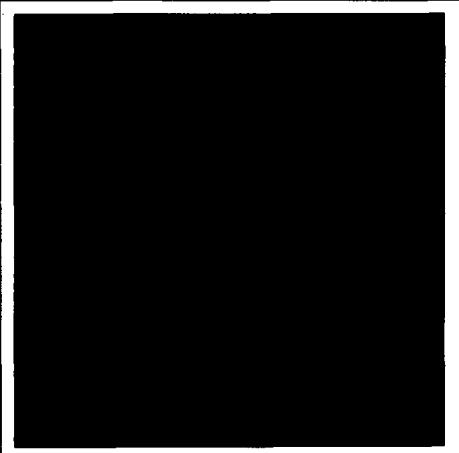
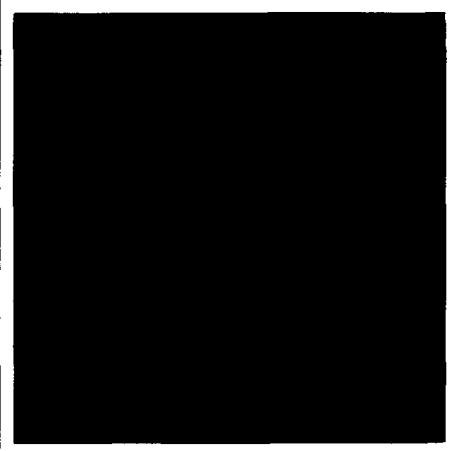
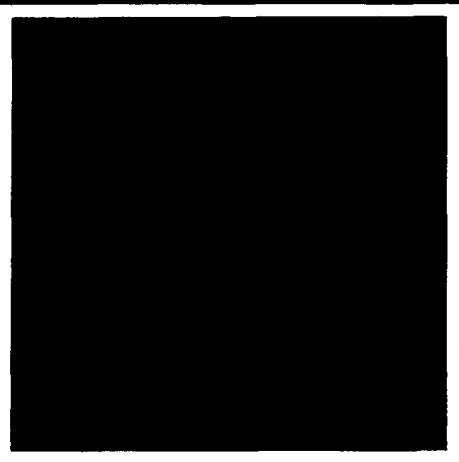
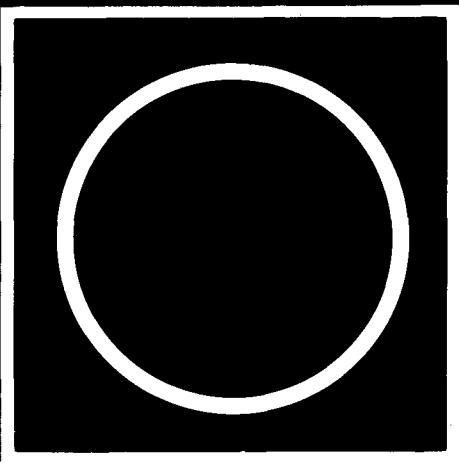
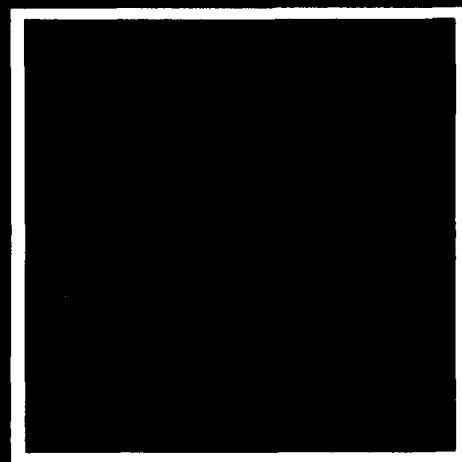


tribologija u industriji

YU ISSN 0351-1642
GODINA VIII
JUN '86.

2



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



tribologija u industriji

sadržaj contents содержание

UVODNIK INTRODUCTION ПЕРЕДОВИЦА	J. VIŽINTIN: O razvoju tribologije u SR Sloveniji - On the Development of Tribology in Slovenia - О развитии трибологии в СР Словении	35
ISTRAŽIVANJA RESEARCH ИССЛЕДОВАНИЯ	R. CEBALO: Obrada rezne površine brusa dijamantnom rolnicom - Mechaning the cutting surface of grinding wheels with a diamond roller - Обработка режущей поверхности шлифовального круга алмазным роликом	38
	YU.V. SKORININ: Metode dijagnostike u upravljanju radnim karakteristikama tribosistema sa aspekta naslednih pojava - The methods for diagnostics of tribosystems form the aspect of inheritance phenomena - Методы диагностики и управления служебными характеристиками трибосистем с учетом наследственных явлений	43
NOVOSTI NEWS ИЗВЕСТИЯ	.....	51
ZA NEPOSREDNU PRAKSU FOR DIRECT PRACTICE ДЛЯ НЕПОСРЕДСТВЕННОГО ПРАКТИКУ	.....	54
KNJICE I ČASOPISI BOOKS AND JOURNALS КНИГИ И ЖУРНАЛЫ	.....	59
NAUČNI SKUPOV SCIENTIFIC MEETINGS НАУЧНЫЕ СМЕРЖИ	.....	62
REZIMEA ABSTRACTS РЕЗЮМЕ	.....	63

J. VIŽINTIN

O razvoju tribologije u SR Sloveniji

Kao posebna vrsta strojarstva tribologija se uključila u struku relativno kasno. Tek tijesno povezivanje medju trenjem, trošenjem svih vrsta i podmazivanjem ukažalo je na potrebu zajedničkog istraživanja pojava i mjera, te njihovih međusobnih zavisnosti..

Iz povijesti tehnike poznato je da proučavanje trenja kao samostalne pojave nije ništa novo. S ciljem da se smanji trenje i trošenje takođe i u Sloveniji podmazivanje je bilo isprva zasnovano više na osnovama iskustva, nego na naučnim konstatacijama (npr.: međumoleku-larnim silama itd.). Praktični načini podmazivanja određivali su se prema iskustvima. U strojarskoj praksi tehnika podmazivanja strojeva, naprava itd. postala je i te kako važan uvjet za pravilan, ekonomičan i nesmetan pogon; inače, svaka pogreška kao posljedica nezna-nja skupo nas je koštala.

Kao u Jugoslaviji također i u SR Sloveniji, do (od-prilike) drugog svjetskog rata, strana društva za proizvodnju nafte imala su u svojoj organizaciji uključene tako nazvane "tehničke službe" koje su više ili manje uspješno vodile brigu o "pravilnom podmazivanju", mada su previše puta odlučivali komercijalni vidici. Na užem slovenačkom teritoriju nosioci tog znanja bile su "tehničke službe" Vacuma, Standard-Vacuma, Shella te još nekih drugih.

Oslonac u našim naučnim konstatacijama bio je, sva-kako, veoma labav, jer se "stručnjaci za podmazivanje" nisu udubljivali u rezultate istraživanja u inostranstvu, a o uspješnoj primjeni nije ni moglo da bude riječi.

Nakon drugog svjetskog rata i osnivanja našeg poduzeća za proizvodnju petrola - Jugopetrola, odnosno Petrola u SR Sloveniji, on je preuzeo ulogu "tehničke službe" za očuvanje nekadašnjih tradicionalnih zadataka. Ta-kvo stanje se u Jugoslaviji promijeilo nakon obnove starih rafinerija i osnivanja novih.

Jugoslovensko društvo za primjenu goriva i maziva (u Beogradu, odnosno Zagrebu) odmah nakon oslobođenja

preuzealo je pokroviteljski zadatak kod njihove proizvodnje i primjene; uz to treba naglasiti da je posredno djelovanje obuhvaćalo prije svega, ili čak isključivo, savjete. Kod odredjenog osamostaljenja naše vlastite industrije za proizvodnju nafte značaj tog društva danas je drukčiji.

Sve do danas razvoj u industriji postigao je velik napredak, prije svega s nabavom, a također i izgradnjom automatiziranih strojeva, novih naprava svih vrsta.

Tehnika podmazivanja još uvijek (i te kako!) je od velikog značaja. Također smo svjedoci da su se pored istraživanja na području podmazivanja proširila i istraživanja mehanizama trenja, trošenja i zamaranja površina. S toga je godine 1966., na prijedlog dr. Petra Josta, prihvaćen naziv TRIBOLOGIJA kao jedinstven naziv za nauku koja se bavi s istraživanjima trenja, trošenja i podmazivanja. U SR Sloveniji pratili smo ove tendencije i u siječnju 1985. godine objavili program razvoja tribologije.

"Društvo strojnih inženirjev in tehnikov - Ljubljana" na svojoj trećoj sjednici isto tako je prihvatiло zaključak o osnivanju prve sekcije za tribologiju. Postupak kod osnivanja "Društva za tribologiju Slovenije" malo se produljio, ali se nadamo da će se i ta prepreka uskoro savladati. Program rada u SR Sloveniji može se sažeti u sljedeće tačke:

1. Potrebno je stalno školovanje stručnih kadrova i upoznavanje radnika u proizvodnji s dostignućima istraživačkog rada na području tribologije. Stoga će se sekacija iznijeti prijedlog za uključivanje ove problematike u studijske programe srednjih, viših i visokih škola i organizirati predavanja u svim industrijskim središtima Slovenije i upoznati članove sekcije i korisnike s dostignućima tehnike na tom području.

2. Da bi se postigla bolja povezanost i koordinacija rada na području Jugoslavije sekcija za tribologiju SR Slovenije povezat će se sa "Zvezom društava inženirjev in

tehnikov Slovenije" i primiti stručna glasila "Strojniški vestnik", "Tribologija u industriji" i "Goriva i maziva" kao svoja stručna glasila. Društvo treba da se isto tako poveže i sa Društvom za goriva i maziva Jugoslavije.

3. S ciljem da se jača djelatnost, usmjeravanje istraživačkog i razvojnog rada sekcija će se povezati sa slovenačkom industrijom i tako će se bliže upoznati s problematikom u nas. Isto tako treba da se poveže i sa proizvodjačima tribološke opreme kod nas i u svijetu.

4. Rad u sekcijskoj većini je raznovrstan i mada srođan, on je i toliko različit da za svakog člana sekcije sva područja nisu jednako interesantna. Stoga predlažemo da se osnivaju slijedeće komisije:

a) komisija za održavanje, tehniku tribologije i dijagnostiku,

b) komisija za istraživanje računskih metoda i uljenih slojeva,

c) komisija za istraživanje svih vrsta trošenja,

d) komisija za istraživanje i razvoj materijala s postojanošću na trenje, te oplemenjivanje površina,

e) komisija za maziva.

Svaka od spomenutih komisija treba da vodi brigu o radu i razvoju struke na svom području.

5. S ciljem da sekcija postane što uspješnija potrebno je da se uključi u nju što veći broj ljudi. U tu svrhu potrebna je propagandna akcija pojedinaca, kao i jačanje organizacije te organizacione mreže društva.

6. Sekcija će uspostaviti kontakte sa domaćim i međunarodnim udruženjima i društvima za tribologiju.

Program rada obuhvata široko područje djelovanja. Očekuje se da se rezultati realizacije programa rada neće pokazati tako brzo, mada su već do sada, bar prema našoj procjeni, postignuti dobri rezultati. Predavanja s područja tribologije održavaju se na Fakultetu za strojarstvo već niz godina kao izbiran predmet treće godine studija na visokoj školi. U školskoj godini 1985/86 počeli smo izvoditi nove nastavne programe usmjerjenog obrazovanja na visokim i višjim školama. U novim programima tribologija je upisana kao zajednički predmet u četvrtoj godini studija na visokoj školi - usmjerjenje "Konstrukterstvo in gradnja strojev". Na području tribologije moguće je steći zvanje magistar i doktor tehničkih nauka. I na Tehničkom fakultetu u Mariboru pedagoški rad organiziran je na sličan način. U Ljubljani je na podiplomskom studiju upisano trenutno osam studenata. Pored redovnog i pos-diplomskog studija za radevine iz industrije organizirani su i svakogodišnji seminari (do sada bila su dva). Interes za učešće na seminarima bio je takav kao što se i očekivalo.

Za istraživački i stručni rad stoji na raspolaganju "Laboratorij oddelka za tribologijo in oplemenitenje"

(Laboratorij odjela za tribologiju i oplemenjivanje) u Zavodu za raziskavo materiala in konstrukcij-Ljubljana i "Laboratorij za tribologijo" na Fakultetu za strojništvo. U laboratoriju Zavoda za raziskavo materiala in konstrukcij zaposleno je trenutno osam istraživača, i to dva doktora nauka i dva tehničara - laboranta. Istraživanja na području tribologije su interdisciplinarana: u odjelu za tribologiju i polemenjivanje u Zavodu za raziskavo materiala in konstrukcij potrebno je naglasiti abraziono i adheziono trošenje, tribološku dijagnostiku i razvoj postupaka za oplemenjivanje metalnih površina. U laboratoriju za tribologiju na Fakultetu za strojništvo (koji je trenutno u izgradnji) rade dva istraživača i jedan laborant. Istraživački rad odvija se na području teorije EHD, zaranja površina, dijagnostike s analizom ulja te razvoja tehnike mjerenja i ispitivanja. Oba laboratorijska saraduju sa Kemijskim inštitutom Boris Kidrič, Metalurškim inštitutom, Inštitutom za elektroniku in vakuumsko tehničko i Institutom Jožef Stefan u Ljubljani te Univerzitetom u Zagrebu. U inostranstvu povezuju se sa istraživačima (s područja tribologije) na Univerzitetu u Trstu, Bundesanstalt für Materialprüfung Berlin i National Bureau of Standards u SAD.

Sa industrijom u SR Sloveniji oba laboratorijska saraduju na više zajednički dogovorenih dugoročnih projekata s područja oplemenjivanja metalnih površina, dijagnostike i razvoja materijala otpornih prema trošenju. Postignuti rezultati su podsticajni, i to naročito na području primjene tvrdih prevlaka na elementima koji su izloženi obrazionom trošenju i na području tribološke dijagnostike.

S drugim institutima i Univerzitetima u Jugoslaviji i inostranstvu saradjujemo na području primjene teorije EHD na kliznim ležajima i zupčanicima, istraživanju mehaničkih i triboloških svojstava metalnih materijala, koji su oplemenjeni s tvrdim prevlakama (boriranje, vanadiranje, TiN, navarivanje, itn.) i istraživanju triboloških svojstava nodularne litine NL 50, 60 i 70 koju proizvodi Železarna Štore. Rezultate svog rada objavljuju istraživači i ostali stručnjaci u "Strojniškem vestniku - Poročila slovenske sekcije Društva za tribologijo" te na savjetovanjima i kongresima u nas i inostranstvu.

U posljednje četiri godine objavili smo šest priloga u "Strojniškem vestniku" i pet priloga na međunarodnim konferencama i kongresima. Takodjer smo prijavili dva patenta. A naša želja je da bi većina naših priloga bila objavljena takodjer u glasilu "Tribologija u industriji" i "Goriva in maziva". Time bi se naš rad više približio i stručnjacima iz ostalih krajeva Jugoslavije. Financiranje našeg rada uredjeno je tako da 50-posto do-

bijemo od SIZ za nauku a 50-posto od industrije. Očekuje se da će ubuduće razmjer 60/40 biti u korist SIZ za nauku i međunarodnih projekata.

Oprema za istraživanje u laboratorijama ZRMK i Fakulteta za strojarstvo više je nego skromna. Uкупно imamo dva tribometara i nešto sitne opreme. Ali bile bi potrebne veće investicije u nabavu tražene opreme; stoga se i povezujemo sa korisnicima - industrijom. Uvjereni smo da ćemo u svojim nastojanjima i uspjeti. U vlastitoj režiji pripremamo nekoliko tribometara koji će biti, bar tako se nadamo, izradjeni još ove godine.

Želja nam je da ovom informacijom obavestimo čitaoce ostalih republika o našim nastojanjima na području razvoja tribologije u SR Sloveniji. Naš je cilj takodje i to da se s informacijom o našem radu otvoriti mogućnost povezivanja sa tribološkim centrima i u ostalim djelovima Jugoslavije. Takodje se nadamo da će ova informacija biti od koristi svima koji se kod svakodnevnog rada susreću sa problemima tribologije.

R. CEBALO

Obrada rezne površine brusa dijamantnom rolnicom

1. UVOD

Profiliranje rezne površine brusa dijamantnom rolnicom sve više se upotrebljava u serijskoj proizvodnji, posebno kod upravljenih strojeva i fleksibilnih proizvodnih sistema.

Glavne karakteristike dijamantne rolnice su velika izdržljivost i značajan utjecaj na hrapavost brušene površine, a posebno na svojstva rezne površine brusa. Svojstva rezne površine brusa su izražena:

- statičkim brojem oštrica na jedinicu površine
- statičkom površinom kontakta
- reznom dubinom hrapavosti odnosno prostorom za smeštaj čestica.

O statičkom broju oštrica i statičkoj površini kontakta zavise sile i temperatura brušenja te hrapavost brušene površine [1]. Obzirom na druge načine profilisanja rezne površine brusa, profiliranje dijamantnom rolnicom daje takva svojstva rezne površine brusa koja omogućavaju postizanje manje ekvivalentne debljine brušenja, ali zato i manje hrapavosti brušene površine. Vijek trajanja dijamantne rolnice je znatno duži od tlačne rolnice, što je posebno važno radi održavanja profilila kod profilnih brušenja.

Cijena dijamantne rolnice je visoka, ali je moguće naći opravdanje primjene dijamantne rolnice u uštedi vremena za profiliranje i dotjerivanje rolnice, te u većoj izdržljivosti. Uvjetima profiliranja:

- odnosom obodnih brzina profiliranja
- brzinom posmaka profiliranja
- trajanjem zastoja posmaka prodiranja nakon postizanja dubine profiliranja
- smjerom profiliranja i
- dubinom profiliranja

moguće je utjecati na rezna svojstva rezne površine brusa.

2. PROFILIRANJE DIJAMANTNOM ROLNICOM

Profiliranje dijamantnom rolnicom gotovo se redovno upotrebljava u uvjetima serijske proizvodnje, jer je uvjetima profiliranja moguće postići uvjete grubog i finog brušenja, bez ograničenja na oblik profilila. Dijamantna rolnica koja se nalazi na stolu brusilice, što je lošije rješenje, ili, bolje rješenje, iznad brusa, pogonjena je vlastitim elektronomotorom bezstopeno, brzinom vrtnje od 1000 do 5000 min⁻¹, u kontaktu sa reznom površinom brusa koja rotira normalnom obodnom brzinom brušenja, rezanjem formira željeni profil. Na sl. 1 prikazane su ulazno-izlazne veličine profiliranja dijamantnom rolnicom, a na sl. 2 dat je dijagram zavisnosti rezne dubine hrapavosti od:

- odnosa brzine profiliranja
- smjera profiliranja i
- dubine profiliranja

za brus i dijamantnu rolnicu kako je navedeno na dijagrame. Na ovom dijagrame je data zakonitost linijske zavisnosti rezne hrapavosti, rezne površine brusa od dubine profiliranja za protusmjerno i istosmjerno profiliranje, i odnos brzina profiliranja $q_d = -0,8$ i $q_d = 0,8$.

Odnos brzina profiliranja je:

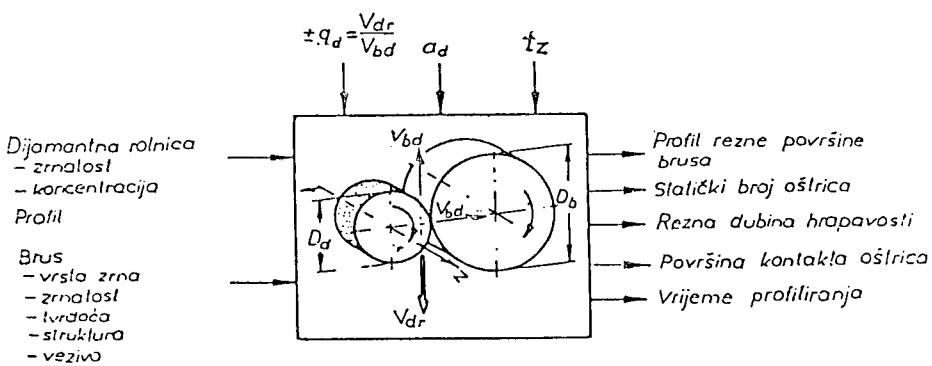
$$q_d = \frac{v_{dr}}{v_{bd}} \quad (1)$$

gdje znače:

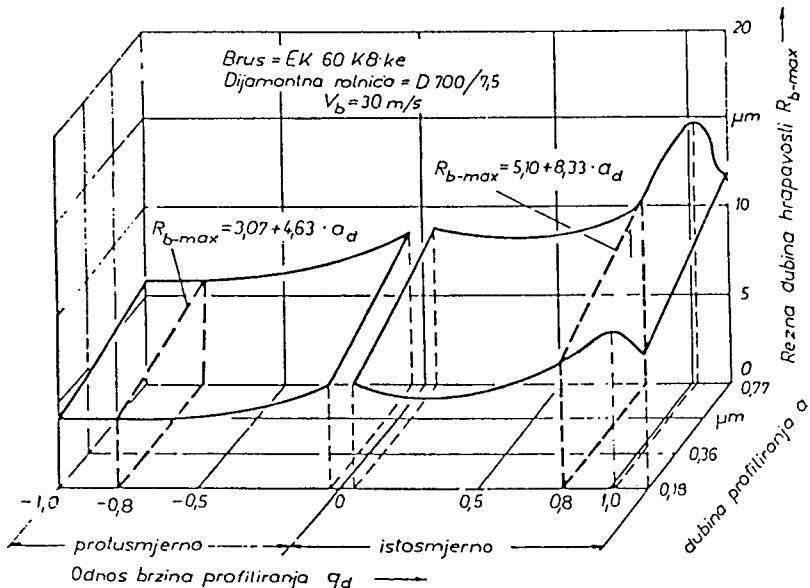
v_{dr} = obodna brzina dijamantne rolnice u ms⁻¹

v_{bd} = obodna brzina brusa pri profiliranju dijamantnom rolnicom u ms⁻¹.

Kod protusmjernog profiliranja dobiva se manja rezna dubina hrapavosti rezne površine brusa nego kod istosmje-



Sl. 1. - Ulažno-izlazne veličine profiliranja dijamantnom rolnicom



Sl. 2. - Rezna dubina hrapavosti u zavisnosti odnosa brzina i dubine profiliranja kod profiliranja dijamantnom rolnicom [2]

mog profiliranja. Ovo navodi na mogućnost da se protusmjerno profiliranje upotrebi za grubo, a istosmjerno za fino brušenje. Najveća rezna dubina hrapavosti rezne površine brusa dobiva se kada je odnos brzina profiliranja $q_d = 1$, kada se ovaj postupak profiliranja poistovećuje sa tlačnim profiliranjem, ali kod znatno većih obodnih brzina. Kod tlačnog profiliranja rolnica se kontrolja po reznoj površini brusa te ju gnjeći i drobi, pa se tako ostvaruje veća rezna hrapavost rezne površine brusa.

Daljnja mogućnost utjecaja na reznu dubinu hrapavosti rezne površine brusa je vrijeme zadržavanja t_z , a odnosi se na prekid posmaka prodiranja dijamantne rolnice i nastavak rolinja dijamantne rolnice po reznoj površini brusa. Ispitivanje utjecaja vremena zadržavanja

dato je u ovom radu.

3. ISPITIVANJE SVOJSTAVA REZNE POVRŠINE BRUSA

Odvijanje procesa brušenja, mogućnost odvodjenja čestica, sile i snaga brušenja, te kvaliteta brušene površine, zavise o svojstvima rezne površine brusa. Svojstva rezne površine brusa moguće je utvrditi ako se ispituju:

- statički broj oštrica po milimetru kvadratnom rezne površine brusa,
- statička površina kontakta oštrica rezne površine brusa,
- dubina hrapavosti rezne

površine brusa, okomito na smjer vrtnje brusa, preslikana na obradak u početku brušenja [1].

Ispitivanje svojstava rezne površine brusa vršeno je dijamantnom rolnicom sa promjenljivim veličinama:

- vrijeme zastoja posmaka prodiranja rolnice:

$$t_z = 0, 1, 3,5, 7 \text{ i } 14 \text{ sekundi}$$

- odnos brzina profiliranja:

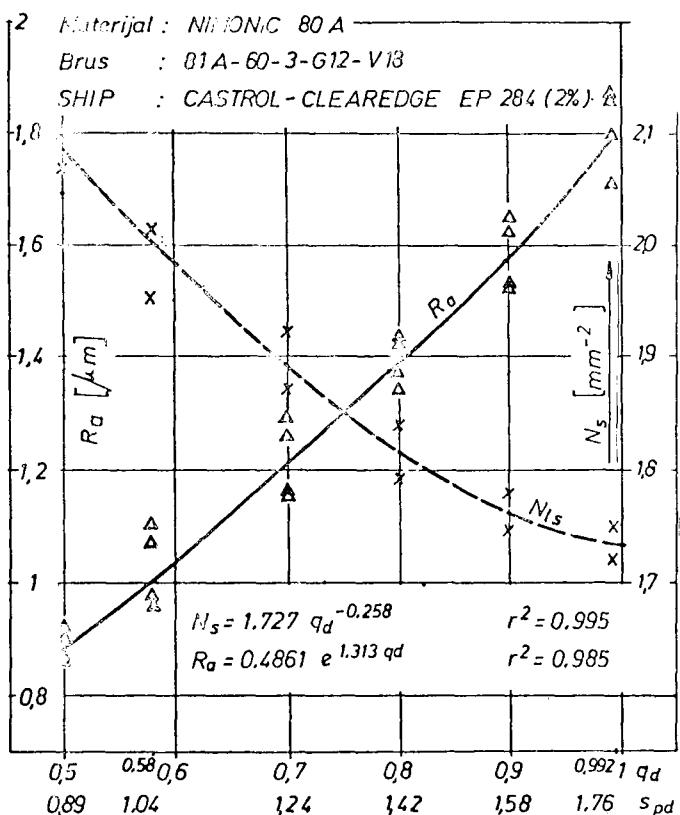
$$q_d = 0,5, 0,582, 0,7, 0,888 \text{ i } 0,992.$$

Stalne veličine u ovim ispitivanjima date su uz dijagrame na kojima su prikazani rezultati ispitivanja.

Ispitivanja su provedena tako da je rezna površina brusa nakon svakog poravnjavanja premazana indigo papirom i jednom valjana po tvrdom glatkom papiru koji se nalazio na ravnoj granitnoj ploči. Nakon toga je rezna površina brusa poravnavana s istim elementima i izvrše-

no je brušenje materijala, ali tako da bru samo dodirne obradak toliko koliko je potrebno da se izmjeri, ovako preslikana, dubina hrapavosti rezne površine brusa. Brojene oštrica vršeno je pod lupom s povećanjem 8:1. Površina kontakta oštrica brusa mjerena je na Densimetru, tj. uredaju za mjerjenje propusnosti svjetla. Dubina hrapavosti rezne površine brusa mjerena je preko brušene površine na uredjaju za mjerjenje hrapavosti Peerhameter, s radiusom tocila do 3 μm.

Na dijagramu sl. 3 prikazana je zavisnost srednje aritmetičke hrapavosti brušene površine i statičkog broja oštrica o odnosu brzina profiliranja, a odgovarajućeg posmaka prodiranja dijamantne rolnice s_{pd} . Iz dijagraha se



vidi da se povećanjem odnosa brzina profiliranja smanjuje statički broj oštrica, a povećava srednja aritmetička hrapavost brušene površine. Uz dijagram dati su i izrazi za pojedine zavisnosti koji sa velikom korelacijom i pouzdanosti slijede pokusom dobivene vrijednosti. Takodjer, rezultati, koji su ovim pokusima dobiveni i na ovim dijagramima prikazani, vrijede samo za uvjete brušenja i profiliranja koji su navedeni u opisu dijagraha.

Statički broj oštrica i hrapavost brušene površine zavise ne samo od odnosa brzina profiliranja, nego i od posmaka prodiranja, pa bi bilo interesantno istraživati njihov odvojeni utjecaj na brusilici koja to omogućuje.

Budući da statički broj oštrica, postotak statičke površine kontakta i dubina hrapavosti rezne površine brusa, kod profiliranja dijamantnom rolnicom, zavisi i od vremena zastoja posmaka prodiranja rolnice, planirani su i izvedeni pokusi prema tablici 1 u kojoj su dati i rezultati pokusa.

Na temelju rezultata pokusa iz tablice 1, matematičkom obradom dobiveni su slijedeći izrazi koji sa velikom vjerojatnošću slijede pokusom dobivene vrijednosti:

$$N_s = 17,91 t_z^{0,05} q_d^{-0,2} \quad (r^2 = 0,95) \quad (2)$$

$$A_{ks} = 16,83 t_z^{0,05} q_d^{-0,19} \quad (r^2 = 0,999) \quad (3)$$

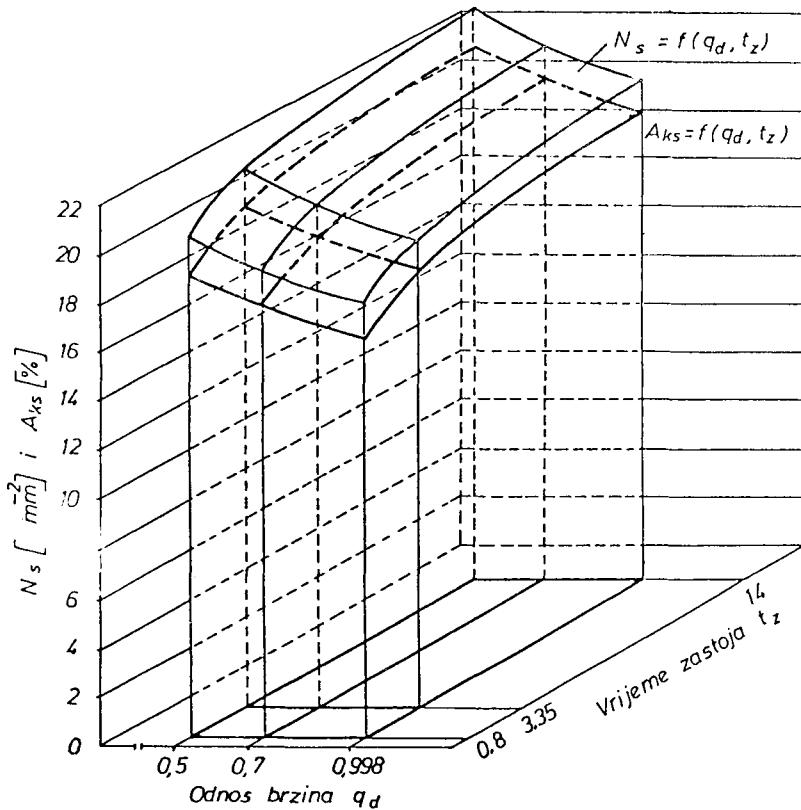
$$R_{b-max} = 7,66 t_z^{-0,08} q_d^{0,26} \quad (r^2 = 0,999) \quad (4)$$

Na temelju dobivenih izraza za izračunavanje statičkog broja oštrica i postotaka statičke površine kontakta, na sl. 4 prikazan je dijagram zavisnosti ovih veličina o odnosu brzina kod profiliranja i vremena zastoja za uvjete dane u opisu ove slike. Na slici se vidi i određena podudarnost vrijednosti statičkog broja oštrica i postotaka statičke površine kontakta po osnovnom obliku zavisnosti. U oba slučaja povećanje odnosa brzina profiliranja smanjuje, a povećanje vremena zastoja povećava statički broj oštrica i postotak statičke površine kontakta.

Na temelju izraza 4 izračunate su vrijednosti rezne dubine hrapavosti, koje su prikazane na prostornom dijagramu sl. 5, u zavisnosti od vremena zastoja i odnosa brzina profiliranja, a za uvjete profiliranja i brušenja, koji su dati u opisu slike. Na slici se uočava izrazita zavisnost rezne dubine hrapavosti rezne površine brusa od vremena zastoja profiliranja, posebno kod manjih vremena zastoja, tako da se porastom vremena zastoja smanjuje dubina hrapavosti rezne površine brusa. Porast odnosa brzine profiliranja, kako se iz slike vi-

TABELA 1. - Plan matrica $2^2 + 4$ i rezultati ispitivanja statičkog broja oštrica, postotka statičke površine kontakta i rezne dubine hrapavosti kod profiliranja S DR

ULAZNI PROSTOR			Višefaktorski plan Tip polureplike $2^k + n_0$	IZLAZNI PROSTOR		
Elementi brušenja	q_d	t_z [s]		Koordinate vektora izlaza		
Razine				x_1	x_2	N_s [mm ⁻²] A_{ks} [%] $R_{b\text{-max}}$ [μm]
Gornja (+)	0,998	14		$x_1 x_2$		
Srednja (0)	0,7	3,35				
Donja (-)	0,5	0,8				
Kodirani pros-br.pokusa	x_0	x_1	x_2			
1	1	-1	-1	1	20,4	19,6
2	1	1	-1	-1	23,3	21,2
3	1	-1	1	-1	17,6	16,0
4	1	1	1	1	20,5	19,5
5	1	0	0	0	20,7	19,5
6	1	0	0	0	20,4	19,2
7	1	0	0	0	21,0	19,8
8	1	0	0	0	19,8	18,7



Sl.4.-Zavisnost statičkog broja oštrica i postotka statičke površine kontakta od odnosa brzine profiliranja i vremena zastoja

Brus: 81A-60-3-G12-V18
Uvjeti profiliranja:

Materijal: NIMONIC 80 A
- dijamantna rolnica
- istosmjerno profiliranje
- $a_d = 0,15 \text{ mm}$
- $q_d = 0,58$

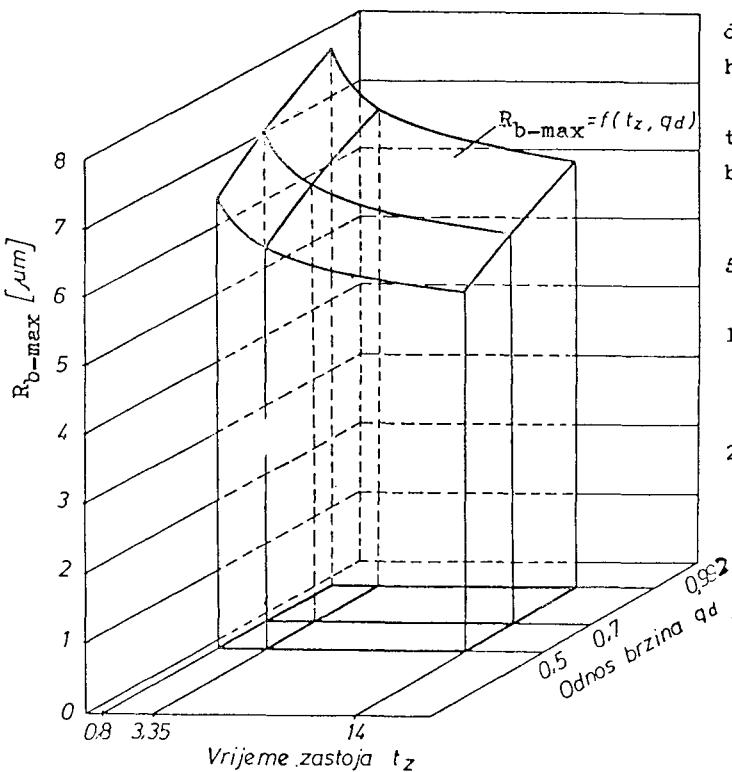
di, povećava dubinu hrapavosti rezne površine brusa, ali kako istovremeno raste i posmak prodiranja rolnice, ovo je njihov zajednički utjecaj.

Ova saznanja o svojstvima rezne površine brusa biti će od koristi pri analizi specifičnih sila brušenja i hrapavosti brušene površine. Već se sada daje naslutiti da veći broj oštrica djeluje kako slijedi:

- povećava specifične sile brušenja,
- smanjuje hrapavost brušene površine.

Faktori koji utječu na svojstva rezne površine brusa, kao odnos brzina pri profiliranju i vrijeme zadržavanja rolnice, kao i mijenjaju broj oštrica, zapravo mijenjaju rezni alat sa svim posljedicama koje iz toga proizlaze.

Naime, samo stalna svojstva rezne površine brusa mogu dati određenu razinu sila brušenja i hrapavosti brušene površine te moguću ekvivalentnu debljinu brušenja. Čim se mijenja statički broj oštrica i postotak statičke površine kontakta, mijenja se specifična sila rezanje, jer se isti volumen rezanja dijeli na različit broj oštrica pa je debljina čestice po oštrici različita. Ovo vrijedi za slučaj čistog rezanja ili brazdanja. Kod odvajanja čestica trenjem, različiti broj statičkih oštrica i postotka statičke površine kontakta mogu mijenjati elementarne procese. Isturenje rezne oštice djelovat će u području makro procesa, a manje isturene oštice i one u zaklonu mogu raditi u području mikro procesa. Ovo može imati za posljedicu promjenu razine sile brušenja.



Sl. 5. - Zavisnost dubine hrapavosti rezne površine brusa od vremena zastoja i odnosa brzine profiliranja

Brus: 81A-60-3-G12-V18

Materijal: NIMONIC 80A

- Uvjeti profiliranja:
- dijamantna rolnica
 - istosmjerno profiliranje
 - $a_d = 0,15 \text{ mm}$
 - $v_b = 29 \text{ ms}^{-1}$
 - $v_s = 1,66 \text{ mm s}^{-1}$
 - $\alpha = 0,3 \text{ mm}$
 - $D_b = 0,4 \text{ m}$
 - SHIP CASTROL-CLEAREDGE EP 284 (2%)
- Uvjeti brušenja:

4. ZAKLJUČAK

Kod profiliranja dijamantnom rolnicom, statički broj oštrica i postotak statičke površine kontakta zavise od vremena zastoja posmaka prodiranja. Veće vrijeme zastoja posmaka prodiranja rolnice daje veće vrijednosti statičkog broja oštrica i postotka statičke površine kontakta oštrice, pri čemu profiliranje dijamantnom rolnicom daje veće vrijednosti nego druga profiliranja rolinjem.

Dubina hrapavosti rezne površine brusa okomito na smjer vrtnje pada sa povećanjem vremena zastoja, s time

da profiliranje dijamantnom rolnicom daje manju dubinu hrapavosti od ostalih načina profiliranja rolinjem.

Srednja aritmetička hrapavost brušene površine raste, a statički broj oštrica opada sa povećanjem odnosa brzina pri profiliranju dijamantnom rolnicom.

5. LITERATURA

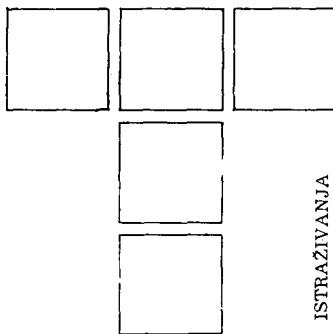
1. CEBALO R., "Optimalno područje brušenja u puno vatromotpornih Ni-legura za plinske turbine", doktorska disertacija, FSB Zagreb, 1985.
2. ROHDE G., "Einfluss von Abrichtrolle, Abrichtbedingungen und Schleifscheibe auf das Schleifergebnis", Schleifen, Honen, Läppen und Polieren, 50. Ausgabe, Vulkan-Verlag, Essen, 1981.



Dr ROKO CEBALO, dipl. inž. rodio se 24. svibnja 1930. god. u Lombardi na Korčuli. Tu je pohadiao i završio osnovnu školu. Školu učenika u privredi je pohadiao i završio u Korčuli, a istovremeno je radio u brodogradilištu "Ivan Cetinić" u Korčuli. Godine 1947. zaposlio se u brodogradilištu "Split" i završio

večernju tehničku školu. Studirao je na Fakultetu strojarstva i brodogradnje u Zagrebu, gdje je 1960. godine diplomirao. Na istom fakultetu je 1972. god. magistri- rao, a 1985. doktorirao. Od 1961. radi u Jugoturbini na stručno-rukovodnim radnim mjestima. Paralelno predaje na Višoj tehničkoj strojarskoj školi u Karlovcu (sada FSB-Zagreb – studij strojarstva u Karlovcu). Pored magistar- skog rada i disertacije objavio je 19 naučnih radova, sa 9 radova je učestvovao na naučnim skupovima, izradio je 6 studija, ima 7 unapredjenja proizvodnje, a samostalno ili kao voditelj zadatka napravio je 22 stručna rada.

Sada radi u RO Istraživanje i razvoj CUR-a "Jugo- turbina" kao pomoćnik direktora za strategiju razvoja.



Metode dijagnostike i upravljanja radnim karakteristikama tribosistema sa aspekta naslednih pojava

1. UVOD

Postizanje visoke pouzdanosti mašina i opreme i smanjenje složenosti remontnih radova povezano je sa usavršavanjem metoda dijagnostike i upravljanja radnim karakteristikama triboloških sistema (*T*-sistema), posebno sa stvaranjem adaptivnih sistema sa sposobnošću "samoobnavljanja".

U poslednje vreme velika pažnja se posvećuje razvoju adaptivnih mašina sa numeričkim upravljanjem. Postoje dve varijante adaptivnih sistema za upravljanje mašinama: upravljanje metodom korekcije komandnog programa, koji obezbeđuje automatizaciju geometrijskog podešavanja mašine i upravljanje režimima rezanja, koje sa svoje strane omogućuje automatizaciju tehnološkog podešavanja mašine. Ipak, efikasnost sistema se smanjuje u procesu eksploatacije zbog promene kinematskih i dinamičkih svojstava mašinskih sistema usled habanja tarnih parova, starjenja materijala delova, akumuliranja plastičnih deforma-cija na različitim spojevima i razdešavanja mehanizama. Zbog toga postoji problem stvaranja samoregenerativnih struktura u kojima se automatski nadoknadjuju habanje, elastične i temperaturne deformacije. Radovi u tom pravcu još uvek su u početnoj fazi. Osnovni uzrok kašnjenja ove vrste istraživanja, po našem mišljenju, su nedostatak i teškoće dobijanja informacija o zakonitostima procesa gubljenja radne sposobnosti mašina i opreme, kao i nedovoljan razvoj metodoloških osnova upravljanja tim procesima. Na tom planu saznanja o tehnološkom i eksploataционom nasledju triboloških sistema pružaju dodatne mogućnosti za izučavanje pojava koje dovode do gubitka radne sposobnosti, pošto se one u datom slučaju razmat- raju sa aspekta uzajamne povezanosti i uzajamne zavisnosti sa kompleksom konstruktivnih, tehnoloških i eksploatacionih faktora.

Znači da se kod automatizovane opreme zadatak sas- toji u tome da se obezbedi prelaz od pasivnog stvaranja

rezervi, koje se postižu planiranjem pri projektovanju i izradi, ka aktivnom stvaranju rezervi koje obuhvata stanju kontrolu i obnavljanje radne sposobnosti.

2. POJAM NASLEDJA TRIBOLOŠKIH SISTEMA

U radovima (I-3) date su definicije tehnološkog nasledjivanja i tehnološkog nasledja. Prema radu (3) pojava prenošenja svojstava objekta iz prethodnih tehnoloških operacija u sledeće naziva se tehnološkim nasledjivanjem, a očuvanje tih svojstava - tehnološkim nasledjem.

Predlažemo da eksploatacionim nasledjivanjem nazo-vemo promene u procesu eksploatacije početnih svojstava objekta, zavisno od uslova i režima njegovog rada, a eksploatacionim nasledjem - vremensko zadržavanje tih svojstava (4,5).

Ako je nosilac informacije o nasledju u fazi izrade materijal dela i njegova konfiguracija, onda će u fazi eksploatacije nosilac te informacije biti materijal dela, njegova konfiguracija, mazivo i radna sredina. U procesu eksploatacije triboloških sistema u zavisnosti od različitih faktora povezanih sa sredinom, režimom rada i uslovima održavanja menja se početna struktura materijala delova, njihova mikro i makrogeometrija, čvrstoća spojeva i pokretnih sprega, kinematika i dinamika sklopova i mehanizama. Taj proces gubljenja radne sposobnosti tribološkog sistema ima naknadno dejstvo koje se ispoljava tako što njegova brzina u datom momentu zavi-si od veličine akumuliranih oštećenja na delovima i od uslova dotadašnjeg korišćenja mašine. Predistorija opterećenja ispoljava se u vidu potpuno odredjene promene strukture materijala delova, njihove mikro i makrogeome-trije, veličine i oblika zazora, svojstava maziva i stanja radne sredine (zagadjenosti, temperature, vlažnosti). Ovakve promene mogu se zadržavati tokom dosta dugog vremen-skog perioda i bitno uticati na preraspodelu optere-

ćenja između sklopova i delova, na uslove podmazivanja i kontakt tarnih površina, pa samim tim i na dalji razvoj procesa gubljenja radne sposobnosti mašine.

Zavisno od karaktera procesa koji uslovjavaju raznolike posledice, i vrste parametara h koji se kontroliše razlikovačemo sledeće posledice: povratne i nepovratne posledice, prve i druge vrste.

Povratne posledice prve vrste uslovljene su temperaturnim promenama triboloških sistema, a nepovratne posledice druge vrste - njihovim dinamičkim svojstvima. Ove posledice se ispoljavaju kroz nastanak određenih prelaznih perioda u dinamici tribološkog sistema i njegovom temperaturnom režimu pri promeni dejstva opterećenja. Trajanje i parametri prelaznih procesa zavise od stanja tribološkog sistema, koje određuje veličina raspoloživog resursa, i od veličine promena faktora opterećenja koji izazivaju poremećaje sistema i njegov prelazak u novo kvazistabilno stanje.

Nepovratne posledice povezane su sa procesima trenja i habanja koji se odvijaju u T -sistemima.

U zavisnosti od vremena (T_n), u toku koga se zadržavaju promene procesa habanja, povezane sa predistorijom korišćenja T -sistema, razlikovačemo dve vrste nepovratnih posledica: posledice prve i druge vrste.

Posledice prve vrste karakteriše to što se promene procesa gubljenja radne sposobnosti proizvoda, uslovljene predistorijom dejstva opterećenja, zadržavaju tokom njegovog čitavog radnog veka (T_a), tj. $T_n \leq T_a$.

Ako je $T_n < T_a$, onda se javlja nepovratna posledica druge vrste (proces sa "sečanjem koje bledi"). U procesima habanja \bar{T} -sistema po pravilu se istovremeno ispoljavaju nepovratne posledice prve i druge vrste. To je uslovljeno dubinom "sečanja" na predistoriju opterećenja koje postoji kod različitih nosilaca informacije o nasledju.

3. DIJAGNOSTIKA

Predstave o eksploatacionom nasledju omogućuju proučavanje postavljanje dijagnoze T -sistema zahvaljujući dobijanju dodatnih informacija o procesima gubljenja njegove radne sposobnosti uz uzimanje u obzir različitih posledica i mogućeg međusobnog uticaja elemenata T -sistema.

Razrada modela dijagnostike uključuje rešavanje sledećih zadataka:

- izradu modela objekta i određivanja zbira informativnih obeležja, koja su vrlo osjetljiva na prepoznatljivu vrstu oštećenja;
- identifikaciju modela objekta na osnovu eksperimentalnog određivanja njegovih parametara;

- raspoznavanje oštećenja i donošenje odluke o svrstavanju tekućeg stanja objekta u jedno od prepozнатljivih stanja.

Najpotpuniju informaciju o stanju T -sistema, čiji procesi gubljenja radne sposobnosti nose posledice, obezbeđuje režim testiranja uz dejstvo dinamičkog opterećenja. Zbog toga T -sistem u mnogim slučajevima treba predstavljati u vidu dinamičkog sistema "koji stari", čiji se parametri menjaju u toku eksploatacije. Ti modeli uzimaju u obzir i međusobnu zavisnost i uzajamni uticaj elemenata T -sistema.

Razlikujemo strukturni i funkcionalni dinamički model (6). Strukturni dinamički model (SDM) otkriva strukturu objekta i formuliše se u terminima masa, prigušivača i krutosti. Funkcionalni dinamički model (FDM) daje kvantitativni opis dinamičkih svojstava objekta kroz termin "ulaz-izlaz". Kao primer FDM može da se uzme neprekidno prenosna funkcija. Za dijagnosticiranje oštećenja, koja se nagomilavaju, i pojava naslednog karaktera, potrebno je da se ovi modeli dopune modelima procesa gubljenja radne sposobnosti. Za SDM modele procesa gubljenja radne sposobnosti mogu da se prikažu u vidu zakonitosti menjanja u vremenu parametara krutosti i prigušivanja (amortizacije), a za FDM - u vidu zakonitosti menjanja prenosne funkcije.

Kako smo već pokazali, pri impulsnom ili stupnjevitom delovanju s ciljem testiranja, nastaju povratne i nepovratne posledice koje se u nizu slučajeva mogu opisati u vidu sledećih zavisnosti:

$$\hat{h}(t) = \int_0^t \Pi_H(\tau) \hat{x}(t-\tau) d\tau,$$

gde je:

$\hat{h}(t)$ - funkcija koja održava reakciju T -sistema na sile testiranja $\hat{x}(t)$;
 $\Pi_H(\tau)$ - jezgro nasledja.

Gledano sa aspekta nasledja T -sistema jezgro $\Pi_H(\tau)$ karakterišu povratne i nepovratne posledice, uslovljene kako dinamičkim procesima tako i habanjem.

Kao uopštene pokazatelje kvaliteta (PK) T -sistema, koji određuju njegovu radnu sposobnost uzimajući u obzir nasledne pojave, treba uzeti težinu "sečanja" Π_H^{max} - maksimalnu vrednost funkcije $\Pi_H(\tau)$ i dubinu "sečanja" T_{Π} - vreme slabljenja (odumiranja) funkcije $\Pi_H(\tau)$. Zavisno od parametra h , koji se kontroliše, ovi pokazatelji kvaliteta karakterišu stanje strukture površinskih slojeva materijala kontaktirajućih delova i njihovu mikrogeometriju, ili kontaktну čvrstoću i postojanje u zoni trenja maziva i njegovo stanje, ili makrogeometriju i raspodelu habanja po tarnim površinama.

Pri prognoziranju pouzdanosti T - sistema neophodno je da se odredi nivo opterećenja koja izazivaju oštećenja. Jezgro nasledja omogućuje da se odredi sposobnost nanošenja oštećenja koju poseduju pojedine komponente spektra eksploracionih opterećenja po težini i dubini "sečanja". Pri tome, na osnovu prethodnih eksperimentalnih istraživanja, treba utvrditi vezu između PK sa karakterom kontaktnog uzajamnog dejstva tarnih površina.

Razmotrićemo pojedina pitanja povezana sa dijagnostikom T - sistema koji poseduje nasledje na sledećim primerima: tarna sprega, tarni sklop, mehanizam.

3.1. Tarna sprega

Dragocenu informaciju o stanju tarne sprege i stepena gubitka njene radne sposobnosti sadrži spektar vibracionih relativnih pomeranja tarnih delova i u spektru akustičkog emisionog zračenja (AE). Pokazaćeno da se na osnovu komponenata spektra vibracionih pomeranja (kretanja) mogu otkrivati posledice prve vrste, a promene AE moguće su određivanje dubine "sečanja" pri posledicama druge vrste.

U procesu relativnog pomeranja hraptavih tvrdih tela u zoni njihovog kontakta objedinjuju se neprekidne kvaziperiodične normalno usmerene oscilacije koje ne slave i čija je osnovna frekvencija približna sopstvenoj frekvenciji linearnih oscilacija (7)

$$v = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (1)$$

gde je: k - koeficijent kontaktnе čvrstoće;

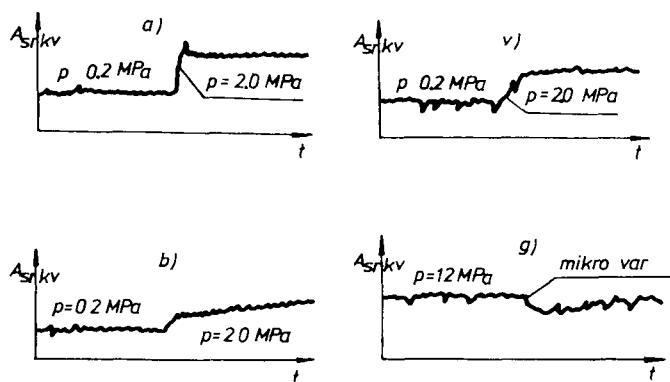
m - masa klizača.

Pri povećanju brzine raste amplituda razmatranih oscilacija pošto se intenziviraju normalne komponente mikroimpulsa koje nastaju pri sudarima mikroneravnina.

Postoji shvatanje o povezanosti oscilacija u T -sistemu koja se u većini slučajeva odnose na složene elastične sisteme. Postojanje povezanosti znači da normalne, tangencijalne uzdužne i poprečne oscilacije klizača ne mogu da se odvijaju nezavisno. Smatra se da povezanost zavisi od blizine sopstvenih frekvencija odgovarajućih oscilacija i od karaktera njihove veze (8). Znači, ako se iz spektra vibracija spregnutih delova izdvoji frekvencija v , onda se pomoću formule (1) može odrediti koeficijent k , koji karakteriše kontakt tarnih parova, njihovu mikrogeometriju. Na osnovu menjanja koeficijenta k u procesu rada tarne sprege može da se kontroliše menjanje makrogeometrije tarnih površina, tj. da se prate posledice druge vrste. Pre toga analitičkim ili eksperimentalnim putem treba da se dobije zavisnost ko-

eficijenta k od odstupanja oblika kontaktnih površina.

Pojava akustičke emisije (AE) uslovljena je elastičnoplastičnim deformisanjem najfinijih površinskih slojeva materijala delova pri njihovom tarno-kontaktnom uzajamnom dejstvu. Plastično deformisanje i akumuliranje elastične energije u deformisanim zonama zavisi od razmnožavanja, kretanja i uzajamnog dejstva dislokacija medju sobom i sa drugim defektima strukture. Dodatna potencijalna energija, koju pri tome akumulira kristalna rešetka, pretvara se u energiju elastičnih oscilacija, pobudjujući u materijalu impulse AE (9). Nivo signala AE određuju, kako elastično-plastična svojstva materijala kontaktirajućih tela, tako i uslovi trenja. Spektar akustičkih signala, koji se generišu u procesu trenja, dostiže 1 MGc (10).



Sl. 1. - Zavisnost prosečnih kvadratnih amplituda AE Asr. kv od opterećenja; a, g - čelik, SH - 15; b - bronza, BROClO-2; v - duraluminijum D-16

Stupnjevito povećavanje spoljašnjeg opterećenja prati intenzivan porast akustičkog emisionog zračenja sve dole dok se ne uspostavi novo stanje ravnoteže u zoni kontakta (sl. 1). Vreme za koje se stabilizuje AE odgovara trajanju prethodnog perioda, uslovjenog posledicom druge vrste. Ovo vreme se može tretirati kao dubina "sečanja".

Da bi se odredilo jezgro nasledja mogu se iskoristiti radioindikatorske metode kontrole habanja, koje moguće su neprekidno merenje intenziteta habanja tarnih površina (11).

3.3. Tarni sklop

Uopšte gledano tarni sklop predstavlja nelinearni dinamički sistem koji može da se zapiše u vidu jednačine

$$\phi_n(x, x', x'', \dots, H, H', H'', \dots) = 0 \quad (2)$$

Ipak, kod mnogih T -sistema nelinearnost je izražena relativno slabo "u vidu ujednačenih blagih krivih njihovih statičkih karakteristika" (12) i uz odgovarajuća ograničenja raspona istraživanih parametara, one se mogu prikazati linearnim aproksimacijama. Ovo omogućuje da se pri opisu i analizi tarih sklopova koristi matematički aparat linearnih sistema automatskog upravlja-nja.

Recimo da uspostavljeni režim rada T -sistema odgovara vrednostima ulazne i izlazne veličine X_o i H_o i da su odstupanja X od X_o dosta mala. Razlaganjem nelinearne funkcije (2) na Tejlorov niz, u tački uspostavljenoj režima, dobijemo linearnu diferencijalnu jednačinu u ostupanjima

$$(\frac{\partial \phi_H}{\partial X})_o \Delta X + (\frac{\partial \phi_H}{\partial X^2})_o \Delta X^2 + (\frac{\partial \phi_H}{\partial X^3})_o \Delta X^3 + \dots$$

$$+ (\frac{\partial \phi_H}{\partial H})_o \Delta H + (\frac{\partial \phi_H}{\partial H^2})_o \Delta H^2 + (\frac{\partial \phi_H}{\partial H^3})_o \Delta H^3 + \dots \approx 0$$

Ova jednačina uz uračunavanje samo navedenih članova može se zapisati i na sledeći način (13)

$$T_1^2 P_t^2 + T_2 P_t + 1) h^o = (K_1^o + K_2^o P_t + K_3^o P_t^2) X^o \quad (3)$$

gde su: $P_t = \frac{d}{dt}$ - operator diferenciranja po vremenu;

X_o, h_o - priraštaji promenljivih u relativnim jedinicama

$$X^o = \frac{\Delta X}{X_o}, \quad h^o = \frac{\Delta H}{H_o};$$

K_1^o, K_2^o, K_3^o - koeficijenti prenosa,

$$K_1^o = \frac{(\frac{\partial \phi_H}{\partial X})_o}{(\frac{\partial \phi_H}{\partial H})_o} \cdot \frac{X_o}{H_o}, \quad K_2^o = - \frac{(\frac{\partial \phi_H}{\partial X^2})_o}{(\frac{\partial \phi_H}{\partial H})_o} \cdot \frac{X_o}{H_o},$$

$$K_3^o = - \frac{(\frac{\partial \phi_H}{\partial X^3})_o}{(\frac{\partial \phi_H}{\partial H})_o} \cdot \frac{X_o}{H_o};$$

T_1^2, T_2 - vremenske konstante,

$$T_1^2 = \frac{(\frac{\partial \phi_H}{\partial H^2})_o}{(\frac{\partial \phi_H}{\partial H})_o}, \quad T_2 = \frac{(\frac{\partial \phi_H}{\partial H^3})_o}{(\frac{\partial \phi_H}{\partial H})_o}$$

Jednačinu (3) prikazuju takođe i pomoću prenosne funkcije T -sistema $W_n(P_t)$ na sledeći način

$$h^o = W_n(P_t) X^o,$$

$$W_n(P_t) = \frac{K_1^o + K_2^o P_t + K_3^o P_t^2}{T_1^2 P_t^2 + T_2 P_t + 1}$$

Ako sistem ima n ulaza onda se za njegov opis koristi diferencijalna jednačina tipa

$$Q^o(P_t) h^o = \sum_{i=1}^n R_i^o(P_t) X_i^o$$

ili

$$h^o = \sum_{i=1}^n W_{n,i}(P_t) X_i^o$$

$W_{n,i}(P_t)$ - predajna funkcija T -sistema za i ulaznih dejstava

Ovde su X_i - ulazni uticaji na sistem, $i = 1, n$;

$Q^o(P_t), R_i^o(P_t)$ - polinomi prema P_t ;

$$W_{n,i}(P_t) = \frac{R_i^o(P_t)}{Q^o(P_t)}.$$

Polinom $R_i^o(P_t)$ menja se u zavisnosti od korelacije između veličine ulaznog uticaja i vrednosti izlaznog parametra. Polinom $Q^o(P_t)$ predstavlja karakteristiku T -sistema; ako $Q^o(P_t)$ izjednačimo sa nulom možemo dobiti karakterističnu jednačinu, čiji koren određuju vrstu pojedinih rešenja T -sistema (14).

Procesi habanja tarih površina dovode do promene kontaktne krutosti pokretnih sprega delova i povećanja zazora, tj. do promene parametara T -sistema i njegove prenosne funkcije. Zbog toga pri ispitivanju veka trajanja T -sistemi treba razmatrati kao nestacionaran sa parametrima koji se tokom vremena polagano menjaju. Ipak, pri određivanju vrednosti izlaznog parametra T -sistema, za relativno kratak vremenski period, pri radu na normalnom režimu, sistem se može smatrati stacionarnim ako su za to vreme promene njegovih parametara neznatne. Pri tome se obavezno moraju uračunati ukupan učinak T -sistema T i predistorija opterećenja, od kojih zavise vrednosti parametara T -sistema u datom vremenskom momentu.

Prema tome, prenosna funkcija

$$W_n = W_n(X_e, X_{e-1}, \dots, X_{e-m}; T), \quad (4)$$

Ova zavisnost održava eksplatacionalno nasleđe T -sistema, uslovljeno eksplatacionim nasleđjem upotrebljenih materijala i tarih sprega.

U zavisnosti od obima prethodne informacije o T -sistemu, potrebne dubine postavljanja dijagnoze i mogućnosti mernih sistema, T -sistemi se prikazuju u vidu FDM ili SDM. Ovi modeli se dopunjavaju modelima procesa gubljenja radne sposobnosti. FDM se dopunjavaju zakonitostima tipa (4), a SDM - zakonitostima menjanja čvrstoće

zazora, parametara prigušnih (amortizujućih) elemenata.

Na primer, SDM sklopa vretena na ravanskoj brusilici sa hidrodinamičkim ležajevima tipa LON-34 ima sledeću formu (11):

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{2D}{\lambda^2(T)-\omega^2}, \quad j_{\Sigma} \leq 5 \cdot 10^7 \text{ H/M}; \\ \frac{2D}{\lambda^2-\omega^2} + K_j |j_{\Sigma}(T) - j_{\Sigma O}| > 5 \cdot 10^7 \text{ H/M}; \end{array} \right. \quad (5)$$

$j_{\theta}(T)$ - amplituda oscilacija vretena u odnosu na kućište
brusne glave posle učinka T ;

$\lambda^2 \lambda_O$ - frekvencije slobodnih oscilacija vretena pri uk-
upnoj krutosti ležajeva j_{Σ} i $j_{\Sigma O} = 5 \cdot 10^7 \text{ H/M}$;

K_j - konstantni koeficijent;

ω - ugaona brzina obrtanja vretena;

D^* - konstrukcioni parametar,

$$D^* = P_O/m_1;$$

P_O - amplitudna vrednost sile koja izaziva promene razb-
alansiranošću vretena, delova i brusnog tocila na
njemu;

m_1 - masa vretena i čvrsto povezanih sa njim delova. Pri
izradi modela procesa gubljenja radne sposobnosti
polazili smo od sledećih stavova:

1) Habanje košuljica kliznih ležajeva i radnih ru-
kavaca vretena odvija se, uglavnom, u momentu pokretanja
i zaustavljanja vretena kada nema postojanog sloja ma-
ziva između tarnih površina. Pri tome presudan uticaj
na intenzitet habanja ležajeva ima zagadjenost ulja ab-
razivnim česticama.

2) Smanjenje krutosti konstrukcije ležaja uslov -
ljeno je nagomilavanjem plastičnih deformacija i sman-
jenjem prednapona u loznom spoju klina sa kućištem brus-
ne glave zbog dejstva cikličnih opterećenja pri starto-
vanju vretena.

Znači, proces gubljenja radne sposobnosti sklopa
vretena zavisi od brzine habanja kliznih ležajeva i br-
zine menjanja njegove krutosti.

Na osnovu ovakvih pretpostavki i rezultata eksperi-
mentalnih istraživanja prosečna brzina habanja (v_u)
i prosečna brzina menjanja krutosti konstrukcije (v_{jk})
određuje se pomoću formula

$$V_u = \frac{C^* v}{\delta^3}, \quad (6)$$

$$V_{jk} = \frac{C_{jk} v}{\delta^3} \quad (7)$$

gde je: v - frekvencija ciklusa "pokretanje-zaustavlja-
nje" vretena;

C^* - koeficijent koji zavisi od materijala i teh-

nologije izrade vretena i košuljica ležajeva, od kvaliteta,
zagadjenosti i radne temperature maziva, $\text{mkm}^4/\text{cik-
lus}$;

C_{jk} - koeficijent koji zavisi od materijala i tehnolo-
logije izrade klina, preciznosti lozne i sferne sprege,
 $\text{H.m}^2/\text{ciklus}$.

Eksperimentalno smo utvrdili sledeću zavisnost koe-
ficijenta C_u^* od koncentracije abrazivnih čestica u mazi-
vnom materijalu

$q_{a\delta}$:

$$C_u^* = \sqrt{210^2 - [2,5(q_{a\delta} - 74)]^2} - 90$$

U ovoj formuli $q_{a\delta}$ izražava se u mg/l. Sa povećanjem ra-
dnog dijametralnog zazora smanjuje se brzina V_u , pošto
se smanjuje količina abrazivnih čestica, koje učestvuju
u procesu međusobnog dejstva tarih površina. Brzina
 V_{jk} je takođe obrnuto proporcionalna radnom poprečnom
zazoru, zato što se sa povećanjem zazora smanjuje veličina
opterećenja koja deluje na elemente ležaja pri pokre-
tanju vretena. Zazor δ i krutost konstrukcije j_k pove-
zani su izvesnom zavisnošću ukupne krutosti ležaja j_{Σ} ,
koji ulazi u SDM sklopa vretena (5). Zbog toga zavisno-
sti (6) i (7) odražavaju eksploraciono nasledje ležaje-
va u sklopu vretena. U datom slučaju javlja se posledica
prve vrste.

3.3. M e h a n i z a m

Razmotrićemo šemu postavljanja dijagnoze na primeru
mekhanizma ugaone orijentacije sa lančanom strukturom
(15). Pretpostavimo da na izlaznu "petlju" mehanizma del-
uje dinamičkom silom testiranja M_D . Ako u mehanizmu
postoje zazori to se ulazni signal $x_n(t_n)$ - vibroimpuls
na pošiljka pri nastanku udarnog impulsa q_n određuje
pomoću zavisnosti

$$x_n(t_n) = A_n e^{-\delta_n t_n} \sin(\sqrt{k_n^2 + \delta_n^2 t_n} + B_n),$$

gde je:

A_n - maksimalna vrednost vibroubrzanja u udarnom i-
mpulu;

δ_n - logaritamski dekrement prigušivanja (slablje-
nja, zamiranja);

k_n - frekvencija oscilacija pri sudaru n -og kinema-
tskog para;

B_n - početna faza oscilacija.

Udarni impuls pri izboru zazora $\Delta\phi_n$ jednak je

$$q_n = \mu_n V_n^{(1-\alpha_n + 1)},$$

gde je:

μ_n - navedena masa sistema tela koja se sudaraju;

V_r - brzina udara;

a_{n+1} - koeficijent uspostavljanja brzine pri udaru.

Smatramo da dijagnostički sistem obezbeđuje istovremeno registrovanje ugla zaokreta ulazne petlje i parametara dinamičkog procesa (ugaona pomeranja, brzine, ubrzanja) pomoću davača postavljenih u najinformativnije tačke mehanizma. Uz pretpostavku o linearnosti kanala provodljivosti od sistema tela koja se sudaraju pri izboru zazora $\Delta\phi_n$ do i -te dijagnostičke tačke ponašanje mehanizma u tom periodu opisuje se sistemom jednačina:

gæe je:

$a_i(t)$ - vibroubrzanje u i -toj dijagnostičkoj tački;

$h_1^1(t-\tau_1), h_2^1(t-\tau_2), \dots, h_n^1(t-\tau_n)$ - impulsna prelaz-
na funkcija kanala od sistema tela koja se
sudaraju, pri izboru zazora $\Delta\phi_n$ do i -te
dijagnostičke tačke;

$\phi_1(t)$ - ugao zaokreta izlazne petlje;

ΣA - zbir rada potrebnog za ugaono pomeranje kinematiskih parova mehanizma;

$J_i^{np}(\phi)$ - zavisnost momenta inercije, koji deluje na prvu petlju, od ugla zaokreta.

Parametri u jednačinama (1) i (2) određuju se eksperimentalno. Raspoznavanje odgovarajućih dijagnostičkih signala utvrđuje se prema razlici u impulsima prelaznih funkcija kanala do i -tih dijagnostičkih tačaka.

U procesu habanja menjaju se karakteristika kontakta tela koja se sudaraju pa samim tim koeficijent uspostavljanja pri udaru α . To dovodi do promene udarnog impulsa q , pri nepronjenenoj sili testiranja MD . Znači da se na

osnovu oscilograma vibroubrzanja može oceniti ne samo promena zazora zbog habanja ili temperturnih deformacija, već i stanje tarnih površina.

Potrebna oprema: aparat za merenje vibracija tipa VI6-5MA, pjezoelektrični akcelerometri tipa KD 35 i mer-
ać udara SM-231 firme RFT (DDR), višekanalni uredjaj za
registrovanje visokofrekventnih vibracija, svetlosni os-
cilograf K-115.

4. UPRAVLJANJE

Producetek veka trajanja T -sistema povezan je sa otklanjanjem negativnih faktora eksploatacionog nasledja ili smanjenjem njihovog uticaja na kvalitet funkcionisanja tarnih sklopova i mehanizama. Polazeći od analize procesa gubljenja radne sposobnosti tarnih sklopova i mašina mogu se formulisati sledeći principi upravljanja eksploatacionim nasledjem:

- obezbedjenje potpunog odsustva habanja ili visoke otpornosti delova na habanje;
 - obezbedjenje ravnomerne raspodele habanja po poslovnim trenjima;
 - obezbedjenje nezavisnosti bitnih parametara tarskog sklopa od habanja delova.

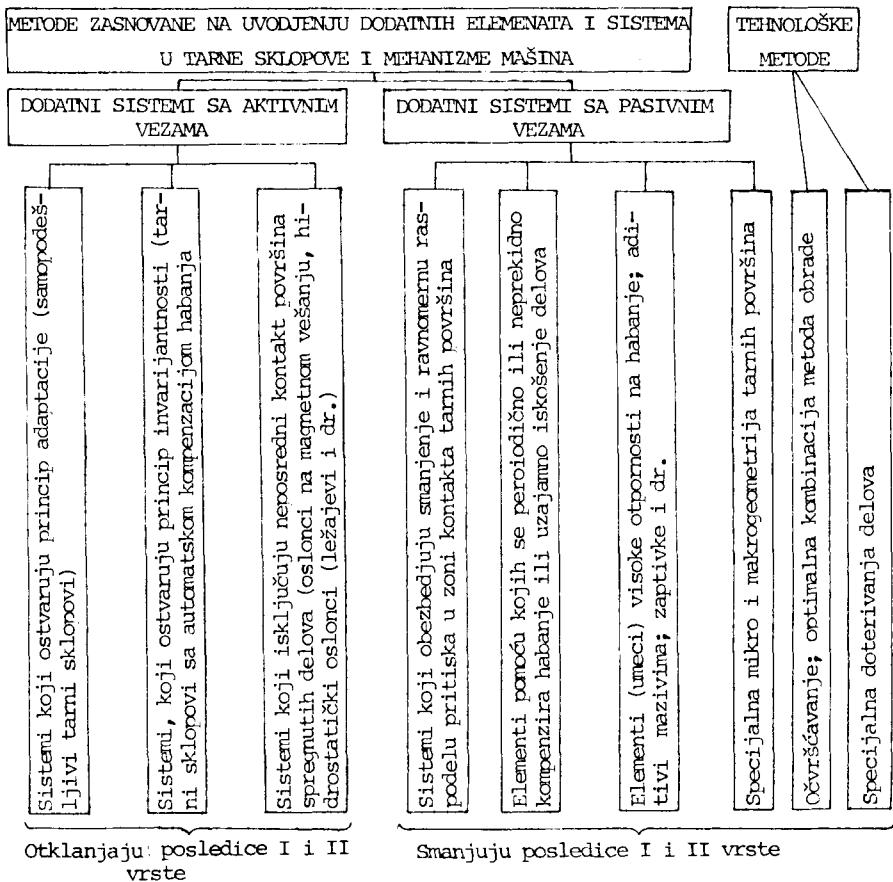
Na sl. 2 navedene su metode povećanja veka trajanja T -sistema, koje omogućuju otklanjanje ili smanjenje negativnog dejstva eksploracionog nasledja.

Tradicionalne metode povećanja otpornosti delova na habanje uslovno se mogu podeliti na dve grupe: metode zasnovane na povećanju tvrdoće radnih površina i metode koje obezbeđuju optimalnu mikrogeometriju i uslove podmazivanja. Poslednjih godina u mašinogradnji se sve više primenjuju novi procesi nanošenja prevlaka (termovakumski, jonski i dr.).

Radi se na stvaranju nehabajućih tarnih sprega zasnovanih na izbornom prenosu. Odsustvo habanja u nizu slučajeva se obezbedjuje isključivanjem neposrednog kontakta tarnih površina stvaranjem uslova tečnog ili gasovitog podmazivanja "vešanjem" delova u elektromagnetskom polju.

Ravnomernost raspodele habanja na tarnim površinama obezbeđuje se uvođenjem različitih elemenata - kompenzatora, specijalnih uložaka povećane otpornosti na habanje i dr. U cilju smanjenja dejstva neravnomernosti raspodele habanja na izlazne parametre tarnih sklopova kod nekih proizvoda moguće je namerno preliminarno iskrivljivanje forme radnih površina delova, polazeći od očekivanog dijagrama habanja.

Široka perspektiva otvara se pred metodama povećanja veka trajanja T -sistema, zasnovanim na primeni principa nezavisnosti određujućih parametara od habanja



Sl. 2. - Metode povećanja veka trajanja T-sistema koje polaze od eksploracionog nasledja

delova. Ove metode baziraju se na automatizaciji procesa podešavanja sklopova i mehanizama u cilju obnavljanja u zajamnog položaja delova koji se habaju, podešavanja zavora ili prednapona u spregama i dr. Razvoj ideje o automatizaciji dobio je novi impuls u proizvodnji mašina zahvaljujući pojavi mašina sa programiranim upravljanjem. Pri tome su se pojavili zadaci povezani ne samo sa automatizacijom tehnološkog procesa obrade, već i sa obezbeđivanjem mašinama funkcije prilagodjavanja promenljivim uslovima rada sa funkcijom obnavljanja radne sposobnosti, izgubljene zbog najave nepovratnih procesa.

Automatsko podešavanje sklopova mašina podržumeva stalnu, ili povremenu, kontrolu parametara. Veliku tešku predstavljaju kontrola i podešavanje sklopova s ciljem da se regulišu vibracije. U mnogim slučajevima osnovni izvor vibracija mašine predstavlja vretenski sklop. Kod nekih mašina, na primer, glodalica sa adaptivnim upravljanjem, u mehanizam vretena ugradjen je pjezodavač, čiji nivo signala zavisi od intenziteta vibracija datog mehanizma. Signali koje šalje davač pojačavaju se i koriste za korigovanje pomaka.

Jasno je da treba stvarati takav sistem podešavanja sklopa koji bi kompenzirao promene povezane kako sa procesima koji brzo protiču (vibracije, deformacije zbog promene opterećenja i dr.) tako i sa procesima srednje brzine (temperature ne deformacije, habanje alata) i laganim deformacijama, (habanje delova mašine, vitoperenje i dr.). Pri tome regulacija treba da se vrši ne slabljenjem režima rezanja, već postizanjem neophodne krutosti sprega, korigovanjem putanja kretanja delova i sl. Za sklop vretena na mašini ovo se može postići pri automatskom podešavanju aksijalnog prednapona u radijalno-aksijalnim kugličnim ležajevima, zavisno od stepena njihovog habanja i režima rezanja. Pri stvaranju takvih sistema podešavanja tarni sklop treba razmatrati kao dinamički sistem koji stari.

LITERATURA

- [1] ЯШЕРИЦЫН П.И., Технологическая наследственность и эксплуатационные свойства шлифованных деталей. - Минск: Наука и техника, 1971. - 210 с.
- [2] ЯШЕРИЦЫН П.И., РЫКОВ Э.В., АВЕРЧЕНКОВ В.И., Технологическая наследственность в машиностроении. - Минск: Наука и техника, 1977-255 с.
- [3] ДАЛЬСКИЙ А.М.: Технологическое обеспечение надежности высокоточных деталей машин. - М.: Машиностроение, 1975.-224 с.
- [4] Скорынин Ю. В. Модели эксплуатационной наследственности узлов трения машин. - Изв. АН. БССР. Сер. физ.-техн. наук, 1977, № 4, с. 121-122.
- [5] ЯШЕРИЦЫН П.И., СКОРЫНИН Ю. В. Технологическая и эксплуатационная наследственность и ее влияние на долговечность машин. - Минск: Наука и техника, 1978.-120 с.
- [6] КОРАБЛЕВ С.С., ФЕЛОТКИН Е.И., Идентификация и вибродиагностика механических систем на базе функциональных моделей. - В кн.: Диагностирование оборудования комплексно-автоматизированного производства. М.: Наук, 1984., с. 131-137.
- [7] ТОЛСТОЙ Д.М., БОРИСОВА Г.А., ГРИГОРОВА С.Р., Роль собственных контактных колебаний нормального направления при трении. - В кн.: О природе трения

- твердых тел. Минск: Наука и техника, 1971, №.116.
- |8| КУДИНОВ В.А., Динамика станков. - М.: Машиностроение, 1967. - 359 с.
- |9| ГРЕШНИКОВ В.А., ДРОБОТ Ю. Б., Акустическая эмиссия.- М.: Изд-во стандартов, 1976-276 с.
- |10| НОСОВСКИЙ И.Г., МИРНОВ Е.А., СТАДЧЕНКО Н.Г., Исследование процессов деформирования и разрушения поверхностных слоев металлов при трении методом акустической эмиссии. - Трение и износ, 1982, т.3, № 3, с. 531-536.
- |11| ЯЩЕРИЦЫН, П.И., СКОРИННИН Ю. В., Работоспособность узлов трения машин. - Минск: Наука и техника, 1984.-288 с.
- |12| СЛЮБОДАННИКОВ С.С., Математическое моделирование систем трения и износа по их динамическим характеристикам. - В кн.: Моделирование трения и износа и расчетно-аналитические методы оценки износа поверхностей трения: Тез.докл. Всесоюзн. конф. Москва-Ростов н/д, 1971, с.105-111.
- |13| ЮРЕВИЧ Е.И., Трения автоматического управления. Л.: Энергия, 1975.-413 с.
- |14| ХАЛИФМАН Р.Л., Динамика - М.: Наука, 1972.-567 с.
- |15| ЧУХНИН В.Н., АНДРЕЕВ В.И., Поликанальная модель системы диагностирования механизмов угловай ориентации цепной структуры. - В. кн.: Диагностирование оборудования комплексно - автоматизированного производства. М.: Наука, с. 107-111.