog sistema. Navedeni dijagram se odnosi na tangencijalnu komponentu iz prve



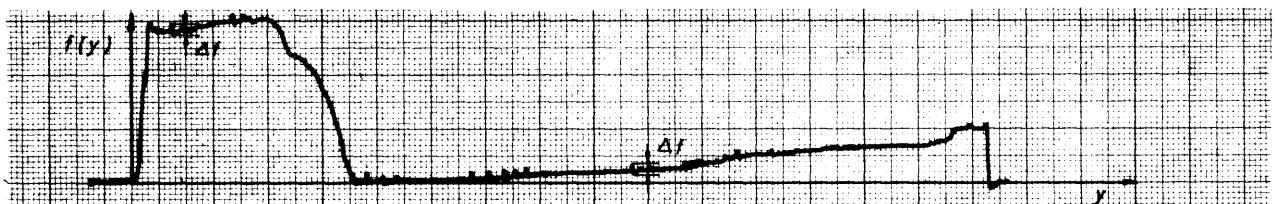
Sl. 1. - Tangencijalna komponenta sile rezanja u 1. partiji



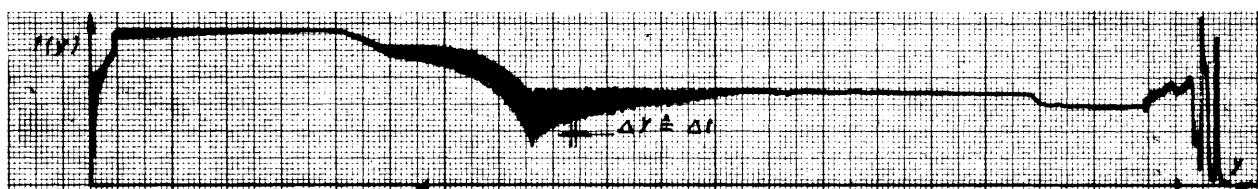
Sl. 2. - Aksijalna komponenta sile rezanja u 4. partiji.



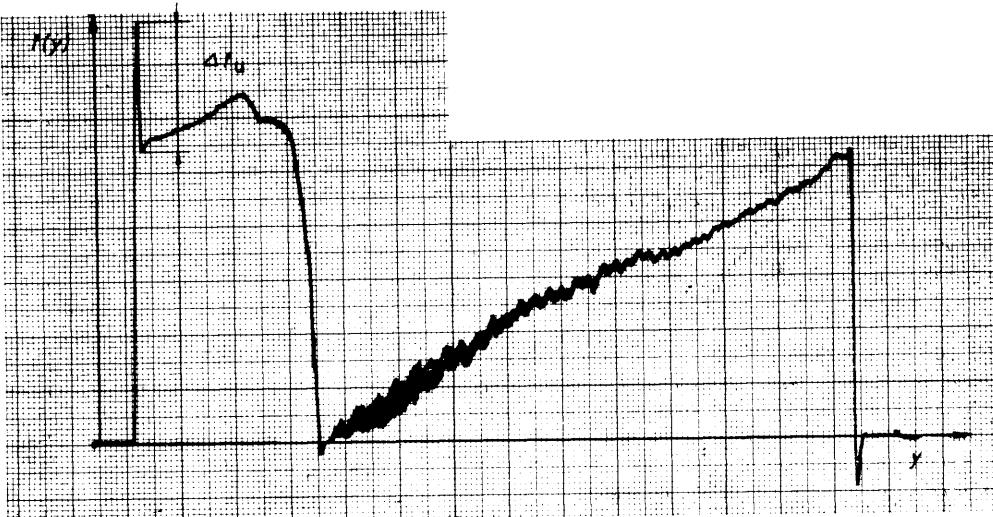
Sl. 3. - Radikalna komponenta sile rezanja u 3. partiji



Sl. 4. - Tangencijalna komponenta sile rezanja u 5. partiji s izrašenim diskontinuitetima u strukturi materijala



Sl. 5. - Tangencijalna komponenta sile rezanja u 1. partiji s izrazitim oscilacijama



Sl. 6. - Radikalna komponenta sile rezanja u 3. partijsi s izrazitim porastom pri ulasku u materijal i oscilacijama na jednom dijelu obrade

partije, gdje je brzina rezanja iznosila 80 m/min, što odgovara broju obrtaja glavnog vretena od 150 1/min ili sa 2 1/sek. Iz dijagrama se može ocijeniti da je frekvencija oscilacija sa 2 1/sec (vr. mjerilo: 2 mm/sek, $t = 0,5$ sek) što navodi na zaključak da su oscilacije rezultat rotacione nesimetričnosti radnog komada nastale zbog debelansa masa ili pogrešnog stezanja radnog komada.

Obrada struganjem često počinje tako što se alat prvo ukopava u materijal, a zatim nastavlja obradu po zadanoj konturi, sl. 6, što predstavlja daljnju smetnju kod očjene stanja alata.

Kako je naprijed navedeno, za pouzdan rad obradnih sistema (mašina, čelija, linija) bitna su dva aspekta nadzora alata: Aspekt pouzdanosti, koji treba da obezbjedi zaštitu sistema od mogućih havarija u slučaju polomljenosti alata i inicira njegovu zamjenu i aspekt optimizacije iskoristenja alata, koji treba da obezbjedi pravovremenu zamjenu sa stanovišta istrošenosti. Polazni problem u oba slučaja je identifikacija stanja alata. Za identifikaciju polomljenosti neophodno je da se ocjena doneće brzo, kako bi, na pr. kod struganja, omogućila zaustavljanje obrtanja radnog vretena u okviru jednog obrtaja, prije ponovnog kontakta alata s materijalom. U nepovoljnijim slučajevima za strugove to vrijeme iznosi oko 5 ms. Kod potpunog loma alata sile, uglavnom, padne na nulu zbog gubitka kontakta alat-materijal, što se dovoljno brzim senzorima (piezoelektričnim) može osjetiti u potrebnom intervalu. Veći je problem pojava djelomičnog loma (krzanja) alata, koji se manifestuje manjim promjenama sile rezanja a utiče na kvalitet obradjene površine, zbog čega ga je neophodno isključiti iz procesa. Kod identifikacije istrošenosti zahtjevi su nešto drugačiji. Manje je bitna brzina a više tačnost ocjene. Potrebno je, naime, odabrati mjerljivu varijablu procesa koja će sa najboljim razlučivanjem odraziti stanje oštice alata kao i metod ocjene koji će dovoljno selektivno razlučivati stanje istrošenosti alata. S obzirom na fizikalnost procesa rezanja može se postaviti tvrdnja da će se polomljenost al-

ta najviše odraziti na tangencialnu komponentu sile, dok će se istrošenost značajnije odraziti na radikalnu i aksijalnu komponentu, zavisno da li se radi o uzdužnoj, čeonoj ili kombinovanoj obradi. Djelomični lom se, pak po svojim manifestacijama nalazi izduju ove dvije pojave, pa se nameće dilema u sklopu koje klase problema rješavati njezinoj identifikaciji.

3.1. ANALIZA SILE REZANJA PO KOMPONENTAMA

Prethodna analiza pokazuje, dominantni uticaj dubine rezanja na varijaciju sile tokom obrade radnog komada. U eksperimentu su dodaci bili identični, u granicama tolerancije, za sve partie. Varijacije sile, do kojih je dolazio zbog odstupanja dimenzija pripremka (zavisno od kvaliteta prethodne obrade), kao i varijacije zbog diskontinuiteta u mehaničkim svojstvima materijala, mogu se tretirati kao smetnje.

Veliki broj smetnji otežava obradu signala i objektivnu ocjenu stanja alata u bilo kojoj poziciji i trenutku obrade. U tu svrhu je, zapravo, potrebno ocijeniti objektivni prirast sile zbog istrošenosti, isključujući druge uticaje. U eksperimentu je isključen uticaj varijacije dubine rezanja tako što je izvršeno mjerjenje u istoj poziciji obrade na svim radnim komadima (pozicija 1 prema slikama 1, 2 i 3).

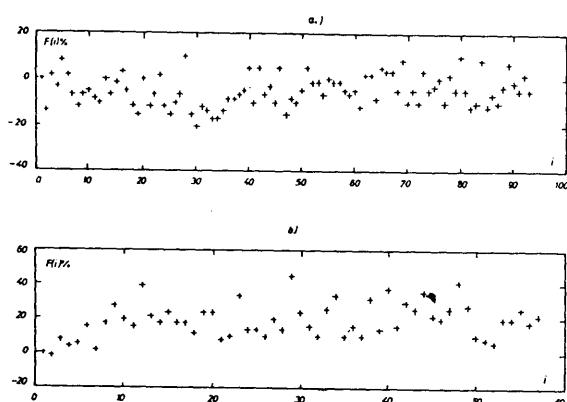
Eksperiment, dakle analizira samo jednu tačku, dok je za potpunu kontrolu na cijeloj dužini obrade potrebno izvršiti snimanje, s određenom gustinom, mnogo većeg broja tačaka u identičnim pozicijama, i respektivno provoditi analizu. To, svakako, podrazumijeva mnoštvo podataka za memorisanje i obradu, što se ne može izbjegći ako se želi precizno i pravovremeno ocijeniti stanje alata. Problem se može prevazići ocjenom stanja alata na bazi apsolutne granične vrijednosti sile, što ne daje ni približno dobre rezultate kao metod ocjene u dатoj poziciji, koji se želi afirmisati ovim radom.

U narednom tekstu se tok sile analizira prema poznatom dijagramu životne dobi alata u tri faze /3/ (I faza - inicijalno ili intenzivno trošenje, II faza - stabilizovano ili linearno trošenje i III faza - progresivno trošenje). Na dijogramima koji se analiziraju prikazan je procentualni prirast sile u odnosu na prvu obradu oštrim alatom prema izrazu:

$$F(i) = \frac{f(i) - f(1)}{f(1)} \cdot 100\% \quad (2)$$

3.1.1. Tangencijalna komponenta

Pri rast tangencijalne komponente sile rezanja zbog istrošenosti je minoran (sl. 7). Zbog toga su i faze životne dobi alata slabo izražene. Velika su rasipanja rezultata čitanja, uglavnom zbog odstupanja dodataka za obradu i strukture materijala. Može se, takodje, zaključiti da su odstupanja to veća što su režimi oštriji (veća brzina rezanja i posmak), što još više otežava ocjenu stanja alata na bazi ove komponente. Evidentno je jedino da će tangencijalna komponenta sile pasti na nulu u slučaju potpunog loma alata zbog gubitka kontakta s materijalom.



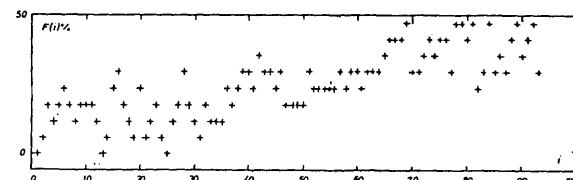
Sl. 7. - Dijagram tangencijalne komponente sile rezanja za:
a) prvu i b) šestu partiju obradu

3.1.2. Aksijalna komponenta

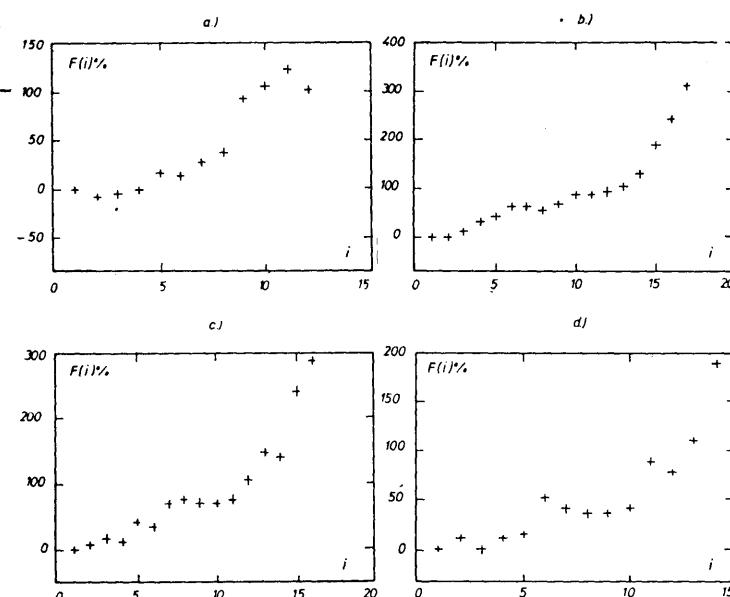
Aksijalna (posnačna) komponenta sile savladjuje otpor prodiranja alata u materijal. Po iznosu je znatno manja od tangencijalne komponente. Porast sile tokom životne dobi alata je znatno izraženiji.

U svim partijama su jasno izražene faze životne dobi alata. To se najbolje uočava u šestoj partiji, sl. 10. Nakon stabilizacije procesa nastupa faza stabilnog trošenja. U toj fazi svaka značajnija promjena iznosa sile predstavlja signal za moguću smetnju u procesu rezanja ili neispravnosti alata. Šesta partija predstavlja rad s umjerenim režimima obrade (brzina i posmak). Prva partija je, međutim, uradjena s nešto blažim režimima pa se pokazalo da je životna dob alata duža, a što je posebno značajno, manja je brzina prirosta sile u drugoj fazi i slabije je izražen prelaz u treću fazu, slika 8. Najoštriji režimi su od druge do pete partije, slika 9, što se očituje i najvećom brzinom prirosta otpora rezanja. To, svakako, potvrđuje tvrdnju da najveći uticaj na brzinu trošenja ima brzina rezanja.

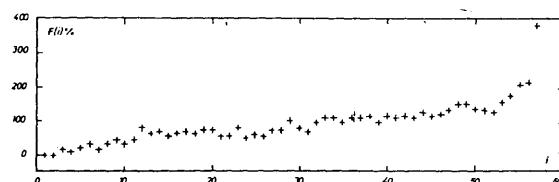
U trećoj fazi su, takodje izražena različita ponašanja, zavisno od režima obrade. Značajno je, međutim, naglasiti da zbog intenzivnog trošenja alata dolazi do krzanja oštrelje, lijepljenja materijala i drugih pojava koje bitno mijenjaju karakteristiku rezanja. To se može zapaziti u drugoj



Sl. 8. - Dijagram aksijalne komponente sile rezanja za prvu partiju obrade



Sl. 9. - Dijagram aksijalne komponente sile rezanja za:
a) drugu, b) treću, c) četvrtu i d) petu partiju obrade



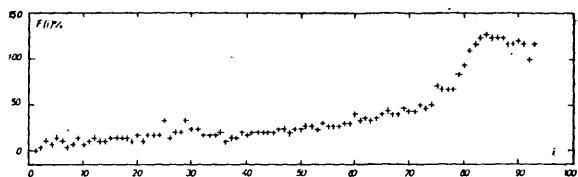
Sl. 10. - Dijagram aksijalne komponente sile rezanja za šestu partiju obrade

partiji, slika 9a, gdje otpor rezanja, u trećoj fazi, nakon izvjesnog porasta, počinje ponovo opadati. Kriterij ocjene stanja alata mora biti postavljen tako da alat u toj fazi proglaši neispravnim, bez obzira na ukupni prirošt otpora, jer neće moći zadovoljiti kvalitet obrade zbog izgubljenih osnovnih svojstava, a osim toga može se očekivati i potpuni lom, što je, svakako, bolje preduprediti.

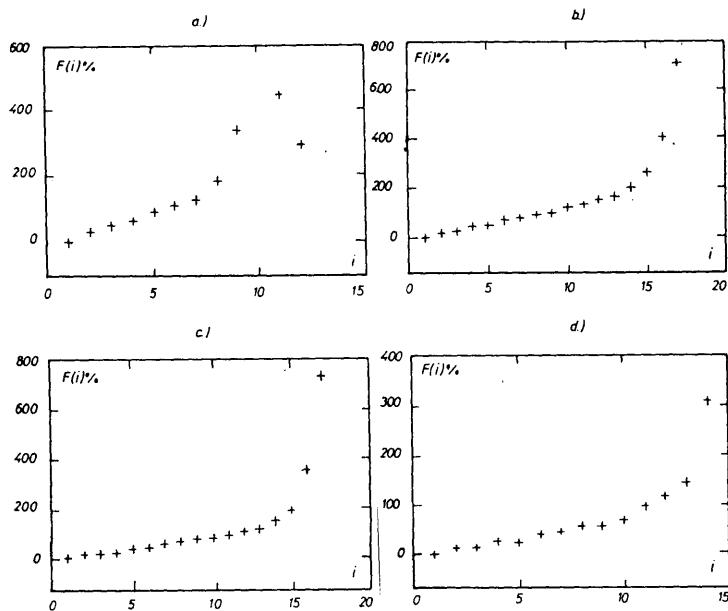
3.1.3. Radialna komponenta

Pri obradi cilindričnog dijela plohe radialna komponenta savladjuje u prvoj fazi otpor prodiranja u materijal, a zatim silu odbijanja alata. Ova komponenta

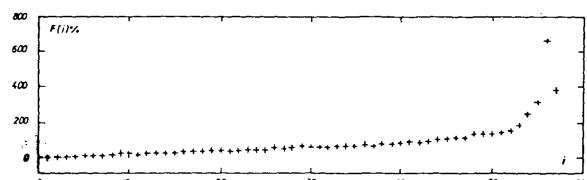
je po iznosu najmanja, ali se porast otpora rezanja najviše odražava na njen ukupni iznos. To se tumači time što se trošenjem alata povećava površina nalijeganja na materijal, što svakako povećava trenje alat-materijal.



Sl. 11. - Dijagram radikalne komponente sile rezanja za prvu partiju obrade



Sl. 12. - Dijagram radikalne komponente sile rezanja za: a) prvu, b) drugu, c) treću i d) četvrtu partiju obrade



Sl. 13. - Dijagram radikalne komponente sile rezanja za šestu partiju obrade

U svim partijama su jasno izražene sve tri faze životne dobi alata, slike 11, 12 i 13. Oblici dijagrama po partijama su gotovo identični onima kod aksijalne komponente, samo su još jače izraženi. Naročito je izražen uticaj krzana alata u prvoj, slika 11, i drugoj, slika 12a, partiji. To navodi na zaključak da se najbolja informacija o stanju alata pri uzdužnoj obradi cilindričnih komada, dobija od radikalne komponente. Treba, međutim, imati u vidu da su česte konture drugih oblika, za koje, takodje, treba ustaviti optimalnu informaciju o stanju alata.

4. ZAKLJUČAK

Iz dijagrama se može uočiti uticaj režima obrade na vijek trajanja alata T. Pokazano je da brzina rezanja ima dominantni uticaj na brzinu trošenja. Ako režime iz šeste partije uzmemo kao referentne, zapažamo da je sa povećanjem brzine od 33% vijek trajanja pao u prosjeku za 73% (u 2. do 5. partiji), ili za smanjenje brzine od 33% porastao za 67%.

Rezultati istraživanja su, nadalje, pokazali da sve tri komponente sile rezanja ne daju jednako dobru informaciju o stanju alata. Može se, zaključiti, da radikalna i aksijalna komponenta, daju različite rezultate za različite konture.

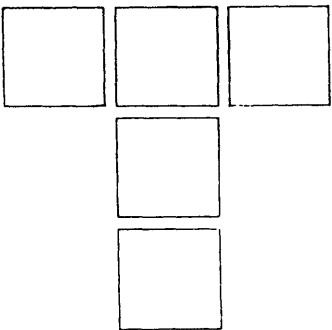
Kod obrade cilindrične plohe najbolju rezoluciju će dati radikalna, dok je kod čeone obrade bolja rezolucija aksijalne komponente. To navodi na zaključak da u opštem slučaju kontrole alata kod struganja treba davaće postaviti tako da registruju obadvije komponente.

U primjeni je nekoliko različitih metoda ocjene istrošenosti alata. Dva osnovna su: ocjena relativnog odnosa početne i tekuće vrijednosti sile i ocjena brzine prirasta sile tokom obrade. Treba naglasiti da se dinamičkim praćenjem prirasta sile dobijaju veoma povoljni rezultati. Po tom metodu se otkrivaju i oštećenja alata (krzanje, lijepljenje i sl.) zbog kojih sile u nekom intervalu počinje padati. Tako se izbjegava potpuno oštećenje alata, koje može imati za posljedicu loš kvalitet obrade ili čak potpuni lom alata.

Za ocjenu polomljenosti alata ili kolizije pokretnih dijelova mašine u radnom prostoru, mogu se koristiti isti rezultati mjerjenja uz nešto drugačije metode obrade mjernog signala i uz znatno strožije brzine reagovanja. Izneseni rezultati pokazuju da je moguće i svrsisodno stanje alata (istrošenost i polomljenost) cijeniti na bazi sile (otpora) rezanja.

LITERATURA

- /1/ Š. ŠAVAR: Obrada odvajanjem čestica, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 1986.
- /2/ B. TANKOŠIĆ: Kontrola alata u procesu obrade metala skidanjem strugotine (studija), UNIC-Institut, Sarajevo, 1988.
- /3/ J. STANIĆ: Teorija obrade metala I, Mašinski fakultet, Beograd, 1986.



D. NIKOLIĆ

Aktivne sile trenja u procesu oblikovanja plastičnim deformisanjem

1. UVODNA RAZMATRANJA

Osnovni zadaci savremene etape razvoja mašinogradnje, posred ostalog, su: usavršavanje postojećih i definisanja novih ekonomičnijih i proizvodnijih metoda oblikovanja. U metaloprerađivačkoj industriji najveće mogućnosti smanjenja troškova proizvodnje i povećanja kvaliteta proizvoda, uz potpuno upravljanje procesom oblikovanja, su tesno povezane sa širokom primenom metoda oblikovanja plastičnim deformisanjem i njihovom optimizacijom. Osnovu usavršavanja postojećih, razvoja novih tehnologija i optimizacije čine matematički modeli koji obuhvataju sve osnovne tehnološke i druge parametre procesa oblikovanja. Iznalaženje tih modela, odnosno tačnih funkcionalnih zavisnosti parametra ili odgovarajuća aproksimacija je jedan od fundamentalnih zadataka. Prouzdano definisanje modela može se izvršiti samo na osnovu vrlo velikog broja odgovarajućih eksperimentalno teorijskih istraživanja i korišćenjem metoda analiza procesa primenom elektronskih računara sa širokim obuhvatom rešenja iz teorije tečanja, po mogućnošći izbegavanjem analitičkih aproksimacija, suvišnih uprošćenja i dr. Prirodno pri tom se moraju obuhvatiti: svi bitni elementi mehanizma plastičnog deformisanja i razaranja; iznalaženje kompleksnih uticaja deformacije,

Prof. Dr Dragomir Nikolić, dipl.ing., vanr.prof. Mašinskog fakulteta u Beogradu, 27. Marta br. 80 Rad predstavlja deo rezultata iz projekta "Razvoj specijalnih tehnologija oblikovanja metala u tečnom i plastičnom stanju, finasira RZ nauka SR Srbije.

brzine deformacije i temperature na proces i njegove po-kazatelje; utvrđeni kriterijumi za ocenu mogućnosti prelaza od plastičnih deformacija na razaranje; karakteristike izratka; karakteristike materijala obratka; opis funkcionalnih zavisnosti trenja od suštinskih uticaja i pojava koje se odvijaju u zoni kontakta čvrstog i plastično deformabilnog tela i dr.

U ovom radu razmotriće se samo reki uticaji i značaj spoljašnjeg trenja procesu oblikovanja plastičnim deformisanjem. Korišćenje uticaja sila trenja predstavlja osnovu perspektivnih pravaca razvoja tehnologija ostvarljivih ne samo na postojećoj već i na novoj i budućoj opremi.

2. TRENJE U PROCESU OBLIKOVANJA PLASTIČNIM DEFORMISANJEM

2.1. Osnovna obeležja

Sva dosadašnja iskustva i istraživanja ukazuju da je neophodno i pri jednostavnim analizama procesa oblikovanja plastičnim deformisanjem uzeti u obzir kompleksni uticaj spoljašnjeg trenja. Kompleksnost uticaja sila trenja, važnost i značaj nameću njegova osnovna obeležja:

- Trenje je neizbežno u mehaničkim sistemima.
- Samo u nekim specijalnim slučajevima uticaji spoljašnjeg trenja se mogu isključiti.
- Najčešće ima negativan uticaj, samo ponekada potpomaže proces oblikovanja. Pogodan raspored veličina sila spoljašnjeg trenja u jednom istom procesu može bitno povećati njegove tehnološke mogućnosti ili, pak, nepravilan bitno smanjiti mogućnosti pa čak potpuno sprečiti odvijanje.

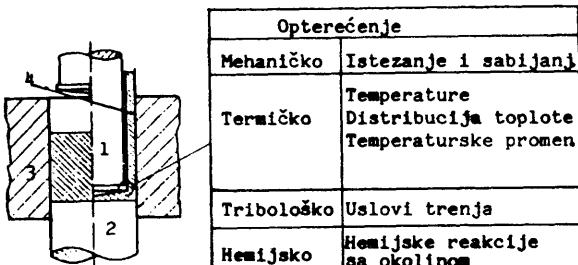
Seminari

**UPRAVLJANJE PROCESIMA ODRŽAVANJA
SREDSTAVA RADA U INDUSTRIJSKIM
SISTEMIMA
počinju u 1990. god.**

**Sve potrebne informacije:
Redakcija časopisa TRIBOLOGIJA U
INDUSTRIJI - tel. 67-500/643**

'jednje procesa'

- Mogu se pojaviti bilo koji režimi trenja: suvo, polusuvo, hidrostatičko i dr. Ovi režimi mogu nastati svaki posebno ili više njih istovremeno, mogu predvoditi jedan drugom u različitim stadijuma odvijanja i na različitim delovima zapremine obratka u jednom istom tehnološkom procesu.
- Sredstva za podmazivanje pri oblikovanju plastičnim deformisanjem, po pravilu, se smatra kao prisustvo "treće sredine" između dve međusobno pomerljive površine čvrstog tela (jedna je površina alata, druga površina obratka), a ne kao pokretni tečni ili adsorbcijski podmazujući sloj. Viskozitet ovih sredstava može biti vrlo mali (suvo trenje u vakumu) i vrlo veliki čak i beskonačan - sredstva za podmazivanje je treće čvrsto telo. U procesu viskozitet se menja u vrlo širokim granicama.
- Najčešće kao opšti parametar - koji karakteriše intenzitet spoljašnjeg trenja, uzima se specifična sila trenja ili otpor smicanja.
- Koefficijent trenja se najčešće smatra da je podjednako zavistan od: vrste materijala tarućih tela; karaktera podmazivanja; geometrijskih karakteristika žarišta trenja; režima trenja (temperature, brzine, pritiska na dodirnim površinama, temperaturskog polja u tankom površinskom sloju).
- Za razliku od trenja u mašinskim konstrukcijama, kada su obe komponente friкционog para relativno kruta tela, trenje u uslovima oblikovanja plastičnim deformisanjem, nastaje u uslovima plastičnog deformisanja jedne ili obe komponente friкционog para i naziva se deformaciono trenje. U ovakvim uslovima neophodno je i vrlo je važno razmotriti sile trenja na kontaktnoj površini svakog para. Mesto i značaj uloge trenja prikazana je na sl. 1.



Slika 1. Opterećenje kalibrirajućeg dela istiskivača

2.2. Aktivno (korisno) dejstvo sile trenja u procesu plastičnog deformisanja

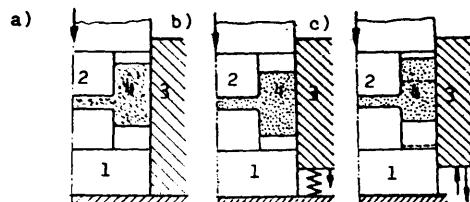
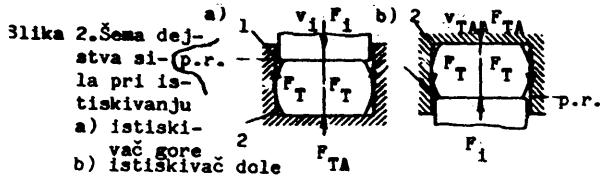
Trenje je jedan od osnovnih faktora koji određuje granične uslove tehnološkog procesa oblikovanja plastičnim deformisanjem. Njegova uloga je neobično velika i bitno karakteriše ne samo energetsko i otporno (veličine def. otpora) već i deformacione pokazatelje procesa. Sile trenja u procesu deformisanja mogu biti: reaktivne koje otežavaju deformisanje pomeranje metala i popunjavanje šupljina u alatu i - aktivne koje olakašavaju pomeranje i deformisanje materijala obratka i popunjavanje šupljina alata. Često se koristi i definicija - aktivne sile trenja se nazivaju sile trenja kojima alat deluje na materijal obratka i čiji se smer poklapa sa smerom brzine kretanja materijala obratka.

Značajno je istaći da je moguć prelazak od reaktivnih na aktivne sile trenja, pri istom obliku i dimenziji obratka i delova površina alata, promenom kinematike kretanja delova alata, npr. tela alata, istiskivača i dr. pri istiskivanju, stim da kao posledica toga nastaje i promena kinematike tečenja metala obratka. Neophodno je naglasiti da i aktivne i reaktivne sile trenja mogu biti pozitivne i negativne što je određeno sadržajem konkretnih tehnoloških procesa i uslovljena je šemom dejstva sile u granicama posmatranog dodira površina alata i obratka. Pored toga za analizu značajno je ko je "pobudjivač" sile trenja i dr. o čemu zbog ograničenosti obima rada neće biti govora. Veoma je važno istaći i pojam - stepena aktivnosti reaktivnosti sile trenja. Tako npr. ako se materijal obratka pomeri po površini alata - koji se ne može pomerati u istom smeru, ne mogu se pojaviti aktivne sile trenja. Delimični nastanak aktivnih sile trenja je moguć samo pri manjem pomeranju alata od materijala obratka, a potpun ako je pomeranje alata jednakom pomeranju materijala obratka.

2.3. Sila trenja i popunjavanje šupljine alata

Poznato je da se u procesu oblikovanja plastičnim deformisanjem delovi šupljine alata popunjavaju različitim brzinama i intenzitetom. Osnovni uzrok je dejstvo sile trenja na materijal obratka. Najjednostavniji primer je prikazan na slici 2. U slučaju kada je pokretan istiskivač a nepokretno telo alata (sl. 2a) sila istiskivača F_i deluje na gornju površinu obratka savladavaće i silu trenja F_T i biće veća od sile koja deluje na telo alata F_{TA} . Zato i sledi da se pri oblikovanju gornji deo šupljine alata 1, bliži površini razdvajanja, bolje popunjavanja od donjeg dela šupljine 2. Ukoliko su bočne površine tela alata nagnute donji deo šupljine će se još teže popuniti. U drugom slučaju - pokretno telo alata a nepokretni istiskivač (sl. 2.b) sila trenja F_T biće istog smera kao i sila F_{TA} , zato je ova poslednja manja od sile F_i , a deo šupljine alata 1 se bolje popunjava od dela šupljine 2. Nagnute bočne površine tela alata imaju

je moguće ostvariti na dva načina - prvi, susretnim kretanjem donjeg (1) i gornjeg (2) istiskivača sl. 4 i drugim oblikovanjem u alatu sa pokretnim telom alata 3 (sl. 4 b) i c)).

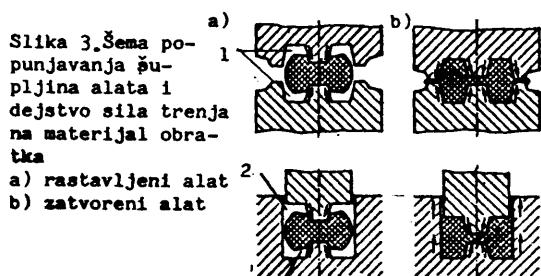


Slika 4. Šema oblikovanja (popunjavanje šupljina) u zatvorenim alatima

- a) neprekretno telo alata
- b) slobodno telo alata
- c) prinudno kretanje tela alata
- 1. istiskivac donj.
- 2. istiskivac gor.
- 3. telo alata
- 4. obradatok

isti uticaj kao i prvom slučaju.

Na slici 3 dat je tematski prikaz dejstva sile trenja i popunjavanja šupljina alata pri oblikovanju u rastavljenom a) i zatvorenom alatu b). Lako se zapaža da dejstvo sile trenja i promena oblika su isti sve do dodira materijala obratka sa bočnim površinama. Međutim, od



tog trenutka nastaje suštinska razlika pri popunjavanju gornjih 1 i donjih 2 delova šupljina alata pri oblikovanju u zatvorenim alatima. Naime, u oba slučaja sile trenja otežavaju popunjavanje dela šupljine 1 a olakšavaju popunjavanje dela šupljine 2. Jednostavnom analizom mehanizma formiranja čeonog venca, vrlo nepoželjnog pri oblikovanju u zatvorenim alatima, može se zaključiti da je moguće spričiti njegovo formiranje na dva načina: prvi, korišćenjem pripremnih gravura u kojima će se obradak oblikovati tako da se pri završnom oblikovanju oba dela šupljina (1 i 2) istovremeno popune i drugi obezbeđenjem istog smera dejstva sile trenja na bočnim površinama tela alata. Poslednje

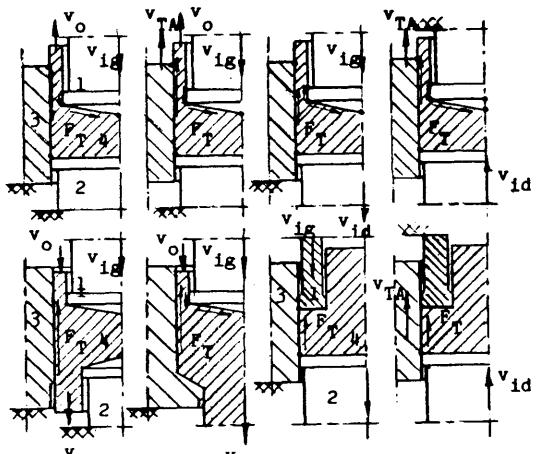
Proces oblikovanja u slučaju kada je telo alata slobodno pomerljivo u aksijalnom pravcu (sl. 4 b)) materijal obratka teče simetrično u odnosu na horizontalnu osu simetrije. Pri tom se telo alata pomera nadole za polovicu veličine pomeranja istiskivača 1 koje nastaje posle trenutka dodira materijala obratka i bočnih površina šupljina tela alata. Objašnjenje se zasnova na principu tečenja metala u pravcu najmanjeg otpora.

Promena popunjavanja delova šupljina alata, ili prilagodjavanje tela alata obliku izratka, može se značajnije ostvariti prinudnim pomeranjem tela alata. Za slučaj oblikovanja u dvostrano zatvorenim alatima sa pomerljivim telom alata to se može izvršiti u skladu sa veličinama kontaktnog trenja i njihovog uticaja na kinematiku tečenja metala. Mogućnost je prikazana na slici 4 c). Približni ekstremi konture obratka prikazani su na slici.

Poslednjih godina se intenzivno radi na razvoju tehnoloških procesa zasnovanih na olakšanom popunjavanju delova šupljina alata pod dejstvom sile trenja. Suština se sastoji u korišćenju aktivnih sile trenja. Do danas taj princip najšire je korišćen pri izradi šupljine delova (častog oblika) i istiskivanju punih izradaka. Pri oblikovanju na postojećim mašinama koriste se alati sa slobodnim telom alata (sl. 4 b)). Međutim, primena ovakvih alata omogućava samo delikatno iskorišćenje principa aktivnog dejstva sile trenja. Osnovni razlog je što brzina slobodnog pomeranja alata ne može biti veća od brzine tečenja materijala obratka po celoj površini dodira tako da aktivne sile trenja deluju samo na delu visine žarišta plastične deformacije. Efikasnije korišćenje aktivnog dejstva sile trenja je moguće samo u ovim slučajevi-

ma kada je moguce ostvariti prinudno kretanje tela alata u smeru i sa brzinom većom od brzine tečenja materijala obratka čime se ostvaruje, na celoj odgovarajućoj površini njihovog dodira, aktivno dejstvo sila trenja. Za realizaciju ovakvih procesa neophodne su nove mašine sa odgovarajućim tehnološkim karakteristikama.

Nekoliko osnovnih mogućih šema oblikovanja sa kinematskim elementima i dejstvom sila trenja pri izradu šupljih i punih komada date su na sl. 5. Maksimalna dubina šupljine i minimalna debljina zida su odredjene obradljivošću materijala obratka (pre svega plastičnošću). Pri



Slika 5. Nekoliko kinematskih šema oblikovanja istiskivanjem 1.gornji istiskivač, 2.donji istiskivač (izbacivač) 3.telo alata, 4.obradak, v_A -brzina tela alata, v_T -brzina istiskivača, v_o -brzina kretanja materijala obratka. F_T -sila trenja

suprotnosmernom istiskivanju, uslovi rada istiskivača su vrlo složeni. Najmanji specifični pritisak je pri oblikovanju sa stepenom deformisanja u granicama 30 - 40% /8/ a intenzivno raste sa porastom stepena deformacije. Smanjenje specifičnog pritiska je moguće, sam izborom optimalnih stepena deformisanja, ostvariti transformacijom reaktivnog u aktivno dejstvo sila trenja. Ova transformacija se može ostvariti: promenom oblika i dimenzija radnih delova istiskivača i tela alata; slobodnim i prinudnim pomeranjem tela alata u odnosu na materijal obratka; nepomerljivošću žarišta deformacije u odnosu na istiskivač ili telo alata i drugim načinima zasnovanim na kinematici tečenja metala. Smer sile trenja u zavisnosti od kinematike kretanja materijala obratka i delova alata prikazan je na sl. 5. Aktivne sile trenja na površinama dodira obratka 4 i tela alata 3 su ostvarljive u uslovima dati na sl. 4 b) ... h).

3. OSNOVNE MOGUĆNOSTI SMANJENJA NEGATIVNOG UTICAJA SILA TRENJA

Klasičan način je primena podmazujućih sredstava koji su efikasni u procesima hladnog oblikovanja. Često se koeficijent trenja može svesti na 0,5 - 0,06.

Medutim, pri toplov oblikovanju deformisanjem npr.čeličnih izradaka, kada su uslovi trenja bliski graničnom suvom trenju koeficijent trenja može biti i do 0,3 - 0,5. Kako problematika korišćenja sredstava za podmazivanje pri toploj obradi nije potpuno razrešena, zatim, imajući u obzir da se značajna energija troši na njihovo savladavanje razredjene su racionalne hipoteze i rešenja problema iskorišćenja trenja u tehnološke svrhe jedno od njih je aktivno dejstvo sila trenja.

U suštini borba sa negativnim trenjem (reaktivnim) se sastoji u smanjenju tih sila trenja. Medutim, u slučajevima transformisanog negativnog (reaktivnog) u pozitivno (aktivno) trenje suština se svodi na promenu smera sila trenja a njihova veličina u tom slučaju treba da je što veća - što znači da tada treba isključiti primenu sredstava za podmazivanje.

4. MOGUĆI EFEKTI KORIŠĆENJA AKTIVNOG DEJSTVA SILA TRENJA PRI ISTISKIVANJU

Osnovni efekti su:

- višestruko povećanje brzine isticanja (u odnosu na istosmerno istiskivanje) materijala obratka a time i proizvodnosti,
- povećanje godišnje proizvodnje i smanjenje otpadaka,
- smanjenje neravnomernosti deformacije i mehaničkih karakteristika po preseku i dužini izratka,
- olakšano ostvarenje neprekidnosti procesa.

Pored navedenog postoji i niz drugih perspektivnih mogućnosti posebno korišćenjem moguće promenljivosti brzinskog koeficijenta procesa (odnos relativne brzine kretanja tela alata i materijala obratka i brzine isticanja materijala obratka) koji u početku procesa raste a na kraju smanjuje čime je moguća potpuno eliminisanje neophodnosti tehnoloških sredstava podmazivanja i iskorišćenje neravnomernosti temperaturskih polja po preseku i dužini obratka.

Korišćenje procesa sa aktivnim silama trenja omogućava: ostvarenje kontrolisanog rasporeda deformacija; ostvarenje povećane ili smanjene neravnomernosti deformacija u skladu sa neophodnim; povećanje deformacija smanjenja; korišćenje zapreminskog efekta plastične deformacije - koji raste proporcionalno sili trenja; obezbedjenje neophodnog pravca toka materijala obratka u deformacionoj zapremini; formiranje zadano žarišta deformacija uz mogućnost povećanja njegove zapremine praktično do veličine zapremine obratka; intenzifikaciju procesa oblikovanja (smanjenja broja operacija i dr.); obezbedjenje nivoa mehaničkih karakteristika i njihove anizotropije; povećanje deformabilnosti materijala obratka, preraspodelu opterećenja delova alata a time i povećanje njihove postojanosti; suštinsko povećanje kvaliteta izratka.

Da bi se ostvarile navedene mogućnosti neophodno je rešiti niza zadataka kao što su:

- konstrukcija novih odgovarajućih tipova alata pomoću kojih je moguća preraspodela opterećenja alata,
- razrada novih šema procesa oblikovanja,
- razrada novih konstrukcija mašina sa odgovarajućim tehničkim karakteristikama (najčešće sa višestrukim dejstvom).

5. ZAKLJUČCI

Na osnovu dosadašnjih znanja i izloženog mogu se izvući sledeći osnovni zaključci:

1. Korišćenjem kombinacije sniženja reaktivnih i njihove transformacije u aktivne sile trenja (promenom smera reaktivnih) mogu se ostvariti značajna poboljšanja tehničkog procesa oblikovanja plastičnim deformisanjem.
2. Dosadašnji rezultati istraživanja uticaja deformacionog trenja i mogućnosti njihovog iskorijenja u raznim sistemima oblikovanja plastičnim deformisanjem su omogućila razradu pa i primenu novih tehnologija, pre svega istiskivanja i kovanja u zatvorenim alatima, znatno produktivnijih i znatno povećanje kvaliteta izrada.
3. Razrada novih tehnologija oblikovanja plastičnim deformisanjem, u čijoj osnovi se nalazi mogućnost da sila trenja vrše odredjene tehničke funkcije, obećava ogromne tehnno-ekonomiske efekte čak i u slučajevima korišćenja u određenim fazama oblikovanja ili na određenim površinama dodira alata i materijala obratka.

6. LITERATURA

- /1/ Mihin N. M., Trenie v uslovijah plastičeskogo kontakta, "Nauka", Moskva (1968.).
- /2/ Popov E.A. Problematika teorii obrabotki davleniem, Kuzmečnoe - Štaltovčnoe proizvodstvo, N° 8 (1981.).
- /3/ Vaskofen W., Deformation Processing, Addison - Wesley P.C. Massachusetts - Menlo Park, London, Don Mills, (1976.).
- /4/ Isačenkov V.E., Isačenkov E.I., Obobščenie teorii trenija pri obrabotka metallov davleniem, Kuznečnoe - Štampovočnoe proizvodstvo, N° 12 (1972.).
- /5/ Ovčinnikov A.G., Dmitriev A.M., Holodnoe vidavljanie polih cilindričeskikh izdelij s aktivnymi silami trenja, Kuznečnoe - Štampovočnoe proizvodstvo, N° 6 (1981.).
- /6/ Berežnoj V.L., Moroz B.S., Razancev Ju. P., Pashalov A.C., Razrabotka sposobov vidavljivanija s aktivnim dejstvijem trenja, Kuznečnoe - Štampovočnoe proizvodstvo, N° 2 (1984.).
- /7/ Jašajaev Š. Differencirovannoe vidovlivanie Kuznečnoe - Štampovočnoe proizvodstvo, N° 6 (1972.).
- /8/ Ovčinnikov A.T., Dmitriev A.M., Antošir M.A., Štampovka detalej iz stalej i peroškov na specializirovannih hidrauličeskikh pressah, Kuznečnoe - Štampovočnoe proizvodstvo, N° 4 (1985.).
- /9/ Rabinowicz E. The Friction of Boundary Lubricated Surfaces Proc. 2nd U.S. National Congress of Applied Mechanics (1956.).
- /10/ Berežnoj V.L., Principi intensifikacii pressovanija trudno deformiruemih splavov aktivnimi silami trenja, Cvetne metali, N° 11 (1980.).