

tribologija u industriji

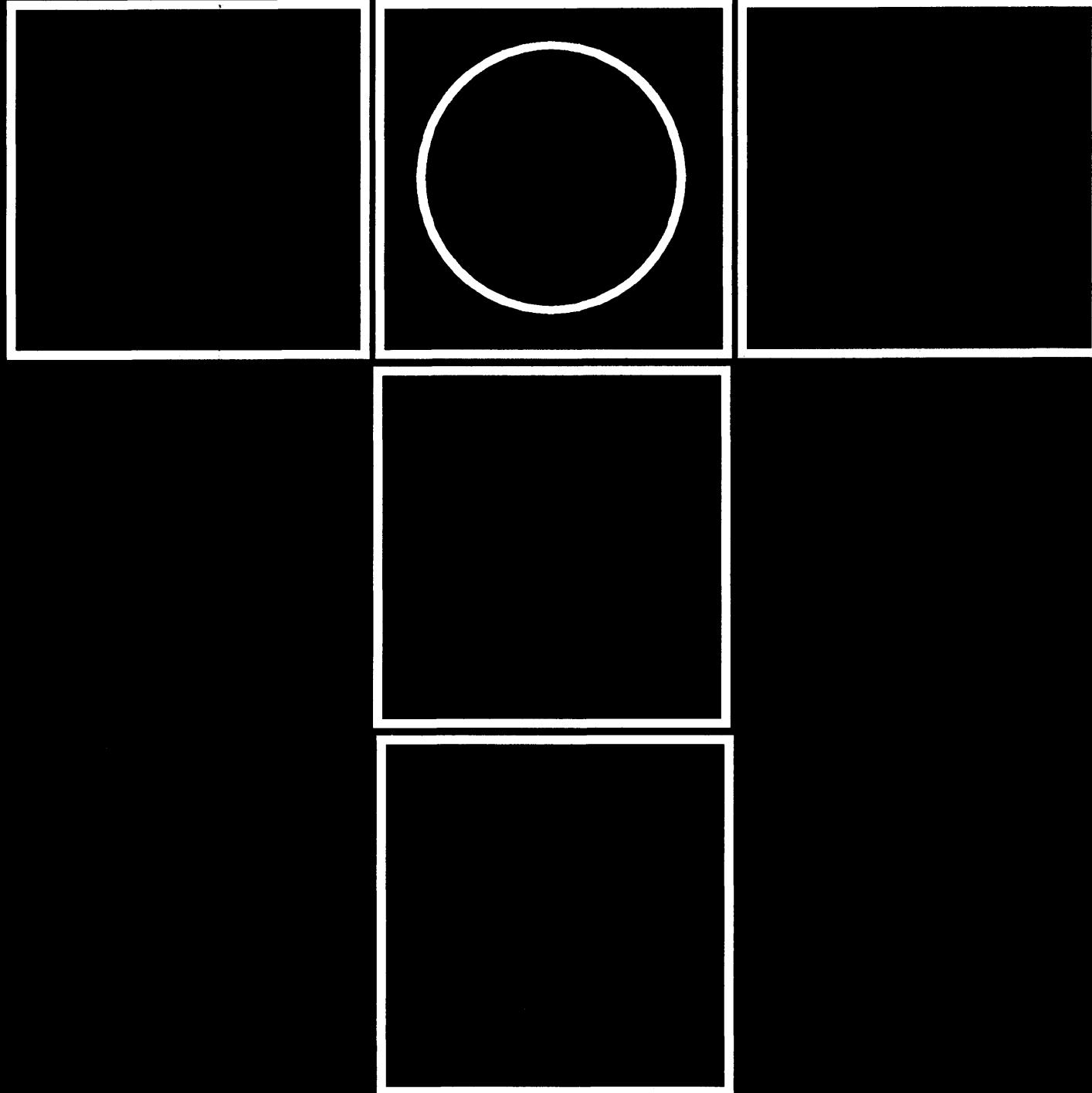
tribology in industry ◇ трибология в промышленности

YU ISSN 03551 - 1642

GODINA XV

SEPTEMBAR 1993

3



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

tribologija u industriji

tribology in industry ◊ трибология в промышленности

sadržaj



contents



содержание

UVODNIK INTRODUCTION ПЕРЕДОВИЦА	B. IVKOVIĆ: Centar za revitalizaciju industrijskih sistema ◊ Center for Industrial Systems Revitalization ◊ Центр по востановлению промышленных систем	73
ISTRAŽIVANJA RESEARCH ИССЛЕДОВАНИЯ	Radovi saopšteni na Trećoj jugoslovenskoj konferenciji o tribologiji YUTRIB '93 ◊ The papers are presented at The 3rd Yugoslav Tribology Conference YUTRIB '93 ◊ Доклады сообщенные на Третей югославской конференции по трибологии YUTRIB '93	75
ZA NEPOSREDNU PRAKSU FOR DIRECT PRACTICE ДЛЯ ПРАКТИКИ	B. TADIĆ, S. MILUTINOVIĆ: TIS informacije: Tribološke karakteristike nodularnog liva	123
NOVOSTI NEWS ИЗВЕСТИЯ	Balkansko društvo za tribologiju	126
KNJIGE I ČASOPISI BOOKS AND JOURNALS КНИГИ И ЖУРНАЛЫ	128
NAUČNI SKUPOVI SCIENTIFIC MEETINGS НАУЧНЫЕ СОБРАНИЯ	130

Centar za revitalizaciju industrijskih sistema

Nedovoljna sposobnost domaće privrede, a posebno industrije prerade metala u kojoj je zaposleno oko četvrtine svih radnika u našoj zemlji (pre zavođenja sankcija a sigurno i posle njih), da kvalitetom i cenom svojih proizvoda ostvaruje na domaćem i inostranom tržištu dovoljno veliku dodatnu vrednost i obezbedi neophodan porast novih radnih mesta za generacije koje dolaze, nameće potrebu za nalaženje rešenja za pozitivnu promenu stanja.

Kao što je poznato, nivo tehnologije proizvodnih procesa u industrijskim sistemima ima veliki uticaj na kvalitet njihovog poslovanja u celini odnosno na njihovu sposobnost prezentiranja tržištu proizvoda zadovoljavajućeg kvaliteta uz istovremeno ostvarivanje i velike dodatne vrednosti.

Strateškim projektom REVITALIZACIJA POSTOJEĆIH TEHNOLOGIJA U INDUSTRIJI PRERADE METALA - GRUPACIJA PROIZVOĐAČA PRIVREDNIH VOZILA, GRADJEVINSKIH MAŠINA I ALATA, koji se poslednjih godina realizuje na Mašinskom fakultetu u Kragujevcu i Tehničkom fakultetu u Čačku uz saradnju sa Fabrikom privrednih vozila "Zastava kamioni", Fabrikom reznog alata i Industrijom građevinskih mašina "14 Oktobar" i uz podršku Ministarstva za nauku i

tehnologiju Republike Srbije (Fond za tehnološki razvoj), izvršena je identifikacija nivoa postojećih tehnologija brojnih proizvodnih procesa i to sa aspekta automatizacije, fleksibilnosti i produktivnosti. Rezultati istraživanja nalaze se u elaboratima internog karaktera i delimično su objavljeni u odgovarajućim naučnim i stručnim publikacijama.

Rezultati istraživanja dobijeni realizacijom ovog projekta u prve dve godine rada ukazali su, pored ostalog i na moguću korist za industriju od formiranja jednog centra koji bi u dužem vremenskom periodu razvijao delatnost u oblasti revitalizacije industrijskih sistema. Na predlog grupe naučnih radnika a uz podršku upravljačkih tela Fabrike reznog alata i Fabrike privrednih vozila, Naučno nastavno veće i Savet Mašinskog fakulteta doneli su odluku o osnivanju CENTRA ZA REVITALIZACIJU INDUSTRIJSKIH SISTEMA na Mašinskom fakultetu u Kragujevcu.

CENTAR ZA REVITALIZACIJU INDUSTRIJSKIH SISTEMA započinje svoj rad sa dva programa koji, prema do sada dobijenim rezultatima istraživanja u oblasti revitalizacije i postojećim saznanjima, mogu najbrže da dovedu do pozitivnih promena stanja u industrijskim sistemima kroz revitalizaciju postojećih tehnologija.

Prvi program odnosi se na:

- razvoj, projektovanje, proizvodnju i plasman fleksibilnih pribora za obradne sisteme u kojima se procesi rezanja ostvaruju glodanjem i bušenjem,
- razvoju fleksibilnih pribora za obradne sisteme u kojima se koriste i druge vrste obrade,
- određivanje triboloških karakteristika kontaktnih površina elemenata pribora obrađenih različitim postupcima,
- obrazovanje inženjera i tehničara za oblast projektovanja fleksibilnih pribora sastavljenih od standardnih i polustandardnih elemenata.

Radom na ovom programu Centar treba da doprinese povećanju nivoa tehnoloških procesa kroz povećanje fleksibilnosti sistema jer projektovanje i korišćenje fleksibilnih pribora omogućava brz i ekonomičan prelazak sa jednog proizvodnog programa na drugi kao i efikasno i ekonomično osvajanje novih proizvoda.

Posebna pažnja u okviru ovog programa rada posvećuje se izboru postupaka oplemenjivanja kontaktnih površina elemenata pribora i definisanju njihovog veka trajanja odnosno njihovih triboloških karakteristika.

Drugi program odnosi se na poslovanje sa sredstvima za hlađenje i podmazivanje u industriji prerade metala. Nivo tehnologije proizvodnih procesa zavisi u značajnoj meri i od

postupaka koji se koriste za pripremu ovih sredstava, za njihovo uvođenje u obradne procese, održavanje fizičko hemijskih karakteristika u procesu proizvodnje i odlaganje posle gubljenje neophodnijih osobina zbog kojih se i koriste pri obradi metala.

Optimalno poslovanje sa sredstvima za hlađenje i podmazivanje u industrijskim sistemima podrazumeva korišćenje jednog broja uređaja kojih u našoj industriji ima veoma malo ili ih uopšte nema.

Drugi osnovni cilj CENTRA ZA REVITALIZACIJU INDUSTRIJSKIH

SISTEMA je promena stanja u domaćoj industriji prerade metala u ovoj oblasti i stvaranje uslova za revitalizaciju postojećih tehnologija i sa ovog aspekta.

Program rada u ovoj oblasti odnosi se na:

- razvoj, projektovanje, proizvodnju i plasman uređaja za poslovanje sa sredstvima za hlađenje i podmazivanje (mikseri, skimeri, separatori i sl.),
- određivanje i kontrola triboloških karakteristika sredstava za hlađenje i podmazivanje koja se koriste u domaćim industrijskim sistemima,

- obrazovanje inženjera i tehničara za oblast poslovanja sa sredstvima za hlađenje i podmazivanje.

Predviđa se da na realizaciji ovog programa učestvuje u značajnoj meri Fabrika privrednih vozila "Zastava kamioni".

Centar za revitalizaciju industrijskih sistema počinje svoj rad sa ova dva osnovna programa. Međutim, planira se da u narednom periodu i drugi aspekti revitalizacije industrijskih sistema budu razmatrani kao što su automatizacija obradnih sistema, primena postupaka za oplemenjivanje kontaktnih površina reznih alata i sl.

Center for Industrial Systems Revitalization

Realization of scientific-research "Revitalization of Existing Technologies in Metal Working Industry" in past three years, which financial support was provided, besides industrial companies, also by the Ministry for science and technology, has pointed to the necessity of forming the Center for industrial systems revitalization. The primary goal of the Center would be the increase of existing technologies level, from the aspects of productivity, flexibility and automatization.

Center for industrial systems revitalization is established at Faculty of Mechanical Engineering in Kragujevac, with support of Cutting Tool Factory from Čačak and Industrial Vehicles Factory from Kragujevac.

Центр по восстановлению промышленных систем

Осуществление научно-исследовательского проекта "Восстановление существующих технологий в металлообрабатывающей промышленности" в трехнедельном горизонте, в финансировании которого, наряду с промышленными предприятиями, участвовало и Министерство науки и технологий, указало на необходимость формирования Центра по восстановлению промышленных систем. Задачей этого Центра было бы повышение уровня существующих технологий в аспекте производительности, гибкости и автоматизации.

Центр по восстановлению промышленных систем основан на машиностроительном факультете в городе Крагуевац при содействии Завода режущего инструмента в городе Чачак и Завода грузовых автомобилей в городе Крагуевац.

M. RAJKOVIC

Tribološki aspekti dijagnostike stanja mazivih ulja u mehaničkim sistemima*

ISTRAGIVANJA

1. UVOD

Sa tribološkog stanovišta mazivo je obavezni, treći element svakog tribomehaničkog sistema. Osnovni zadatak mu je da, u ulozi tribološkog sredstva, umanji negativne posledice neizbežnih triboloških procesa trenja i habanja. Međutim, osim podmazivanja, u složenim mehaničkim sistemima kao što je motor SUS, ono obavlja još četiri, ne manje važne funkcije:

Hlađenje, pranje, zaptivanje i zaštitu od korozije [1-4].

Vršeći svih pet navedenih funkcija, mazivo od početka upotrebe trpi složene hemijske i fizičke promene, što ima za posledicu umanjenje triboloških i drugih radnih svojstava, odnosno, degradaciju [3-15].

Pošto su oksidacija i kontaminacija maziva glavni uzročnici degradacije, smisao sistematske kontrole stanja tokom upotrebe jeste u otkrivanju vrsta i određivanju količina kontaminanata koji bi mogli da izazovu određene probleme u funkcionisanju mehaničkog sistema i ozbiljna oštećenja. Međutim, neočekivana pojava većih količina nekih kontaminanata u ulju, može biti posledica i znak neke neispravnosti na mehaničkom sistemu, što opravdava potrebu i potvrđuje značaj sistematske dijagnostike [3-15].

U najnovije vreme utvrđeno je da neki degradacioni proizvodi ulja mogu biti toksični i kancerogeni. Pošto njihova sinteza zavisi od hemijskog sastava maziva i dužne upotrebe, a njen intenzitet od katalitičkih svojstava delova mehaničkog sistema, dijagnostika stanja dobija dodatni zadatak i smisao [16-18].

Zbog svega rečenog, za analize ulja u toku upotrebe postoje dva važna razloga: Određivanje optimalnog in-

tervala upotrebe u određenim uslovima i otkrivanje neispravnosti na sistemu. Oba razloga imaju svoj tribološki, ekonomski i ekološki smisao [4, 5, 11-18].

2. KONTAMINACIJA MOTORNIH ULJA U TOKU UPOTREBE

Kontaminacija motornih ulja, a samim tim i degradacija (hemijske i fizičke promene baznih ulja i aditiva), odvijaju se od početka upotrebe. Kontaminacija započinje produvavanjem vrelih gasovitih proizvoda sagorevanja i nepotpunog sagorevanja goriva u karter, gde se mešaju sa uljem i izazivaju degradacione procese. Sastav gasova i intenzitet prodvuvanja zavise od kvaliteta goriva, kvaliteta sagorevanja i od stanja motora [4,5].

Degradacioni procesi ne mogu se spreciti ali se mogu usporiti kontrolisanjem faktora koji ih uzrokuju. Faktori koji utiču na stvaranje kontaminanata su: Nesavršenost motora (tip, konstrukcione karakteristike, obrada kontaktnih površina, katalitička svojstva materijala), uslovi eksploatacije, kvalitet upotrebe, neispravnosti na motoru, kvalitet goriva i kvalitet ulja [4-11].

Mogući kontaminanti su: Čad (čestice ugljenika), nesagorelo gorivo, oksidacioni proizvodi ugljovodonika (hidroksilne, karbonilne i karboksilne supstance), proizvodi sagorevanja sumpora (SO_2 , SO_3), proizvodi oksidacije azota (NO_x), voda, antifriz, čestice metala, prašina, pesak i smolaste materije tzv. topli talozi što postaju termooksidativnom degradacijom ulja [4, 5, 12-15].

Kontaminacija i degradacija ulja, uslovljene nesavršenošću motora, neizbežne su i smatraju se normalnim. Ako je motor ispravan one nisu intenzivne ali su karakteristične za svaki tip.

Uslovi eksploatacije su promenljivi i nepredvidivi. Na njih se ne može uticati. Mogu da izazovu brzu kontamina-

Milić Rajković, dipl. hemičar.,
NIS - Rafinerija naftne Novi Sad

ciju i prevremenu degradaciju ulja. Zbog toga predstavljaju jedan od glavnih razloga zbog kojih se optimalni interval upotrebe ulja ne može predvideti niti se može odrediti bez sistematskih laboratorijskih ispitivanja tokom čitavog perioda eksploatacije.

Kvalitet upotrebe - preopterećivanje i pregrevanje motora imaju za posledice ubrzani termooksidaciju ulja i stvaranje toplih taloga (smolastih, lepljivih i korozivnih materija, složene strukture i sastava). Pod nekvalitetnom upotrebom podrazumeva se i često korišćenje nezagrejanog i nedovoljno opterećenog motora. To ima za posledicu nepotpuno sagorevanje goriva, stvaranje čadi i korozivnih oksidacionih proizvoda ugljovodonika, tzv. hladnih taloga.

Kvalitet goriva (oktanski ili cetanski broj, sadržaj sumpora, olefina i aromata), utiče na kvalitet paljenja i sagorevanja, te na potrošnju, dimljenje, emisiju toksičnih gasova i na kontaminaciju ulja, proizvodima nepotpunog sagorevanja i oksidima SO₂, SO₃, NO_x [7].

Kvalitet ulja bitno utiče na dužinu intervala upotrebe (API, CCMC, MIL-L- i dr.). Od oksidacione, termičke i hidrolitičke stabilnosti; od detergenskih, disperzantskih i triboloških osobina, zavisi koliko će dugo neko ulje održati destruktivnom dejstvu kontaminanata i štititi motor od habanja i korozije [4-6, 8-10].

Dijagnostika stanja ulja ima poseban značaj za otkrivanje neispravnosti na mehaničkim sistemima, koje obično uzrokuju brzu kontaminaciju i prevremenu degradaciju ulja, što može imati za posledicu i otakz sistema. Najčešće neispravnosti mogu biti na sistemima za napajanje gorivom, za paljenje i hlađenje, te na prečistačima za vazduh, ulje i gorivo [4, 5, 12-15].

Dovod veće količine goriva ima za posledicu nepotpuno sagorevanje, proizvodnju većih količina čadi i korozivnih oksidacionih proizvoda ugljovodonika. Slične posledice prate i neodgovarajuću kompresiju.

Zbog neispravne pumpe ili termostata u sistemu za hlađenje, motor se pregrevaja a oksidacija ulja se ubrzava. Brzina oksidacije ulja udvostručava se za svakih deset stepeni povećanja radne temeperature motora. Intenzitet oksidacije zavisi i od katalitičkog ponašanja zagrejanih metalnih površina.

Kroz eventualne pukotine na sistemu za hlađenje ili na mestu oštećenja zaptivke, u karter dospeva voda ili antifriz, veoma destruktivni kontaminanti.

Zasićen prašinom, prečistač vazduha ne propušta dovoljne količine vazduha, što ima za posledicu lošije sagorevanje i kontaminaciju ulja. Slične su posledice i u slučaju neispravnosti turbokompresora. Mehanički oštećen, prečistač vazduha propušta abrazivne atmosferske kontaminante - prašinu i pesak.

Zasićen prečistač ulja sprečava protok ulja, a mehanički oštećen, propušta sve kontaminante, što ima za posledicu poremećaj u podmazivanju i povećano habanje.

Kroz neispravni prečistač goriva mnoge nečistoće dojavaju u ulje.

3. POSLEDICE DESTRUKTIVNOG PONAŠANJA KONTAMINANATA

Iz izloženog vidi se da su kontaminanti ulja različitih fizičkih i hemijskih osobina. Zbog toga su i mehanizmi njihovih destruktivnih ponašanja prema ulju različiti. Međutim, posledice su iste: Degradacija ulja i skraćivanje radnog veka sistema [4, 5, 12-15].

Čad. Ponaša se abrazivno. Veže velike količine disperzanata i smanjuje disperzantsku sposobnost ulja. Kao posledica toga dolazi do aglomeracije čestica taloga, do povećanja gustine i viskoznosti ulja, te do zasićenja prečistača i zatvaranja ostalih puteva ulja u cirkulacionom sistemu motora. Sa toplim talozima gradi mešavine koje na visokim radnim temperaturama prelaze u lakove i koks, slepljuju prstenove i dovode do povećanog habanja i zaribavanja motora.

Topli talozi. Delimično se rastvaraju u ulju (zavisno od molekulskih masa), povećavaju mu gustinu i viskoznost, troše detergente i disperzante i drastično pogoršavaju tribološka svojstva ulja. Posledice su: povećana potrošnja energije i pogoršano podmazivanje zbog povećane viskoznosti, slepljivanje prstenova, povećano produvavanje gasova u karter, ubrzanje dalje degradacije ulja i zaribavanje motora.

Nesagorelo gorivo. Spira uljni film sa kontaktnih površina, snižava viskoznost, gustinu i tačku paljenja ulja. Posledice su: pogoršano podmazivanje, povećano trenje i habanje, lošije zaptivanje motora, povećano produvavanje gasova u karter, ubrzana degradacija ulja i, konačno, zaribavanje motora.

SO_x, NO_x i kiseli oksidacioni proizvodi ugljovodonika troše velike količine baznih aditiva, snižavaju baznu rezervu (TBN), umanjuju detergensku i disperzantsku sposobnost ulja i izazivaju koroziju.

Voda. Hidrolitički razlaže neke aditive, inaktivira detergente i disperzante, povećava viskoznost, gradi emulziju koja može da zatvori protok ulja kroz filter. Posledice su: brza i potpuna degradacija ulja, pogoršano podmazivanje, povećano habanje, sniženje bazne rezerve (TBN) i povećanje korozije.

Čestice metala katalizuju oksidaciju ulja, a sa atmosferskim kontaminantima ubrzavaju abrazivno habanje.

4. DIJAGNOSTIKA STANJA ULJA I STANJA MOTORA

Bilo da se radi o određivanju optimalnog intervala upotrebe u određenom mehaničkom sistemu i u određenim uslovima rada, ili o dijagnozi stanja mehaničkog sistema, potrebno je sistematsko ispitivanje ulja u toku čitavog perioda upotrebe. Kontrola stanja triboloških svojstava podrazumeva posebnu opremu, dugotrajna i skupa ispitivanja. Fizičke i hemijske osobine određuju se znatno brže, lakše i jeftinije ali one ne pokazuju istovremeno i tribološka svojstva ulja. To se najbolje vidi na sledećim primerima:

- | | |
|------------------------|------------------------|
| a. SAE 30
API SG/CE | b. SAE 30
API SG/CC |
|------------------------|------------------------|

Dva motorna ulja istih viskozitetskih gradacija a veoma različitih kvalitetnih nivoa i radnih osobina. Međutim, veoma je važno da promene hemijskih i fizičkih osobina ulja u toku upotrebe, koreliraju sa promenama triboloških sposobnosti. Ta okolnost omogućuje da se relativno brzo dođe do triboloških promena ulja i do odluke o njegovoj upotrebljivosti, odnosno, do zaključka o eventualnoj neispravnosti na nekom delu sistema.

Neočekivane, prevremene i velike promene boje, mirisa, viskoznosti, sadržaja vode, sadržaja goriva i sniženje tačke paljenja, ukazuju na uzroke brze degradacije ulja i upućuju na intervenciju [4, 5, 12-15].

Boja. Jako tamna boja ulja ukazuje na visok stepen oksidacije i degradacije. To može biti posledica većeg broja uzroka, što se mora utvrditi na osnovu promena viskoznosti, TBN, korozivnosti i sadržaja nerastvornih ostataka posle tretiranja n-pentanom i benzolom.

Emulzija boje bele kafe ukazuje na prisustvo vode. Manja količina vode od 0.2% obično je posledica čestog korišćenja nezagrejanog motora (dešava se zimi i u gradskoj vožnji), a veća ukazuje na neispravnosti u sistemu za hlađenje. To je istovremeno i znak da je ulje degradirano, a da je filter zasićen i van funkcije. Slično se ponaša i antifriz.

Miris. Miris na sagorelo ulje ukazuje na previsok temperaturski režim i prepoterećivanje motora i ulja. To može biti posledica neispravnosti pumpe ili termostata u rafhladnom sistemu ali i niskog nivoa ulja u karteru.

Miris na gorivo ukazuje na neispravnost u sistemu za napajanje i na dovod veće količine goriva. Međutim, nepotpuno sagorevanje može biti i posledica neispravnog paljenja, zasićenog prečistača vazduha, neispravnosti turbokompresora i neodgovarajuće kompresije.

Sadržaj goriva. Toleriše se do 5% v/v, mada se tribološki procesi sa negativnim posledicama ubrzavaju i ranije. Iskustva iz prakse govore da 5% goriva ulju snižava viskoznost za 25%, a tačku paljenja svodi na kritičnih

150°C, što je dovoljno upozorenje za zamenu ulja i intervenciju održavalaca.

Viskoznost. Sniženje viskoznosti toleriše se do 25% ili do prelaska u prvu nižu SAE gradaciju.

Porast viskoznosti toleriše se do 30-35% ili do prelaska u prvu višu SAE gradaciju. To je pouzdan znak da je ulje kontaminirano proizvodima sopstvene oksidacije pomešanim sa česticama čadi; da su tribološke i druge radne osobine na minimumu i da ga treba menjati. Uzroci mogu biti visoka temperaturska opterećenja, nekontrolisano dug interval upotrebe, nizak nivo ulja u karteru i neispravnosti na sistemu za hlađenje. Visok porast viskoznosti ukazuje i na pad vrednosti TBN, što je znak da je opala sposobnost za zaštitu od korozije.

TBN. Sniženje TBN toleriše se do 50% početne vrednosti. Neki autori bili su drugačijeg mišljenja ali su praksa i nova istraživanja pokazali da ne treba koristiti ulje čiji je ukupni bazni broj pao ispod polovine prvobitne vrednosti [4, 12].

Nerastvorni ostaci posle tretiranja n-pentanom, merilo su za stepen kontaminiranosti ulja organskim i neorganiskim kontaminantima, a ostaci posle tretiranja benzolom su koks, metalni opiljci, prašina i pesak. Ne postoji potpuna saglasnost svih istraživača u pogledu tolerantnih količina nerastvornih ostataka. Najveći broj slaže se da se može tolerisati do 3.5% nerastvornog u n-pentanu i do 2.5% u benzolu.

Međutim, najbolje je nekom od poznatih spektrofotometrijskih metoda utvrditi tačan sastav nerastvornih ostataka u benzolu. Sadržaji pojedinih metala tolerišu se u ppm: Al 40, B 20, Cr 40, Cu 40, Fe 100, Pb 100 (dizel), K 50, Si 20.

Broj i dimenzije metalnih čestica mogu se odrediti i metodom ferografije, koja se veoma retko koristi zbog visoke cene opreme.

Važno je obratiti pažnju i na formu metalnih čestica. Ljuspaste ukazuju na habanje, a zrnaste na zamor materijala, što je za dijagnostiku stanja sistema veoma važno.

5. BRZE DIJAGNOSTIČKE METODE

Mali broj specijalizovanih laboratorija, visoke cene usluga i dugo vreme potrebno za izradu kompletnih analiza, predstavljaju limitirajuće faktore. To je ozbiljan razlog za razvoj i uvođenje tzv. brzih i jeftinih dijagnostičkih metoda koje bi se mogle koristiti i na terenu, bez dužih zaustavljanja mehanizacije i čekanja na rezultate analiza.

ULJNA MRLJA je davno poznata i dosta široko korišćena kao brza, jeftina i pouzdana metoda za određivanje stepena kontaminiranosti ulja čadu i za ukazivanje na istrošenost detergenata i disperzanata. Deformisanost njenog oblika ukazuje i na prisustvo vode ili goriva u ulju.

Ti podaci su dovoljni za ocenu upotrebljivosti ulja. U novije vreme razvijaju se i modifikovane fotometrijske metode koje se svode na kompariranje i vizuelno određivanje intenziteta boje uzorka prema etalonu [5, 19, 20].

LUBRI SENSOR je elektronski aparat koji se u najnovije vreme koristi kao analizator kvaliteta ulja. Njime se meri dielektrična konstanta. Ona zavisi od hemijskih i fizičkih osobina ulja i aditiva, što znači da predstavlja karakterističnu vrednost svakog ulja. Menja se u toku upotrebe srazmerno stepenu kontaminacije i degradacije. U slučaju kontaminacije ulja vodom, antifrizom, oksidacionim i kiselim proizvodima, te česticama metala, dielektrična konstanta raste srazmerno njihovim količinama; jedino opada u slučaju razblaženja ulja gorivom.

Pre svake analize aparat se mora doterati prema čistom, nekorišćenom ulju. Posle toga može se izvršiti serija analiza toga ulja u različitim fazama korišćenja. Na skali se očitava povećanje dielektrične konstante, koje predstavlja merilo za stanje i upotrebljivost ulja, odnosno, upozorenje na neku neispravnost sistema. Za analizu je potrebno svega nekoliko kapi uzorka i svega nekoliko minuta. Aparat je lak i pogodan za rad na terenu. Brzina, male količine uzorka, mogućnost da se kontroliše stanje ulja u svakom motoru pouzdanost rezultata, svodenje laboratorijskih usluga na najmanju meru, mogućnost da se kontrolišu i motorna i industrijska ulja, čine ovaj aparat veoma atraktivnim u svakom pogledu.

6. EKOLOŠKI ASPEKTI DIJAGNOSTIKE

Brojna hemijska i toksikološka ispitivanja pokazala su da se u upotrebljavanim motornim uljima nalaze toksične i kancerogene materije [16-18]. Nosioci toksičnosti i kancerogenosti su kontaminanti koji u uljima postaju ili u njih dospevaju tokom upotrebe. To su proizvodi sagorevanja, nepotpunog sagorevanja goriva i terinooksidacije ulja i aditiva. Konkretno, nosioci različitih potencijala kancerogenosti su policklični aromati (PCA) sa 3-7 kondenzovanih benzolovih prstenova, među kojima je najopasniji 3,4-benzpiren. Posebno zabrinjava činjenica da se sinteza PCA vrši u samom motoru tokom upotrebe i da zavisi od režima rada, dužine intervala upotrebe ulja, katalitičkog ponašanja materijala i ugljovodoničkog sastava ulja. Za sada ove materije nisu otkrivene u uljima sintetičke osnove.

Treba reći da je benzinski motor deset puta produktivniji od dizelskog.

Veoma je važno znati ove činjenice zbog rukovanja i eventualne upotrebe upotrebljavanih motornih ulja. Ona se mogu koristiti kao sekundarna sirovina za rerafinaciju ili u energetici ali pod tačno definisanim tehničkim uslovima koji obezbeđuju potpuno sagorevanje i kontrolu izdavnih gasova, što će reći, pod ekološki prihvatljivim uslovima [17, 21].

Upotreba upotrebljavanih motornih i drugih ulja mora biti i u našoj zemlji regulisana određenim zakonskim propisima, na kojima se već radi, kao što je urađeno u nekim zemljama sveta. To podrazumeva organizovano prikupljanje, kontrolu nečistoća, selekciju, skladištenje, transport, način prerade ili način upotrebe kao industrijskog goriva.

7. ZAKLJUČCI

Zbog brojnih mogućnosti za kontaminaciju i degradaciju motornih ulja, gotovo je nemoguće prognozirati optimalni interval upotrebe. On se može odrediti na bazi praktičnih iskustava i određenim analizama koje se koriste za dijagnostiku. Svaki pokušaj da se interval upotrebe produži bez kontrole stanja ulja, može imati za posledicu slepljene prstenove, izgorele ventile, izgorele i lakov prekrivene klipove, istrošene ležaje i kompletno zarivanje motora.

Jedini praktičan način da se ostvari maksimalni interval upotrebe ulja, a time i maksimalni radni vek motora, jeste maksimalno usporenje ili otkrivanje prerane kontaminacije i degradacije. Uslovi za to su:

- Ispravni sistemi za napajanje gorivom, za paljenje i hlađenje.
- Ispravni prečistači za vazduh, ulje i gorivo.
- Izbor ulja visokog kvaliteta.
- Sistematska dijagnostika stanja.
- Kontrola nivoa ulja u karteru.
- Pravovremena zamena ulja i intervencije na motoru.

LITERATURA

- [1] GODFREY D., **More Tribology Basics, Wear Analysis**, Lubrication Engineering, No.4, 1991.
- [2] GODFREY D., **Letter to the Editor**, Lubr. Eng.No.12,1989.
- [3] IVKOVIĆ B., **Osnovi tribologije sa posebnim osvrtom na probleme podmazivanja tribomehaničkih sistema**, Tribologija u industriji, Seminar, Ilok, 1985.
- [4] GRUPA AUTORA, **Maziva i podmazivanje**, JUGOMA, 1986.
- [5] SCHILLING A., **Alutomobile Engine Lubrication**, Scientific Publication (G.B.) LTD. 1972.
- [6] SCHILLING J.S., BRIGHT S.G., **Fuel and Lubricant Additives**, Lubrication, No.2. 1977.
- [7] RUSSELL T. J., **Promene u kvalitetu benzina i dizel goriva proizvedenih u Evropi**, JUGOMA 89, br.174, Pula.
- [8] RAJKOVIĆ M., **Performansni, ekonomski i ekološki aspekti trendova razvoja ulja za podmazivanje motora SUS**, Zbornik radova sa stručnog savetovanja, JUGOMA SRBIJE, Novi Sad, 1992.

- [9] QUILLEY A., LAHER H., MARKO E., Motorna ulja za benzinske motore danas i u budućnosti, JUGOMA 90, Br.193, Opatija.
- [10] FIELD P., Dizelska ulja vrlo visokog učinka (SHPD), JUGOMA 88, Br.160, Opatija.
- [11] KHOOSHID E.A., NAWWAR A.M., A review of the effect of sand dust and filtration on automobile engine wear, WEAR, 141, No.2, 1991.
- [12] CASALE P. G., BELAND J.C., DAVIDSON D., A computerised expert system approach to the care of marine lubricants in service, Industrial Lubrication and Tribology, 41, No.4, 1989.
- [13] RAC A., Dijagnostika stanja maziva, Seminar, Ilok, 1985.
- [14] RAJKOVIC M., Degradacija motornih ulja kao posledica kontaminacije pre i u toku upotrebe, XIII Jugoslovenski simpozijum, Jugoslovensko društvo za poljoprivrednu tehniku, 2-5 jun, 1987, Ohrid.
- [15] LOGAN M.R., HARLE O.L., SHAMAN E., Mechanisms and Control of Viscosity Increase in Railroad Diesel Engine Lubricants, Lubrication Eng. No.6, 1986.
- [16] WARNE M.T. HALDER A.S., Toxicity of Lubricating Oils, Lubrication Eng. No.2, 1986.
- [17] RAJKOVIC M., Upotreba otpadnih mazivih ulja i zaštita životne sredine, Goriva i maziva, 29, br.5-6, 1990.
- [18] LADOV N.E., Evaluating and Communicating the Carcinogenic Hazards of Petroleum Derived Lubricant Base Oils and Products, Lubrication Eng., No.5, 1986.
- [19] RAJKOVIC M., Uljna mrlja - Brza metoda za kontrolu stanja motornih ulja u toku eksploatacije, XII Savetovanje stručnjaka poljoprivredne tehnike Vojvodine, Trogir, 1985.
- [20] VON W. MEINICKE, Regressionsanalyse und Prüfverfahren für Motorenöle, Tribologie + Schmierungstechnik, 38, No.2, 1991.
- [21] ADZIĆ M., GROMOVIĆ D., Eliminacija otpadnih mazivih i emulzionih ulja metodom sagorevanja, Goriva i maziva, 28, No.4, 1989.

* Rad je izložen na Trećoj jugoslovenskoj konferenciji o tribologiji YUTRIB'93, Kragujevac, 24.-25. juna 1993.god.

Tribological Aspects of Diagnostics of Lubrication Oils Status in Mechanic Systems

The chemical and physical processes leading to performance changes in the engine lubricant are quite complex. The major causes of performance decreases are oxidation and contamination.

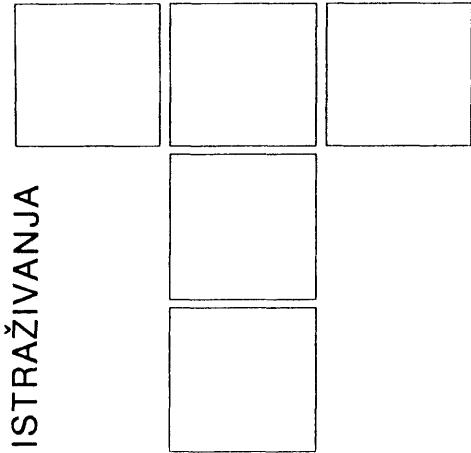
The purpose of tests on used engine oils is to detect types and quantity of contaminants which can indicate operational problems. The latest researches indicate that some of contaminants could be toxic and carcinogenic. In accordance with above there are several good reasons for used oil analysis. These are: Determination of optimal oil drain and filter change intervals, tribological, economical, and ecological reasons.

Трибологические аспекты диагностики качества смазочных масел в механических системах

Важнейшими химическими и физическими процессами, вызывающими изменение и понижение качества масла в двигателе, являются его окисдация и загрязнение.

Исследования отработавших моторных масел проведены с целью определения видов и содержания загрязнителей, что может указать на возможные трудности в работе двигателя. Кроме того, их новые исследования в мировой науке показывают, что некоторые загрязнители могут быть токсичными и карциогенными.

Поэтому исследования отработавших масел необходимы по трибологическим, экологическим и экономическим причинам. При исследованиях устанавливаются минимальные сроки фильтрации масла и замены фильтра.



S. TANASIJEVIĆ

Tribološki aspekti u koncipiranju konstrukcije *

1. UVOD

Jedan od centralnih zadataka ali i problema privrede i privređivanja je podizanje tehničkog nivoa mašinskih sistema koji se najčešće određuje: produktivnošću, tačnošću i pouzdanošću. Očigledno da je savremena karakteristika društva podizanje kvaliteta u svim oblastima pa i u razvoju mašinskih sistema.

Značajna mogućnost u podizanju kvaliteta i usavršavanju mašinskih sistema je podizanje kvaliteta njihovih glavnih dinamičkih članova - tribomehaničkih sistema (TMS), koji određuju pouzdanost mašina u 80% slučajeva otkaza.

Vek funkcionalnog starenja mašinskih sistema je u principu znatno duži od veka dopuštenog habanja elemenata sistema. Fizičko habanje elemenata (1.5-2 godine) protiče mnogo brže od funkcionalnog (moralnog) starenja (5-10 godina) mašinskog sistema. Granična težnja je dostizanje njihove jednakosti jer u sadašnjem vremenu takve saglasnosti nema. Osnovni zadatak tribologije je minimiziranje prekida između ova dva vremenska perioda do granice mogućeg.

Za podizanje kvaliteta mašinskih sistema neophodno je podizanje kvaliteta konstruisanja, kvaliteta izrade i kvaliteta eksploracije.

Kvalitet konstruisanja se, između ostalog, podiže i uključivanjem triboloških aspekata u proces konstruisanja. Osnovni zadatak je dobijanje "tribološki ispravne konstrukcije" kao značajnog pokazatelja kvaliteta konstruisanja.

Dosadašnji skromni rezultati u oblasti uvođenja tribologije u proces konstruisanja dokaz su složenosti ovakvog pristupa ali i svojevrsnog shvatanja da se tribološke greške u procesu konstruisanja mogu jednostavno i docnije ispravljati.

Prof. Dr Slobodan Tanasijević, dipl. ing.,
Mašinski fakultet u Kragujevcu

2. KONSTRUISANJE KAO MISAONI PROCES

Proizvodi ljudskog rada nastaju iz potreba. Uočavajući potrebu čovek razmišlja čime da potrebu zadovolji. Od uočavanja potrebe do gotovog proizvoda dug je i veoma naporan put.

Usmeravajući proces razvoja proizvoda na razvoj mašinskih (ili tehničkih) sistema, posebno je značajno iznalaženje puteva ka podizanju kvaliteta proizvoda. Nema sumnje da je kvalitet konstruisanja jedan od bitnih faktora kvaliteta mašinskih sistema i jedan od najznačajnijih uslova u razvoju proizvoda.

Pitanje koje se samo po sebi uočava je pitanje promotivnog definisanja konstruisanja kao procesa, poduhvata, pojma koje se može analizirati sa više aspekata i u više ravni razmatranja.

Konstruisanje je u najširem smislu intelektualni poduhvat preuzet za zadovoljavanje određenih potreba na najbolji mogući način. To je jedna od tehničkih aktivnosti, prisutna u svim područjima ljudskog života, oslonjena na otkrića i zakone nauke, usmerena ka stvaranju uslova za primenu tih zakona na razvoj i izradu proizvoda.

Sam pojam "konstruisanja" u sebi sadrži i podrazumeva sve one potrebne radnje, neophodne da se neki proizvod (mašinski ili tehnički sistem) konačno oblikuje i konstrukciono razradi do tog nivoa da je njegova tehnološka razrada i radionička izrada apsolutno moguća i izvodljiva.

Saglasno već prihvaćenoj konstataciji da je konstruisanje veoma složen proces sa velikim brojem uzajamno povezanih karakterističnih osobina, konstruisanje se može razmatrati u više uzajamno povezanih različitih ravni.

Gledano u ravni psihološkog pristupa i razmatranja, konstruisanje je kreativna aktivnost za čije je uspešno sprovođenje neophodno blagovremeno aktiviranje određenih fundamentalnih naučnih oblasti (matematika, fizika, he-

mija) ali i niza primjenjenih i aplikativnih naučnih saznanja. Ovome treba dodati iskustvo i praktična znanja iz specijalnih oblasti. Poželjno je da aktivnost bude prožeta inicijativom, odlučnošću, pronicljivošću, upornošću, timskim radom.

U ravni rešavanja i iznalaženja, konstruisanje je optimizacija datog objekta unutar delimično protivurečnih zahteva. Zahtevi se menjaju sa vremenom, tako da se određena rešenja mogu optimizirati samo u određenom realnom vremenu.

U ravni nastajanja, širenja i razmene informacija, konstruisanje se može definisati i kao svojevrsni proces obrade i transformisanja informacija. Sve počinje prikupljanjem informacija (projektni zadatak, literatura, standardi, eksperimentalni rezultati, proračuni). Nastavlja se obradom i proredom informacija (analiza, sinteza, razmeštaj, kombinovanje...). Proces se završava formiranjem, predstavljanjem i predajom informacija (definitivne skice, crteži, tablice, uputstva...). Konstrukcioni biro se u literaturi često definiše kao procesno mesto za preradu informacija. Ovakvo definisanje samo naizgled zanemaruje bitne stvaralačke elemente u delatnosti konstruktora.

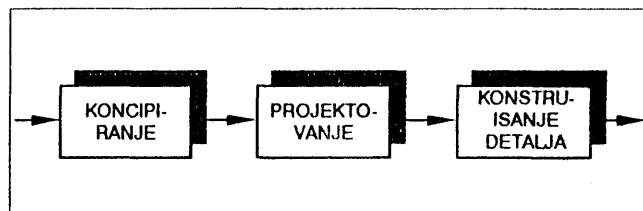
U ravni organizacionog delovanja, konstruisanje je esencijalna karika u lancu sirovi materijal - proizvod. Zadatak konstruktora u tom lancu je prikupljanje željenih informacija na relaciji: prodavac, kupac, planer,...

Bez obzira na aspekt posmatranja i ravan definisanja, osnova konstruisanja je misaonost provedenog procesa. Posebno važno u procesu konstruisanja je struktura, geneza i sinteza misaonog procesa, pomoću koga konstruktor formira konstrukciono rešenje. Analizirajući proces mišljenja koji se tom prilikom odvija utvrđeno je da se koristi kako intuitivni tako i diskurzivni način mišljenja i rešavanja problema. Proces je takođe iterativan, sastavljen od izmeničnih heurističkih i algoritmamskih delatnosti.

Prihvatajući konstruisanje kao visokospecijalizovanu i interdisciplinarnu naučnu oblast, valja napomenuti da danas u svetu postoji široka lepeza sistemskog pristupa procesu konstruisanja. Postoje već mnogi razrađeni predlozi različitih metoda konstruisanja. Svaka od ovih metoda ima svoj aspekt pristupa problemu, svoju ravan rešavanja, zavisno od cilja i orientacije (Rodenacker, Hansen, Roth, Leyer, Hubka i dr.).

Bez veće potrebe za analizom različitih pristupa i metoda konstruisanja, moguće je prihvatići da su tri osnovne faze u procesu konstruisanja (sl. 1):

- koncipiranje konstrukcije
- projektovanje konstrukcije
- konstruisanje detalja

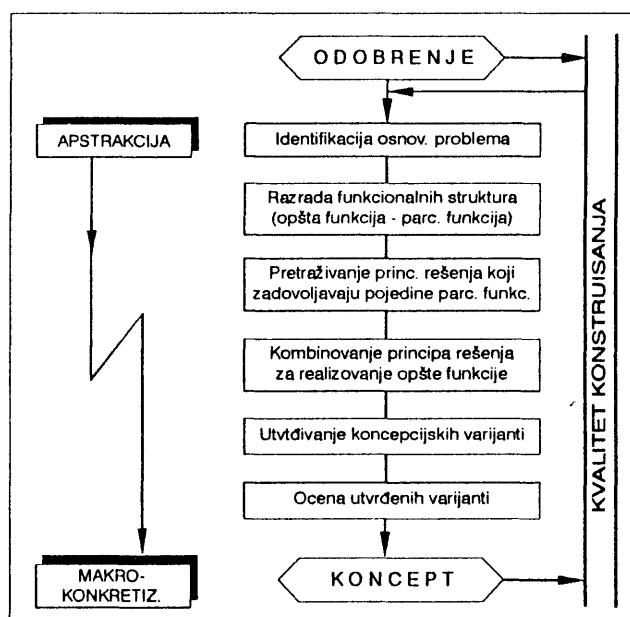


Sl. 1. Osnovne faze u procesu konstruisanja
Basic phases in the design process
Основные этапы в процессе конструирования

3. KONCIPIRANJE KONSTRUKCIJE

Koncipiranje je značajna faza procesa konstruisanja u kojoj se od nametnute apstrakcije dolazi do globalne konkretizacije. Nakon analize i raščišćavanja svih zahteva postavljenog zadatka, pronalaženjem odgovarajućih principa rešenja, utvrđuje se u ovoj fazi načelno rešenje zadatka.

Koncipiranje konstrukcije se može sprovoditi na više načina, sa ciljem da se na kraju ove faze usvoji optimalni koncept rešenja. Na sl. 2 prikazan je jedan od mogućih redosleda u koncipiranju konstrukcije, forme "korak po korak".



Sl. 2. Redosled u koncipiranju konstrukcije
Order of phases in conceptual design
Последовательность в разработке конструкции

Početak u koncipiranju je identifikacija osnovnih problema. Proses se nastavlja apstraktnim rešenjem funkcionisanja sistema. Pod funkcionisanjem podrazumevamo stabilnu sposobnost ka određenim delovanjima, zadržavajući predznak pravilnog delovanja. Uopšte govoreći sistem može delovati i nepravilno, što ukazuje na stepen odgovornosti konstruktora u ovoj fazi. Funkcionisanje sistema je zapravo pravilno "ponašanje" sistema.

Zajedno sa funkcionisanjem, struktura je najvažnije svojstvo sistema. Struktura je karakteristika unutrašnje orga-

nizacije, reda i građe sistema, to je celokupnost elemenata i odnosa među njima.

Funkcionisanje sistema zadaje se struktrom. Kod relativno zatvorenih sistema, struktura potpuno određuje način funkcionisanja. Sa druge strane, jedna te ista funkcija može biti realizovana različitim strukturama. Ovakva veza između funkcionisanja i strukture sistema, uslovljava da se u fazi koncipiranja zasniva više funkcionalnih struktura, kako za opštu funkciju tako i za parcijalne funkcije sistema. Rešenja su alternativna i najčešće principski moguća. Sposobnost je konstruktora da manje više apstraktne sagleda moguće funkcionalne strukture za realizaciju pravilnog funkcionisanja sistema.

Pretraživanjem, kombinovanjem i apstraktnim razmeštanjem dolazi se do izbora i utvrđivanja određenih konceptualnih varijanti. Ocenom utvrđenih varijanti i određenom metodom vrednovanja formira se koncept rešenja.

Neophodno je istaći da je koncipiranje veoma važna i odgovorna faza konstruisanja od koje u mnogome zavisi opšti kvalitet konstruisanja. Od konstruktora traži puno znanja o mogućim načinima funkcionisanja sistema, kao i sposobnost uspešnog prevođenja apstrakcije ka globalnoj konkretizaciji.

4. TRIBOLOGIJA I KONCIPIRANJE KONSTRUKCIJE

Koncipiranje kao početna faza transformisanja zadate apstrakcije u načelna rešenja zadatka, ima svoj metodičko-logički tok. Na sl. 3 prikazan je tok mogućeg koncipiranja konstrukcije, uključujući i tribološke aspekte u odlučivanju, vrednovanju i izboru rešenja. Koncipiranje započinje identifikacijom opšte funkcije sistema i završava izabranom koncepcijom. Poželjno je da izabrana koncepcija bude i tribološki ispravna.

Tretirajući genezu konstrukcije (K) kao svojevrsni skup podskupova parcijalnih funkcija (K_i), pišemo:

$$K = \{K_1, K_2, K_3, \dots, K_n\}$$

gde su:

$$K_1 = \{K_{11}, K_{12}, K_{13}, \dots, K_{1n}; TMS_{11}, TMS_{12}, TMS_{13}, \dots, TMS_{1n}\}$$

$$K_2 = \{K_{21}, K_{22}, K_{23}, \dots, K_{2n}; TMS_{21}, TMS_{22}, TMS_{23}, \dots, TMS_{2n}\}$$

.....

$$K_n = \{K_{n1}, K_{n2}, K_{n3}, \dots, K_{nn}; TMS_{n1}, TMS_{n2}, TMS_{n3}, \dots, TMS_{nn}\}$$

Tribomehanički sistemi (TMS) su elementi rešenja za pojedine parcijalne funkcije. Ostali elementi podskupova (K_{ii}) su elementi konstrukcije bez relativnog kretanja u kontaktu.

4.1. Opšta funkcija

Opšta funkcija je način "pravilnog" delovanja sistema kojim se pri određenim uslovima ulazne veličine preobražavaju (transformišu) u potrebne izlazne veličine. Neophodno je da su pri tome jasno usaglašene zavisnosti izlaznih od nezavisnih ulaznih veličina.

Od velikog broja mogućih karakteristika opštih funkcija, najvažnije su: složenost i stepen apstraktnosti. Stepen apstraktnosti je dosta vezan za stepen složenosti opšte funkcije. Sistemi složenih opštih funkcija su po prirodi stvari i apstraktniji.

Osnovni princip sistemske primene tribologije u fazi koncipiranja konstrukcije je primena bitnih znanja tribologije, uzimajući u obzir različite aspekte i uticajne faktore. Uz izvesna ograničenja, opšta funkcija sistema i tribološki aspekti moraju biti vezani relacijama:

- sistem - okruženje - tribološki procesi
- ulazne i izlazne veličine - tribološki procesi

Analiza okruženja je od značaja za opšte predviđanje očekivanih triboloških procesa u eksploraciji. Ovde je reč o okruženju kako fizičkom, tako i o psihološkom, socijalnom i finansijskom.

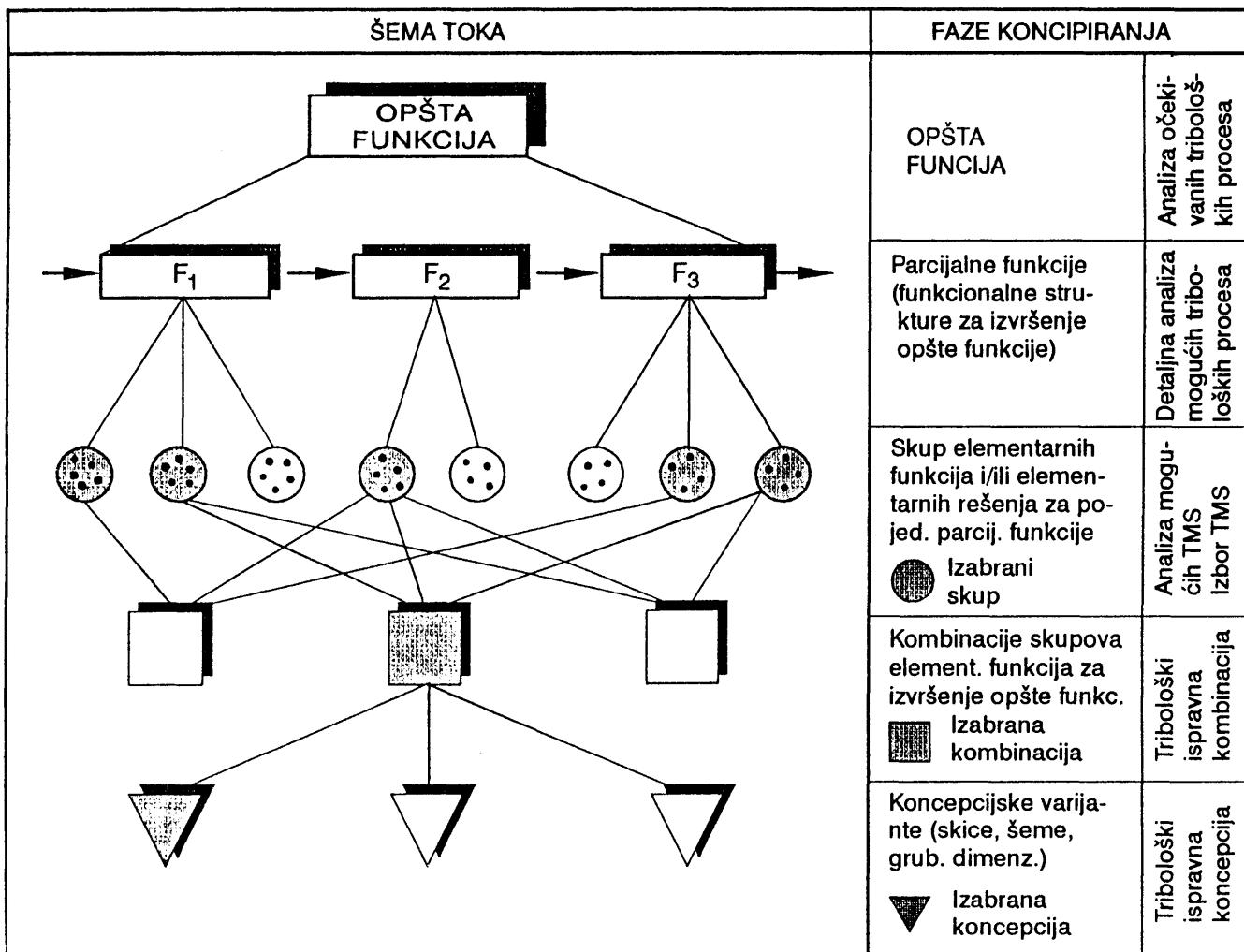
Fizičko okruženje sa svojim parametrima (temperatura, vlažnost, zapremina, zaprljanost) je posebno značajno za nastajanje i razvoj triboloških procesa. Prisutne su i poznate informacije o uticaju, recimo, vlažnosti i temperaturi na strukturu površinskog sloja, odnosno sastav maziva. Postoji i značajna koperativnost između zaprljanosti okruženja i recimo abrazivnog habanja.

Psihološko okruženje (uzajamni odnosi ljudi, socijalni sastav i interes društva) kao i finansijsko okruženje, na svoj način utiču na ponašanje sistema i tribološke procese u eksploraciji.

Za logičko zasnivanje tehničkog sistema, neophodno je poznavanje ulaznih i izlaznih veličina. Kao ulazne veličine mašinskih sistema u preobražaju su: materijal, energija, signali (podaci).

Materijali kao ulazne veličine mogu biti tvrda tela, tečnosti, gasovi, čestice koji se u mašinskom sistemu: mešaju, odvajaju, boje, transportuju, pakaju ili prelaze u neko drugo stanje. U zavisnosti od vrste materijala moguće su prve indikacije očekivanih triboloških procesa. Primera radi, kavitaciono habanje je očekivano u slučajevima kada je tečnost ulazna veličina. Tečnost i čestice u kontaktu sa tvrdim telom su često uzrok erozionog habanja.

Energija kao ulazna veličina je tipa: mehaničke, topotne, električne, magnetne, akustične, hemijske, atomske ili dr. Početne promenljive realizovane opštom funkcijom su sila, moment i snaga. U izvesnom smislu moguće ih je svrstati i u energiju jer se mogu ostvariti samo korišćenjem energije. Uticaj vrste energije na razvoj procesa



Sl. 3. Šematski prikaz koncipiranja konstrukcije
Schematics of conceptual design
Схема разработки конструкции

habanja tehničkih sistema u značajnoj je korelaciji sa opštom funkcijom sistema. Ovo se posebno odnosi na energetske mašinske sisteme (motori, generatori, turbine, pumpe, ventilatori, kompresori i sl.)

Apstraktno predstavljanje opšte funkcije sistema u obliku "crne kutije" (black box) znači da se u fazi razrade problemi definišu opšte i opisuju funkcionalno što kraće. Zadatak je konstruktora da u ovoj fazi konstruisanja analizirajući ulazne i izlazne veličine, okruženje i opštu funkciju identificuje moguće tribološke procese sistema. Detaljna identifikacija je uslov uspešnom pretraživanju principskih rešenja i konačnom izboru koncepta.

4.2. Parcijalne funkcije

Opšta funkcija je okarakterisana određenim stepenom apstraktnosti što je u tesnoj vezi sa određenim stepenom složenosti funkcije. Složene opšte funkcije su u principu više apstraktne, što utiče na količinu mogućih sredstava za njeno ostvarenje.

Na određenom nivou apstraktnosti pojavljuje se potreba za razlaganjem opšte funkcije na podfunkcije (parcijalne

funkcije) sa manjim stepenom složenosti. Razlaganje nastaje obično u trenutku kada je ustanovljen radni princip funkcionisanja mašinskog sistema. Proces raščlanjavanja opšte funkcije na parcijalne funkcije finijih funkcionalnih struktura sprovodi se do određenog nivoa. Proces traje sve dotle dok raščlanjenje funkcije ne budu tako niskog stupnja kompleksnosti da je za svaku pojedinu moguće pronaći odgovarajući princip rešenja. Pored osnovne radne funkcije u parcijalnim funkcijama su i pomoćne funkcije: pripreme, opsluživanja, upravljanja, regulisanja i usklađivanja.

Svaka parcijalna funkcija sistema izvršava se određenim principima do kojih se dolazi raščlanjavanjem parcijalnih na elementarne funkcije. Najčešće se svaka parcijalna funkcija može rešiti skupom elementarnih funkcija, što znači da za svako rešenje parcijalnih funkcija postoji ponuda više različitih skupova elementarnih funkcija. Najjednostavniji je slučaj kada je složenost parcijalne funkcije takva da za nju postoje gotova rešenja. Najčešće je funkcionalna struktura za izvršenje opšte funkcije takva da za pojedine parcijalne funkcije postoje gotova reše-

nja, a za druge se mora poći od traženja mogućih principa rešenja.

Razlaganjem opšte funkcije na parcijalne funkcije manjeg stepena složenosti stiču se uslovi za detaljniju analizu očekivanih triboloških procesa. Identifikacija osnovnih radnih funkcija kao i grupe pomoćnih funkcija olakšava definisanje mogućeg pravca razvoja trenja i habanja.

4.3. Elementarne funkcije i TMS

Svaka parcijalna funkcija sistema izvršava se određenim principima do kojih se dolazi raščlanjavanjem parcijalnih na elementarne funkcije, koje su hijerarhijski na nižem stepenu složenosti. Izvršenje elementarnih funkcija najčešće se vrši mašinskim elementima.

Tribomehanički sistemi kao dinamički izvršioci elementarnih funkcija su od posebnog značaja pri koncipiranju i konstruisanju mašinskih sistema jer određuju pouzdanost mašina u 80% slučajeva otkaza. Posmatrano u ravni opšteg funkcionisanja TMS se mogu okarakterisati kao sistemi u kojima se javljaju procesi "prenosa" ili "preobražaja" funkcionalnih veličina (na pr. kretanje, rad, materijali). Procesi se dešavaju na kontaktnim površinama i sa uzajamnim delovanjem materijalnih površina u relativnom kretanju definišu tribološke procese TMS.

U ovoj fazi opšteg koncipiranja konstrukcije posebno je važan izbor TMS za izvršenje elementarnih funkcija kojima se definišu principi rešenja pojedinih parcijalnih funkcija.'

Izbor TMS započinje analizom skupa poznatih ulaznih veličina (X), pri čemu je elementarna funkcija poznata (tehnička funkcija sistema). Pri analizi dobro je uzimati u obzir i radne karakteristike sistema, pri čemu je tip kretanja najčešće već potpuno definisan, a opterećenje, brzina i temperatura se globalno očekuju. Skup izlaznih veličina TMS (Z) je zadat tehničkom funkcijom sistema. Princip rešenja elementarne funkcije je definisan mehanizmom transformacije (Y) koga je moguće birati i koji može imati f jednačina.

Mehanizam TMS proizilazi iz njegove strukture, što znači da za realizaciju elementarne funkcije postoji ponuda više TMS različitih struktura.

Struktura sistema (S) je predstavljena elementima sistema (E), svojstvima elemenata (K) i uzajamnim dejstvima između elemenata (U).

Pri analizi ponuđenih struktura TMS u fazi koncipiranja konstrukcije, analiziraju se triboelementi (1 i 2), kao i okruženje. Vezujući ih za radne karakteristike (relativno kretanje) dobijaju se prvi podaci o mogućim mehanizmima trenja i habanja.

Iz grupe svojstava elemenata, u fazi koncipiranja konstrukcije, moguće je analizirati samo geometrijsku formu

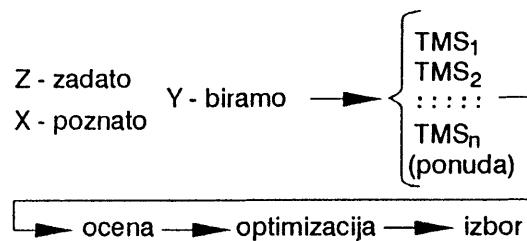
triboelemenata (1 i 2). Ostala svojstva triboelemenata (materijali, topografija i dr.), maziva i atmosfere uzimaju se u obzir u fazi konstruisanja detalja, pri konačnom oblikovanju konstrukcije.

Uzajamna dejstva među elementima, kao komponenta strukture sistema su od odlučujućeg značaja pri konačnom izboru TMS.

Ceo proces izbora elemenata rešenja pojedinih parcijalnih funkcija, odnosno TMS za izvršenje elementarnih funkcija se može predstaviti kao:

Data je elementarna funkcija

- neodređeni proizvod (TMS)



Za svaki TMS važi: $Z = Y (X)$

$$Y = Y (S)$$

$$S = \{E, K, U\}$$

Pitanja izbora TMS iz gama ponuđenih mogućnosti je pitanje pravilnog odnosa prema tribološki ispravnoj konцепцији. Tribološki parametri ocene za optimizaciju i izbor TMS su:

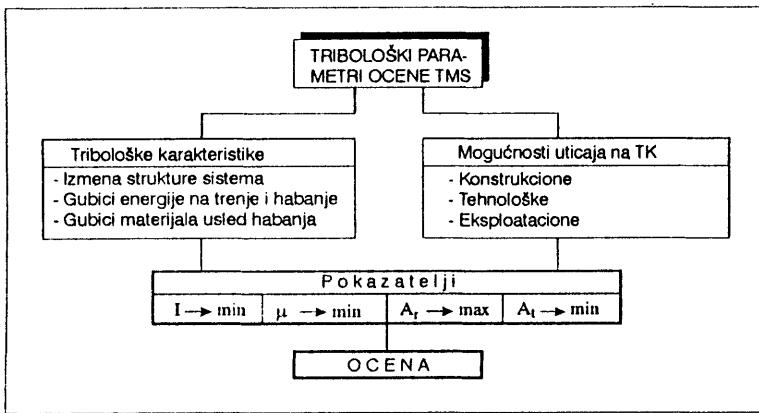
- Tribološke karakteristike TMS
 - izmena strukture sistema
 - gubici energije na trenje i habanje
 - gubici materijala usled habanja
- Mogućnosti uticaja na tribološke karakteristike
 - konstrukcione
 - tehnološke
 - eksplotacione

Tribološke karakteristike TMS su elementi strukture samega sistema i rezultat su uzajamnih delovanja među elementima. Za odlučivanje pri izboru neophodno je poznavanje osnovnih triboloških karakteristika ponuđenih TMS.

Navedene mogućnosti uticaja na tribološke karakteristike TMS po pravilu se primenjuju u fazi konstruisanja detalja.

Na sl. 4. prikazani su tribološki parametri ocene TMS kao i pokazatelji ovih parametara.

Kombinacijom izabranih skupova elementarnih funkcija u kojima su i tribološki ispravni TMS dolazi se do izabrane kombinacije, odnosno izabrane koncepcije. Neophodno je pri tome voditi računa o uzajamnim odnosima TMS



*Sl. 4 Tribološki parametri ocene TMS
Tribological parameters of the TMS evaluation
Трибологические параметры оценки ТМС*

u tehničkom sistemu, a posebno o mogućim tribološkim reakcijama kada jedan TMS rešava više elementarnih funkcija. Izabrana koncepcija mora biti i tribološki ispravna.

Iz grupe formiranih koncepcijskih varijanti odabira se optimalna koncepcija. Za donošenje ovakve odluke može se koristiti više metoda, od kojih je možda najprikladnija metoda vrednovanja. Da bi izabrana koncepcija bila i tribološki ispravna neophodno je u tehničke kriterijume ocenjivanja (ispravnost, pouzdanost, održavanje, itd.) uključiti i parametre tribološke ocene formiranih varijanti. Valja napomenuti da često tribološki zahtevi nisu u skladu sa ostalim zahtevima pravilnog konstruisanja, pa se metodom vrednovanja dolazi do optimalne konstrukcije.

Glavni tehnički zadatak tribologije je stvaranje takvih uzajamnih delovanja u TMS pri kojima se sile i opterećenja prenose pri minimalnom habanju.

4.4. Tribološki aspekti i tribološki informacioni sistem

Rešenje pojedinih parcijalnih funkcija je skup elementarnih funkcija odgovarajućih principa. Do njih se dolazi korišćenjem literature, konstrukcionih kataloga, banke podataka, matematičkom analizom, analizom poznatih konstrukcija, analizom prirodnih sistema, modelskim ispitivanjem i dr.

Uključivanje triboloških aspekata u proces konstruisanja i dobijanje "tribološki ispravne koncepcije" je skoro nemoguće bez korišćenja informacija koje čine deo informacionih resursa. Praktični rezultati dostignuća tribologije značajno su manji od potencijalnih mogućnosti. Jedan od uzroka je nedovoljna informacija o načinu i rezultatima rešenja različitih triboloških zadataka.

Dosadašnji skromni rezultati u oblasti uvodenja tribologije u proces konstruisanja neminovno zahtevaju intenzivniji razvoj kompjuterizovanih triboloških sistema koji poseduju baze podataka i imaju u svom sastavu sistem upravljanja.

Neophodno je ubrzati razvoj banaka podataka koje raspolažu podacima o tribološkim karakteristikama važnijih tribomehaničkih sklopova i sistema, a koji će biti organizovani tako da su dostupni i najširoj mreži korisnika. Ovo je posebno važno za rešavanje jednog od osnovnih zadataka tribologije - obezbeđenje pouzdanosti TMS u stadijumu konstruisanja, tehnološke pripreme i eksploatacije.

Strategija osnovnih naučnih pravaca tribologije je uvek vezivana za poboljšanje sposobnosti materijalnih elemenata TMS da se suprotstave habanju u različitim sredinama i pri različitim vrstama trenja.

Da bi godišnje publikovanje više od 14.000 radova posvećenih problemima trenja i habanja postalo i dostupna informaciona snaga, neophodno je organizovano prikupljanje podataka, čuvanje, korišćenje i podrška.

Razvoj triboloških informacionih sistema u svetu, započet 1967. godine (baze podataka TRIBO, ACTIS i dr.), već duže vreme upozorava da se kod nas mora krenuti dalje od začetka pojedinih komponenti ovakvih sistema.

5. ZAKLJUČAK

Tribološki aspekti u procesu konstruisanja i "tribološki ispravna konstrukcija" su nove mogućnosti u podizanju kvaliteta konstruisanja.

Koncipiranje kao početna faza transformisanja zadate apstrakcije u načelna rešenja zadataka, uključuje i tribološke aspekte u odlučivanju, vrednovanju i izboru rešenja. Uključivanje započinje analizom očekivanih triboloških procesa a završava se tribološki ispravnom koncepcijom.

Tribološki aspekti u procesu konstruisanja su značajna mogućnost u podizanju kvaliteta mašinskih sistema, jako vezani za stvaranje, razvoj i korišćenje triboloških informacionih sistema. Dosadašnji skromni rezultati u oblasti uvodenja tribologije u proces konstruisanja, posebno kod nas, opominju da se mora krenuti dalje od početka.

LITERATURA

- [1.] PAHL G., BEITZ W.. *Engineering Design*, The Design Council, London, 1984.
- [2.] ČIHOS H.. *Sistemni analiz v tribonike*, Mir, Moskva, 1982.
- [3.] KOSTELIĆ A.. *Teorija proizvoda-znanstvena osnova razvoja proizvoda*, Strojarstvo, 2/3, 1989.
- [4.] HUBKA V.. *Teorija tehničeskih sistem*, Mir, Moskva, 1987.
- [5.] OGNJANOVIĆ M., *Metodika konstruisanja mašina*, Mašinski fakultet, Beograd, 1990.

- [6.] OBERŠMIT E.. *Osnove suvremene nauke o konstruiranju*, Strojarstvo, 1, 1977.
- [7.] KOSTECKII B. I.. *Zadaci tribologii v mašinostroeñii*, Vestnik mašinostroenia, No 9, 1989.
- [8.] GOLEGO N. L., ZAHAROV S. M., BUDA A. P., NATANSON M. E.. *Nacionalnie informacionie bazi danih po tribologii*, Trenie i iznos, Tom 9, No 6, 1988.
- [9.] TANASIJEVIĆ S.. *Tribologija u konstruisanju, Tribologija u industriji*, 12, No 1, 1990.
- [10.] TANASIJEVIĆ S.. *Tribološki aspekti konstruisanja*, YUTRIB 91, Kragujevac, 1991.

* Rad je izložen na Trećoj jugoslovenskoj konferenciji o tribologiji YUTRIB'93, Kragujevac, 24.-25. juna 1993.god.

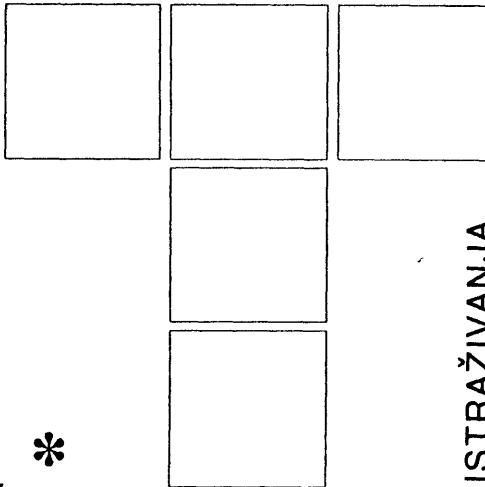
Tribological Aspects in Conceptual Design

Modern knowledge of design still does not contain enough of tribological aspects of design. In this paper it was attempted to point to the main directions in application of tribology principles in the phase of conceptual design. The correct concept of design is that one which takes into account the tribological aspects in the phase of conceptual design.

Трибологические аспекты конструирования

Современная теория конструирования всё ещё не уделяет достаточно внимания трибологическим аспектам. Автор настоящей работы указывает на важнейшие направления учёта принципов трибологии на этапе конструирования, исходя из необходимости правильной конструкции.

**B. JEREMIĆ, M. BABIĆ, N. MILIĆ,
B. VASILJEVIĆ**



ISTRAŽIVANJA

Tribološke karakteristike regenerisanih površina *

1. UVOD

U najvećem broju slučajeva otkazi kod tehničkih sistema nastaju kao posledica razvoja triboloških procesa, odnosno pohabanosti kontaktnih elemenata. Nivo kritičnih pohabanosti se kreće od reda nekoliko desetina mikrometara (na primer ležišta brusilica) pa do nekoliko milimetara (mašine koje rade u abrazivnoj i agresivnoj sredini). Sa druge strane su nepobitne činjenice da se elementi tehničkih sistema izrađuju od legiranih čelika koji u sebi sadrže legirajuće elemente kao što su Cr, Ni, Co, W itd. Navedeni elementi su skupi i strateški materijali sa tačno procenjenim rezervama u svetu.

Ako se posmatraju osnovna ograničenja pri eksploataciji tehničkih sistema, dolazi se do zaključka da je obezbeđenje njihove radne sposobnosti jedan od osnovnih ciljeva funkcije održavanja. To znači da deo koji je zbog pohabnosti doveo do otkaza treba zamjeniti novim ili stari regenerisati. Da bi se deo zamjenio novim mora postojati u magacinu. To znači da ukoliko je deo kritičniji sa aspekta pojave otkaza i njegova zaliha mora biti veća. Ovo je loš pristup jer angažuje znatna finansijska srestva koja su zamrzнута u rezervnim delovima koji leže u magacinu i zauzimaju određeni prostor.

Bolji pristup je ako se pohabani element regeneriše, tj. nanese sloj triboloških karakteristika boljih od onih koje je posedovao osnovni materijal tog kontaktnog elementa.

*Dr Branislav Jeremić, dipl. ing.,
vanredni profesor Mašinskog fakulteta u Kragujevcu
Dr Miroslav Babić, dipl. ing.,
docent Mašinskog fakulteta u Kragujevcu
Dipl. ing. Nenad Milić,
asistent Mašinskog fakulteta u Kragujevcu
Dr Bogdan Vasiljević, dipl. ing.,
docent Mašinskog fakulteta u Kragujevcu*

Osim navedenog, racionalan pristup je i ako se elementi tehničkih sistema izrađuju od niže kvalitetnih materijala, a samo na kontaktne površine nanose slojevi izuzetnih triboloških karakteristika. Kroz ovo saopštenje se daju rezultati ispitivanja, tj. izbora optimalnih triboloških karakteristika regenerisanih slojeva pomoću plamenog spreja.

Za regeneraciju su korišćene tri vrste praha i to na bazi nikla, kobalta i nikla sa kobaltom i volfram karbidom. Iako se preporuka proizvođača ovih prahova odnosi za iste uslove eksploatacije, dobijene tribološke karakteristike su u nekim uslovima ostvarivanja kontakta značajno različite.

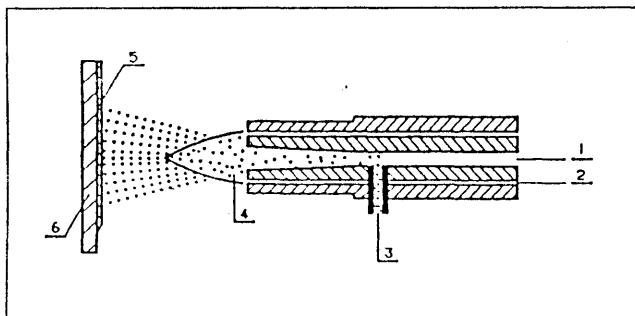
2. PROCES REGENERACIJE I IZBOR MATERIJALA SA TRIBOLOŠKOG ASPEKTA

Danas se najčešće u svetu koriste metode regeneracije zasnovane na korišćenju praha koji se različitim postupcima prevodi u tečno ili stanje plazme i deponuje na površinu koja se regeneriše. Očigledno je da su u procesu regeneracije prisutni termički procesi koji u zavisnosti od primenjene metode mogu dovesti do:

- termičkog preobražaja osnovnog materijala elementa koji se regeneriše,
- termičkih deformacija i
- zaostalih naprezanja nastalih kao posledica vezivanja raznorodnih materijala pri termički opterećenom elemantu koji se regeneriše.

Navedeno ukazuje na još jedan važan aspekt kod izbora materijala i metode regeneracije.

Za deponovanje sloja materijala koji su korišćeni za ispitivanje (čiji su rezultati prezentirani u ovom radu) primjenjen je plameni sprej. Kod plamenog spreja, gas za sagorevanje pomoću ejektorskog principa dovodi u svoju struju čestice praha, koje zatim ulaze u zonu u kojoj gas sagoreva (slika 1.).



Sl. 1. Regeneracija pomoću plamenog spreja:

1 - gas za usisavanje čestica praha, 2 - gas za sagorevanje, 3 - otvor za usisavanje čestica praha, 4 - zona sagorevanja gase, odnosno topljenja praha, 5 - naneti sloj, 6 - element koji se regeneriše

Regeneration with flame spray: 1 - gas for powder particles suction, 2 - gas for combustion, 3 - opening for powder particles suction, 4 - zone of gas combustion i.e. powder melting, 5 - applied layer, 6 - element that is being regenerated.

Восстановление пламенной смесью: 1 - газ, всасывающий порошок, 2 - горячий газ, 3 - всасывающее отверстие, 4 - зона сгорания газа иплавления порошка, 5 - налавленное покрытие, 6 - восстанавливаемый элемент

Pri prolasku čestica kroz zonu sagorevanja, dolazi do njihovog topljenja i ubrzavanja u visokotemperaturskoj struji gasa. Na površinu elementa za regeneraciju istopljeni materijal dolazi u obliku sitnih istopljenih čestica koje se sudaraju sa njim. Pri tome dolazi do njihovog udaranja o površinu, deformisanja, međusobnog vezivanja i obrazovanja kompaktног sloja. Udar i deformacija čestica dovodi do njihove neuobičajeno brze kristalizacije i hlađenja.

Osnov tehnologije regeneracije pomoću plamenog spreja podrazumeva adekvatnu pripremu površine (peskarenje, odmašćivanje i predgrevanje), kao i završnu obradu (brušenje) predmeta (deponovanog sloja) na željene dimenzije.

Kod izbora materijala za regeneraciju kontaktnih elemenata treba poći od sistemskog pristupa u analizi obavljanja funkcije tribomehaničkih sistema kojima ti elementi pripadaju. Ovo se prvenstveno odnosi na:

- prirodu i nivo opterećenja,
- brzine relativnog kretanja i
- sredinu u kojoj se kontakt ostvaruje.

U najvećem broju slučajeva odabrani materijal je vezan i za tačno određeni postupak regeneracije (navarivanje, plameni sprej, plazma sprej, plazma lučno navarivanje itd.). To znači da osnovno ograničenje kod regeneracije ne može biti vezano samo za izbor materijala, već i za metod kojim se ovaj materijal deponuje na pohabanu površinu.

Može se generalno zaključiti da najpoznatiji svetski proizvođači prahova za regeneraciju (METCO, PLASMA ALLOY, STELLITE, MOGUL, THERMACOTE, WELCO) izbor materijala vezuju u širem smislu za uslove ostvarivanje kontakta (tabela I).

Tabela I

Materijal	Uslovi eksploracije				
	Termič. optereć.	Erozija	Korozija	Hladna abrazija	Topla abrazija
Legure na bazi kobalta		*	*	*	*
Legure na bazi nikla			*	*	*
Volfram karbid				*	*
Keramika	*				

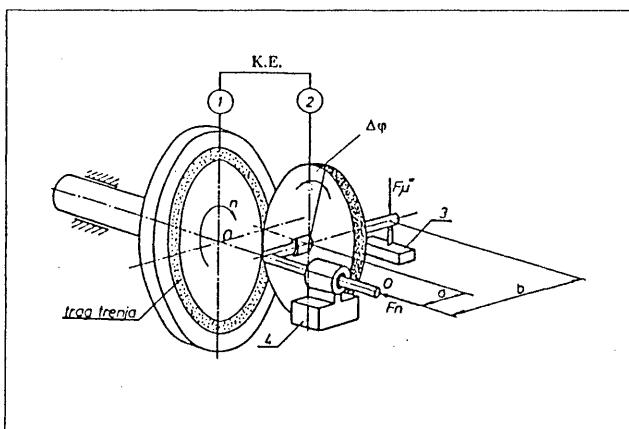
Iz navedene tabele je očigledno da prah napravljen od legure na bazi kobalta ima najširi spektar primene za regeneraciju, dok je prah na bazi keramike uglavnom namenjen termički opterećenim elementima.

3. EKSPERIMENTALNI USLOVI

3.1. Merni lanac

Ispitivanja triboloških karakteristika regenerisanih površina izvedena su na tribometru koji obezbeđuje promenljivu geometriju kontakta (pin on disc i disc on disc). U ovom slučaju je samo rađeno sa geometrijom disc on disc (slika 2.).

Na nepokretnom disku po obimu je nanešen sloj materijala za regeneraciju. Zaokretanjem diska za ugao $\Delta\phi$ oko ose omogućeno je ponavljanje većeg broja eksperimenta.



Sl. 2. Geometrija kontakta "disc on disc" - linijski kontakt (K.E. - kontaktni elementi, 1 - pokretni disk, 2 - nepokretni disk, 3 - dinamometar za merenje sile trenja, 4 - nosač sa kotrljajućom vodicom)

Geometry of "disc-on-disc" contact - linear contact (K.E. - contact elements, 1 - moving disc, 2 - fixed disc, 3 - dynamometer for measuring the friction forces, 4 - carrier with the rolling guide).

Геометрия контакта "disc on disc" линейный контакт (К.Е. - контактные элементы, 1 - подвижный диск, 2 - неподвижный диск, 3 - динамометр для измерения силы трения, 4 - суппорт с направляющей качения)

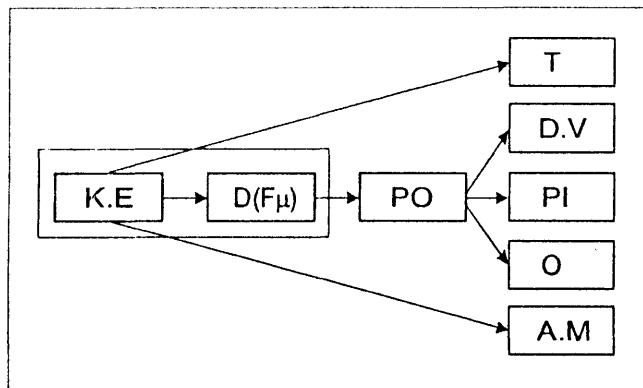
ta pri svim ostalim istim uslovima i dobijanje pouzdanih rezultata istraživanja.

Pri normalnom opterećenju silom F_n dolazi do ostvarivanja linijskog kontakta između diskova. Zbog procesa trenja u zoni kontakta, nepokretni disk (2) sa polugom na kojoj je fiksiran, teži da ostvari rotaciju oko ose O-O. Ovome se suprotstavlja dinamometar koji registruje силу F_μ^* . Ova sila predstavlja proizvod stvarne sile trenja F_μ i odnosa dužina a/b. Signal sile trenja se sa dinamometra prenosi u pojačivač (kao deo mernog lanca - slika 3.) i neprekidno registruje na pisaču u toku procesa istraživanja.

3.2. Kontaktni elementi

Kontaktni elementi su činili pokretni i nepokretni disk. Pokretni disk je bio izrađen od čelika Č.5420, cementiran do dubine $f=1-1.2 \text{ mm}$ i sa tvrdoćom od 58 HRC. Kontaktne površine su obradene brušenjem uz obezbeđenje kvaliteta N5.

Regeneracija, odnosno nanošenje sloja izvršeno je sa tri različita praha proizvoda firme MOGUL METALLIZING.



Sl. 3. Merni lanac (TR-tribometar, K.E.-kontaktni elementi, T-sistem za identifikaciju topografije TALYSURF 6, A.M.-alatni mikroskop UIM-21, D(F_μ)-dinamometar sa mernim trakama za merenje sile trenja, PO-pojačivač HBM KWS 3073, DV digitalni voltmeter za električno uravnoteženje pojačivača SOLATRON 7040, PI-pisač RIKADENKI R-50, O-dvokanalni osciloskop TEKTRONIX 422).

Measuring setup (TR - tribometer, K.E. contact elements, T - system for topography identification TALYSURF 6, A.M. - tool microscope UIM - 21, D(F_μ) - dynamometer with strain gauges for measuring the friction forces, PO - amplifier HBM KWS 3073, DV digital voltmeter for electrical balancing of amplifier SOLATRON 7040, PI - plotter RIKADENKI R-50,

O - two-channel oscilloscope TEKTRONIX 422). Измерительная цепь (TR - трибометр, К.Е. - контактирующие элементы, Т - система для идентификации по топографии TALYSURF 6, А.М. - инструментальный микроскоп УИМ 21, D(F_μ) - динамометр, РО - усилитель HBM KSW 3073, DV - динамометр для электрического уравновешивания усилителя SOLATRON 7040, PI - писатель RIKADENKI R-50, О - двухканальный осциллограф TEKTRONIX 422)

Osnovne karakteristike materijala (praha) i nanešenog sloja date su u tabeli II.

Tabela II

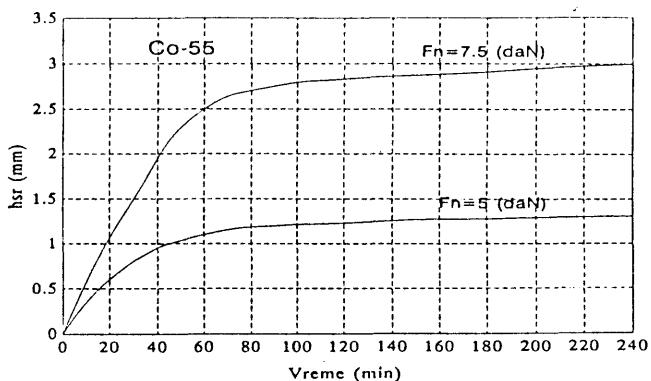
Komerčijalni naziv praha	Osnova	Hemijski sastav	Tvrdoća sloja HRC
Co - 55	Kobalt	C,Fe,Si,Ni,Cr,B,W,Co	57.3
N - 55	Nikl	C,Fe,Si,Ni,Cr,B,Cu,Mo	62
W - 58	Nikl sa kobaltom i wolfram karbidom	C,Fe,Si,Ni,Cr,B,Mo, Co,wolfram karbid	65

3.3. Uslovi ostvarivanja kontakta

kontakt linijski dužine 2.5 mm,
podmazivanje granično,
brzina klizanja $v=2.4 \text{ m/s}$ i
normalno opterećenje $F_n = 5 \text{ daN}$ i 7 daN .

4. REZULTATI ISTRAŽIVANJA

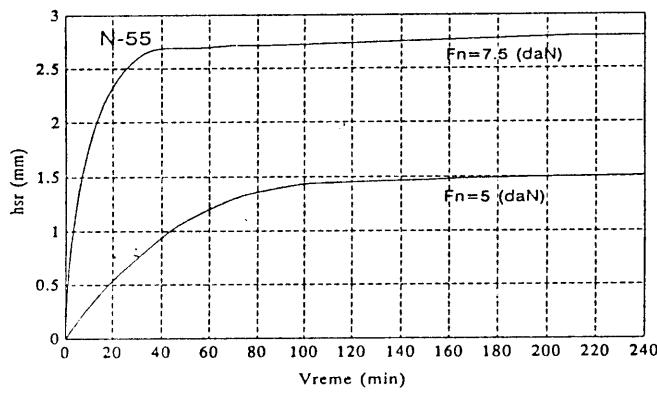
Sva istraživanja su izvedena sa ciljem da se sagleda proces habanja kontaktnih elemenata za definisane uslove ostvarivanja kontakta.



Sl. 4. Uticaj opterećenja na proces habanja nanešenog sloja Co-55
Influence of loading on the wear process of the applied layer Co-55
Влияние нагрузки на процесс изнашивания покрытия Co-55

Merenje pohabanosti nepokretnog diska izvedeno je pomoću alatnog mikroskopa. Merenja su vršena na svakih 0.5 mm (posmatrajući dužinu dodira), a rezultati koji se prikazuju na slikama 4., 5. i 6. predstavljaju srednje vrednosti širine pojasa habanja (hsr).

U svim slučajevima (slike 4., 5. i 6.) očigledno je da se relativno brzo završava proces inicijalnog habanja. Posle toga priraštaj pohabanosti se odvija jako sporo. Sa istih slika se vidi da nivo opterećenja ima veoma značajan uticaj na intenzitet procesa habanja. Uočene su manje



Sl. 5. Uticaj opterećenja na proces habanja nanešenog sloja N-55

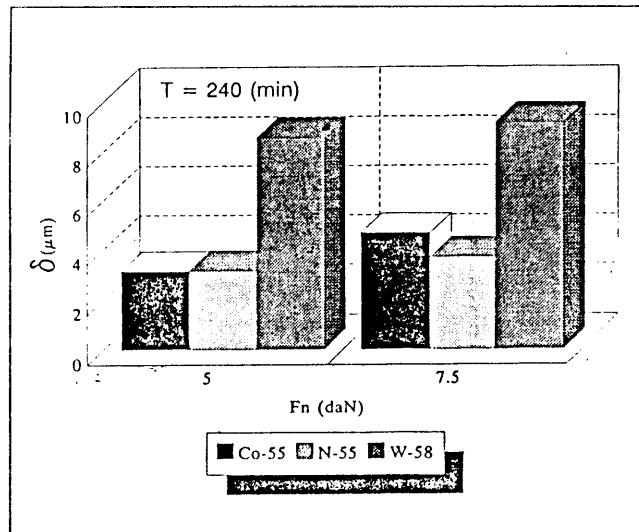
Influence of loading on the wear process of the applied layer N-55

Воздействие нагрузки на процесс изнашивания слоя N-55

razlike u tribološkom ponašanju slojeva na bazi praha Co-55 i N-55. Sloj na bazi volfram karbida (W-58) je najtvrdi i ima značajno veću otpornost na habanje u odnosu na ostala dva (Co-55 i N-55).

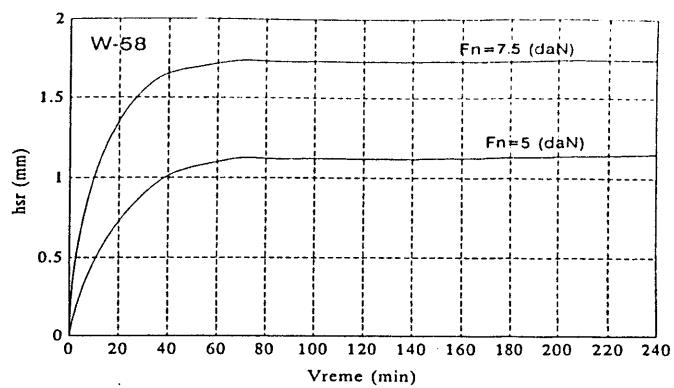
U toku istraživanja praćena je promena dubine traga trenja na pokretnom disku (slika 7.)

Sa slike 7. se vidi da vrsta materijala nanešenog sloja ima veoma bitan uticaj na nivo pohabanosti pokretnog diska. Ovaj uticaj je značajniji od uticaja nivoa opterećenja.



Sl. 7. Uticaj opterećenja i vrste nanešenog sloja na nivo pohabanosti pokretnog diska
Influence of loading and kind of the applied layer on the moving disc wear level
Воздействие нагрузки и виды нанесенного слоя на износ подвижного диска

Očigledno je da ukoliko tvrdoča nanetog sloja značajnije prevazilazi tvrdoču materijala drugog kontaktnog elementa i proces habanja tog elementa je intenzivniji.



Sl. 6. Uticaj opterećenja na proces habanja nanešenog sloja W-58

Influence of loading on the wear process of the applied layer W-58

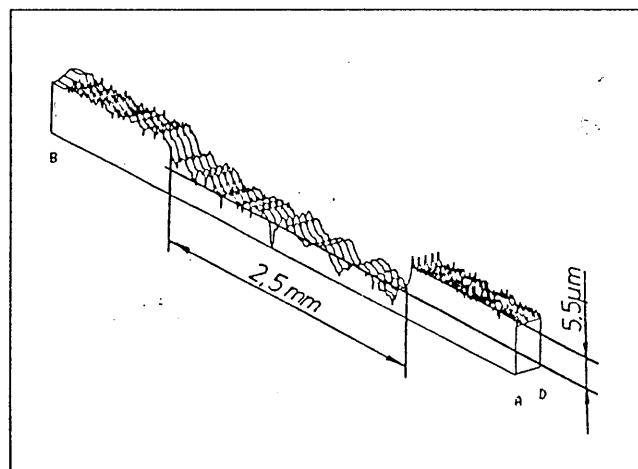
Воздействие нагрузки на процесс изнашивания слоя W-58

Ako se uporede rezultati sa slike 4. i slike 7. vidi se da je posle 3 sata habanje nanetog sloja W-58 približno 1.6 puta manje u odnosu na Co-55 i N-55, ali je zato habanje pokretnog diska za W-58 približno 2.2 puta veće u odnosu na ostala dva materijala. Ovaj zaključak se odnosi na normalno opterećenje od 7.5 daN.

Iz napred navedenog se zaključuje da postoji optimum sa aspekta izbora materijala koji se nanosi, a u zavisnosti od drugog kontaktnog elementa i uslova ostvarivanja kontakta.

Merenje dubine traga trenja je vršeno na sistemu TalySurf 6 pomoću slike dobijene prostornim skeniranjem zone kontakta. Jedan primer za ovo je prikazan na slici 8.

Sa slike 8. se vidi da se prostornim skeniranjem mogu meriti pohabanosti koje su reda veličine desetog dela mikrometra.



Sl. 8. Profil pohabane površine na tragu trenja pokretnog diska
Worn surface profile on the moving disc friction trace
Профиль изношенной поверхности на дорожке трения подвижного диска

5. ZAKLJUČAK

Za izvođenje procesa regeneracije i izbor materijala sa tribološkog aspekta, treba poći od uslova ostvarivanja kontakta. Drugi veoma važan kriterijum je vezan za materijal i tvrdoću kontaktnog elementa koji se ne regeneriše.

Ukoliko tvrdoća nanetog sloja značajnije prevazilazi tvrdoću materijala drugog kontaktnog elementa i proces habanja tog elementa je intenzivniji.

Sloj na bazi wolfram karbida bi bio veoma dobar za regeneraciju elemenata koji obavljaju funkciju u abrazivnoj sredini.

LITERATURA

- [1] MITIN B. S., Poroškovaja metalurgija i napilenje pokritija, "Metalurgija", Moskva, 1987.
- [2] KUDINOV V. V., PEKŠEV P. JU., Nanesenje pokritij plazmoj, "Nauka", Moskva, 1990.
- [3] JEREMIĆ B., MILIĆ N., BABIĆ M., MEYER M., Uticaj geometrije kontakta na proces razaranja sloja čvrstog maziva, Tribologija u industriji, No 1., Mašinski fakultet, Kragujevac, 1991.
- [4] Prospekti materijali firmi: METCO, PLASMA ALLOY, STELLITE, MOGUL, THERMACOTE WELCO itd.

* Rad je izložen na Trećoj jugoslovenskoj konferenciji o tribologiji YUTRIB'93, Kragujevac, 24.-25. juna 1993.god.

Tribological Characteristics of Recovered Surfaces

Contact making condition is, from tribological aspect, the main criterion for selection of recovery process material. The second important criterion is related too material and hardness of the contact element not subjected to recovery. The research was carried out on elements recovered by powder spray flame based on cobalt, nickel, and nickel with cobalt and wolfram carbide.

If the hardness of the deposited layer is excessively above the material hardness of the other contact element, that element would then be subjected to a more intensive wear. Wolfram carbide layer is very good for recovery of the element functioning in abrasive environment.

Трибологические характеристики восстановленных поверхностей

Условия осуществления контакта с асептическим трибологией являются важнейшим критерием при изборе материала покрытия. Вторым определяющим критерием является материал и твердость контактирующего элемента, который не восстанавливается. Исследования проводились на элементах, восстановленных пламенной порошковой смесью кобальта, никеля, никель-кобальта и карбида вольфрама.

Когда твердость покрытия гораздо больше твердости другого контактирующего элемента этого же элемента изнашивается более интенсивно. Покрытие из карбида вольфрама показалось очень эффективным для восстановления деталей работающих в абразивной среде.

M. STEFANOVIĆ

Klizanje preko zateznog rebra - specifičan tribotest u obradi dubokim izvlačenjem *

1. UVOD

Klizanje trake od lima preko zateznog rebra je karakterističan tribo-test u oblasti tribologije procesa dubokog izvlačenja tankih limova iz više razloga. Za razliku od poznatih postupaka za ocenu obradivosti limova dubokim izvlačenjem (Swift, Erichsen), koji na određeni način uključuju granične uslove, ovakvo ispitivanje neposredno modelira zonu na obodu komada koji se izvlači. Takođe, ovakvo ispitivanje podrazumeva i realnu makrogeometriju alata - širinu, visinu i radijus zaobljenja rebra, uz odgovarajuće vrednosti brzine i pritiska, čime se postiže tzv. potpuno modeliranje procesa.

U skladu sa klasifikacijom tribo-modeliranja [1], rezultati ovog ispitivanja pripadaju 1. grupi relevantnih parametara, koju čine: sila trenja, koeficijent trenja, parametri hrapavosti, dužina klizanja (kod testova abrazije), temperatura, težinski iznos habanja i sl.

Šire posmatarno, optimizacija geometrije zateznih rebara je izuzetno značajna za proces dubokog izvlačenja, s obzirom da se njihovom korekcijom i mazivom (vrsta i zona nanošenja) može efikasno uticati na proces obrade; ostale mogućnosti - izmena materijala, promena geometrije izvlakača i matrice, korekcija zazora i sile držača su znatno složenije. Ova problematika je detaljno razmatrana u više radova [2], [3], [4].

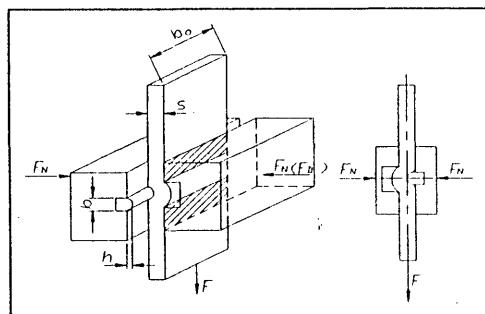
Dr Milentije Stefanović,
vanr. prof., Mašinski fakultet u Kragujevcu

2. KARAKTERISTIKE PROCESA KLIZAJA PREKO ZATEZNOG REBRA

Pri klizanju preko zateznog rebra, prema sl.1, deformaciono stanje je ravansko, bez promene širine trake; ravanjsko naponsko stanje u zonama malih poluprečnika savijanja, prvenstveno na matrici, prelazi u prostorno.

Tačno izračunavanje sile, koja savlada otpor pri klizanju je složeno, pri čemu najveću teškoću predstavlja precizno određivanje deformacionog otpora pri cikličnom opterećenju - naizmениčnom savijanju i ispravljanju preko ivica matrice i zateznog rebra.

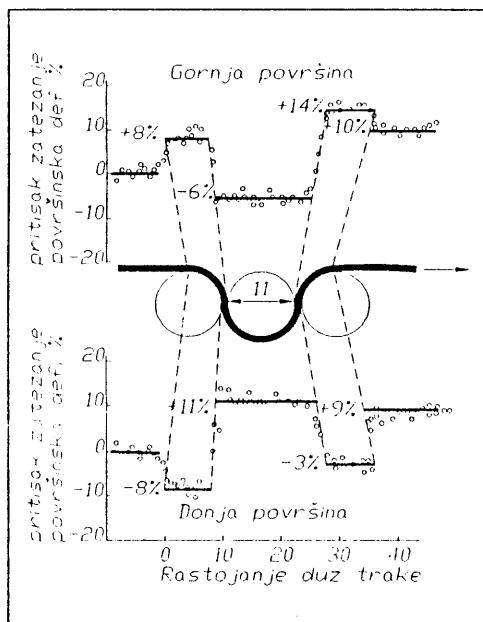
Praktično je nemoguće odrediti krivu cikličnog ojačanja, koja pouzdano prati ovakvo deformisanje, kada su polja materijala sa jedne i druge strane neutralne naponske linije naizmениčno opterećena na zatezanje i pritisak. Pri



Sl. 1. Šema ispitivanja klizanjem preko zateznog rebra
Scheme of the investigation over the tensile rib
Схема исследования скольжением через напряженное ребро

jednoosnom zatezanju deformaciono ojačanje se monotono uvećava sa rastom deformacije. Najveća prirodna deformacija pri ovakvom ispitivanju je znatno niža od sumarne deformacije koja se ostvaruje pri klizanju preko rebra (prema slici 2, ona iznosi 46% i 53% [5]).

Ukupnu silu klizanja čine sila cikličnog savijanja (sila oblikovanja), i sile trenja. U posebnim tribološkim uslovima (slabo podmazivanje, zaprljane kontaktne površine, povišena hrapavost alata i lima) sila koja savladava otpor trenju može porasti do polovine ukupne sile na zateznom rebru.



Sl. 2. Ostvarene deformacije pri naizmeničnom savijanju i ispravljanju lima [5]
Realized deformations during cyclic folding and straightening of the tin sheet
Стигнути деформацији при њоследовању лима

Eksperimentalno je moguće razdvojiti silu čistog oblikovanja od sile trenja, korišćenjem uređaja sa osloncima u vidu valjičića [5]. Primenjena metodologija je identična dekompoziciji sila pri savijanju sa zatezanjem [6], s obzirom da je vrednost koeficijenta trenja kotrljanja praktično zanemarljiva.

Test klizanja preko zateznog rebra može se uspešno koristiti kod ocene maziva za duboko izvlačenje, istraživanja pojave habanja alata, ispitivanja postojanosti prevlaka na zaštićenim limovima i sl. [7],[8].

Tabela 1.

R _p [MPa]	R _m [MPa]	A ₈₀ [%]	n	r	R _a [μm]	R _f [μm]	R _Z [μm]
177.0	300.4	38.1	0.24	1.5	1.81	12.4	10.8
Kriva ojačanja:		$K = 177.0 + 388.2 \phi^{0.448}$ [MPa]					

Komercijalno su realizovani uređaji za ovakva ispitivanja [9], u skladu sa standardima pojedinih proizvođača limova, (DACRAL, KRUPP, THYSEEN). Sklonost ka prilepljivanju - atezionom dejstvu lima i alata, najčešće se izučava u uslovima tzv. redukovanih podmazivanja, kada se mazivo nanosi samo na prvi komad, a zatim prati porast sile klizanja i pogoršanje izgleda površine epruvete (nastajanje hladnog privarivanja, [10]). Sklonost ka prilepljivanju zavisi od tvrdoće, hrapavosti i hemijskih karakteristika površina u kontaktu, kao i reoloških svojstava maziva.

3. EKSPERIMENTALNA ISPITIVANJA

Osnovna shema ispitivanja je pokazana na slici 1. Dimenzije epruveta, sečenih u pravcu valjanja, iznose 200X20X0.8 mm. Uslovi ispitivanja:

- brzina deformisanja: $v=20; 200$ mm/min
- širina rebra: $b=10$ mm
- visina rebra: $h=2; 4; 6$ mm
- radijus na rebru: $r=2; 3; 4; 5$ mm.

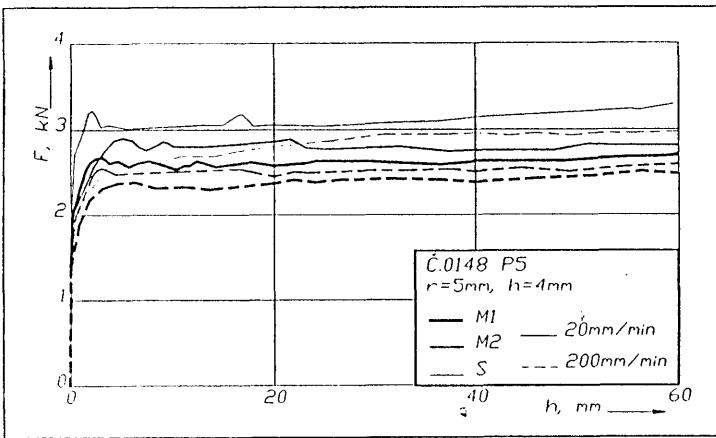
Smanjenjem poluprečnika r u radnoj zoni rebra, povećava se neophodna sila savijanja. Vrednosti specifičnih pritisaka na držaću izabrane su s obzirom na mogućnost potpunog savijanja, odnosno razaranja i iznose: $p_d = 2.4; 5.0; 7.6; 10.8$ MPa. U radu je korišćen niskougljenični čelični lim Č.0148 P5, čije su karakteristike navedene u tabeli 1.

Za podmazivanje su korišćene dve vrste maziva za duboko izvlačenje (M1 i M2); serija eksperimenata je rađena sa tehnički suvimi kontaktanim površinama (S).

Kompletan uređaj za ispitivanje, opremljen dopunskim pogonom za obezbeđenje sile držanja, kao i elementima za registrovanje mernih veličina, instaliran je na hidrauličnoj presi ERICHSEN 142/12 (detaljan opis instalacije dat je u radu [11]).

Na slici 3 pokazana je zavisnost sile klizanja preko zateznog rebra od puta - dužine klizanja. Karakteristični iznosi sila se uzimaju na dužini od 15 mm, u zoni stacionarnog klizanja, pri tzv. nepromenljivom niskom trenju. U odsustvu maziva (stanje S) dolazi do brazdanja površine lima, kidanja čestica mekšeg metala i porasta sile u drugoj fazi klizanja. Za razliku od klizanja između ravnih kontaktnih parova, u ovom slučaju ne dolazi do pojave Stick-Slip-a.

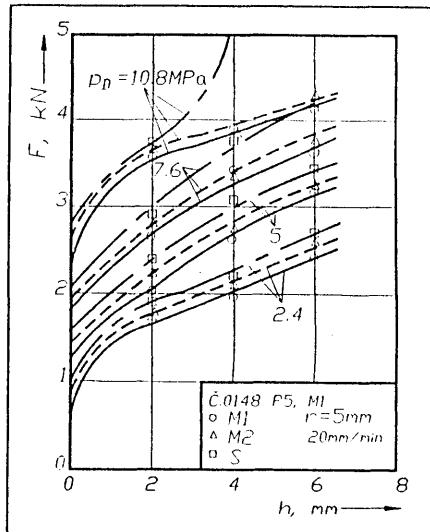
S obzirom da se eksperiment odvija u 5-to dimenzionom faktornom prostoru, prikazani su samo neki karakteristični rezultati. Na slici 4 i 5 date su zavisnosti sile klizanja pri promeni visine rebra, pritiska držaća, izmeni maziva i brzina klizanja.



*Slika 3. - Zavisnost sile za različite kontaktne uslove
Dependence of the force on the step for various contact conditions
Зависимость силы от высоты хода для различных условий контакта*

U slučaju male visine rebra ($h=2\text{mm}$) značajan je uticaj pritiska; sa porastom visine izražen uticaj imaju i mazivo i brzina. Ovo je razumljivo, pošto se većim silama na držaču, pored potpunijeg savijanja oko zateznog rebra, ostvaruje i veće trenje.

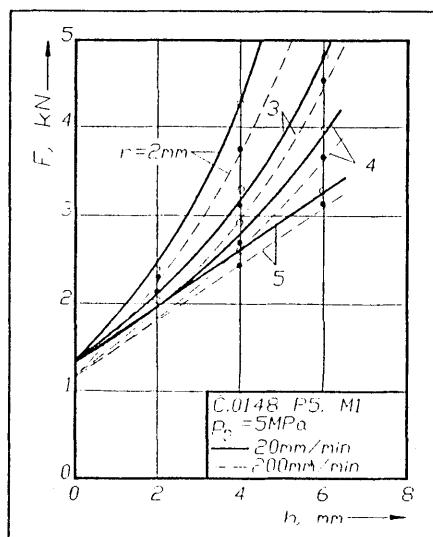
Jednaku silu klizanja-kočenja moguće je, prema slici 5, ostvariti različitim kombinacijama radijusa i visine rebra, ali se smanjenjem vrednosti r bitno menjaju uslovi u mikro-kontaktu (intenzivno ciklično savijanje i kombinacija izravnjenja pikova u kontaktu i razvlačenja podnožja neravnina). Prema slici 6 uticaj r je izrazit sa povećanjem visine h . Zatezna rebra polukružnog preseka omogućavaju klizanje i pri visokim silama držanja.



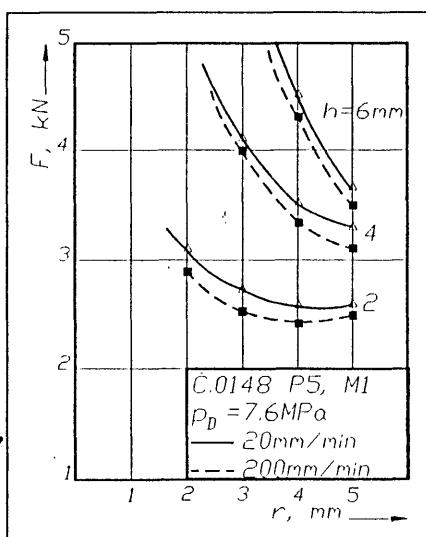
*Sl. 4. Zavisnost sile klizanja od uslova ispitivanja
Dependence of the sliding force on test conditions
Зависимость силы скольжения от условий испытания*

Umesto sa vrednostima specifičnih površinskih pritisaka p_D , pogodnije je raditi sa tzv. linijskim (svedenim) pritiskom p_r , koji se dobija svodenjem sile držača na aktivnu dužinu zateznog rebra. Na slici 7 prikazana je ovakva zavisnost, pri čemu se vrednost $h=0$ odnosi na ravne kontaktne površine (bez rebra).

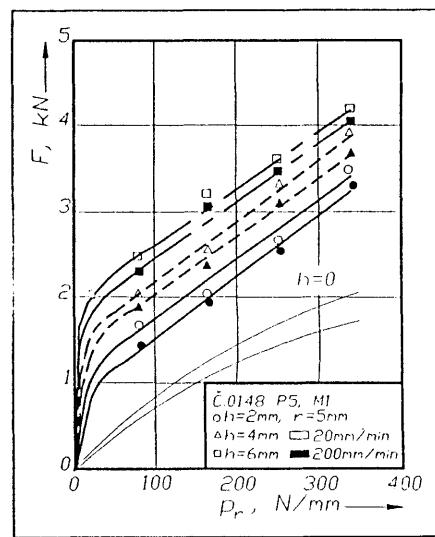
U svim pokazanim slučajevima smanjuje se sila klizanja pri porastu brzine, s obzirom na zanemarljiv uticaj promene brzine klizanja - deformisanja na deformaciono ojačanje. Mazivo M1 pokazalo je pri svim ispitivanjima najbolja svojstva.



*Sl. 5. Zavisnost sile klizanja od uslova ispitivanja
Dependence of the sliding force on test conditions
Зависимость силы скольжения от условий испытания*



*Sl. 6. Zavisnost sile klizanja od poluprečnika rebra
Dependence of the sliding force on the rib radius
Зависимость силы скольжения от диаметра ребра*



*Sl. 7. Zavisnost sile klizanja od linijskog pritiska
Dependence of the sliding force on the linear pressure
Зависимость силы скольжения от линейного давления*

4 . ZAKLJUČCI

Klizanje trake od lima preko zateznog rebra spada u grupu modelnih ispitivanja u oblasti tribologije dubokog izvlačenja, koja su osnova za izučavanje uticaja trenja na obodu komada. Realizuje se u uslovima ravanskog deformacionog stanja sa složenim karakterom cikličnog ojačanja.

S obzirom na realnu mikro i makro - geometriju kontaktnih parova, pri istraživanju se ostvaruje princip potpunog modeliranja.

Pri ispitivanju je moguće realizovati otežane tribo-uslove (visoki lokalni pritisci u zonama savijanja, velike dužine klizanja), kao preduslova za pouzdano ocenjivanje maziva za duboko izvlačenje, postojanosti prevlaka na zaštićenim limovima i sl.

Dominantan uticaj na veličinu sile klizanja, posebno komponente koja se odnosi na trenje, ima visina rebra. Izražen je i uticaj pritiska držača i brzine.

LITERATURA

- [1] M. STEFANOVIĆ, Razvoj triboloških modela u obradi dubokim izvlačenjem, YUTRIB '91, Kragujevac 1991, 135-141.
- [2] C. WEIDEMANN, The Blankholding Action of Draw Beads, Sheet Met.Ind. Sept. 1978, 984-989.

- [3] A. D. TOMLENOV, Teoria plastičeskogo deformirovania metalov, "Metalurgia", Moskva 1972.
- [4] M. J. PAINTER, R. PEARCE, Metal flow through a Draw Bead, Sheet Met.Ind. July 1976, 12-16.
- [5] N. HARMEN, Draw Bead Forces in Sheet Metal Forming Mech., Sheet Metal Forming Mater. Behav. and Det, Warren, Mich, 1977.
- [6] P. Witthuser, Untersuchung von prüfverfahren zur Beurteilung der Reibungsverhältnisse beim Tiefziehen, Dissert., Hannover, 1980.
- [7] M. KOJIMA, C. SUDO, Y. HAYASHI, Effectiveness of Flange Holding on the Die Surface with Draw Beads, 9th Congress of IDDRG, 1976, 207-219.
- [8] N. HARMEN, Assessment of Lubricants for Aluminium Forming SAE Tech.Pap, Sept. 1978, No 780394.
- [9] Prospekt - Stamping Lubricant Tester, SLT, Keil Division of Ferro Corporation, USA.
- [10] A. BRAGARD... Present State of the CRM Work Related to Surface Analysis of Cold Rolled Steel Sheets, 10th IDDRG, Warmick 1978, 253-277.
- [11] M. STEFANOVIĆ, Prilog istraživanju uticaja kontaktnog trenja pri dubokom izvlačenju tankih limova, Doktorska disertacija, Kragujevac, 1985.

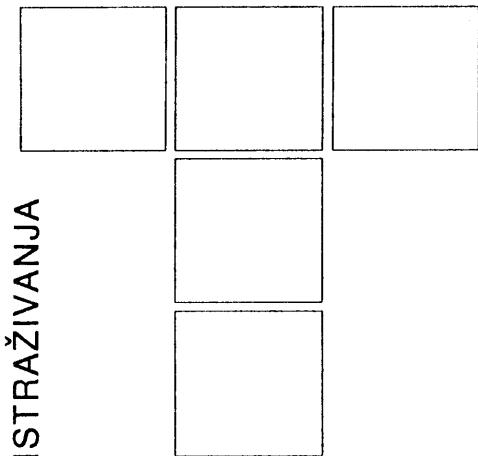
* Rad je izložen na Trećoj jugoslovenskoj konferenciji o tribologiji YUTRIB'93, Kragujevac, 24.-25. juna 1993.god.

Sliding Over The Tensile Rib - A Specific Tribo-test in Machining By Deep Drawing

In the paper are presented basic characteristics of tribo-modelling of the special zone of the working piece that is being drawn - at the point of tensile rib on the holder (matrix). Investigation includes intensive deformation and friction during bending and straightening around the tensile rib, accompanied by complex cyclic hardening of material. Presented results show the dependence of the sliding force (stretching over) on geometry of the rib, holding force, used lubricant, and sliding speed. Presented methodology enables investigation of tribological phenomena, as well as definition of corresponding relations in the holder's zone in drawing the parts of the complex shape.

Скольжение через натяжительное ребро - особый трибологический тест при обработке глубокой штамповкой

В работе изложены основные характеристики трибологического моделирования особой зоны штамповки с помощью заготовки - на месте опоры ребра на суппорте (матрицу). Исследованиях наблюдалася интенсивность трения и деформирования при изгибе и прямке вокруг натяжительного ребра, сопровождаемые сложным циклическим усилением материала. Изложенные результаты показывают зависимость силы скольжения от геометрии ребра, силы суппорта, вида смазки и скорости скольжения. Примененная методика обесценивает изучение в зоне суппорта при глубокой штамповке деталей сложной формы.



*T. MARINKOVIĆ, D. TEMELJKOVSKI,
D. VUKIČEVIĆ, LJ. JANKOVIĆ, P. POPOVIĆ*

Uticaj sila trenja na kontaktnim površinama obradak-alat na stepen neravnomernosti deformacije *

1. UVOD

Poznat je problem neravnomernosti deformisanja materijala pri njegovom plastičnom preoblikovanju pod dejstvom klasičnih alata - alata izrađenih od čvrstog materijala, a čiji se intenzitet izražava stepenom neravnomernosti deformacije:

$$n_d = 1 - \frac{A_k}{A_o} \cdot (1 - \varepsilon) \quad (1)$$

gde su: A_o - kontaktna površina alata i cilindričnog obradka na početku sabijanja;

A_k - kontaktna površina alata i obradka na završetku sabijanja i

ε - relativni stepen deformacije.

Na osnovu iscrpne analize, date u radu [1], se ukazuje da vrednosti stepena neravnomernosti deformacije, dobijene korišćenjem izraza (1), odgovaraju samo određenim uslovima, pa mu je upotreba vrednost od malog značaja, jer na neravnomernost deformisanja materijala obradka utiče veoma veliki broj faktora, koji u realnosti variraju, veoma često, u relativno širokim granicama. Zato se, u istom radu, ukazuje da istraživanja treba usmeriti u iznalaženju funkcije:

$$n_d = n (f_{ui}, f_{sj}) \quad (2)$$

gde su: f_{ui} - unutrašnji uticajni faktori od $i = 1 \div n$, u koje spadaju čvrstoća materijala obradka, tvrdoća, i dr. i

*Tomislav Marinković, dipl.maš.inž., DD NISSAL - Niš,
Doc. dr Dragan Temeljkovski, Mašinski fakultet u Nišu
Prof.dr Dušanka Vukićević, Mašinski fakultet u Nišu
Prof. Lj. Janković, Mašinski fakultet u Nišu
Prof. dr Predrag Popović, Mašinski fakultet u Nišu.*

f_{sj} - spoljašnji uticajni faktori od $j = 1 \div m$, u koje spadaju brzina deformacija, temperatura, hrapavost radnih površina alata, itd.

Ovim bi se, dosadašnji način određivanja stepena neravnomernosti deformacije preko izraza (1), u kojem figurišu samo dimenzije predmeta obrade, a koji iziskuje veliki broj eksperimenata, zamenio zavisnostima tipa (2), koji bi značajno smanjili broj eksperimenata i obezbeđivali pouzdanje rezultate.

U tom cilju se na Katedri za proizvodno mašinstvo Mašinskog fakulteta u Nišu poklanja posebna pažnja istraživanju ovog problema sa ciljem iznalaženja zavisnosti koje pouzdanje izražavaju stepen neravnomernosti deformacije, pa ovaj rad predstavlja deo tih istraživanja.

U njemu se daju rezultati istraživanja vezani za iznalaženje zavisnosti za aluminijum i njegove legure:

$$n_d = n (R_m, \varepsilon) \quad (3)$$

gde su: R_m - čvrstoća, uzeta kao meritorni pokazatelj mehaničkih svojstava materijala i

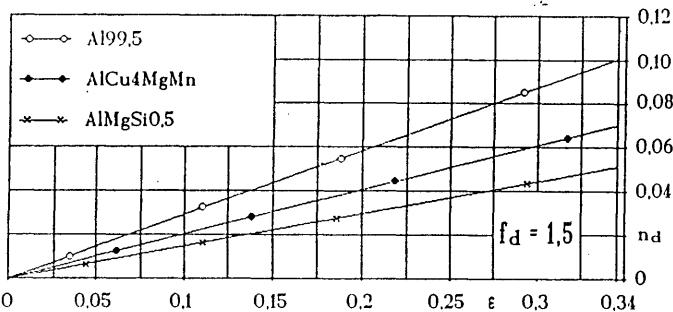
ε - stepen deformacije obradka.

2. REZULTATI ISTRAŽIVANJA

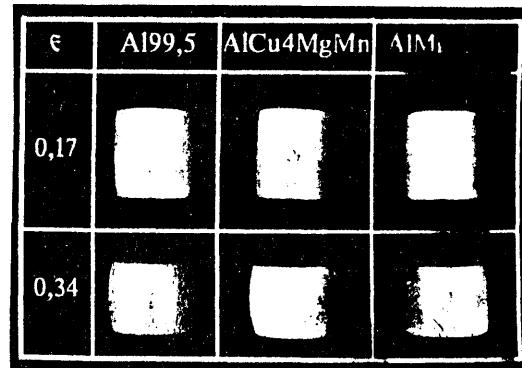
Dugogodišnja istraživanja autora ovog rada u domenu obrade Al i Al-legura plastičnim deformisanjem su ukazivala da između stepena neravnomernosti deformacije (n_d) i stepena deformacije (ε) postoji linearna zavisnost:

$$n_d = C \cdot \varepsilon \quad (4)$$

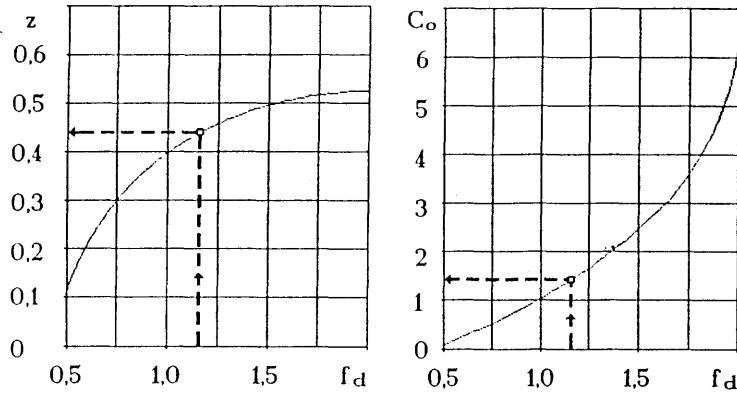
gde je: C - konstanta koja zavisi od vrste ovih materijala, odnosno čvrstoće (R_m) i odnosa dimenzija (f_d) cilindričnih uzoraka.



Sl. 1. Zavisnost stepena neravnomernosti deformacije od stepena deformacije
Dependence of the deformation nonuniformity degree on deformation degree
Зависимость неравномерности деформации от ступени деформации



Sl. 2. Snimak egzemplarnih uzoraka
Photo of the example samples
Экземплярные образцы



Sl. 3. Zavisnost $z = z(f_d)$
Dependence $z = z(f_d)$
Зависимость $z = z(f_d)$

Sl. 4. Zavisnost $C_o = C(f_d)$
Dependence $C_o = C(f_d)$
Зависимость $C_o = C(f_d)$

Ilustracije radi, na slici 1. prikazane su ove zavisnosti dobijene sabijanjem uzorka $\phi 20 \times 30$ mm od Al99.5; AlCu4MgMn i AlMgSi0.5, bez podmazivanja kontaktnih površina alat-uzorak, a na slici 2. data je fotografija egzemplarnih istih uzorka sabijenih pri stepenima deformacije $\epsilon = 0.17$ i $\epsilon = 0.34$.

Eksperimentalna ispitivanja, sprovedena na uzorcima od različitih aluminijumskih legura i različitih dimenzija, odnosno različitih vrednosti parametra:

$$f_d = \frac{h_o}{d_o} \quad (5)$$

gde su: h_o - visina cilindričnog pripremka i d_o - prečnik pripremka,

rezultirala su u definisanju izraza za izračunavanje konstante C u obliku:

$$C = \frac{C_o}{R_m^z} \quad (6)$$

gde su: C_o - konstanta čija je vrednost data u tablici 1., odnosno dijagramu datom na slici 4. i z - eksponent čija je vrednost data u tablici 1., odnosno dijagramu datom na slici 3.

Tablica 1.

f_d	z	C_o
0.5	0.1146	0.098
1.0	0.4071	1.050
1.5	0.4940	2.500
2.0	0.5250	6.330

Zamenom vrednosti iz izraza (6) u izraz (4) dobija se zavisnost za izračunavanje stepena neravnomernosti deformacije u obliku:

$$n_d = \frac{C_o}{R_m^z} \cdot \epsilon \quad (7)$$

Cilindrični eksperimentalni uzorci su sabijani bez podmazivanja alatom (radnim pločama) izrađenim od Č.4751 (utop M01), kvaliteta radnih površina N5.

Pri razmatranju problema koji se tretira u ovom radu, imalo su se u vidu dva ekstremna slučaja, i to:

Prvi slučaj da trenje na kontaktnim površinama alat-obradak ne postoji ($\mu_d = 0$), što znači da je stepen neravnomernosti deformacije:

$$n_d = 0 \quad (8)$$

Dруги slučaj da je trenje na kontaktnim površinama alat-obradak takvog intenziteta ($\mu_d = \mu_{ds}$), da ne dolazi do promene veličine kontaktne površine ($A_k = A_o = \text{const.}$), pa je:

$$n_d = \epsilon \quad (9)$$

Ovim je omeđeno područje u kome se realno dešava ometano širenje (klizanje) materijala po radnim površinama alata - područje u kome je:

$$0 < \mu_{dst} < \mu_{ds} \quad (10)$$

što izražava zavisnosti date na slici 1., odnosno izraz (07), koji ukazuju da se mehanička svojstva Al legura odra-

žavaju na intenzitet stvarnog koeficijenta trenja (m dst) na kontaktnim površinama alat-obradak.

3. ZAKLJUČAK

Na osnovu svega iznetog mogu se izvući sledeći zaključci, i to:

1. Dobijeni izraz (7) za izračunavanje stepena neravnomernosti delormacije za aluminijum i njegove legure verodostojnije izražava neravnomernost deformisanja ovih materijala u tehnologijama plastičnosti od opšte poznatog načina korišćenjem izraza (1), jer je uspostavljena funkcionalna zavisnost između stepena neravnomernosti deformacije i mehaničkih svojstava materijala.
2. Izneta metodologija otvara mogućnosti da se i za ostale mašinske materijale uspostave relacije između stepena neravnomernosti deformacije i njihovih mehaničkih svojstava, što bi neophodno doprinelo pouzdanijem izražavanju ovog fenomena u tehnologijama plastičnog deformisanja materijala
3. Dobijeni rezultati mogu da posluže kao podloga da se preko analize naponsko-deformacionog stanja obradka i mehaničkih svojstava materijala koji se plastično deformišu dode do zakonitosti intenziteta koeficijenta trenja, što će predstavljati neosporno značajan korak u sagledavanju i analizi fenomena vezanih za neravnomernost deformisanja materijala u tehnologijama plastičnosti.

LITERATURA

- [1] P. POPOVIĆ, L. BOGDANOV, V. STOILJKOVIĆ, *Prilog razmatranju neravnomernosti deformacije pri oblikovanju predmeta obrade plastičnim deformisanjem*, Časopis Tehnika (Mašinstvo), br.9, Beograd, 1974, str. 1519-1516.
- [2] P. POPOVIĆ, D. VUKIĆEVIĆ, D. TEMELJKOVSKI, *Uticaj kvaliteta radne površine alata na neravnomernost deformisanja* Zbornik radova 30 godina mašinstva - Niš, Niš, 1990, str. 133 - 137.
- [3] P. POPOVIĆ, D. VUKIĆEVIĆ, D. TEMELJKOVSKI, *Neki rezultati istraživanja uticaja hraptavosti radne površine alata na stepen neravnomernosti deformacije cilindričnih elemenata pri slobodnom sabijanju*. 7. Jugoslovenski simpozij o plastičnosti, Pula, 1991, str. 184 - 188.
- [4] P. POPOVIĆ, D. VUKIĆEVIĆ, D. TEMELJKOVSKI, *Stepen neravnomernosti deformacije u funkciji kvaliteta radne površine alata i svojstava materijala obradka*, Zbornik radova YUTRIB 91 Jugoslovenski simpozijum sa međunarodnim učešćem, str. 167-169, Kragujevac, 1991.
- [5] P. POPOVIĆ, D. VUKIĆEVIĆ, D. TEMELJKOVSKI: *The Effect of the Deformation Degree and the Tool Operating Surface Quality Upon the Non-Uniformity of Deforming*. Journal for Technology of Plasticity, Vol. 17., Number 1-2., pp. 9-16., Novi Sad, 1992.

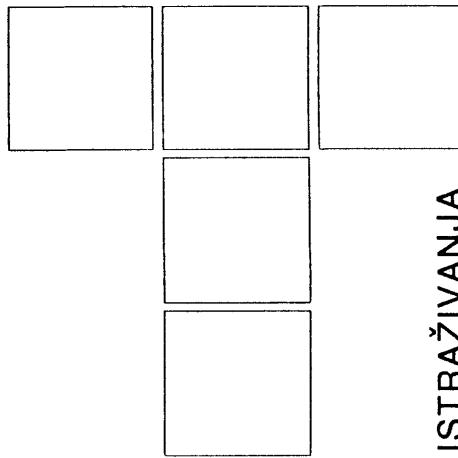
*Ovaj rad predstavlja sastavni deo projekta "Istraživanje inženjerskih metoda proračuna alata za istosmerno istiskivanje Al-legura", u čijem finansiranju učestvuju Republički fond za tehnološki razvoj Srbije i Preduzeće za preradu obojenih metala NISSAL iz Niša, a izložen je na Trećoj jugoslovenskoj konferenciji o tribologiji YUTRIB'93, Kragujevac, 24. - 25. juna 1993. godine.

Effects of The Friction Force on The Contact Surfaces Work Piece-tool on Deformation non-uniformity Degree

It is known that the intensity of the friction coefficient in a frictional couple is one of many factors which is considerably affected by the kind of material of elements which are in the state of mutual gliding. Starting from this fact, this paper gives results of investigation whose aim was to register the effect of the kind of frictional couple on the intensity of the friction forces, and also their influence on degree of deformation non-uniformity.

Воздействие сил трения на поверхностях контакта заготовки с инструментом на неравномерность деформирования

Извесно уже, что интенсивность процесса трения в парящихся парах вместе с другими факторами, в значительной мере определяют материал парящихся пар. Исходя из этого факта авторы провели исследования с целью определения влияния сорта материала парящихся пары на интенсивность силы трения и ее воздействие на неравномерность деформации. Полученные при исследованиях результаты изложены в работе.



Utvrđivanje korelacionih veza parametara rezanja pri obradi cilindričnih zupčanika odvalnim glodanjem modelskim alatima sa prevlakom TiN*

1. UVOD

Zavisnost ulaznih i izlaznih parametara obradnog procesa nemaju karakter funkcionalnih zakona, već predstavljaju stohastičke procese određenog stepena korelativnosti.

Utvrđivanje korelacionih veza parametara rezanja, uz maksimalnu podršku računara, (statistička obrada podataka, polinomna aproksimacija krivih, crtanje krivih habanja, i dr.) predstavlja solidnu podlogu za optimizaciju i upravljanje obradnim procesom u obradi cilindričnih zupčanika odvalnim glodanjem.

Kako se u praksi pojave retko pokoravaju funkcionalnim zakonima, problem se svodi na definisanje korelacionih zavisnosti između pojedinih obeležja posmatranog skupa.

Korelativnost pojedinih obeležja je u stvari mera njihove stohastičke zavisnosti.

Osnovni problem analitičkog reprezentovanja korelacione zavisnosti je izbor opštег oblika bazne funkcije korelacione veze. Izbor se najčešće vrši preko atlasa funkcija. Iz same poznatih funkcija bira se ona koja najbolje odgovara eksperimentalnim podacima.

Parametri izabrane bazne funkcije mogu se odrediti na osnovu više kriterijuma. Najčešće u upotrebi je:

*Dr. Bogdan Sovilj, docent, FTN, Novi Sad
Vlastimir Pejić, asistent pripravnik, FTN, Novi Sad.
Mr. Bogdan Nedić, asistent, Mašinski fakultet, Kragujevac
Mr. Branko Tadić, asistent, Mašinski fakultet, Kragujevac.*

- kriterijum srednje kvadratne aproksimacije i
- kriterijum "min-max" aproksimacije.

Kod ovih aproksimacija kriterijum za određivanje konstanti svodi se na minimizaciju merne greške.

Da bi se uspostavile osnovne korelacione veze potrebno je sagledati sve informacije bitne za analizu procesa.

U procesima rezanja te informacije odnose se na alat, predmet obrade, SHP, i dr., odnosno:

- geometrijske, tribološke i druge karakteristike alata,
- strukturne, mehaničke i druge karakteristike predmeta obrade,
- podmazujuće, rashladne i druge karakteristike SHP, i
- gubitke energije i mase pri određenim uslovima obrade.

2. EKSPERIMENTALNA ISPITIVANJA

Plan i uslovi izvođenja eksperimenta

Utvrđivanje pouzdane funkcije stanja u laboratorijskim uslovima izvršeno je primenom metode modelskog ispitivanja i savremenih metoda matematičke statistike zasnovane na višefaktornom eksperimentu.

Planirano je izvođenje sedam eksperimenata za obradu alatima sa prevlakom. Četiri eksperimenta predstavljaju sami za sebe mnogofaktorni kompleks 2^2 i mogu biti izraženi u obliku vrhova kvadrata, dok se tri eksperimenta odnose na ponavljanje u centralnoj tački kvadrata, zbog procene tačnosti eksperimenta (tabela 1a).

Tabela 1a

Uslovi obrade: $a_p = 1.0$ [mm] $b = 32$ [mm] Č. 4321			PLAN MATRICA					
Režimski parametri			visoki nivo	srednji nivo	niski nivo	v [m/min]	Sa [mm/ob]	
v [m/min]	Sa [mm/ob]	Broj eksper.	Broj alata	Kod/redos.	X_0	X_1	X_2	L_p
109.90	4.0	1	42	1	1	-1	-1	127
139.33	4.0	2	11	6	1	1	-1	46
109.90	7.0	3	37	2	1	-1	1	91
139.33	7.0	4	10	7	1	1	1	54
123.63	5.3	5	32	3	1	0	0	96
123.63	5.3	6	21	4	1	0	0	127
123.63	5.3	7	25	5	1	0	0	66

Tabela 1.

Broj alata	KORELATIVNE ZAVISNOSTI $h - L$			Koeficijent korelacijske r	Standar. odstupanje σ
	$h_i = C_{1i} \cdot L + C_{2i} \cdot L^2 + C_{3i} \cdot L^3$	C_{1i}	C_{2i}		
42	$4.056 \cdot 10^{-3}$	$-3.555 \cdot 10^{-5}$	$4.056 \cdot 10^{-7}$	0.9980	0.00728
37	$4.091 \cdot 10^{-3}$	$-4.057 \cdot 10^{-5}$	$1.844 \cdot 10^{-9}$	0.9906	0.00152
32	$3.395 \cdot 10^{-3}$	$-3.698 \cdot 10^{-5}$	$1.587 \cdot 10^{-7}$	0.9959	0.00853
21	$3.671 \cdot 10^{-3}$	$-4.232 \cdot 10^{-5}$	$2.021 \cdot 10^{-3}$	0.9989	0.00618
25	$6.247 \cdot 10^{-3}$	$-6.993 \cdot 10^{-5}$	$3.348 \cdot 10^{-9}$	0.9994	0.00706
11	$6.959 \cdot 10^{-3}$	$-1.865 \cdot 10^{-4}$	$2.895 \cdot 10^{-6}$	0.9995	0.00867
10	$4.692 \cdot 10^{-3}$	$-9.756 \cdot 10^{-5}$	$1.340 \cdot 10^{-8}$	0.9969	0.01392
$h_u = C_{1u} \cdot L + C_{2u} \cdot L^2 + C_{3u} \cdot L^3$					
42	$3.522 \cdot 10^{-3}$	$-3.286 \cdot 10^{-5}$	$1.187 \cdot 10^{-7}$	0.9968	0.00758
37	$2.443 \cdot 10^{-3}$	$-9.226 \cdot 10^{-7}$	$2.597 \cdot 10^{-8}$	0.9905	0.01468
32	$2.527 \cdot 10^{-3}$	$-1.188 \cdot 10^{-5}$	$7.941 \cdot 10^{-8}$	0.9986	0.00963
21	$2.716 \cdot 10^{-3}$	$-1.882 \cdot 10^{-5}$	$6.194 \cdot 10^{-8}$	0.9922	0.00134
25	$4.878 \cdot 10^{-3}$	$-6.668 \cdot 10^{-5}$	$3.150 \cdot 10^{-7}$	0.9943	0.01164
11	$6.773 \cdot 10^{-3}$	$-1.433 \cdot 10^{-4}$	$1.524 \cdot 10^{-6}$	0.9999	0.00130
10	$4.124 \cdot 10^{-3}$	$-6.990 \cdot 10^{-5}$	$5.808 \cdot 10^{-7}$	0.9953	0.01067
$h_t = C_{1t} \cdot L + C_{2t} \cdot L^2 + C_{3t} \cdot L^3$					
42	$3.055 \cdot 10^{-3}$	$-3.013 \cdot 10^{-5}$	$1.733 \cdot 10^{-7}$	0.9988	0.00403
37	$2.693 \cdot 10^{-3}$	$-1.863 \cdot 10^{-5}$	$6.394 \cdot 10^{-8}$	0.9863	0.01415
32	$2.724 \cdot 10^{-3}$	$-1.998 \cdot 10^{-5}$	$7.840 \cdot 10^{-8}$	0.9988	0.00533
21	$1.512 \cdot 10^{-3}$	$-5.359 \cdot 10^{-7}$	$6.163 \cdot 10^{-9}$	0.9897	0.01451
25	$3.650 \cdot 10^{-3}$	$-3.967 \cdot 10^{-5}$	$1.906 \cdot 10^{-7}$	0.9965	0.01049
11	$8.002 \cdot 10^{-3}$	$-2.615 \cdot 10^{-4}$	$2.971 \cdot 10^{-6}$	0.9997	0.00303
10	$3.754 \cdot 10^{-3}$	$-7.399 \cdot 10^{-5}$	$7.473 \cdot 10^{-7}$	0.9968	0.00829

Ispitivanja su izvedena u laboratoriji Instituta za proizvodno mašinstvo, Fakulteta tehničkih nauka, pri sledećim uslovima:

Obradak: cilindrični zupčanik sa pravim zubima

modul $m = 5$ mm

broj zuba $z_2 = 32$

dužina venca zupčanika $l_v = 32$ mm

ugao dodirnice $\alpha = 20^\circ$

materijal zupčanika Č. 4321

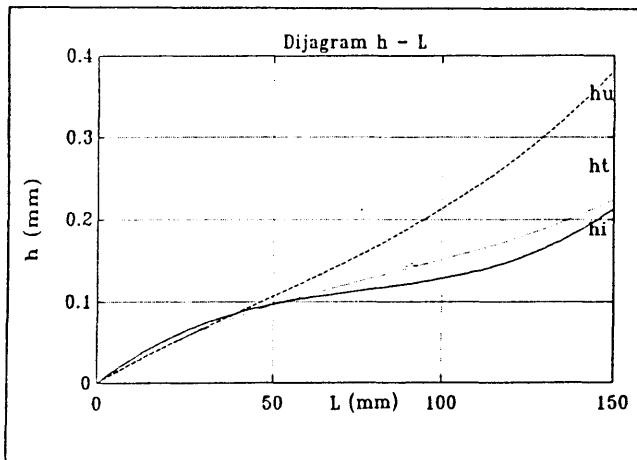
Alat: jednozubo odvalno glodalno izrađeno u PDS Fabrika menjачa Hrasnica, kao model integralnog odvalnog glodalnog. Prevlačenje slojem TiN vršeno u fabrići JUGOALAT Novi Sad.

prečnik odvalnog glodalnog $D_g = 125$ mm

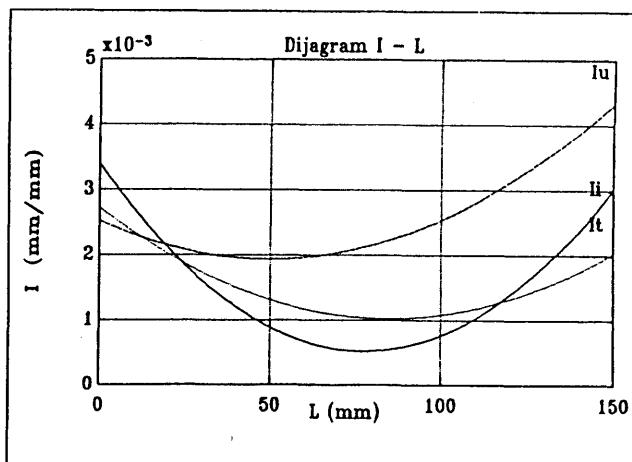
broj hodova $z_1 = 1$

broj žljebova po obimu od. glodalnog $n_i = 15$

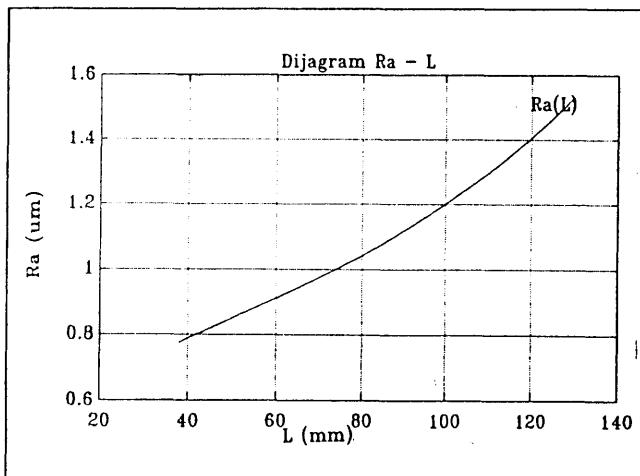
materijal Č. 6980



Sl. 1. Krive habanja jednozubog odvalnog glodala sa prevlakom za jednu eksperimentalnu tačku (alat br. 32)
Wear curves of the one-teeth hob milling tool with coating for one experimental point (tool No. 32)
Кривые износа однозубой червячной фрезы с покрытием для одной экспериментальной точке (инструментом № 32)



Sl. 2. Krive intenziteta habanja jednozubog odvalnog glodala sa prevlakom za jednu eksperimentalnu tačku
Wear intensity curves of the one-tooth hob milling tool with coating for one experimental point (tool No. 32)
Кривые интенсивности износа однозубой червячной фрезы с покрытием для одной экспериментальной точки (инструментом № 32)

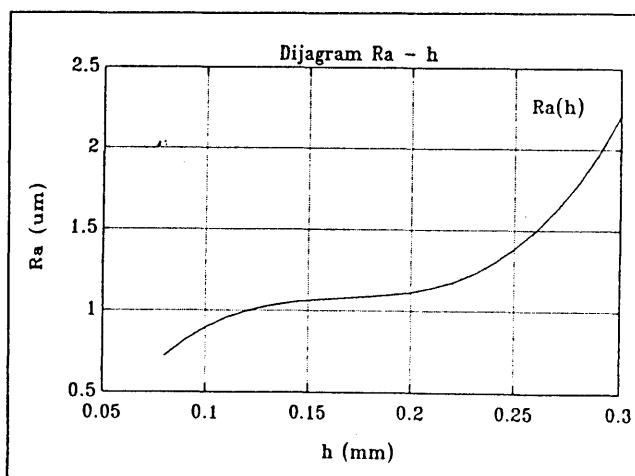


Sl. 3. Promena srednjeg aritmetičkog odstupanja profila u zavisnosti od dužine venca zupčanika za jednu eksperimentalnu tačku (alat br. 32)
Variation of the profile mean arithmetic deviation as a function of the length of the machined rim of the gear for one experimental point (tool No. 32)
Изменение среднег арифметичког отклонения профиля в зависимости от длины обработанного венца зубчастика колеса для одной опытной точки (инструментом № 32)

Mašina: Odvalna glodalica MODUL-ZFWZ-250X5A proizvođača WE STARKSTROM - Anlagenbau, Karl-Marx-Stadt, DDR.

Pri ovim ispitivanjima, kao sredstvo za hlađenje i podmazivanje je korišćeno ulje TEXACO CLERTEX-D JUS B.H3.526.

Prema postavljenom modelu određivanja regresionih funkcija brzina i korak su bili promenljivi, a aksijalno pomeranje konstantno za sve eksperimente i iznosilo je $a_p = 1.0 \text{ mm}$.



Sl. 4. Promena srednjeg aritmetičkog odstupanja profila u zavisnosti od habanja jednozubog odvalnog glodala sa prevlakom za jednu eksperimentalnu tačku (alat br. 32)
Variation of the profile mean arithmetic deviation as a function of wear of the one-tooth hob milling tool with coating for one experimental point (tool No. 32)
Изменение среднег арифметичког отклонения профиля в зависимости от износа однозубой червячной фрезы с покрытием для одной опытной точки (инструментом № 32)

Merenje širine pojasa habanja na lednim površinama je vršeno na univerzalnom alatnom mikroskopu, a zatim fotografisano sa fotografskim aparatom postavljenim na alatni mikroskop pomoću dodatih elemenata, uz primenu specijalnog osvetljenja.

Merenje hraptavosti obrađene površine je vršeno na kompjuterizovanom mernom uređaju TALYSURF 6 u Laboratoriji za obradu metala i tribologiju Mašinskog fakulteta u Kragujevcu.

Tabela 3.

Broj alata	KORELATIVNE ZAVISNOSTI $h - L$				Koeficijent korelacijske r	Standartno odstupanje σ
	C_{1i}	C_{2i}	C_{3i}			
42	1.12	$-1.39 \cdot 10^{-3}$	$4.09 \cdot 10^{-5}$	$-1.24 \cdot 10^{-7}$	0.304	0.419
37	8.71	-0.42	$6.27 \cdot 10^{-3}$	$-2.75 \cdot 10^{-5}$	0.869	0.213
32	0.49	$9.29 \cdot 10^{-3}$	$-6.16 \cdot 10^{-5}$	$3.98 \cdot 10^{-7}$	0.802	0.251
21	-1.17	$7.27 \cdot 10^{-2}$	$-8.46 \cdot 10^{-4}$	$3.34 \cdot 10^{-6}$	0.846	0.252
25	-2.12	0.12	$-1.34 \cdot 10^{-3}$	$4.24 \cdot 10^{-6}$	0.574	0.999
11	-0.56	$6.01 \cdot 10^{-2}$	$-5.19 \cdot 10^{-4}$	0	0.379	0.260
10	-1.77	0.11	$-1.08 \cdot 10^{-3}$	0	0.235	0.395

Tabela 4.

Broj alata	KORELATIVNE ZAVISNOSTI $h - L$				Koeficijent korelacijske r	Standartno odstupanje σ
	C_{0i}	C_{1i}	C_{2i}	C_{3i}		
42	-17.30	370.95	-2398.32	-5022.04	0.801	0.263
37	1.78	-33.20	235.24	-448.086	0.890	0.197
32	-1.11	37.87	-222.57	444.06	0.880	0.200
21	-11.65	273.79	-1951.66	4542.05	0.852	0.248
25	-11.81	215.84	-1132.49	1905.21	0.693	0.352
11	2.34	-2227.00	109.92	-153.77	0.593	0.373
10	4.44	-8630.00	602.09	-1222.56	0.828	0.257

3. UTVRĐIVANJE KORELACIONIH VEZA: HABANJE-VREME REZANJA- KVALITET OBRAĐENE POVRŠINE

Za obradu cilindričnih zupčanika alatima od BČ sa prevlakom TiN, definisane su sledeće korelacione zavisnosti u obliku polinoma trećeg stepena:

- ▶ parametara habanja h_i , h_u , h_t i dužine obrađenog venca zupčanika L (tab. 1 i sl. 1),
- ▶ intenziteta habanja alata I_i , I_u i I_t i dužine obrađenog venca zupčanika L (tab. 2 i sl. 2),
- ▶ srednjeg aritmetičkog odstupanja profila R_a i dužine o_b venca zupčanika L (tab. 3 i sl. 3) i
- ▶ srednjeg aritmetičkog odstupanja profila R_a i parametara habanja h (tab. 4 i sl. 4).

4. ANALIZA REZULTATA

Analitičke zavisnosti vezane za habanje alata odlikuju se veoma visokim stepenom korelacijske ($r > 0.99$) i malom standardnom devijacijom, što govori o veoma pouzdanom reprezentovanju habanja alata.

Na osnovu analize krivih habanja alata može se zaključiti da je intenzitet habanja najveći na izlaznoj bočnoj lednoj površini alata, što ukazuje da parametar habanja h pred-

stavlja merodavan parametar habanja odvalnog glodala pri obradi cilindričnih zupčanika sa pravim zubima.

Analizom hrapavosti obrađene površine može se primetiti, da habanje alata izaziva porast srednjeg aritmetičkog odstupanja profila, na celom periodu posmatranja, za razliku od obrade alatima bez prevlake gde habanje alata izaziva, u jednom periodu, pad srednjeg aritmetičkog odstupanja profila sve dok habanje alata ne pređe u fazu katastrofalnog kada srednje aritmetičko odstupanje profila počinje da raste.

5. ZAKLJUČCI

U skladu sa izloženim može se zaključiti da je pri obradi cilindričnih zupčanika odvalnim glodanjem opravdano uvođenje korelacionih zavisnosti parametara rezanja polinomnog oblika, jer postoje jake korelacione veze između posmatranih parametara. Opravdanost uvođenja ovakvih korelacionih veza se ogleda preko vrednosti koeficijenta korelacijske, ali i na osnovu veličina standardne devijacije.

Polinomna aproksimacija krivih habanja je veoma pouzdana obzirom da su dobijeni visoki koeficijenti korelacijske ($r > 0.99$).

Korelace veze srednje aritmetičke hrapavosti i vremena, odnosno habanja alata nisu sasvim pouzdane, na što ukazuju relativno mali koeficijenti korelacije. Ovo prvenstveno iz razloga specifičnosti obrade cilindričnih zupčanika odvalnim glodanjem i specifičnosti modelskih ispitivanja. Za potpunije objašnjenje ovakvih korelacionih veza potrebno je vršiti ispitivanja sa blažim parametrima režima rezanja, čime bi omogućili ravnomerniju raspodelu dužina ocenjivanja parametara hrapavosti duž zuba cilindričnog zupčanika.

LITERATURA

- [1] IVKOVIĆ B.: *Osnovi tribologije*, Građevinska knjiga, Beograd, 1983.
- [2] STANIĆ J.: *Teorija obrade metala I*, Mašinski fakultet, Beograd, 1987.

- [3] SOVILJ B.: *Identifikacija triboloških procesa pri odvalnom glodanju*, Disertacija, Novi Sad, 1988.
- [4] SOVILJ B., VUKELIĆ M., PEJIĆ V., i dr.: *Uticaj režima rezanja na postojanost oslojenih odvalnih gledala u modelskim uslovima*, YUTRIB'91, Kragujevac, 1991.
- [5] TADIĆ B.: *Utvrđivanje korelativnih veza parametara rezanja kao podloge za razvoj ekspertnih sistema u obradi struganjem*, Magistarski rad, Kragujevac, 1991.
- [6] PEJIĆ V.: *Utvrđivanje korelacionih veza parametara rezanja u obradi cilindričnih zupčanika odvalnim glodanjem*, Diplomski rad, Novi Sad, 1992.

* Rad je izložen na Trećoj jugoslovenskoj konferenciji o tribologiji YUTRIB'93, Kragujevac, 24.-25. juna 1993. god.

Determination of Correlative Relations Between The Cutting Parameters in Machining of Cylindrical Gears by Hob Milling with Model Tools with TiN Coatings

Definition and analysis of basic correlative relationships between the cutting process parameters in modern production conditions present elements for process optimization and control.

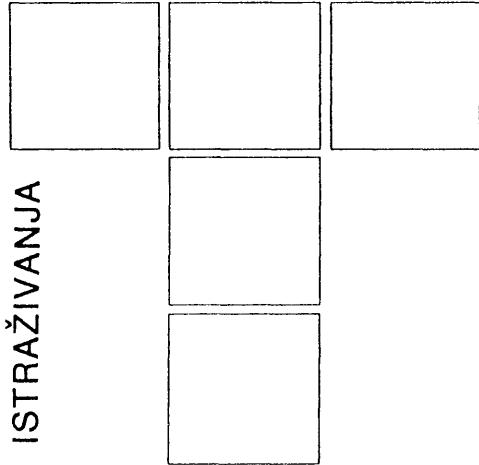
Justification of introducing the correlative relationships in the polynomial form is reflected through the correlation coefficient value and based on values of standard deviation.

Polynomial approximation of wear curves is very reliable, because of very high values of the correlation coefficients, while the polynomial approximation of the average arithmetic roughness must be established from more experimental points.

Определение коррелятивной взаимозависимости параметров резания при обработке цилиндрических зупчатых колес червячным фрезерованием с ТиН-покрытием

Определение и анализ основных коррелятивных зависимостей между параметрами резания в современных производственных условиях предсказывает основу для оптимизации и управления процессами обработки. Целесообразность применения коррелятивных связей в виде многочленов проявляется в значении коэффициента корреляции и в величине стандартного отклонения.

Аппроксимирование многочленов кривых изнашивания весьма надежно поскольку получились высокие коэффициенты соотносительности, тогда как полиномную аппроксимацию средней арифметической широковатостью нужно определять в большем числе точек.

*B. ROSIĆ, M. RISTIVOJEVIĆ*

Analiza stepena iskorišćenja cilindričnih evolventnih zupčastih parova *

1.UVOD

Sprezanje zupčanika u toku dodirnog perioda karakterisano je kotrljanjem i klizanjem, odnosno trenjem koje se javlja između bokova spregnutih zubaca. Trenje se ne može potpuno eliminisati, a to za posledicu ima da se jedan deo snage koji se prenosi sa pogonskog na gonjeni zupčanik troši na njegovo savladavanje. Gubici snage, koji nastaju u toku sprezanja zubaca, iskazuju se posredstvom stepena iskoriscenja. S obzirom na sve strožije zahteve u pogledu uštade u energiji, stepen iskoriscenja predstavlja veoma značajnu kvalitativno-kvantitativnu karakteristiku pri izboru geometrijskih parametara zupčastog para. Na osnovu modela za određivanje stepena iskoriscenja mogu se identifikovati sve relevantne veličine zupčastog para koje imaju izrazit uticaj na stepen iskoriscenja. Model za određivanje stepena iskoriscenja zupčastih parova neophodan je i pri formiranju optimizacionog modela prenosnika u cilju određivanja optimalnih parametara.

2. RASPODELA OPTEREĆENJA KOD ISTOVREMENO SPREGNUTIH PARO- VA ZUBACA

Za razmatranje raspodele opterećenja kod istovremeno spregnutih parova zubaca, definisan je faktor raspodele opterećenja, koji pokazuje stepen angažovanosti pojedinih istovremeno spregnutih parova zubaca u prenošenju ukupnog opterećenja zupčastog para:

$$K_{\alpha i} = \frac{F_i}{F} \quad (1)$$

Dr Božidar Rosić, dipl. inž., docent
Dr Mleta Ristivojević, dipl. inž., Mašinski fakultet
Univerziteta u Beogradu.

gde su: F_i - opterećenje koje prenosi posmatrani par zubaca,

F - ukupno opterećenje zupčastog para,
 $i = 1, \dots, n$ - broj istovremeno spregnutih parova zubaca.

Sa aspekta raspodele opterećenja, kod istovremeno spregnutih parova zubaca, mogu se pojaviti dva karakteristična ekstremna slučaja. Prvi odgovara idealno ravnomernoj raspodeli opterećenja, a drugi izrazito neravnomernoj raspodeli opterećenja, tako da se stvarna raspodela opterećenja nalazi između ovih ekstremnih slučajeva. Stvarna raspodela opterećenja bazira se na elastičnim deformacijama istovremeno spregnutih parova zubaca, vratila i oslonaca. Skup istovremeno spregnutih zubaca razmatra se kao statički neodređeni sistem. Iz uslova elastičnih deformacija i odstupanja osnovnog koraka i oblika profila zubaca dolazi se do analitičkog izraza za faktor raspodele opterećenja.

Kod izrazito neravnomerne raspodele opterećenja karakteristično je to, da se i pri većem broju istovremeno spregnutih parova zubaca ukupno opterećenje prenosi samo preko jednog para zubaca. Faktor raspodele opterećenja tada dostiže gornju ekstremnu vrednost.

Kod idealno ravnomerne raspodele opterećenja, svi istovremeno spregnuti parovi zubaca podjednako učestvuju u prenošenju ukupnog opterećenja zupčastog para. Izraz (1) može se prikazati i u obliku sledeće relacije:

$$K_{\alpha i} = \frac{B_i}{\Sigma B_i}$$

gde su: B_i - dužine trenutnih linija dodira posmatranog i -tog para zubaca,

ΣB_i - zbirna dužina trenutnih linija dodira svih istovremeno spregnutih parova zubaca koji učestvuju u prenošenju ukupnog opterećenja zupčastog para.

3. MATEMATIČKI MODEL ZA ODREĐIVANJE STEPENA ISKORIŠĆENJA

Prenošenje obrtnog momenta, sa pogonskog na gonjeni zupčanik, ostvaruje se silom kojom bok zupca prvog zupčanika deluje na bok zupca drugog zupčanika. Pri tome se pored normalne sile, na mestu dodira spregnutih bokova javljaju sile trenja klizanja i kotrljanja. Napadne linije sile trenja leže u zajedničkoj tangentnoj ravni spregnutih bokova i njihovi smerovi se menjaju pri prolasku tačke dodira kroz trenutni pol relativnih brzina.

U zavisnosti od geometrijskih parametara zupčastog para, trenutni pol relativnih brzina može se nalaziti u domenu jednostrukih ili dvostrukih sprege, posmatranog zupčastog para. Zato je neophodno u model ugraditi veličinu IND koja definiše karakteristične tačke u kojima se vrši primopredaja opterećenja, posmatrano u odnosu na trenutni pol relativnih brzina, pa tako za:

IND=1 - trenutni pol relativnih brzina nalazi se u domenu jednostrukih sprege,

IND=2 - trenutni pol relativnih brzina nalazi se u oblasti dvostrukih sprege, pri čemu je napadni ugao u unutrašnjoj tački jednostrukih sprege manji od ugla dodirnice profila,

IND=3 - trenutni pol relativnih brzina nalazi se u oblasti dvostrukih sprege. Napadni ugao u unutrašnjoj tački jednostrukih sprege veći je od ugla dodirnice profila.

Neka su parametri zupčastog para izabrani tako da se trenutni pol relativnih brzina nalazi u domenu jednostrukih sprege, odnosno razmatra se slučaj sprezanja zupčanika kada je $IND=1$. Pri tome se pretpostavlja da je obrtni moment T_1 koji deluje na pogonski zupčanik u toku dodirnog perioda konstantnog intenziteta (slika 1).

Intenzitet sile trenja klizanja koja se javlja na mestu dodira istovremeno spregnutih parova zubaca određuje se na osnovu poznatog izraza:

$$F\mu(x) = \mu(x) F_n \quad (2)$$

pri čemu je:

$$\mu(x) = 0.0127 \cdot \log \left(\frac{\frac{29.66}{b} \cdot F_n}{\eta \cdot v_{kl}^2 \cdot v_{k0}} \right) - \text{koeficijent trenja po Benedikt Keliju}$$

v_{kl} - brzina klizanja profila zupca zupčanika pogonskog u odnosu na gonjeni zupčanik,
 v_{k0} - brzina kotrljanja profila zupca zupčanika pogonskog u odnosu na profil zupca gonjenog zupčanika,
 b - dinamička viskoznost ulja za podmazivanje.

Intenzitet sile trenja kotrljanja koja deluje na bokove spregnutih zubaca u nekoj trenutnoj tački dodira zavisi od debljine uljnog sloja i određuje se prema izrazu:

$$F_k(x) = C h(x) \cdot b \quad (3)$$

pri čemu je: $C = 9 \cdot 10^7 [\text{N/m}^2]$

$$h(x) = 1.6 \cdot \alpha^{0.6} \cdot (\eta \cdot v_{k0})^{0.7} \cdot E^{0.003} \cdot \frac{R^{0.43}}{F_n^{0.13}}$$

debljina uljnog sloja po Higinsu,
 α - piezo koeficijent viskoznosti,
 R - srednji poluprečnik krivine spregnutih profila,
 E - redukovani modul elastičnosti,
 b - širina zupčastog para.

Intenzitet normalne sile, koja deluje na istovremeno spregnute profile određuje se iz uslova da je suma obrtnih momenata za osu 01 pogonskog zupčanika jednaka nuli, odakle sledi:

$$F_{n1} = \frac{T_1 - p_1 \cdot F_{k2} - x \cdot F_{k1}}{d_{b1} + p_1 \cdot \mu_2 - x \cdot \mu_1} \quad (4)$$

pri čemu je:

$\rho_{E1} < x < r_{D1}$ - oblast dvostrukih sprege,
 $p_1 = p_b + x$ - pomoćna veličina,
 p_b - korak na osnovnom krugu,
 d_{b1} - prečnik osnovnog kruga pogonskog zupčanika.

Intenzitet normalne sile ne može se eksplicitno odrediti na osnovu izraza (4) s obzirom da su frikcioni faktori i sile trenja kotrljanja funkcije normalne sile. Zato je neophodno pretpostaviti početnu vrednost za intenzitet normalne sile, radi određivanja frikcionog faktora i sile trenja kotrljanja. Pri tome se pretpostavlja da intenzitet normalne sile u prvoj iteraciji iznosi:

$$F_{np1} = \frac{T_1}{d_{b1}} \quad (5)$$

Iterativni postupak za određivanje intenziteta normalne sile traje sve dok se ne ispuni zahtev u pogledu željene tačnosti, koji se može napisati u obliku sledeće relacije:

$$\left| \frac{F_{n(i+1)} - F_{n(i)}}{F_{n(i)}} \right| < \varepsilon \quad (6)$$

pri čemu je:

$\varepsilon = 0.01$ - unapred zadata tačnost,
 i - redni broj iteracije.

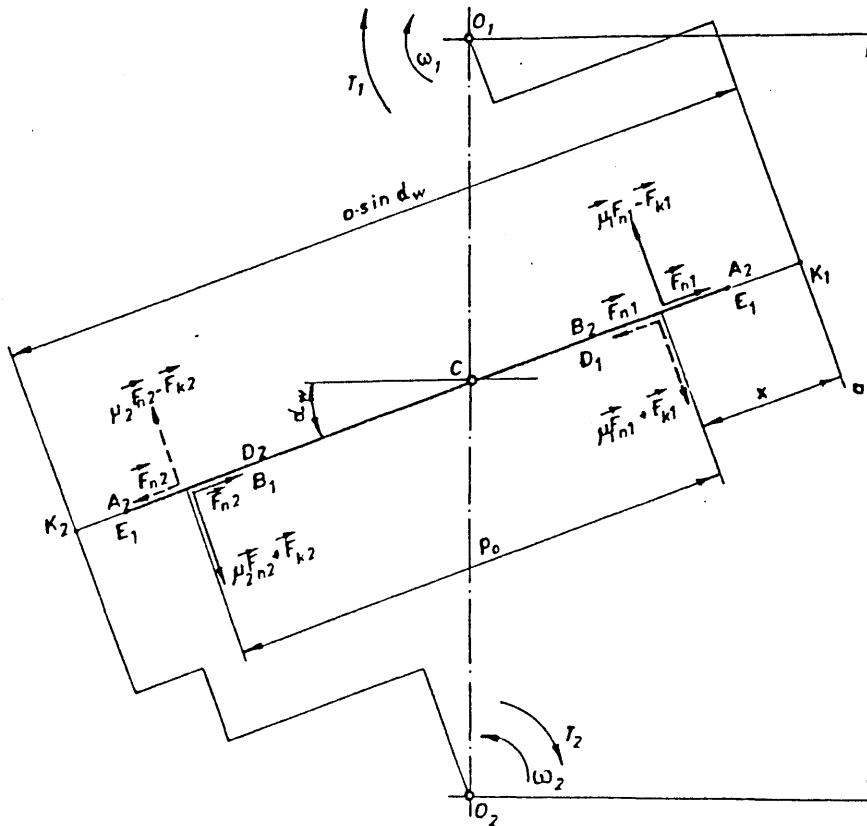
Pri određivanju stepena iskorišćenja za posmatrani zupčasti par neophodno je poznavati i obrtni moment T_2 koji deluje na gonjeni zupčanik. Polazeći od uslova da je suma momenata za osu 02 gonjenog zupčanika jednaka nuli određuje se obrtni moment T_2 , odnosno:

$$T_2 = F_{n2} d_{b2} + p_2 (\mu_2 F_{n2} - F_{k2}) - p_3 (\mu_1 F_{1n} + F_{k1}) \quad (7)$$

pri čemu je:

$p_2 = a \sin \alpha - (x + p_b)$,
 $p_3 = a \sin \alpha - x$,
 a - osno rastojanje zupčastog para,
 α - ugao dodirnice profila.

Kako su u posmatranoj tački dodira određeni momenti koji deluju na posmatrani zupčasti par, to je trenutna



Sl. 1. Opterećenje zupčastog para za slučaj kada se trenutni pol nalazi u domenu jednostrukih sprege (IND = 1).
Loading of the gear couple for the case when the instantaneous pole is in range of the one-to-one coupling (IND = 1)
На нагрузка зубчатой пары когда мгновенный пол находится в области одностороннего сцепления (ИНД=1)

vrednost stepena iskorišćenja određena sledećom relacijom:

$$\eta_i = \frac{T_2}{T_1} \cdot \frac{1}{t} \quad (8)$$

gde je: t - radni prenosni odnos.

Na potpuno analogan način određuju se normalna sila i obrtni moment koji deluju na posmatrani zupčasti par u domenu jednostrukih sprege. Ovde treba ukazati da se pri prolasku tačke dodira kroz trenutni pol relativnih brzina menjaju smerovi brzina klizanja, odnosno smerovi sila trenja. Zbog toga se sprezanje profila prvo razmatra u oblasti pre prolaska tačke dodira kroz trenutni pol relativnih brzina, odnosno u oblasti dodirnice:

$$\rho_{D1} < x < \rho_{B1} \quad (9)$$

Pri tome su intenziteti normalne sile i obrtnog momenta koji deluju na gonjeni zupčanik dati sledećim izrazima:

$$F_{nl} = T_1 \cdot F(10) \cdot x \quad (10)$$

odnosno:

$$T_2 = F_{nl} \cdot r_{b2} \cdot (a \cdot \sin \alpha \cdot x) \cdot (\mu_1 \cdot F_{n1} + F_{k1}) \quad (11)$$

Za slučaj kada se sprezanje profila razmatra u oblasti posle prolaska tačke dodira spregnutih profila kroz trenutni pol relativnih brzina, tj.

$$\rho_C < \rho_{B1}$$

intenzitet normalne sile iznosi:

$$F_{n2} = \frac{T_1 - x \cdot F_{k2}}{r_{b2} + x \cdot \mu_2} \quad (12)$$

odnosno, obrtni moment koji deluje na gonjeni zupčanik:

$$T_2 = F_{n2} \cdot r_{b2} + (a \cdot \sin \alpha \cdot x) \cdot (\mu_2 \cdot F_{n2} - F_{k2}) \quad (13)$$

Na osnovu napred sprovedene analize, za posmatrani zupčasti par, može se odrediti efektivni stepen iskorišćenja, pa se tako dobija:

$$\eta_{ef} = \frac{1}{l} \cdot \int_{A_2}^{E_2} \eta_i dx \quad (14)$$

gde je: l - aktivna dužina dodirnice profila.

Dakle, efektivni stepen iskorišćenja za posmatrani zupčasti par određen je pod sledećim pretpostavkama i to:

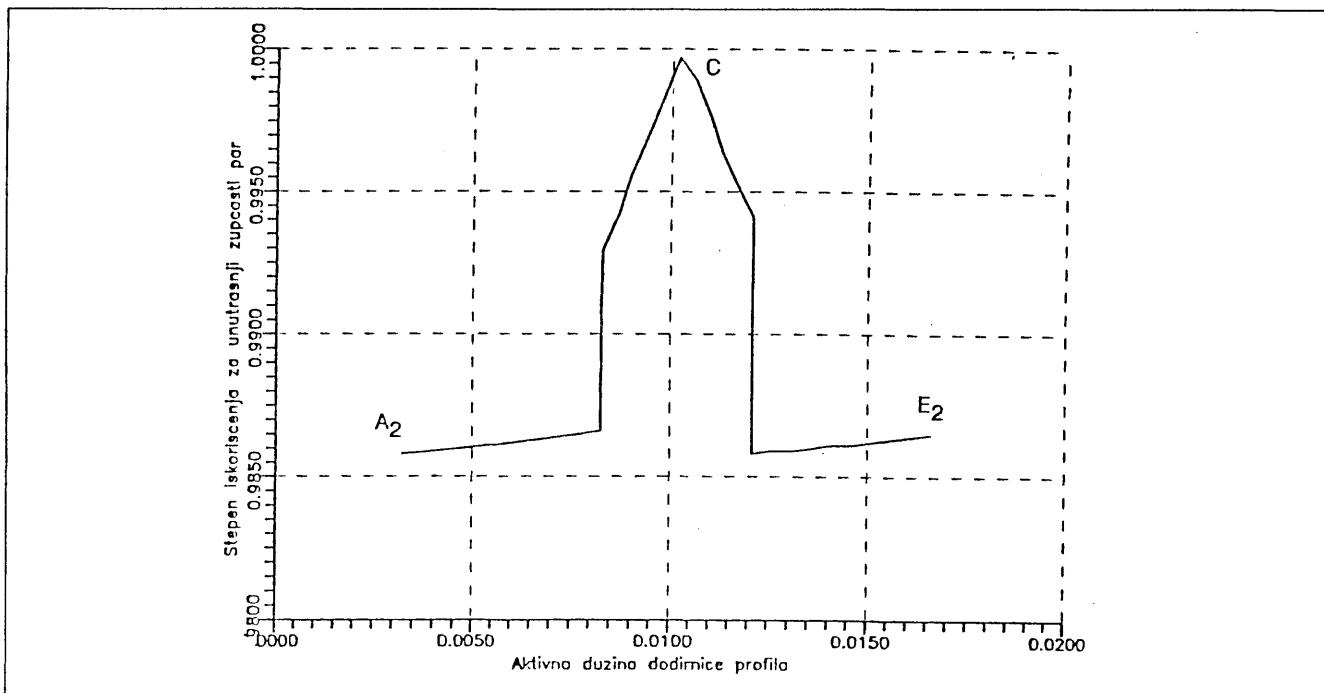
- obrtni moment $T_1 = \text{const.}$ u toku dodirnog perioda,
- prenosni odnos $i = \text{const.}$
- μ i η određuju se po Benedikt Keliju i Higinsu respektivno.

Na potpuno analogan način određuju se efektivni stepeni iskorišćenja za zupčaste parove za slučaj kada je $IND=2$ i $IND=3$.

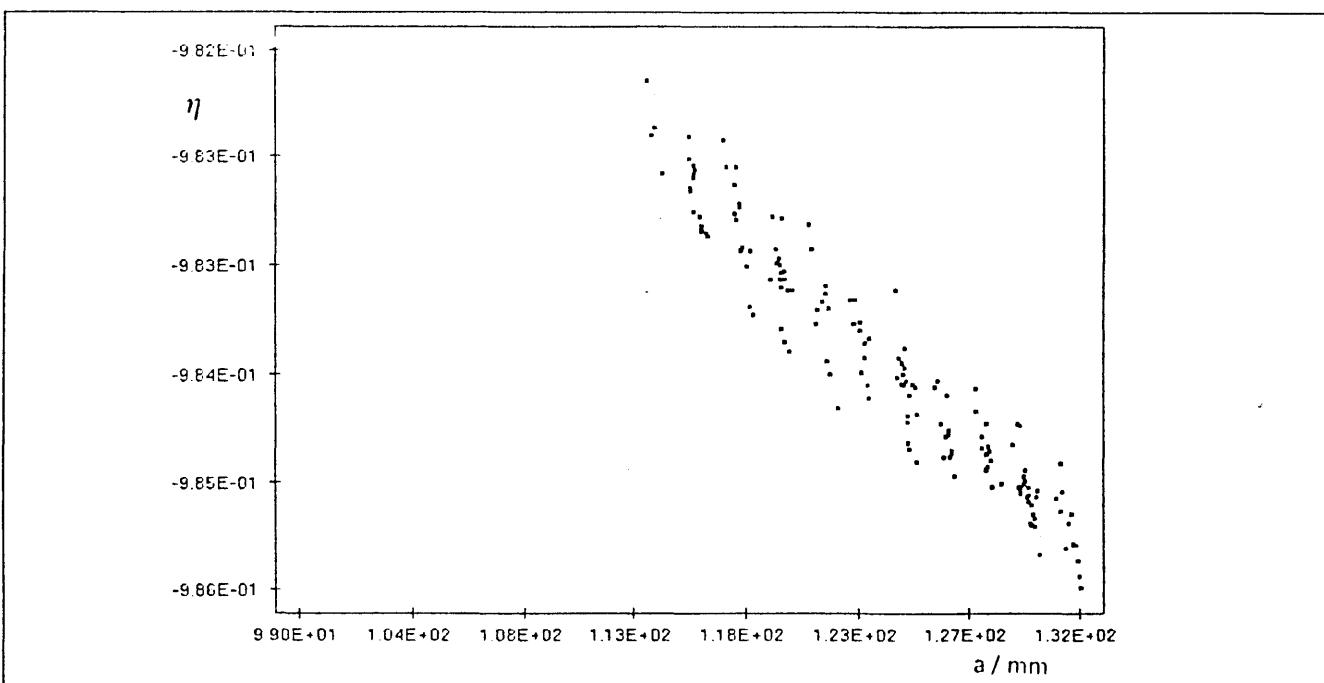
4. REZULTATI PROGRAMA

Rezultati kompjuterskog programa, za određivanje trenutnih vrednosti stepena iskorišćenja, prikazani su u obliku dijagrama (slika 2.). Na datom dijagramu prikazan je tok promene stepena iskorišćenja u toku dodirnog perioda.

Na osnovu dobijenih rezultata proizilazi da promena stepena iskorišćenja prati karakter promene raspodele opterećenja na istovremeno spregnutim parovima zubača. Model za određivanje stepena iskorišćenja ugrađen je i u kompjuterski program za višekriterijumsku optimizaciju parametara višestepenog zupčastog prenosnika. Rezultati programa prikazani su u obliku dijagrama kriterijumskog prostora (slika 3.) na kome su prikazane funkcije cilja stepen iskorišćenja - osno rastojanje.



Sl. 2. Tok promene trenutnih vrednosti stepena iskorišćenja za posmatrani zupčasti par u toku dodirnog perioda.
Variation of instantaneous values of the degree of utilization for the observed gear couple during the contact period
Ход изменения мгновенных значений ступени использования для исследуемой пары при соприкосновении



Sl. 3. Kriterijumski prostor za osno rastojanje - stepen iskorišćenja
Criterion space for the axis distance - degree of utilization.
Проспирансство аксиальноῦ расстояния - ступень использования

Na osnovu geometrijske interpretacije funkcija cilja u kriterijumskom prostoru proizlazi da su stepen iskorišćenja i osno rastojanje međusobno konfliktni, odnosno sa porastom osnog rastojanja stepen iskorišćenja opada.

5. ZAKLJUČAK

Na osnovu dobijenih rezultata proizlazi da su trenutne vrednosti stepena iskorišćenja maksimalne u trenutnom polu relativnih brzina i da su gubici energije usled trenja kotrljanja zanemarljivo mali. Takođe, na osnovu geometrijske interpretacije rezultata kompjuterskog programa za višekriterijumsku optimizaciju proizlazi da između osnog rastojanja prenosnika i stepena iskorišćenja postoji vrlo jaka negativna korelacija. Na taj način se još u fazi predprojekta može doći do najpovoljnije konstrukcije prenosnika, koji treba da ispuni veoma stroge tehničke zahteve u pogledu željenih performansi.

LITERATURA

- [1] DOWSON D., HIGGINSON G.R., *Elastohydrodynamic Lubrication*, S.1. Edition 1977, Pergamon Press Ltd, p. 190.
- [2] K. F. MARTIN, *The Efficiency of Involute Spur Gears*.
- [3] M. RISTIVOJEVIĆ, *Analiza raspodele opterećenja na istovremeno spregnute parove zubača sa primenom na čvrstoču zupca zupčanika*, magistarski rad, MF Beograd, 1985. god.
- [4] B. ROSIĆ, *Istraživanje i optimizacija parametara unutrašnjeg ozubljenja planetnih prenosnika*, doktorska disertacija, Beograd, 1992. god.

* Rad je izložen na Trećoj jugoslovenskoj konferenciji o tribologiji YUTRIB'93, Kragujevac, 24.-25. juna 1993. god.

An Analysis of The Efficiency of Involute Cylindrical Gears

In this work is analyzed the influence of geometric and kinematic parameters of teeth on the efficiency of involute spur gears. The mathematical model is developed, as well as the computer program for determining the instantaneous and effective values of the efficiency of utilization. An influence of the load distribution character during meshing period is included by the factor of load distribution. Results of the computer program are given in the form of instantaneous values of the efficiency of utilization diagram during the meshing period, and the values of effective efficiency of utilization for the considered cylindrical gears are computed.

Анализ степени использования цилиндрических эвольвентных зубчатых пар

В работе анализируется влияние геометрических и кинематических параметров зубьев на эффективность использования цилиндрических эвольвентных зубчатых пар с прямыми зубьями. Автоматами разработана математическая модель и компьютерская программа для определения мгновенной степени использования. Влияние характера распределения нагрузки в течение контакта выражается через фактор распределения нагрузки. Результаты компьютерской программы показаны в форме графика мгновенных значений степени использования при соприкосновении. Кроме того подсчитаны значения эффективной степени использования исследуемой зубчатой пары.

A. RAC

Hidrodinamički klizni ležaji - teorija i praksa

ISTRAGA
ISTRAŽIVANJA

1. UVOD

U poznatoj knjizi o analizi i podmazivanju ležaja Šoa i Meka [1] zapisan je i sledeći pasus: "... Ležaj treba da apsorbuje što je moguće manje energije, da se što sporije haba tokom rada, da zauzima što manje prostora i da mu je cena što je moguća niža". Navedeni zahtevi napisani još 1949. godine aktuelni su i danas. Najvećim delom ove zahteve zadovoljavaju različite vrste hidrodinamičkih kliznih ležaja.

Ovi ležaji koriste se kod industrijskih i transportnih mašina niz godina na mestima gde se zahteva određena tačnost, brzina i moć nošenja. Definišu se kao ležaji sa potpunim podmazivanjem, što znači da su to ležaji kod kojih su spregnute površine u relativnom kretanju potpuno razdvojene kontinualnim slojem maziva. Pritisak u sloju maziva odnosno moć nošenja sloja nastaje kao posledica relativnog kretanja površina određene geometrije pri dovoljno velikoj brzini. Osnovne prednosti hidrodinamičkih kliznih ležaja su: visoka preciznost, širok opseg radnih brzina, malo habanje, velika moć nošenja i relativno veliki opseg dozvoljenih radnih temperatura.

Mada ovi ležaji imaju i svoje nedostatke, koji se pre svega odnose na cenu takvih ležaja i sistema za njihovo podmazivanje, oni spadaju u najviše i najšire primenjivanu vrstu od svih kliznih ležaja.

Hidrodinamički klizni ležaji variraju kako po veličini, tako i opterećenju koje nose i brzini pri kojoj rade. Na jednom kraju su ležaji instrumenata i satnih mehanizama, a na drugom ležaji turbinsko-generatorskih sistema sa prečnikom i preko 1000 mm, specifičnim opterećenjem od 3 do 7 MPa i ležaji valjačkih stanova sa opterećenjem i do 30 MPa. Između njih se nalaze ležaji motora SUS, pumpi, kompresora, mašina alatki i drugih mašina.

Po svojoj konstrukciji mogu biti veoma jednostavni od, na primer, otvora u delovima mašina izrađenih od sivog liva,

ali su obično znatno složeniji što zahteva određenu proceduru konstruisanja kako bi se obezbedile odgovarajuće radne i tribološke karakteristike i iskoristile sve prednosti ovih ležaja.

2. HIDRODINAMIČKA TEORIJA PODMAZIVANJA

Konstruisanje i proračun hidrodinamičkih kliznih ležaja, kako radikalnih tako i aksijalnih, može da se realizuje mnogo efikasnije ako se poznaju i razumeju osnovni principi koji definišu karakteristike ležaja ove vrste.

Medutim, njihovo konstruisanje nije jednostavan posao za većinu inženjera. To je oblast koja zahteva iskustvo i posebna znanja, koja su velikim delom obuhvaćena hidrodinamičkom teorijom podmazivanja (HDP).

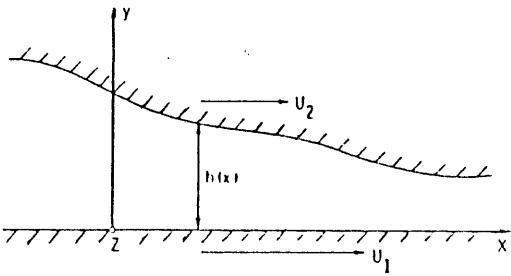
Principle HDP prvi je ustanovio Osborn Rejndolds 1886. godine. Njegova jednačina, koja se može naći u mnogim knjigama iz tribologije i teorija podmazivanja [2, 3, 4], predstavlja još uvek osnovu za sve proračune, bez obzira što se odnosi na idealne ležaje kod kojih su površine glatke, bez deformacija i termičkog širenja, a viskoznost maziva je stalna. Sa praktične strane najznačajniji Rejndoldsov zaključak je da se HDP može ostvariti ako površine u kretanju grade konvergentni (klinasti) zazor u smeru strujanja maziva, da je moć nošenja proporcionalna sa dinamičkom viskoznošću maziva i da raste sa porastom relativne brzine površina.

Opšta Rejndoldsova jednačina, koja povezuje pritisak p u sloju maziva sa debljinom h , viskoznošću η i brzinom pokretnih površina u_1 i u_2 (sl.1) ima oblik

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{h^3}{\eta} \frac{\partial p}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{h^3}{\eta} \frac{\partial p}{\partial z} \right) = \\ = 6(u_1 - u_2) \frac{\partial h}{\partial x} + 6 \frac{\partial}{\partial x} (u_1 + u_2) + 12 \frac{dh}{dt} \end{aligned} \quad (1)$$

Kod većine praktičnih rešenja može da se usvoji da su površine pokretnih delova krute, pa su brzine u_1 i u_2

Prof. dr Aleksandar Rac, dipl. ing.
Mašinski fakultet u Beogradu



Sl. 1. Brzina površina i koordinatni sistem
Bearing surfaces and coordinate axes
Скорость поверхности и система координат

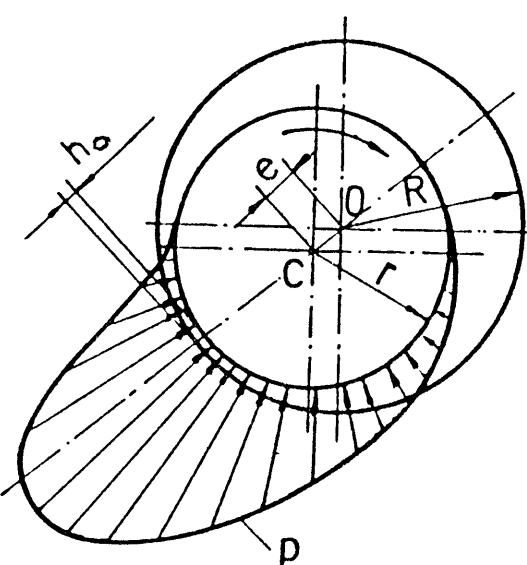
nezavisne od x tako da srednji član desne strane jednačine postaje nula. Ako se usvoji da je i viskoznost stalna veličina za određenu radnu temperaturu ležaja, onda se prethodna jednačina, primenjena na radikalne hidrodinamičke klizne ležaje, svodi na izraz

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(h^3 \frac{\partial p}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(h^3 \frac{\partial p}{\partial z} \right) = 6 \eta (u_1 + u_2) \frac{\partial h}{\partial x} + 12 \frac{dh}{dt} \quad (2)$$

Prvi član na desnoj strani jednačine predstavlja izraz za tzv. "uljni klin", dok drugi obuhvata "istiskivanje ulja" nastalo kao posledica kretanja u y-pravcu.

Kod radikalnih hidrodinamičkih kliznih ležaja sa stacionarnim uslovima rada obično se rukavac obrće dok ležaj miruje (sl. 2), pa se prethodna jednačina može uprostiti na oblik

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(h^3 \frac{\partial p}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(h^3 \frac{\partial p}{\partial z} \right) = 6 \eta r \omega \frac{\partial h}{\partial x} \quad (3)$$



Sl. 2. Geometrija ležaja i pritisak u sloju maziva kod radikalnog kliznog ležaja
Bearing geometry and pressure distribution in journal bearing
Геометрия подшипника и нагрузка в слое смазки у радиально-подшипника скольжения

gde je ω ugaona brzina rukavca, a r poluprečnik rukavca. Rešenja za klizne ležaje sa statickим opterećenjem su uspešno razradjena i u literaturi se rezultati, pogodni za inženjersku praksu, prikazuju tabelarno i ili dijagramski.

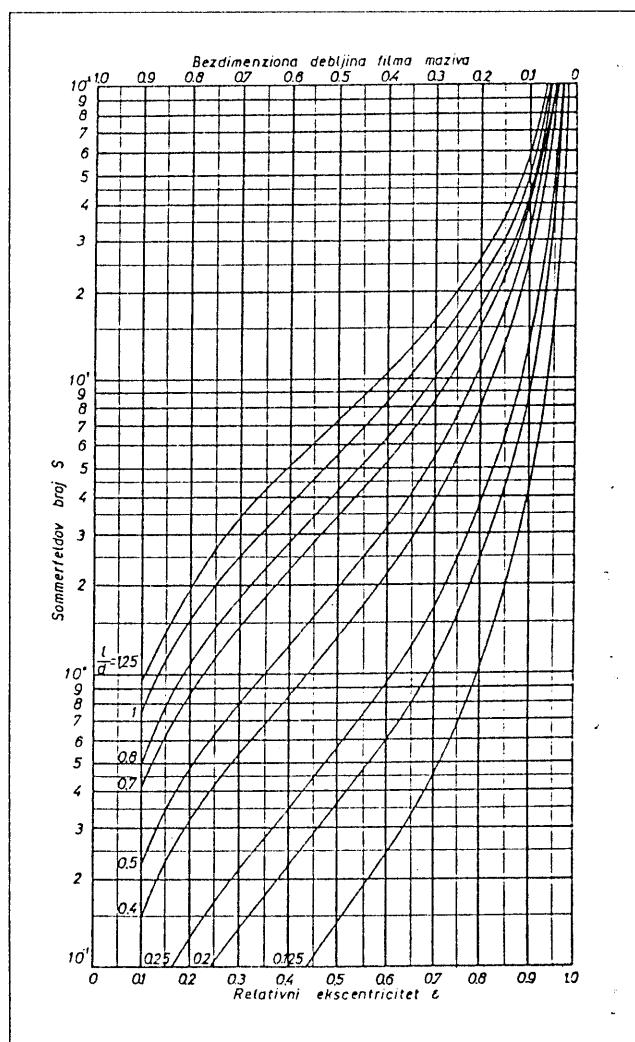
Pri tome se moć nošenja obično iskazuje preko Zomerkfeldovog broja koji je definisan izrazom

$$S = \frac{p}{\eta n} \left(\frac{c}{r} \right)^2$$

gde je: p -specifično opterećenje ležaja,
 η -dinanička viskoznost naziva na radnoj temperaturi,
 n -učestanost obrtanja rukavca,
 c -radikalni zazor i
 r -poluprečnik rukavca.

Zavisnost ovako datog S-broja od relativnog ekscentriciteta, za različite odnose dužine prema prečniku ležaja, prikazana je na slici 3.

Medjutim, kod radikalnih ležaja pri nestacionarnim uslovima rada, odnosno dinamičkom opterećenju, kakvi su



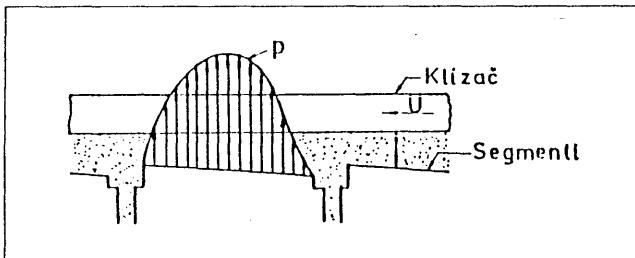
Sl. 3. Zavisnost S-broja od relativnog ekscentriciteta
Relationship between Sommerfeld number and eccentricity ratio
Зависимость С-номера от относительного отклонения от центра

ležaji klipnih mašina, mora da se analizira kompletanja jednačina (2). Ovaj problem, zbog svoje složenosti, rešen je tek u zadnjih 30 godina [5, 6]. On se u suštini svodi na određivanje kretanja centra rukavca u zazoru ležaja, što omogućuje definisanje i debljine sloja maziva.

Kod aksijalnih hidrodinamičkih kliznih ležaja (sl. 4) najčešće se kreće samo klizač, dok segment miruje. To omogućuje da se opšta Rejnoldsova jednačina svede na izraz

$$\frac{\partial}{\partial x} (h^3 \frac{\partial p}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial z} (h^3 \frac{\partial p}{\partial z}) = 6 \eta u \frac{\partial h}{\partial x} \quad (4)$$

gde je u translatorna ili obimna brzina pokretnе površine.



Sl. 4. Geometrija aksijalnog hidrodinamičkog kliznog ležaja
Slider bearing notation and film pressure
Геометрия аксиального гидродинамического подшипника скольжения

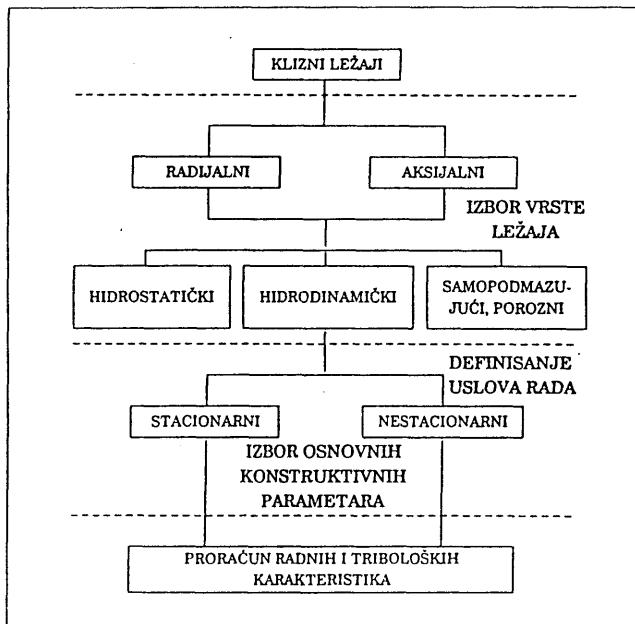
Rešavanjem navedenih jednačina za pojedine vrste hidrodinamičkih kliznih ležaja određuju se moć nošenja i debljina sloja maziva kao osnovne i najznačajnije veličine.

3. PRIMENA TEORIJE I PRAKSA REŠAVANJA PROBLEMA

U poređenju sa mnogim drugim inženjersko-konstruktorskim poslovima, procedura konstruisanja i proračuna hidrodinamičkih kliznih ležaja je neobična po tome što se teorija ne može direktno da koristi za projektovanje ležaja, već samo da se utvrdi da li će izabrano rešenje moći da nosi zahtevano opterećenje pri određenim uslovima rada.

Razlog tome je što su teorija i praksa na određeni način suprotstavljene jedna drugoj. Teorija kaže da se najveća moć nošenja postiže sa beskonačno tankim slojem maziva, visoko viskoznim uljem i za ležaj sa mikroskopski malim zazorom. Praksa, s druge strane, ukazuje da hraptavost realnih površina, deformacije i neparalelnost površina čine neizbežan kontakt metal metal za tako malu debljinu sloja maziva i zazor [7]. Zbog toga se procedura konstruisanja realizuje kroz nekoliko faza (sl. 5) koje obuhvataju: izbor vrste hidrodinamičkog kliznog ležaja, definisanje konstruktivnih i radnih parametara i proračun triboloških karakteristika za izabrano rešenje.

Izbor vrste hidrodinamičkog kliznog ležaja zasniva se, danas, na sistemu znanja i u svetu se razvijaju ekspertni sistemi koji daju, na osnovu zadatih polaznih veličina, odgovore koja je vrsta ležaja najadekvatnija za datu namenu [8].



Sl. 5. Šematski prikaz procedure konstruisanja hidrodinamičkih kliznih ležaja

Design steps of hydrodynamic bearings

Схема процедур конструирования гидравлического подшипника скольжения

Pri definisanju konstruktivnih i radnih parametara treba razlikovati dve grupe veličina. U prvu spadaju veličine koje su zadate ili ih bira konstruktor, kao što su:

- opterećenje,
- učestanost obrtanja,
- dimenzije ležaja,
- zazor,
- dimenzije kućišta,
- vrsta materijala,
- hraptavost površina ležaja i rukavca,
- vrsta maziva i
- viskoznost na standardnoj temperaturi.

U drugoj grupi su tzv. zavisne veličine koje konstruktor ne može direktno da kontroliše:

- moć nošenja,
- relativni ekscentricitet,
- najmanja debljina sloja maziva,
- dozvoljena najmanja debljina sloja maziva,
- efektivna viskoznost,
- koeficijent trenja,
- protok maziva i
- porast temperature usled trenja.

Za izbor veličina prve grupe, kao što su dimenzije ležaja, vrsta ulja, vrsta materijala itd. postoje preporuke [9], koje dovoljno jasno ukazuju na moguća rešenja. Tako, na primer, odnos l/d kod radikalnih ležaja je obično u granicama od 0.5 do 1.5, redje i do 2. Za izbor veličine zazora ležaja, kao veoma važne veličine, u literaturi se navode različite preporuke. Najopštija je da se kod statički opterećenih ležaja uzima 1 mm po mm prečnika, a kod dinamički

opterećenih ležaja 0.7 mm po mm prečnika ležaja. Relativni zazor se obično kreće u granicama od 0.0003 do 0.005. Veće vrednosti se uzimaju za ležaje sa većom učestanostu obrtanja, manjim pritiskom, većim odnosom l/d i za tvrde ležišne materijale.

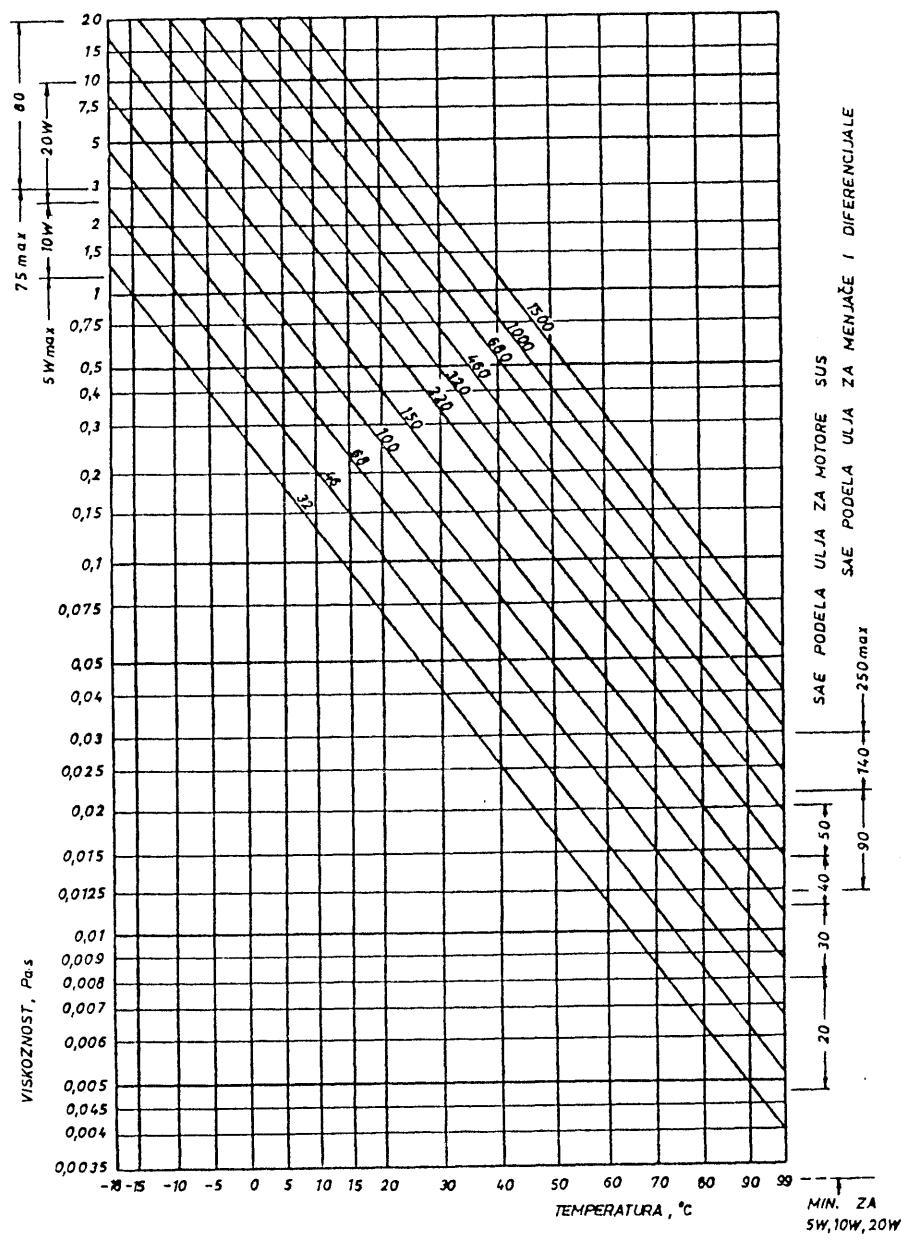
Najveće dozvoljene temperature zavise od materijala ležaja, maziva i sistema za podmazivanje. Za ležaje sa cirkulacionim sistemom podmazivanja najveća dozvoljena temperatura se kreće u granicama od 100 do 110 °C, dok kod ležaja sa uljnim kupatilom ona iznosi 90 °C. U praksi se temperature kreću obično u sledećim granicama:

- kod ležaja motora i mašina alatki 70 do 90 °C,
- kod ležaja zupčaničkih prenosnika, valjačkih stanova i turbinskih postrojenja 50 do 60 °C.

Izbor dozvoljenog specifičnog opterećenja i najveće radne temperature za različite materijale ležaja može se izvršiti na osnovu podataka datih u tablici 1.

Tablica 1. Dozvoljeno opterećenje i temperature

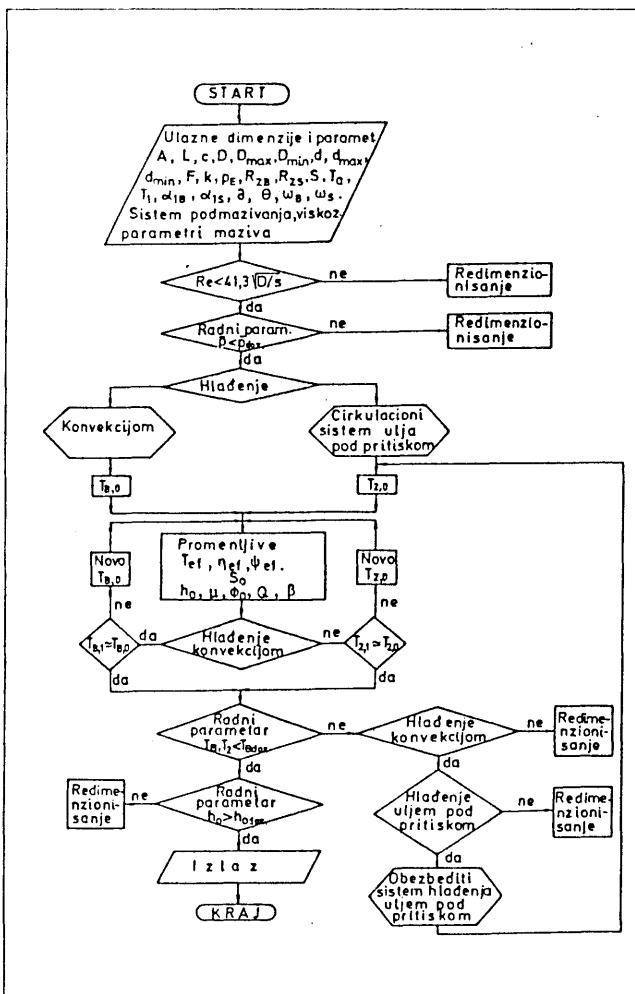
Vrsta materijala	Dozvoljeno spec. opterećenje N/mm ²	Najveća radna temperatura °C
Beli metali olovne osnove	5.5 - 8.5	130
Beli metali kalajne osnove	5.5 - 10.5	130
Bakar-ovo	10.5 - 14	150
Olovna bronza	20.5 - 27	170
Legure aluminijuma	17 - 35	170



Sl. 6. Zavisnost viskoznost-temperatura
Viscosity-temperature relationship
Зависимость вязкости - температура

Većina kliznih ležaja podmazuje se tečnim mazivima, pretežno mineralnim uljima (ležaji motora SUS, mašina alatki, turbinskih postrojenja, pumpi itd.). Najvažnija karakteristika ulja, koja ima uticaja na moć nošenja, gubitke usled trenja a time i na radnu temperaturu je viskoznost, pa je izbor veličine viskoznosti, pri hidrodinamičkom podmazivanju, od esencijalnog značaja. U praksi je obično poznata viskoznost na nekoj standardnoj temperaturi (40° , 100°C), dok radne temperature ležaja variraju. Da bi utvrdila veličina viskoznosti na radnoj temperaturi neophodno je poznavati promenu viskoznosti sa temperaturom. Na slici 6 date su te zavisnosti za visoko rafinisano mineralno ulje, a u skladu sa ISO podelom.

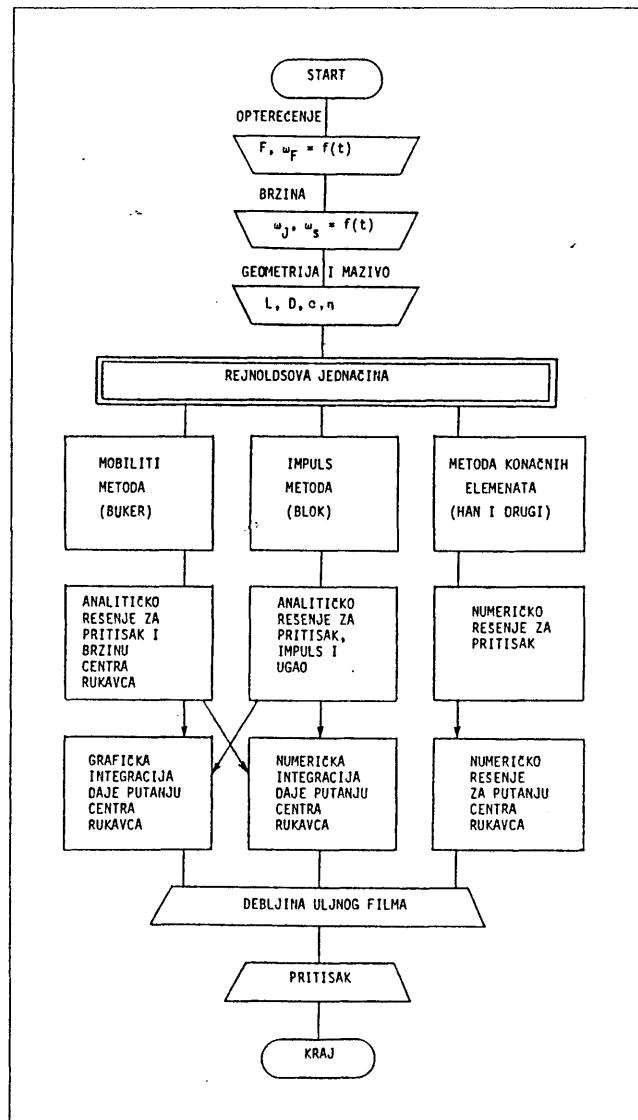
Veličine druge grupe predstavljaju tribološke karakteristike hidrodinamičkih kliznih ležaja i u praksi postoje ograničenja njihovih vrednosti. Pri konstruisanju ležaja prvi zahtev koji se mora zadovoljiti je da ležaj radi, za zadato opterećenje i učestanost obrtanja, sa adekvatnom debljinom sloja maziva i prihvativim porastom temperature. Zbog toga su proračuni usmereni na ocenu ovih



Sl. 7. Blok šema proračuna radikalnih kliznih ležaja sa statičkim opterećenjem
Flow chart for calculation procedure of journal bearings under steady state conditions
Блок-схема расчёта радиальных подшипников скольжения под статической нагрузкой

veličina, kao što to prikazuje blok šema na slici 7, data za radikalne ležaje sa statičkim opterećenjem.

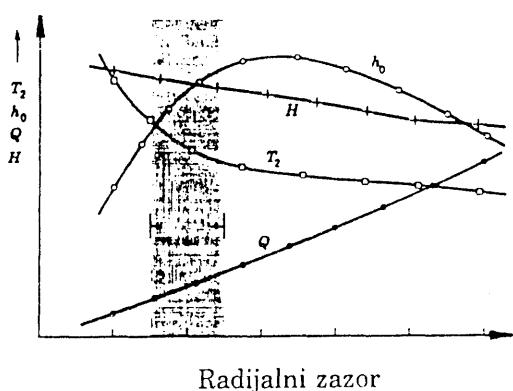
Ulaz predstavljaju veličine prve grupe koje su zadate ili izabrane. Tribološke karakteristike su promenljive koje se proračunavaju, a kao izlaz dobijaju se temperatura ležaja odnosno ulja (T_b, T_2) koja mora biti manja od T_{doz} i najmanja debljina sloja maziva ho koja mora biti veća od dozvoljene (h_{doz}).



Sl. 8. Metode proračuna dinamički opterećenih kliznih ležaja
Some design methods for journal bearing under dynamic loads
Методы расчёта динамических нагрузок подшипников скольжения

Pri proračunu hidrodinamičkih kliznih ležaja sa nestacionarnim uslovima rada postoji više prilaza od kojih su najčešće korišćeni prikazani šemom na slici 8.

Kada su proračunom dobijena zadovoljavajuća rešenja dalja poboljšanja konstrukcije se mogu realizovati. To znači optimizaciju rada ležaja određivanjem zavisnosti pojedinih karakteristika (sl.9) koje konstruktor može da izračuna.



Sl. 9. Zavisnost nekih performansnih karakteristika od veličine zazora [10]
Some performance characteristics of journal bearing as a function of radial clearance
Зависимость некоторых возможностных характеристик от величины зазора

4. ZAKLJUČAK

U oblasti hidrodinamičkih kliznih ležaja bilo je u poslednjih 30 godina mnogo istraživačkih radova koji su proširili znanja o ovom važnom mašinskom elementu. To omogućuje da se danas postižu konstrukcije visoke tačnosti i pouzdanosti. Za njihovo konstruisanje neophodna su teorijska znanja iz oblasti hidrodinamičke teorije podmazivanja, ali i iskustvo.

Proračuni i konstrukcije hidrodinamičkih kliznih ležaja sa statičkim opterećenjem su detaljno razradjeni u literaturi i mogu se relativno lako koristiti. Međutim, kod ležaja sa

opterećenjem koje se menja po veličini i smeru delovanja analiza je složena i zahteva diodatna i specifična znanja.

LITERATURA

- [1] M. C. SHOW, F. MACK, Analysis and Lubrication of Bearings, Mc Graw-Hill Book Co, 1949.
- [2] A. CAMERON, Basic Lubrication Theory, Longman, 1971.
- [3] A. Z. SZERI, ed., Tribology, Mc Graw-Hill Book Co., 1980.
- [4] J. HALLING, ed., Principles of Tribology, The Macmillan Press, London, 1978.
- [5] J. CAMPBELL, P. P. LOVE, F. A. MARTINI S. O. Rafique, Bearings for Reciprocating Machinery: A Review of the Present State of Theoretical, Experimental and Service Knowledge, Proc. Inst. Mech. Engrs. 182, Pt. 3A, 1967-68,
- [6] J. F. BOOKER, Dynamically Loaded Journal Bearings: Mobility Method of Solution, Trans. of the ASME, Journal of Basic Engineering, septem, 1965, 537-546.
- [7] R. J. WELSH, Plain Bearing Design Handbook, Butterworths, 1983.
- [8] W. B. ROWE, K. CHENG I D. IVES, A Knowledge-based System for the Selection of Fluid Film Journal Bearings, Trib. Int., 24, 5, 1991, 291-297.
- [9] M. J. NEALE, ed., Tribology handbook, Butterworths, 1973.
- [10] J. E. SHIGLEY, Mechanical Engineering Design, Mc Graw-Hill Kogakusha Ltd, 1972

* Rad je izložen na Trećoj jugoslovenskoj konferenciji o tribologiji YUTRIB'93, Kragujevac, 24.-25. juna 1993.god.

Hydrodynamic Bearings - Theory and Practice

Hydrodynamic bearings represent common and the most widely used type of sliding bearings.

Their commercial application in industrial and transport machines has been present for a number of years, whenever there are requirements for high accuracy, speed and load carrying capacity.

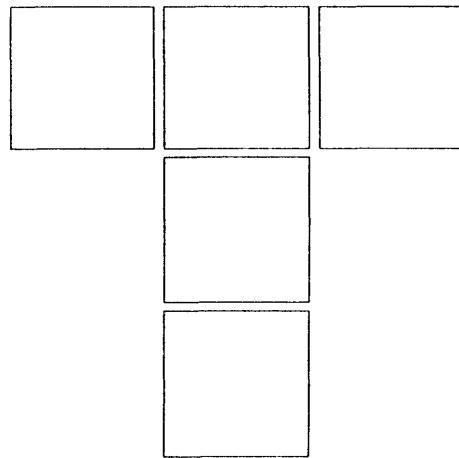
In order that the hydrodynamic sliding bearing operates satisfactorily, it is necessary to maintain the adequate oil film thickness and the oil temperature within the given boundaries. The evaluation of these characteristics is made on the basis of hydrodynamic theory of lubrication. However, apart from this theory, for the adequate designing of bearing the knowledge of the feature of bearing materials and lubricating oil, as well as experience is necessary.

The paper presents the scope and applications of the theory and procedure which is used in the design of hydrodynamic bearing.

Гидродинамический подшипник скольжения - теория и практика

Гидродинамический подшипник скольжения является наиболее используемым типом подшипников скольжения. Основой для его расчёта служит гидродинамическая теория смазывания. В настоящей работе изложен уровень развития этой теории и её применение в практике, как и процедура используемая при конструировании этого типа подшипников.

**D. STANIVUKOVIĆ, N. CARIĆ,
V. RADLOVAČKI**



ISTRAŽIVANJA

Menadžment i organizacija održavanja

1. UVOD

Istraživanjem karakteristika najuspešnijih svetskih kompanija utvrđeno je da stabilne pozicije u vrhu rang liste tokom poslednjih nekoliko decenija imaju one kompanije koje poseduju kao dominantna svojstva razvijen sistem upravljanja organizacijom ili menadžment i visoko kompetentan rukovodilački kadar, odnosno menadžere. Menadžment, dakle predstavlja ključni uslov uspešnosti, to jest stabilnog rada i razvoja kako privrednih tako i nepri-vrednih sistema. Da bi se shvatili osnovni menadžerski procesi u održavanju, u nastavku su dati definicija menadžmenta i procesi koji pomažu boljem razumevanju njegove suštine.

Jednu od najopštijih i najboljih definicija dao je Peter Draker: Menadžment predstavlja usmeravanje i obezbeđivanje sprovođenja efektivnog i efikasnog korišćenja raspoloživih resursa radi postizanja željenih rezultata.

Klasično shvatanje upravljačkih procesa (ili procesa menadžmenta) polazi od stanovišta da postoje samo četiri osnovna upravljačka procesa: PLANIRANJE, ORGANIZOVANJE, RUKOVOĐENJE (vođenje) i KONTROLISANJE. Neki autori ovde dodaju i ODLUČIVANJE, a jedan od nesumnjivih autoriteta u ovoj oblasti, Harold Kunc smatra da je proces "STAFFING" (što se može slobodno opisno prevesti kao pribavljanje, obuka i razvoj kadrova) takođe poseban fundamentalni proces menadžmenta. U skladu sa tim, moglo bi se konstatovati manje ili veće razlike kod pojedinih autora, pri čemu i dalje ostaje otvoreno pitanje gde je mesto i kakva je uloga posebno izdvojenih procesa kao što je upravljanje promenama, upravljanje organizacionom kulturom, upravljanje

konfliktima, itd. Takvi specifični upravljački procesi se ne mogu zanemariti jer predstavljaju deo i teorije i prakse savremenog menadžmenta.

2. OSNOVNI UPRAVLJAČKI PROCESI

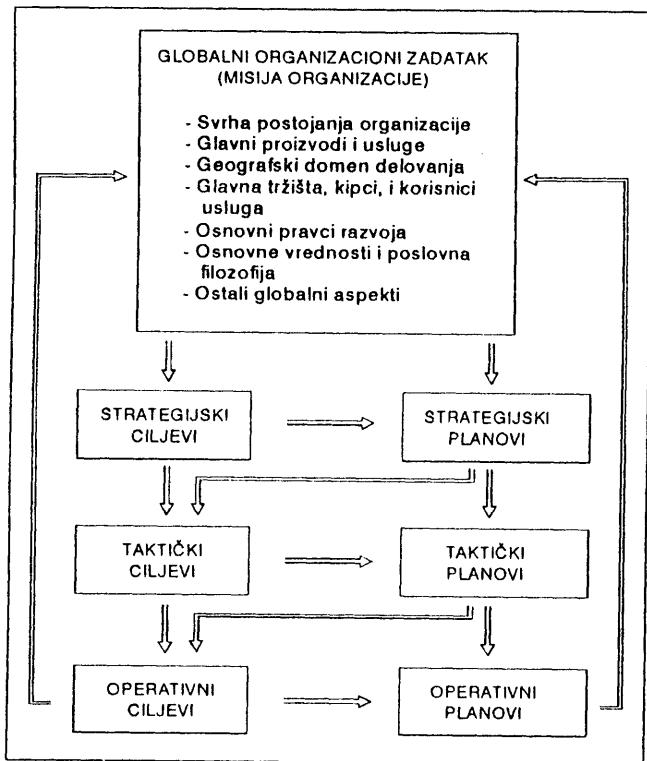
Osnovni upravljački ili menadžerski procesi su značajni za razumevanje suštine upravljanja i oni će u nastavku biti predstavljeni sa posebnim šemama i komentarima.

PLANIRANJE predstavlja složen hijerarhijski proces koji obuhvata postavljanje ciljeva, razvijanje planova, prateće analize, donošenje odluka i ostale pomoćne aktivnosti. U svetu savremenog upravljanja, planiranje se isključivo tretira i kao strategijsko planiranje, odnosno, podrazumeva se da dobro planiranje uključuje u sebe i strategijski nivo planiranja (slika 1.).

ORGANIZOVANJE se nadovezuje na proces planiranja sa svrhom određivanja optimalnog grupisanja organizacionih aktivnosti i resursa radi realizacije postavljenih planova u skladu sa usvojenim programima. Osnovni koraci u procesu organizovanja su prikazani na slici 2. Ovde treba ukazati na dva značajna momenta:

- a) proces organizovanja predstavlja segment po kojem se menadžment kao teorija upravljanja najviše preklapa sa teorijom organizacije i praktično se može tvrditi da im je to najveći deo zajedničkog jezgra
- b) obezbeđivanje, raspoređivanje i usavršavanje kadrova neki autori tretiraju kao poseban upravljački proces i nazivaju ga "*upravljanje ljudskim resursima*"; po klasičnom principu ovaj segment upravljanja čini jedinstvenu celinu sa procesom organizovanja, jer je problem optimalnog organizaovanja kadrova u suštini problem čisto organizacione prirode, iako se u njemu koristi čitav niz specijalnih psihosocijalnih, psihometrijskih i ergonomskih i ekonometrijskih metoda i tehnika.

*Dr Dragutin Stanivukovic, vanr.prof.,
Nebojša Carić, dipl.inž.,
Vladan Radlovački dipl.inž., Fakultet tehničkih nauka,
Institut za industrijske sisteme,
Novi Sad, Trg D. Obradovića 6.*



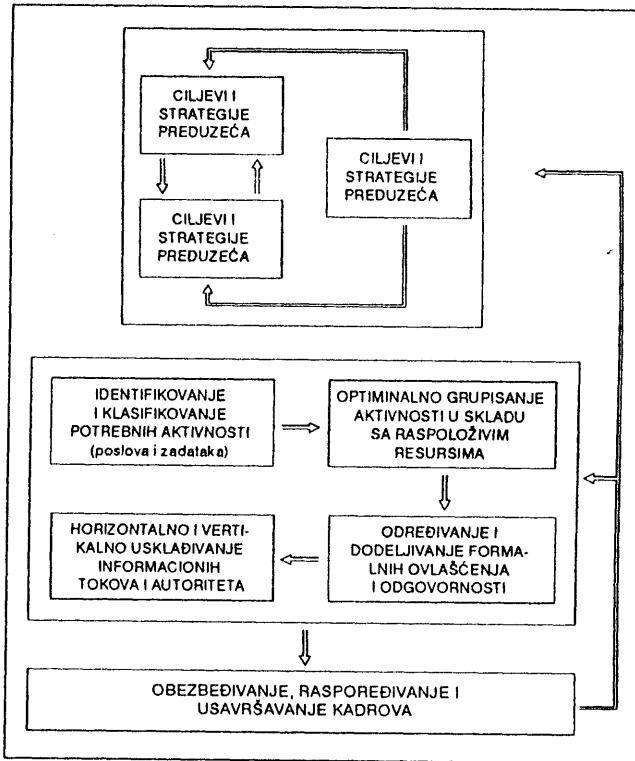
*Sl. 1. Proces organizacionog planiranja
Organizational planning process
Процесс организационного планирования*

Savremeno shvanje procesa organizacije sve više se poistovećuje sa pojmom tehnologija organizovanja što podrazumeva čitav skup principa primene ekspertskog znanja, kvantitativnih metoda, tehnika, kao i primenu odgovarajućeg softvera.

RUKOVODENJE (vodenje) predstavlja proces usmeravanja i motivisanja zaposlenih sa ciljem da usklađeno doprinose realizaciji organizacionih i grupnih ciljeva. Rukovodici koji sprovode ovaj proces (slika 3.) moraju dobro poznavati organizacione ciljeve i planove, moraju imati izuzetnu sposobnost komuniciranja, pri čemu moraju uzimati u obzir karakteristike radne sredine i organizacione klime. Osim posebnih predispozicija za saradnju sa ljudima, stecene i uvežbane elokventnosti, savremeni rukovodici se moraju obučavati za takve uloge, posebno u domenima upravljanja konfliktima, racionalizacije radnog vremena, upravljanja organizacionom kulturom i poslovnom etikom.

KONTROLISANJE predstavlja proces podešavanja (regulisanja) jedne ili više organizacionih aktivnosti tako da se one odvijaju na način koji će omogućiti postizanje organizacionih ciljeva. U savremenom menadžmentu kontrolisanje se sprovodi na svim nivoima - od strategijskog do operativnog i obuhvata četiri osnovne grupe resursa:

- fizičke resurse (zalihe materijala i proizvoda, opremu i kvalitet),
- ljudske resurse,
- informacione resurse i
- finansijska sredstva.



*Sl. 2. Osnovni model procesa organizovanja
Process basic model
Основный модель организациии процесса*

Kontrolisanje se odvija po klasičnom principu povratne sprege (slika 4), pri čemu se instrukcije za izmenu standarda rada iniciraju od viših hijerarhijskih nivoa ili od nižih, ali se realizuju u interakciji sa višim nivoima.

3. ORGANIZOVANJE FUNKCIJE ODRŽAVANJA

Jedno od značajnijih pitanja u postavljanju funkcije održavanja je svakako pitanje ORGANIZOVANJA.

U tom smislu je potrebno razmotriti

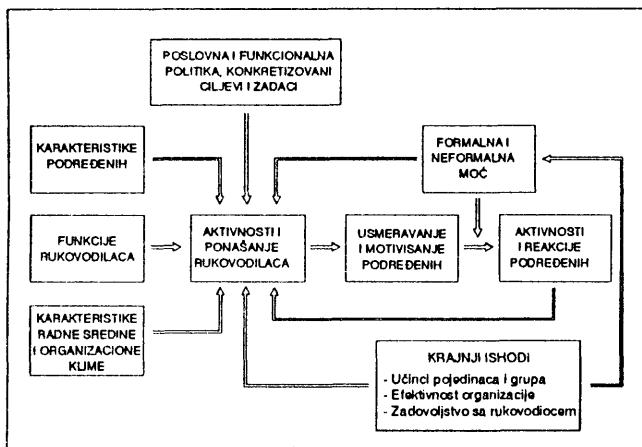
- položaj funkcije održavanja u preduzeću (makro organizacija preduzeća), odn. vid organizacije - centralizovana ili decentralizovana
- unutrašnju strukturu održavanja (mezo organizacija)
- izbor i raspored kadrova u održavanju (mikro organizacija).

U skladu sa poznatom IIS-koncepcijom organizacije preduzeća, održavanje je deo funkcije 5 PROIZVODNJA i funkcije 8 INTEGRALNA SISTEMASKA PODRŠKA (slika 5).

Položaj funkcije održavanja u preduzeću može biti

- ▶ centralizovan,
- ▶ decentralizovan i
- ▶ mešovit.

Na osnovu iznetih karakteristika centralizovanog i decentralizovanog održavanja, nameće se zaključak da je najcelishodnije organizovati mešovito (delimično



Sl. 3 Osnovni model procesa rukovođenja
Management process basic model
Основный модель процесса заведования

centralizovano, delimično decentralizovano) održavanje, prema strukturi:

- centralizovano: PRIPREMA ODRŽAVANJA (konstrukciono tehnološka i operativna) i KONTROLA, kao i OPRAVKA I MONTAŽA, IZRADA R/D I REMONT I REKONSTRUKCUA I IZRADA NOVIH SREDSTAVA ZA RAD, ENERGETIKA I ODRŽAVANJE OBJEKATA I INSTALACUA;
- decentralizovano: PREVENTIVNI PREGLEDI, ZAMENA DELOVA ČIŠĆENJE, PODMAZIVANJE (dnevna nega sredstava za rad), tj. OPERATIVNO ODRŽAVANJE.

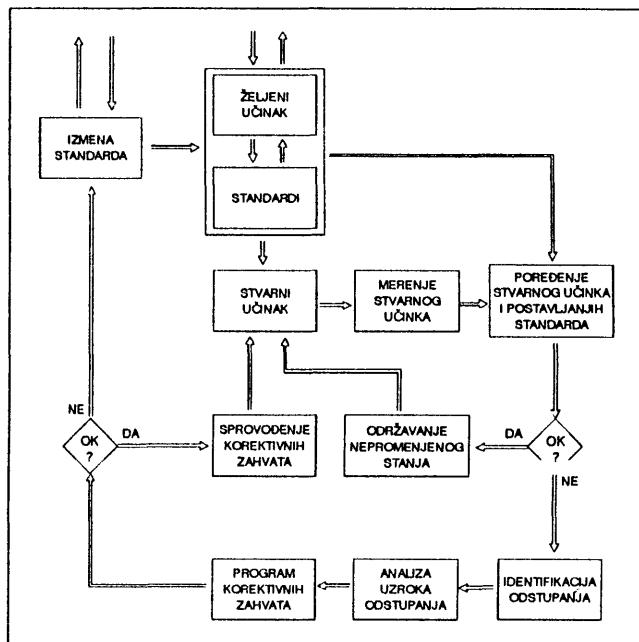
Unutrašnja organizacija funkcije održavanja je vrlo složen problem, jer zavisi od niza faktora, kao što su :

- veličina preduzeća,
- stepen opremljenosti,
- broj radnih smena,
- poseban nivo kvaliteta proizvodnje,
- uslovi rada (režima i okoline),
- zalihe rezervnih delova,
- kvalifikacije izvršilaca (na svim poslovima),
- opremljenost sredstvima i opremom za održavanje,
- korišćenje kooperacije (eksterne i interne),
- stepen rezerviranja sredstava za rad ili delova (agregati, sklopovi, podsklopovi i sl.) itd.

Tabele 1 i 2 prikazuju u prednosti i nedostatke centralizovanog i decentralizovanog organizovanja funkcije održavanja.

Unutrašnja organizacija održavanja se može predstaviti kao na slici 6.

Organizaciona jedinica za upravljanje održavanjem treba da obavlja sve standardne upravljačke funkcije, pri čemu može organizaciono da se podeli u četiri odeljenja (sl. 7.): odeljenje za planiranje održavanja, odeljenje za organizovanje procesa rada održavanja (što podrazumeva i raspoređivanje učesnika, formiranje timova i grupa sa



Sl. 4 Osnovne komponente i koraci procesa kontrolisanja
Control process basic components and steps
Основные компоненты и шаги процесса контроль-
ирования

posebnim zadacima, itd.), odeljenje za kontrolu održavanja i odeljenje - informacioni sistem održavanja.

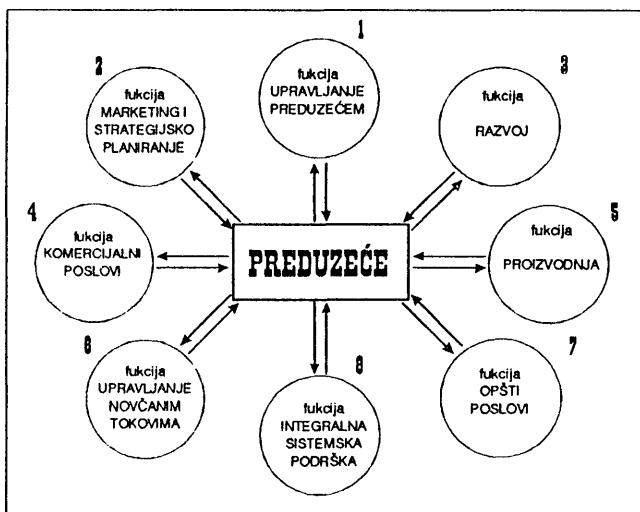
U opštem slučaju PRIPREMA ODRŽAVANJA obuhvata probleme pripreme sredstava za rad pri i u eksploataciji, pri čemu se priprema u eksploataciji deli na kontruktivno tehnološku i operativnu (slika 8).

Organizacija kadrova u održavanju (mikro organizacija) se može sprovesti u obliku:

- 1) profesionalne (strukovne) organizacije kadrova - specijalista iste struke

Prednosti: superspecijalizacija, akumulacija i koncentracija znanja.

Nedostaci: rukovodna stručna i operativna koordinacija otežana, teško se rešavaju složeni problemi zbog



Sl. 5. IIS koncepcija organizacije preduzeća
IIS concept of company organization
ИИС концепция организациии предпринятии

Tabela 1

Centralizovano	Decentralizovano
<ul style="list-style-type: none"> - razvijen informacioni sistem - dugoročna motivacija za rezultate održavanja - dobro iskorišćenje radnika - lakše upravljanje i unifikacija r/d - mogućnost postizanja odgovarajućeg statusa u preduzeću - mogućnost uvođenja progresivnih metoda rada - optimizacija održavanja - automatska obrada podataka 	<ul style="list-style-type: none"> - nerazvijen informacioni sistem - kratkoročna motivacija za rezultate održavanja - fizička udaljenost (prostorna disperzija) - različita sredstva za rad - bolje korišćenje radnika u manjim proizvodnim radionicama - lakše praćenje troškova održavanja

Tabela 2

Održavanje	Prednosti	Nedostaci
CENTRALIZOVANO	<ul style="list-style-type: none"> - lako planiranje - lak nadzor (kontrola) - dobro opremljena radionica - efikasno "upravljanje" radnom snagom 	<ul style="list-style-type: none"> - duži putevi (tokovi) materijala, r/d i informacija - nema mogućnosti specijalizacije
DECENTRALIZOVANO	<ul style="list-style-type: none"> - "brza usluga" - socijalizovan know-how - stalna briga o pogonu - manje "papira" 	<ul style="list-style-type: none"> - dupliranje opreme - dualnost autoriteta - siromašniji izveštaji (podaci i informacije) - loše korišćenje iskustva

otežane koordinacije, teže se uvode novine i kombinovani sadržaji rada održavanja.

2) funkcionalne organizacije - ekipe formirane po pri-padnosti funkcija, odnosno sadržaju:

- za otklanjanje otkaza
- za opravke,
- za rekonstrukcije i
- za preventivno održavanje.

Zastupljene su sve struke u ekipi a rukovodilac je polivalentan.

Prednosti: bolje sprovođenje dugoročne politike održavanja u celini (preventivno, po stanju), olakšana kontrola poslova i uvođenje novih metoda

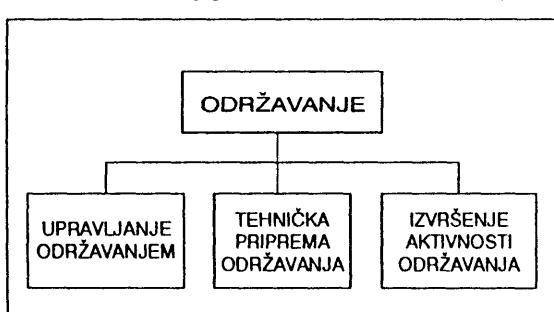
Nedostaci: nema superspecijalizacije unutar struke, odvojena stručna i operativna koordinacija.

3) operativne organizacije - na okupu su i rukovodioci i izvršioci. Ekipa se formira prema definisanom poslu. Posle završenog posla se rasformira. Ovaj oblik se

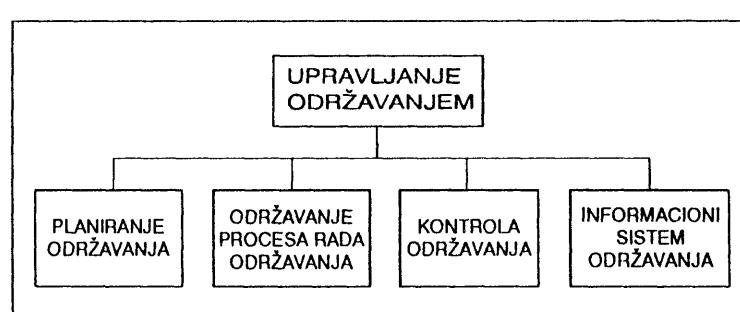
retko primenjuje. Moguća su tri vida operativne organizacije po veličini:

- ▶ male grupe (do 15 izvršilaca, nema podele poslova: svi rade sve, i poslovoda) formira se FUNKCIONALNA grupa.
- ▶ srednje grupe
 - * za malo rada i nekompleksne sadržaje formira se profesionalna grupa
 - * za više rada i kompleksne sadržaje formira se FUNKCIONALNA grupa
 - * za mnogo složenih novih radova i sistematsko održavanje, formira se FUNKCIONALNA grupa
- ▶ velike grupe karakteriše sukcesivna podela:
 - * funkcionalno - profesionalna i profesionalno - funkcionalna.

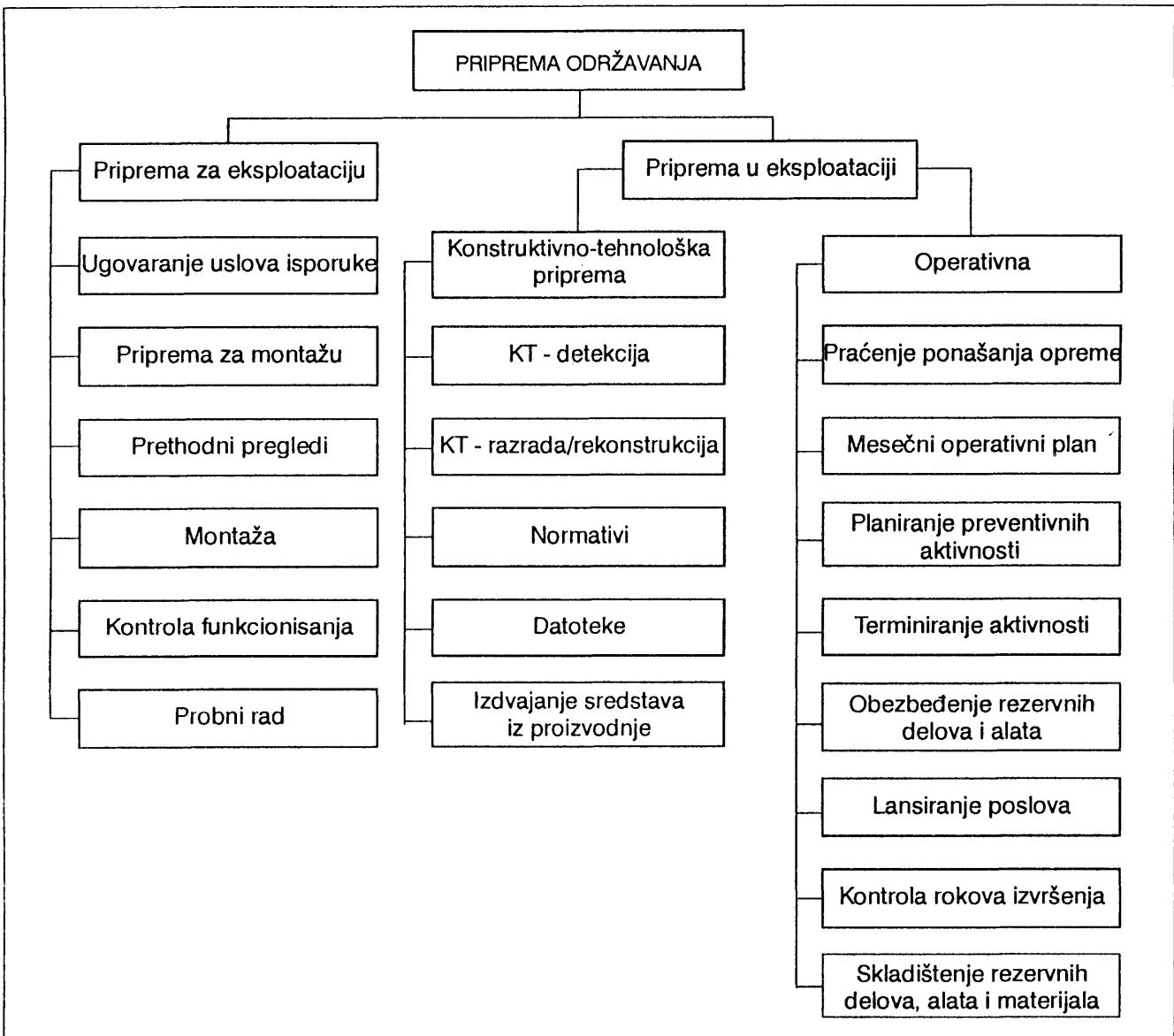
U Jugoslaviji je uglavnom zastupljena strukovna, a na Zapadu se sve češće sreće funkcionalna organizacija u održavanju



Sl. 6. Unutrašnja organizacija održavanja
Maintenance interior organization
Внутренняя организацией обслуживания



Sl. 7. Organizaciona jedinica za upravljanje održavanjem
Maintenance control organizational unit
Организационная часть для заведования обслуживанием



*Sl. 8.Priprema održavanja
Maintenance preparation
Подготовка обслуживанија*

4. ZAKLJUČCI

Savremeni menadžment podrazumeva egzistenciju međusobno povezanih procesa planiranja, organizovanja, rukovodenja i kontrolisanja kao minimalnog skupa aktivnosti koje treba da obezbede uspešno funkcionisanje preduzeća u celini kao i njegovih organizacionih delova (jedinica) posebno. U tom smislu, u funkciji održavanja moraju se sprovoditi svi ti procesi kao preduslov njenog efektivnog i efikasnog rada. Zbog toga se predlaže da se umesto rasprostranjenog pristupa koje deli održavanje na pripremu, izvršenje i kontrolu, uvede struktura koja sadrži upravljanje održavanjem, tehničku pripremu održavanja i izvršenje aktivnosti održavanja. Takva konцепција podrazumeva da su osnovni upravljački procesi zastupljeni u jedinicama za planiranje održavanja, organizovanje procesa rada održavanja i kontrolu održavanja, zajedno sa informacionim sistemom održavanja koji je

neophodan uslov povezivanja svih segmenata unutar ove funkcije kao i njenog integrisanja sa ostalim funkcijama preduzeća.

LITERATURA

- [1] GRIFFIN, R. **Management**, 3rd Ed. , Houghton Mifflin, Boston, 1990.
- [2] KELLY, A. **Maintenance Planning and Control**, Butterworths, London, 1989.
- [3] STANIVUKOVIĆ, D., KEKOJEVIĆ, S., (redaktori), **Savremene koncepcije održavanja**, FTN, Institut za industrijske sisteme, Novi Sad, 1989.
- [4] STANIVUKOVIĆ, D. , CARIĆ, N. , MARIĆ, B. , **Organizacija preduzeća & management**, FTN, Institut za industrijske sisteme, Novi Sad, 1991.

* Rad je izložen na Trećoj jugoslovenskoj konferenciji o tribologiji YUTRIB'93, Kragujevac, 24.-25. juna 1993.god.