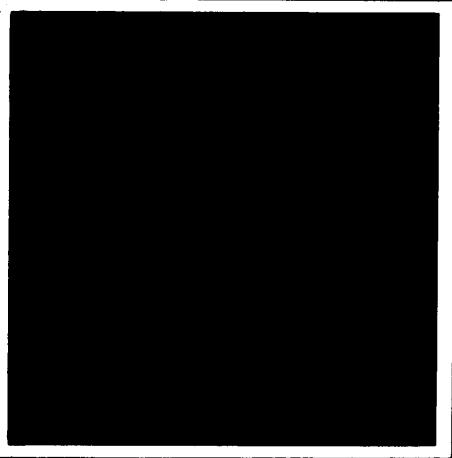
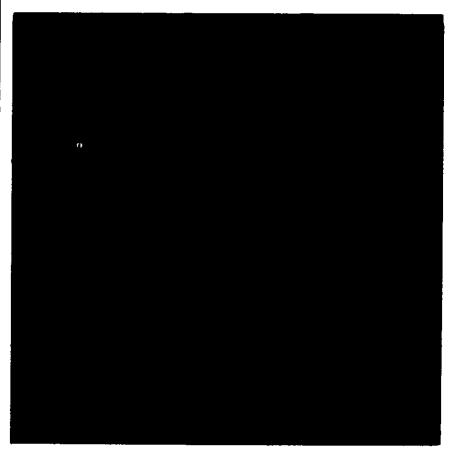
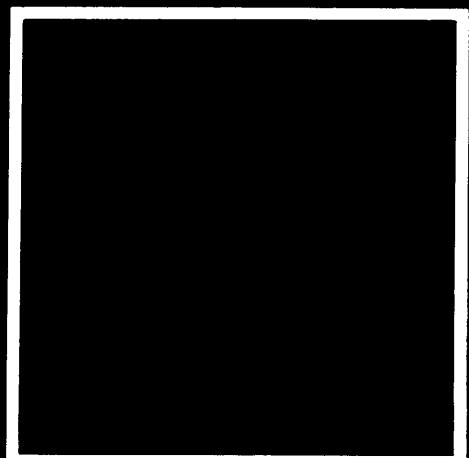
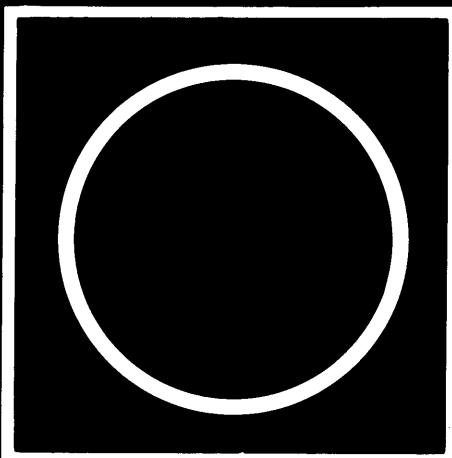
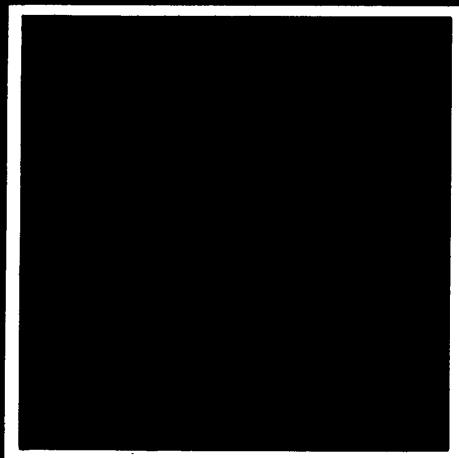


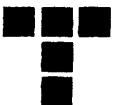
tribologija u industriji

YU ISSN 0351-1642
GODINA VI
SEPTEMBAR '84.

2



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



GODINA VI
BROJ 2
SEPTEMBAR 1984.

tribologija u industriji

sadržaj contents содержание

UVODNIK INTRODUCTION ПЕРЕДОВИЦА

B. IVKOVIĆ: Vek trajanja elementa tribomehaničkih sistema funkcija ja i tehnologija obrade kontaktnih površina - The Element of Tribomechanical System Life is A Function of Machining Conditions - Срок службы элементов трибомеханических систем является функцией и технологии обработки контактных поверхностей - - - - -

35

ISTRAŽIVANJA RESEARCH ИССЛЕДОВАНИЯ

V. TIMOTLJEVIĆ, LJ. JANKOVIĆ, D. KOSTIĆ: Jednovodni programski sistem za centralno podmazivanje uljem ili tečnom mašću - A singl-line programmable system for centralised lubrication with oil or liquid grease - Однопроводная программируемая система для центральной смазки маслом или жидкой мазью - - -

37

P. IVANOVIĆ, M. IVANOVIĆ: Topografija obradjene površine struganjem u funkciji ulaznih i poremećajnih faktora obradnog sistema i mogućnost upravljanja procesom - Topography of machining surface turning as funktion of input and disturbance factors of working system and possibility to the control with proces - Топография поверхности обработанной точением в функции входных и факторов нарушения обрабатывающей системы и возможности управления процессом - - - - -

47

ГОЛОУАТЕНКО В.Г., СКОРЫНЧИ Й.В.: Kontrola tačnosti obrtanja vratila rotora elektro-pogonskih sistema - The kontrol of the accuracy of the rotors electrical drives - Проверка точности вращения вала ротора электро-проводных систем - - - - -

51

KNIGE I ČASOPISI BOOKS AND JOURNALS КНИГИ И ЖУРНАЛЫ

- - - - -

55

NAUČNI SKUPOVİ SCIENTIFIC MEETINGS НАУЧНЫЕ СОБРАНИЯ

- - - - -

57

REZIMEA ABSTRAKS РЕЗЮМЕ

- - - - -

59

Vek trajanja elemenata tribo-mehaničkih sistema funkcija je i tehnologije obrade kontaktnih površina

Tribo-mehanički sistem definiše se, obično, kao skup elemenata čije funkcionalno ponašanje zavisi od međusobnog dejstva površina koje se relativno kreću jedna po drugoj. U osnovi tribo-mehanički sistemi se dele na četiri grupe i to:

- tribo-mehanički sistemi kojima se vrši obrada materijala,
- tribo-mehanički sistemi kojima se vrši vodjenje elemenata pri kretanju,
- tribo-mehanički sistemi kojima se vrši prenos energije,
- tribo-mehanički sistemi kojima se vrši prenos informacija.

Svaka od ovih osnovnih grupa tribo-mehaničkih sistema sadrži dve ili više podgrupe. Na primer, prva grupa se deli na dve podgrupe koje sadrže tribo-mehaničke sisteme u kojima se vrši obrada materijala rezanjem i tribo-mehaničke sisteme u kojima se vrši obrada metala deformisanjem. Svaka od ovih podgrupa sadrži veći broj tribo-mehaničkih sistema koji se među sobom razlikuju po vrsti obrade koja se u njima obavlja, vrsti alata, vrsti predmeta obrade, itd.

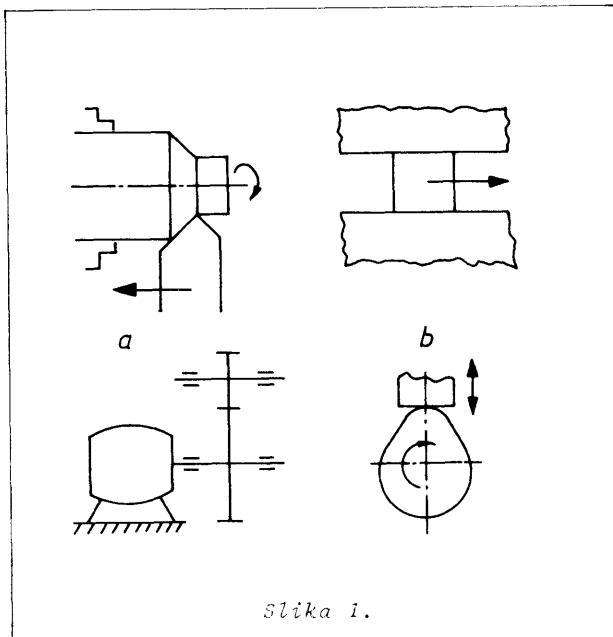
Tribo-mehanički sistemi u kojima se vrši vodjenje elemenata pri kretanju mogu, takođe, da se podele u dve podgrupe i to jedna u kojoj se pri vodjenju ostvaruje trenje klizanja i druga u kojoj se pri vodjenju ostvaruje trenje kotrljanja.

Na sl. 1 dat je šematski prikaz sve četiri grupe tribo-mehaničkih sistema.

Bilo koja vrsta tribo-mehaničkog sistema da je u pitanju osnovna problematika je manje-više ista. Kontakt se u svim vrstama tribo-mehaničkih sistema ostvaruje između dva čvrsta elementa (metal, nemetal, kombinacija) u sredini koja je ispunjena nekim sredstvom za podmazivanje kao trećim elementom sistema.

Intenzitet triboloških procesa koji se razvijaju u kontaktnim slojevima za vreme ostvarivanja kontakta za -

visi i u velikoj meri od hrapavosti kontaktnih površina i fizičko-hemijskih karakteristika površinskih (kontaktnih slojeva).



Slika 1.

Veća hrapavost kontaktnih površina uslovljava, pri konstantnim uslovima eksploracije pojavu manje realne površine, veći realni pritisak, veći intenzitet habanja i kraći vek trajanja tribo-mehaničkog sistema. Isto tako deformisana struktura površinskih slojeva i njihova tvrdoća može da doprinesu, u velikoj meri, bržem habanju elemenata tribo-mehaničkih sistema odnosno skraćivanju njihovog veka trajanja.

Poznato je da se kontakt između dva elementa tribo-mehaničkog sistema ostvaruje u tzv. "trećem telu" čiji deo predstavljaju i kontaminirani i hemijski slojevi (prevlake) na kontaktnim površinama čije tribološke karakteristike mogu da budu veoma različite.

Hrapavost obradjene površine (kontaktne površine) zavisi od primenjene tehnologije obrade i režima rezanja.

Ako se površine formiraju nekom vrstom obrade metala rezanjem onda hrapavost površina zavisi i od veličine pomognog kretanja, koja je korišćena pri obradi kao i od drugih uslova obrade.

Deformisanost strukture površinskog sloja kao i njihova tvrdoća zavise, takodje, od režima rezanja odnosno od sila rezanja i temperature rezanja koje su se u procesu formiranja kontaktnih površina javile.

Vrsta i karakteristike kontaminiranih i hemijskih slojeva (prevlaka) na kontaktnim površinama zavise pod istim ostalim uslovima i od vrste sredstava za hladjenje i podmazivanje koje je korišćeno pri obradi. Sve vrste sredstava za hladjenje i podmazivanje su agresivne u odnosu na metalne površine i stvaraju odgovarajuće hemijske prevlake na njima. Međutim, od vrste i prirode ovih sredstava zavise i tribološke karakteristike prevlaka na kontaktnim površinama pod kojima se ostvaruju procesi trenja i habanja.

Zastoji u radu proizvodnih mašina na kojima se realizuju proizvodni procesi nastaju kao posledica habanja odgovarajućih elemenata mašina koje pripadaju navedenim osnovnim grupama tribo-mehaničkih sistema. Usporavanje

procesa habanja moguće je vršiti sa izborom optimalnog režima eksplatacije proizvodne opreme, izborom kvalitetnih sredstava za podmazivanje, optimalnih režima podmazivanja i povećanjem otpornosti na habanje kontaktnih površina odgovarajućih elemenata tribo-mehaničkih sistema.

Najekonomičniji postupak povećanja otpornosti na habanje elemenata tribo-mehaničkih sistema odnosi se na izbor optimalnih uslova obrade kontaktnih površina i to kako sa gledišta vrste obrade tako i sa gledišta režima rezanja, izbora alata i sredstava za hladjenje i podmazivanje.

Kako velika otpornost na habanje elemenata tribo-mehaničkih sistema znači veću pouzdanost rada proizvodnih mašina, to se na ovaj način stvaraju uslovi i za porast produktivnosti proizvodnih procesa. U okviru naučno-istraživačkog projekta "Produktivnost kroz tribologiju" u čijoj realizaciji, pored Mašinskog fakulteta u Kragujevcu, učestvuju Western Illinois University Industrial Education and Technology Department i Oregon State University - Productivity Center ovim problemima će u narednim godinama biti posvećena značajna pažnja.

OSNOVI TRIBOLOGIJE

Prof. dr Branko Ivković

IZDAVAC
GRAĐEVINSKA KNJIGA
BEOGRAD

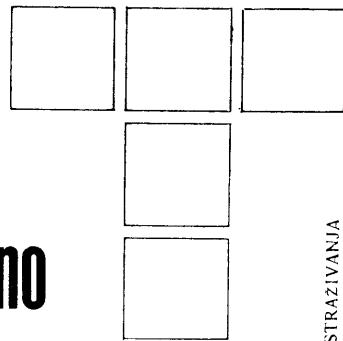
OSNOVNA POGLAVLJA:

- priroda i topografija kontaktnih površina
- osnovne teorije trenja
- osnovne teorije habanja
- podmazivanje u tribomehaničkim sistemima
- osnovi tribometrije
- identifikacije osnovnih tribo-mehaničkih sistema u industriji prerade metala
- maziva u tribo-mehaničkim sistemima
- postupci povećanja otpornosti na habanje kontaktnih slojeva elemenata tribo-mehaničkih sistema
- sistemski prilaz rešavanju triboloških problema u industriji prerade metala

Zainteresovani mogu se za bliža obaveštenja обратити издаваћу, или редакцији часописа

TRIBOLOGIJA U INDUSTRII

na adresu: Mašinski fakultet, 34000 Kragujevac,
Ul. Sestre Janjić br. 6, Tel. (034) 67-500



Jednovodni programski sistem za centralno podmazivanje uljem ili tečnom mašću

1. UVOD

Sva kretanja elemenata sredstava rada u uslovima eksploracije uzajamno su uslovljena u funkciji ostvarenja nekog unapred definisanog i kontrolisanog procesa.

U jednom sredstvu rada (alatna mašina, uredjaj, pribor, transportni sistem ili bilo koje drugo postrojenje) u zavisnosti od stepena složenosti, ima od nekoliko desetina do nekoliko hiljada kontaktnih parova.

Radni uslovi (tip kretanja, sila-oterećenje, brzina, temperatura i vreme trajanja kontakta) pri kojima se ostvaruje kontakt između elemenata sa različitim mehaničkim svojstvima materijala i sa različitim nivoom kvaliteta temiće i mehaničke obrade, se menjaju tokom vremena i određuju intenzitet razvoja triboloških procesa na površinama kontakta.

Posledice habanja elemenata tribosistema ispoljavaju se kroz:

- umanjenu tačnost u geometrijskim odnosima sistema, zbog povećanih zazora između kontaktnih elemenata,
- povećanje utroška energije uz istovremeno snižavanje stepena korisnog dejstva prenosa energije kroz sistem usled izraženijeg prisustva vibracionog i termičkog dejstva,
- skraćenje veka eksploracije, i
- povećanje troškova održavanja, zbog češćih intervencija i dužeg vremena zastoja.

Sredstva za podmazivanje pored tribosistema u kontaktu i okruženja čine osnovni element tribološkog sistema i imaju zadatku da uspore proces habanja na elementima u kontaktu.

Na dinamičkog stanovišta, film maziva utiče na smanjenje amplitude vibracija. Za kvalitetno podmazivanje kontaktnih površina neophodna je kompleksna analiza velikog broja različitih faktora koji obuhvataju ut-

icajne parametre tribomehaničkog sistema, a u cilju adekvatne primene odgovarajućih postupaka za podmazivanje sa potrebnim sredstvom, količinom i načinom doziranja maziva. Qubitak energije u nekom tribomehaničkom sistemu u uslovima eksploracije, uslovljen je tribološkim nivoom istog, a on kao bitnu komponentu sadrži sredstvo i način (sistem) podmazivanja.

Uočeno je, posebno kod održavanja opreme, da se u pojedinačnim slučajevima upotrebi znatno veća količina maziva od propisane, a da su efekti ovakvog podmazivanja skoro zanemarljivi. Objašnjenje ove pojave sadrži se, sa jedne strane, u neodgovarajućoj primeni sredstava za podmazivanje sa konkretnie radne uslove i neadekvatno definisanom količinom maziva, načinom i procesom upravljanja podmazivanjem sa druge strane. Odrediti optimalan vek nekog tribosistema u uslovima eksploracije znači definisati: uslove rada (režime eksploracije), vrstu materijala, kvalitet i tačnost obrade i sredstvo i način podmazivanja.

Troškovi podmazivanja posebno kod velikih postrojenja, kao što su:

- tehničke linije u železarama za valjanje i izvlačenje,
- odpepeljivači u energetskim i termoelektranicama,
- veliki transportni sistemi na linijama montaže u halama i lučnim postrojenjima,
- tehničke linije za ostvarivanje niza uzastopnih operacija npr. linije presa, linije u procesnoj, tekstilnoj i mlinskoj industriji, i
- na direkstan način, zajedno sa troškovima amortizacije sistema za podmazivanje, učestuju u ukupnim troškovima poslovanja (čak i do 5%).

Navedene konstatacije uslovile su iznalaženje različitih postupaka podmazivanja za različita maziva, da bi se ispunili specifični zahtevi za podmazivanjem svakog konkretnog sredstva rada.

2. PODELA POSTUPAKA I KLASIFIKACIJA SISTEMA ZA PODMAZIVANJE

Da bi se u mnoštvu brojnih postupaka i sistema za podmazivanje odabralo adekvatan za konkretnu namenu (konkretno sredstvo rada) neophodno ih je razvrstati i sistematizovati u odgovarajuće grupe - celine.

Podela postupaka uređaja i opreme koja se koristi u procesu podmazivanja u svim granama industrije, nije jednoobrazna, naime, takvih podela ima više, a uglavnom zavise od toga sa kog stanovišta i u koju svrhu se vrše. Najčešće podele sistema za podmazivanje vrše se prema:

- sredstvima za podmazivanje i
- strukturi sistema, tj. prema stepenu složenosti sistema u celini.

Podmazivanje se može obaviti različitim sredstvima: uljima, tečnim mastima, mastima, uljnom maglom, čvrstim mazivima, plinovima, samomazivim materijalima i sl.

Različita sredstva za podmazivanje uz ograničenja koja postavlja sredstvo rada, zahtevaju različita konstruktivna rešenja dostavljanja (transportovanja) i doziranja maziva za svako mesto trenja koje se podmazuje.

Struktura sistema za podmazivanje obuhvata različite konstruktivno-funkcionalne celine i njihove uzajamne veze. Komponovanjem odgovarajućih celina (Baukasten - sistem), mogu se strukturno dobiti sistemi podmazivanja sa odgovarajućim performansama za različita maziva i različite uslove rada.

Na primer: jedan agregat, elektroprivredni prekidač ili merač nivoa, samostalno čine različite konstruktivno-funkcionalne celine koje poseduje većina sistema za podmazivanje, međutim, osnovne razlike, pre svega, proizilaze iz različite nadgradnje osnove sistema, na taj način, možemo imati više sistema za podmazivanje sa istim brojem pojedinih komponenata a sa različitom namenom i uslovima primene.

Podele s obzirom na strukturu sistema vrše se prema performansama celog sistema, tj. prema funkcionalnim karakteristikama, osnovnih i izvršnih elemenata sistema, koje obuhvataju:

- konstruktivne i funkcionalne mogućnosti pogonskog agregata,
- broj potisnih vodova,
- način rada, količinu i tačnost doziranja sredstava za podmazivanje, i

- kvalitet i nivo upravljanja procesom podmazivanja.

Ovako izdvojeni parametri ne znače da su iscrpljene mogućnosti za dalje razvrstavanje, naprotiv, moguće su nove podele na primer: pogonskih agregata prema veličini i načinu funkcionisanja ili nivoa upravljanja prema tome da li sistem može da samostalno radi i pri tome kontroliše svoj rad ili te funkcije vrši sistem koji se podmazuje.

U neposrednoj primeni je relativno veliki broj različitih postupaka doziranja, koji se mogu podeliti u dve osnovne grupe: individualni i automatski sistemi za podmazivanje.

Individualno-pojedinačno, podmazivanje je zastareo postupak koji se zbog sledećih nedostataka:

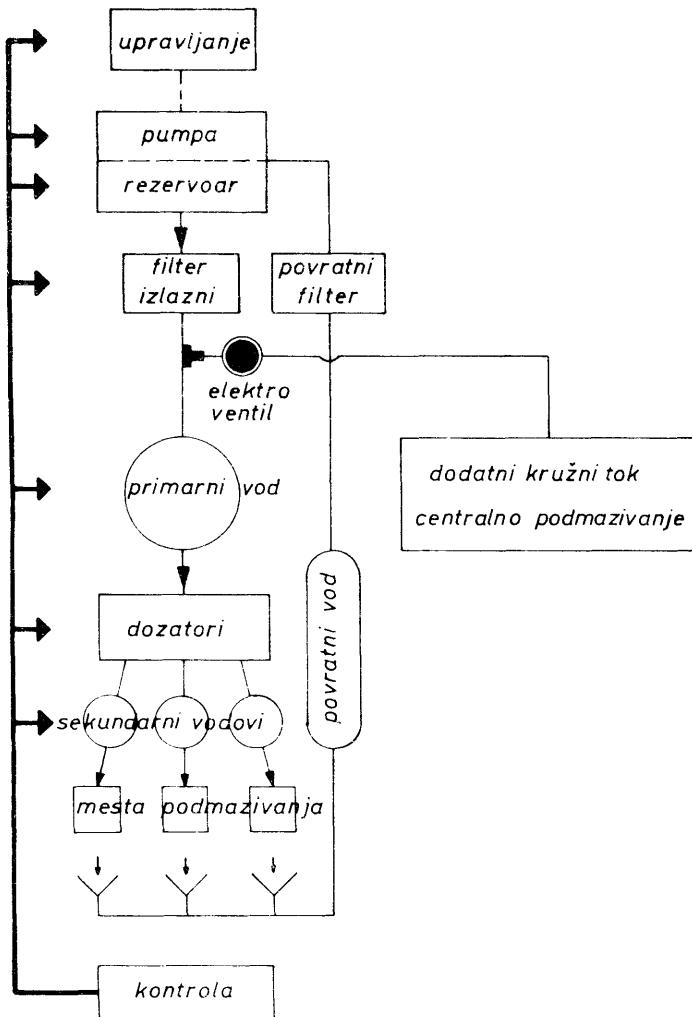
- ručni pogon na uređajima za podmazivanje,
- otežano je podmazivanje teško pristupačnih mesta sa mogućnošću povrede poslužioca. Da bi se, kod takvih mesta izvršilo podmazivanje, u nekim slučajevima, neophodni su predkidi u radu što stvara dodatne troškove,
- značajni su gubici u kvalitetu i količini sredstava za podmazivanje kao što su: rasipanja maziva pri prelivanju iz jedne posude u drugu, mešanje maziva, pri zameni, usled podmazivanja različitih postrojenja zbog čega dolazi do tehnološke i mehaničke zaprljanosti maziva i radnog prostora i
- podmazivanje je po vremenu i količini prepunu neposrednom poslužiocu, na taj način se povećava mogućnost greške što bitno umanjuje efekte podmazivanja,

primenjuje kod najjednostavnijih uređaja i pribora sa malim brojem kontaktnih parova, kod manje odgovornih elemenata gde nisu strogi zahtevi u pogledu tačnosti i gde su blaži režimi u uslovima eksploatacije.

Nasuprot individualnom, sistemi automatskog podmazivanja zbog svoje raznovrsnosti imaju široko područje primene. Praktično ne postoji ni jedno savremeno postrojenje, u bilo kojoj grani industrije, koje ne poseduje sistem za automatsko podmazivanje. Sistemi automatskog podmazivanja se dele na:

- recirkulacione sisteme i
- sisteme za centralno podmazivanje.

Kod recirkulacionih sistema (sl. 1) mazivo se preko pumpnog agregata, potisnog cevovoda i ostalih elemenata u instalaciji dovodi do mesta koja se podmazuju, a odатle preko sabirnika, povratnog cevovoda i filtera vraća u rezervoar. Na ovaj način mazivo se u toku rada postrojenja neprekidno kreće, tj. cirkuliše, pri čemu se naj-



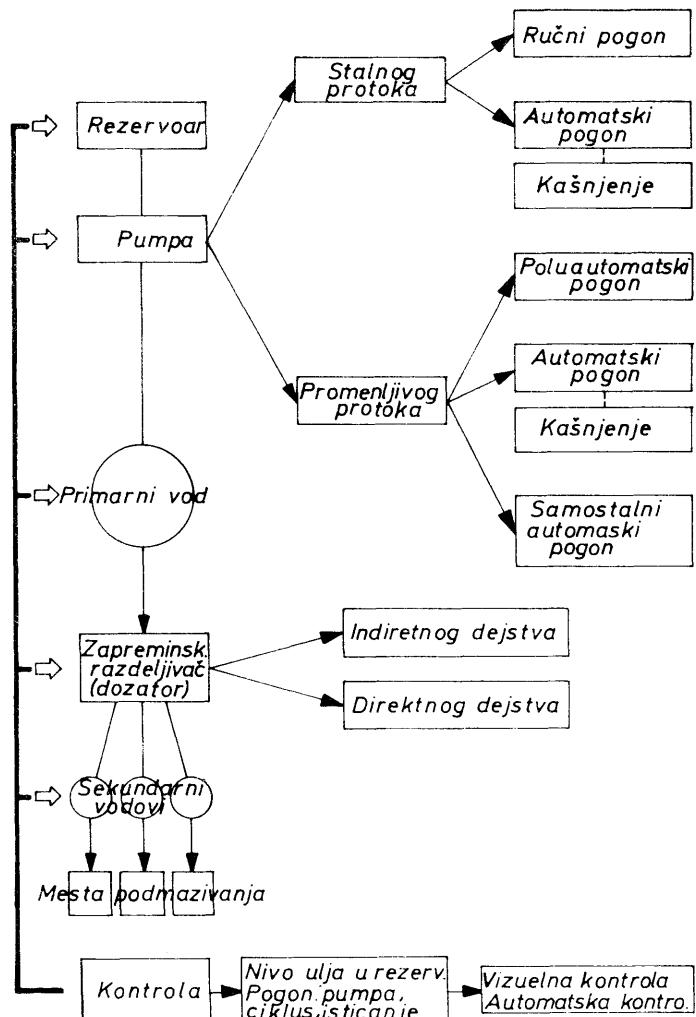
Sl. 1. - Strukturalna šema recirkulacionog sistema podmazivanja sa mogućnostima centralnog podmazivanja

češće u rezervoar vraća slobodnim padom. Recirkulacioni sistemi za podmazivanje isključivo koriste ulja. Sistemi centralnog podmazivanja (sl. 2), sredstva za podmazivanje (ulja i masti) dovode do mesta trenja u tačno određenim (doziranim) količinama i vremenskim intervalima. Dovedena količina maziva se na svakom pojedinačnom mestu trenja može regulisati na različite načine u zavisnosti od tipa sistema za centralno podmazivanje.

Upravljanje procesom podmazivanja, tj. sistemima automatskog podmazivanja može biti dvojako:

- sistem za automatsko podmazivanje dozira mazivo nezavisno od ciklusa rada postrojenja. Vremenskim releima je definisano vreme rada pumpnog agregata kao i vreme pauze. Oba vremena se (smenjuju) ciklično ponavljaju u toku rada postrojenja,

- povratnom spregom (mehaničkim ili električnim putem) sistem za automatsko podmazivanje u neposrednoj vezi sa intenzitetom (brzinom ili brojem ciklusa) eksplatacije postrojenja. Na ovaj način podmazivanje se može



Sl. 2. - Sastavni delovi uređaja za centralno podmazivanje

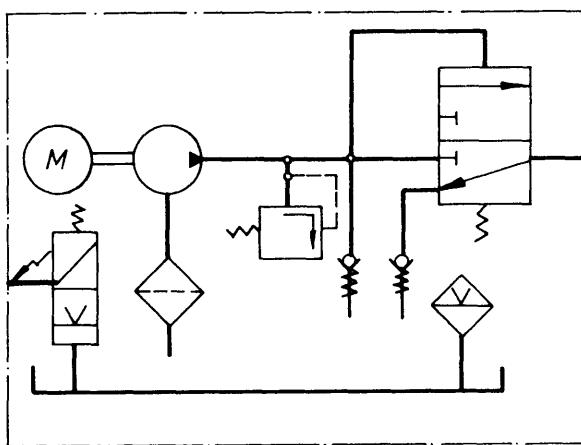
ponoviti posle svakog n-tog (gde je n ceo broj) ciklusa rada.

Grupa inženjera iz (Nacionalnog komiteta za naftu) SAD-a, 1937. god. utvrdila je 4 osnovna principa na bazi kojih su moguća konstruktivna rešenja sistema za centralno podmazivanje. Osnovni tipovi (osnovne konstruktivne izvedbe) sistema za centralno podmazivanje su:

- jednovodni sistemi sa doziranim ventilima za podmazivanje sa uljima i mastima,
- jednovodni sistemi sa progresivnim razvodnicima za podmazivanje sa uljima i mastima,
- dvovodni sistemi za podmazivanje sa mastima, i
- viševodni sistemi za podmazivanje na uljima i mastima.

Pod brojem vodova u sistemima centralnog podmazivanja podrazumeva se broj izlaznih (potisnih) vodova iz pumpnog agregata. Poznati svetski proizvodjači: DELIMON, JOSEPH VÖGEL, MECALIQUID, NORGREN, BEKA, BIJUR i dr. razvili su veliki broj različitih postupaka i različitih

konstruktivnih rešenja za elemente sa istom funkcijom u sistemima centralnog podmazivanja.



Sl. 3. - Hidraulična šema pumpnog agregata za jednovodni centralni sistem podmazivanja

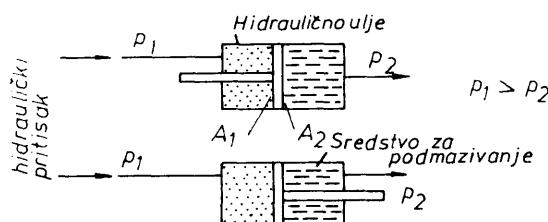
Sa centralnim sistemima, vrši se podmazivanje velikog broja kontaktnih parova na različitim sklopovima, koji imaju različit stepen odgovornosti i različiti brzinu habanja. S tim u vezi, od sistema za centralno podmazivanje se zahteva:

- podmazivanje svih predviđenih kontaktnih parova sa tačno određenom količinom maziva i u tačno definisano vreme,

- prilagodjavanje u pogledu primene za podmazivanje velikog broja postrojenja različite namene (sl. 4),

- mogućnosti izbora sa stanovišta upravljanja procesom podmazivanja. Nije redak slučaj da neku određenu grupu elemenata (laisne, vodjice, klizači, vretena i sl.) treba podmazati posle određenog broja radnih ciklusa, dok, sa druge strane, na istom postrojenju postoje i elementi (zglobovi, ležišta i sl.) koji se podmazuju posle određenog vremena (bez obzira na brzinu i broj ciklusa), i

- mogućnost promene količine doziranja maziva na pojedinačnim mestima trenja.



Sl. 4. - Hidraulički pogon agregata za centralno podmazivanje

Navedeni zahtevi uz ograničenja koja postavlja svako konkretno sredstvo rada, dovoljno ilustrativno pokazuju koliko je složeno projektovanje sistema za centralno podmazivanje. Obzirom da se sistemi automatskog podmazivanja, zbog svoje raznovrsnosti, ugradjuju u većinu proizvoda domaće mašinogradnje i da se za njihovu nabavku izdvajaju značajna devizna sredstva, jer se isti ne proizvode kod nas, autori su priveli kraju projekat "JEDNOVODNO PROGRAMSKOG SISTEMA ZA CENTRALNO PODMAZIVANJE U LJEM ILI TEČNOM MAŠČU".

3. RECIRKULACIONI SISTEM CENTRALNOG PODMAZIVANJA

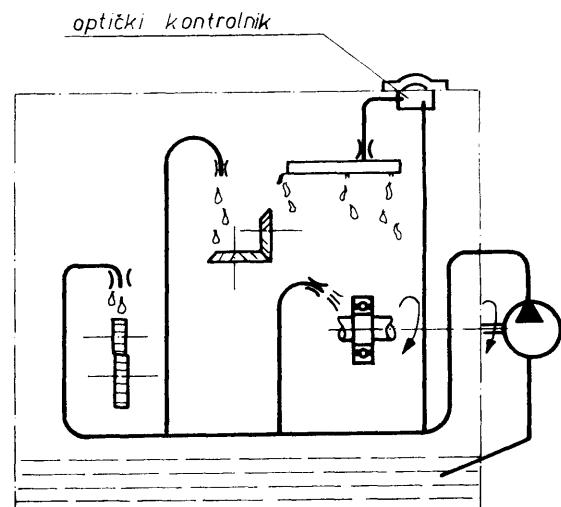
Za razliku od centralnih, ovim sistemom mazivo sa podmazivanjem ne gubi, već se sa mesta podmazivanja vraća u rezervoar odakle ponovo cirkuliše.

Postoje dva tipa uredjaja recirkulacionih sistema za podmazivanje:

- nisko pritisni uredjaji i
- uredjaji sa cirkulacijom ulja sa progresivnim razvodnicima.

Nisko pritisni uredjaji recirkulacionog podmazivanja primenjuju se za slobodno podmazivanje dovodenjem ulja do mesta trenja stalnim tečenjem. Količina ulja za podmazivanje približno se određuje veličinom otvora mlanice na kraju voda do mesta trenja. Ulje slobodnim isticanjem kvasi naležeće površine vršeći pri tome istovremeno podmazivanje i hladjenje sklopa.

Uredjaji su jednostavno izvedeni sa pumpom trajno uključenom na pogon mašine ili postrojenja sistemom odvoda - dovoda ulja u rezervoar i vizuelnim kontrolnikom protoka ulja (sl. 5).

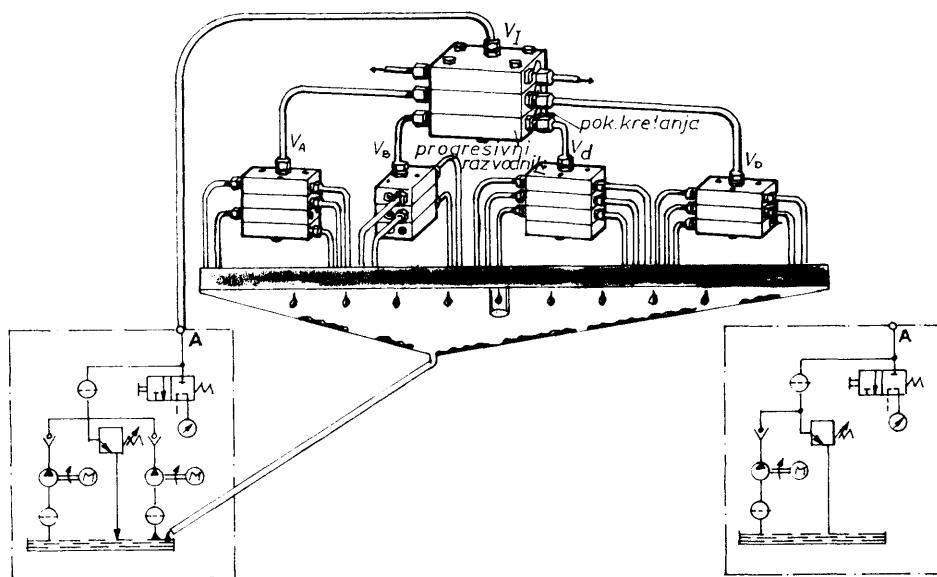


Sl. 5. - Šema nisko pritisnog recirkulacionog podmazivanja

Područje primene niskopritisnih sistema je u podmazivanju ležajeva i prenosnika u menjačkim kutijama i reduktorima.

UREDJAJI SA CIRKULACIJOM ULJA SA PROGRESIVnim RAZVODNICIMA

Uredjaji sa cirkulacijom ulja sa progresivnim razvodnicima dovode na oko sto mesta za podmazivanje utvrđene količine ulja pod visokim pritiskom. Proces podmazivanja svih mesta za podmazivanje ponavlja se sve do te dok pumpa uvodi ulje u razvodnike. Ulje koje se slijeva sa mesta za podmazivanje vraća se u rezervoar za ulje i ponovo cirkuliše (sl. 6).



Sl. 6. - Recirkulacioni sistem sa centralno podmazivanjem sa progresivnim razvodnikom

Moguća je kontrola pritiska i količine ulja podmazivanja.

Pumpni agregat se obično sastoji od dve pumpe paralelno vezane (zbog nastavljanja kontinuiteta podmazivanja u slučaju zastoja jedne pumpe), duplog filtra, odvazdušivača, električnog uređaja za merenje nivoa ulja u rezervoaru i po potrebi hladnjaka ili grejača recirkulacionog ulja. Progresivni razvodnici izrađuju se po sistemu montažnih jedinica i sastoje se od pojedinačnih segmenta. Svaki segment razvodnika ima klip za doziranje ulja različitog prečnika u zavisnosti od količine doziranja maziva dok ostali elementi razvodnika imaju iste spoljašnje dimenzije, nezavisno od veličine klipova.

Prednosti uredjaja sa cirkulacijom ulja sa progresivnim razvodnicima su:

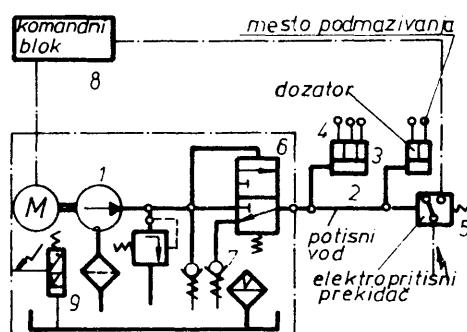
- tačno doziranje za svako mesto podmazivanja,
- sigurno podmazivanje mesta sa visokim protivpritiscima kao i udaljenih mesta,
- niski investicioni troškovi, mali poprečni preseci provodnika,
- kratka vremena pauze,
- laka kontrola funkcionisanja,
- kompaktna konstrukcija razvodnika.

4. JEDNOVODNI SISTEMI SA DOZIRnim VENTILIMA ZA PODMAZIVANJE SA ULJIMA I MASTIMA

U okviru širokog dijapazona podmazivanja, kojeg prekrivaju različiti postupci, tj. različiti sistemi centralnog podmazivanja, jednovodnim sistemima pripada značajno područje.

Sistemi centralnog podmazivanja sa jednim vodom (jednovodni sistemi) u standardnim izvedbama su potrošački sistemi. To znači, da se jednom upotrebljena (dozirana količina maziva više ne vraća u sistem, mazivo ostaje u sklopovima i elementima postrojenja.

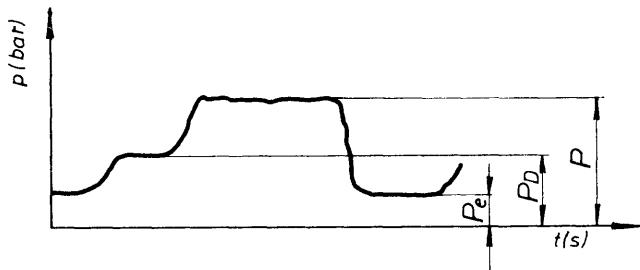
Princip rada (sl. 7) jednovodnih sistema, bez obzira na različita konstruktivna rešenja pojedinih elemenata sistema, usled različitih zahteva i različitih sredstava za podmazivanje, ostaje nepromjenjen, a on se sastoji u sledećem:



Sl. 7. - Hidraulična šema jednovodnog programskega sistema za centralnog podmazivanja

Aktiviranjem pumpe (1), u potisnoj instalaciji (2) raste pritisak do veličine "pd" (sl. 8) potrebne za aktiviranje ventila za doziranje (3), iz kojih se preko sekundarnih vodova (4), mestima podmazivanja, predaje određena količina maziva. Kod jednovodnih sistema, mesta trenja se nepodmazuju istovremeno, već pojedinačno, jedno za drugim, u zavisnosti od redosleda aktiviranja dozirnih ventila. Vreme doziranja tj. podmazivanja, svih mesta trenja je kratko, a njegova dužina zavisi od broja dozirnih ventila. Po završetku doziranja (rada svih dozatora), pritisak u instalaciji raste do vrednosti "p", koja se registruje na ventilu za ograničenje pritiska (5) (elektropritisni prekidač), koji je strujno vezan sa motorom pumpe.

Kada ventil (5) reaguje i isključi pogonski agregat, nastaje pad pritiska u celoj instalaciji, usled čega se preko razvodnog ventila 3/2 (6) zaostala količina maziva vraća u rezervoar. Ventil za rasterećenje (7) zadržava izvesnu količinu maziva u instalaciji pod pritiskom "pe" potrebnim da se nova količina maziva dovede u dozirni ventil i spreči rad pumpe na prazno. Vreme promene maziva u dozirnom ventilu, zavisi od konstruktivnih karakteristika istog i viskoziteta maziva. Posle zamene maziva u ventilima za doziranje, sistem je kao celina spremjan za rad. Upravljanje jednovodnim sistemom je preko komandnog bloka (8), kojim se vrši izbor: vremena pauze ili brojanje radnih ciklusa postrojenja koje se podmazuju. U rezervoaru aggregata smešten je električni merač nivoa (9), koji je preko komandnog bloka povezan sa signalizacijom za praćenje procesa podmazivanja.



Sl. 8. - Rasporед pritiska u ciklusu podmazivanja

Jednovodni sistemi se, u zavisnosti od konstruktivnih karakteristika pogonskog aggregata i ventila za doziranje, primenjuju tamo gde je potrebno podmazati do 6000 mesta trenja sa različitim ležišnim otporima (protivpritiscima) do 25 bari i sa protokom do $1000 \text{ cm}^3/\text{min}$.

Jednovodni sistemi su, pre svega, našli primenu za podmazivanje sledeće opreme:

- alatnih mašina,
- tekstilnih mašina,
- mašine za pakovanje, i
- mašine za štampanje.

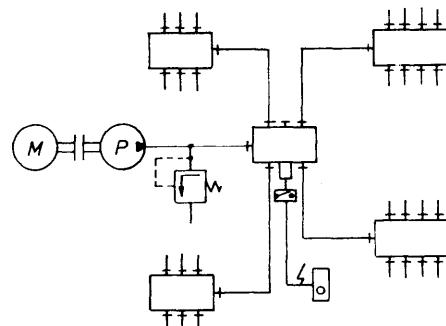
Podmazivanje jednovodnim sistemima, je najčešće primjenjen postupak zbog sledećih prednosti:

- tačno doziranje malih količina maziva, zahvaljujući familiji dozatora,
- podmazivanje velikog broja mesta trenja sa jednim pumpnim agregatom,
- mogućnost proširenja ili smanjenja familije postojećih sistema sa malim ulaganjima,
- relativno jednostavna konstrukcija i montaža sistema na željeno postrojenje,
- mogućnost izbora upravljanja procesom podmazivanja, i
- niski investicioni troškovi po mestu podmazivanja, sa jednostavnim održavanjem.

Navedene prednosti jednovodnih sistema omogućavaju proširenje područja primene istih, uz snižavanje ukupnih troškova poslovanja usled povećanja stepena pouzdanosti i efektivnosti sredstava rada.

5. JEDNOVODNI SISTEMI SA PROGRESIVnim RAZVODNICIMA ZA PODMAZIVANJE SA ULJIMA I MASTIMA

Pumpa potiskuje mazivo kroz jedan glavni vod do progresivnih razvodnika (sl. 9). Oni imaju više klipova koji rasporedjuju mazivo na više mesta u tačno određenim količinama (sl. 10).

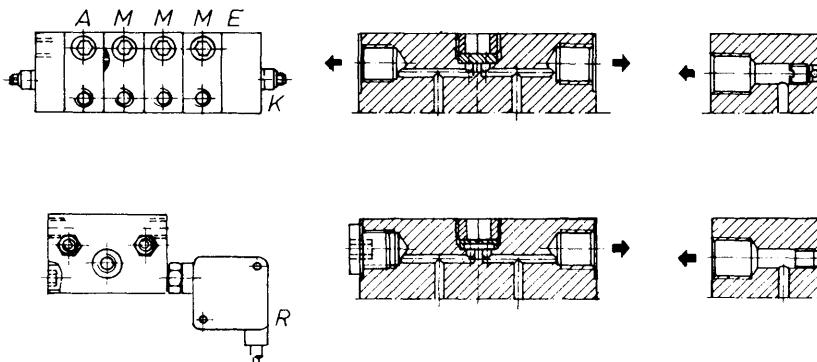


Sl. 9. - Šema centralnog podmazivanja sa progresivnim razvodnicima

Primenjuje se za podmazivanje do preko 100 mesta, udaljenosti do 150 m, pumpom pritiska do 400 bar.

Progresivni razvodnik (sl. 10) sastoji se od više (najmanje 3) medusobno pričvršćenih pojedinačnih segmen-

enata koji se uzajamno zaptivaju. Ovi segmenti se izrađuju kao početni (A), srednji (M) i krajnji (E). Svaki segment ima klip. Segment (E) ima isturenu kazaljku (K),



Sl. 10. - Progresivni razvodnik i mogućnost isključivanja pojedinih grana

koja pokazuje kretanje klipa. Krajnjim prekidačem (T) postavljenim na razvodniku može se upravljati i kontrolisati uređaj za podmazivanje. Pokazivače maksimalnog pritiska (R), moguće je ubaciti na svaki razvodnik. Pritisak reagovanja pokazivača mora uvek da bude veći od pogonskog pritiska uređaja.

Progresivni razvodnici se upotrebljavaju na alatnim mašinama, mašinama za pokazivanje, prese, makaze, mašine za obradu drveta, itd.

Kontrola podmazivanja je moguća preko kontrole protoka maziva, kroz pokazivač kretanja na razvodniku i daljinskom kontrolom preko krajnjeg prekidača i pokazivača kretanja zajedno sa električnim upravljanjem.

Upravljanje sistemom može da bude ručno, pneumatsko, električno, upravljanje sa vremenskim pauzama podmazivanja, itd.

Prednosti ovog sistema podmazivanja su mala cena koštanja, zatim samo jedan glavni vod, jednostavna pumpa i jednostavno izvodjenje razvodnika. Više grupa za podmazivanje sa progresivnim razvodnicima možemo upotrebom ventila za zatvaranje za pumpu zatvoriti i da time pojedine grupe budu isključene iz sistema.

6. DOVODNI SISTEM ZA PODMAZIVANJE SA MASTIMA

Uredjaji za centralno podmazivanje sa dva glavna voda primenjuju se uglavnom u topionicama, valjaonicama, rudnicima, elektranama, ciglanama, fabrikama cementa, gradjevinskim mašinama, itd. za podmazivanje mašina i uređaja sa velikim brojem mesta za podmazivanje (do preko 1000).

Na sl. 11 dat je šematski prikaz dvovodnog sistema. Uredjaj se sastoji iz pumpe (1) pritiska do 400 bar. jednog 4/2 razvodnika, ili dva 3/2 razvodnika (4) za presmeravanje, dva glavna voda (5), razvodnika (3) koji se postavljaju blizu mesta podmazivanja, vodova (2) koji dovode mazivo na mesto podmazivanja, uključnog aparata (6) na kraju vodova (5), manometra (7) i komande. Pumpa (1) treba da se štiti od previškog pritiska ventilom za rasterećenje (8).

Prednosti dovodnog sistema:

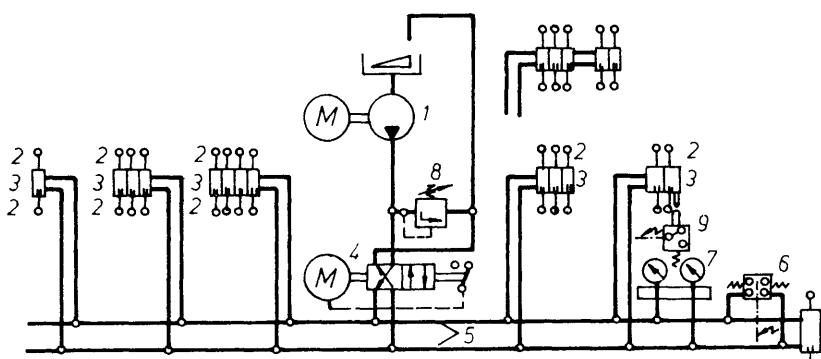
- količina doziranja može da se prilagodi različitoj potrebi mesta podmazivanja za mazivom,
- količina doziranja ne zavisi od protiv pritiska,
- moguće je, u svako doba, priljučenje novih mesta podmazivanja ili smanjenje broja mazivih mesta,
- primenom dva 3/2 razvodnika oba glavna voda su rasterećena za vreme pauze podmazivanja, pa je potreban manji pritisak pumpe, nego kod voda koji je pod pritiskom za vreme pauze (sl. 12),
- moguće je kontrola kritičnih mesta podmazivanja pomoću krajnjih prekidača (9), kontrolom ispušta razvodnika (3), sl. 11,
- u zavisnosti od pumpe mogu se podmazivati više od 1000 mesta na udaljenosti oko 100 m (čak i do 150 m),
- sistemom se može uključivati potpuno automatski sa podešenim pauzama podmazivanja,
- za automatsko upravljanje podmazivanjem firma DELIMON je razvila aparat za uključivanje SG-a, koji u zavisnosti od diferencijalnog pritiska na kraju oba voda, uvodi presmeravanje (sl. 12). U zavisnosti od temperature maziva i dimenzija vodova automatski se uspostavlja optimalni radni pritisak, što opet znači da pumpa nije opterećena više nego što je dozvoljeno.

Jednostavna, funkcionalna kontrola kroz prekidač na razvodniku ili daljinska kontrola, mali gabariti razvodnika.

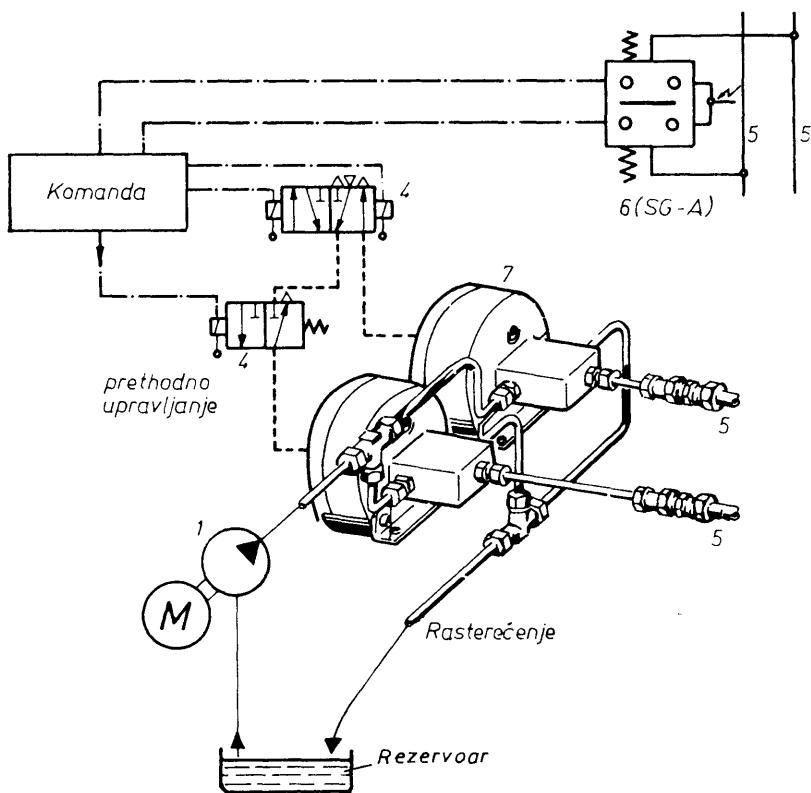
SHP – MIXER

PROIZVODAC

Zavodi »Crvena zastava«
EMAP OOUR »MAŠINE«



Sl. 11. - Šema uredjaja za centralno podmazivanje sa dva glavna voda



Sl. 12. - Elektro-pneumatsko upravljanje preko dva 3/2 razvodnika

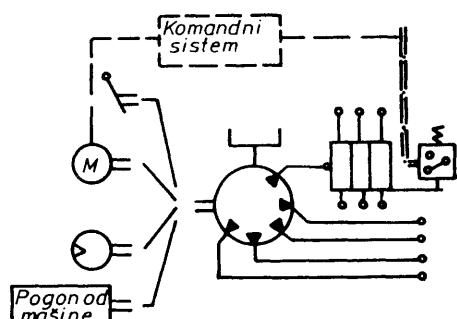
7. VIŠEVODNI SISTEMI CENTRALNOG PODMAZIVANJA SA ULJEM ILI MAŠĆU

Viševodni sistem za centralno podmazivanje nalazi primenu tamo gde se dovodi manja količina maziva u kratkim vremenskim razmacima, odnosno, za podmazivanje manjih postrojenja, pojedinačnih mašina kao i manjih grupa mašina i uredjaja. Kod ovih sistema (viševodnih), maziva

se iz pumpe preko većeg broja isprusta (vodova) u određenim (doziranim) količinama šalju direktno do mesta trenja nepovratno. Osim toga, mesta trenja su po pravilu različita, tako da dva, ne zahteva ju u toku eksploatacije iste količine maziva, što znači, treba dovesti sistemom najmanju količinu maziva koju odredjeno mesto zahteva, a koja je dovoljna za kvalitetno podmazivanje.

Maksimalni broj mesta trenja do kojih se direktno doprema mazivo iz pumpe ograničen je mogućnostima pumpe, tj. njenim konstruktivno-tehnološkim parametrima i iznosi 36. Primenom progresivnih razvodnika moguće je dalje povećanje broja mesta za podmazivanje.

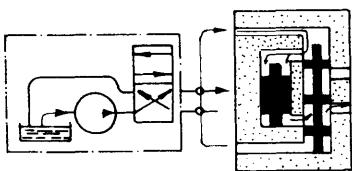
Maksimalna dužina voda od pumpe do mesta za podmazivanje u funkciji je od gustine i tečljivosti maziva, od poprečnog preseka potisnog voda, protoka i temperature, a kreće se od 20 do 40 m. Pri velikoj dužini potisnog voda otpor proticanju tj. otpor trenja je veći od napora pumpe, odnosno, veći je od pritiska koji pumpa može da savlada.



Sl. 13. - Hidraulička šema viševodnog sistema za centralno podmazivanje

P O S T R O J E N J A V I Š E V O D N O G S I S T E - M A C E N T R A L N O G P O D M A Z I V A N J A

Postrojenja viševodnog sistema za centralno podmazivanje sastoje se od pumpe, cevnog (crevnog) razvoda, progresivnog razvodnika (redje), priključaka i uredjaja za kontrolu mesta podmazivanja. Tipizirane su osnovne karakteristike nekoliko tipova pumpi ovog sistema.



Sl. 14. Šema rada proporcionalnog razvodnika

Primenom progresivnog razvodnika može se povećati broj mesta podmazivanja koja se snabdevaju mazivom iz pumpe. Razvodnici se izradjuju sa dva, tri, četiri i više ispusta.

Svaki isput je tačno doziran tako da svako mesto podmazivanja dobija deo ($1/2$, $1/3$, $1/4$ itd.) od količine maziva koja je poslata pumpom u odgovarajući cevovod. Količina maziva koju šalje razvodnik po isputu iznosi $0,4 \text{ cm}^3/\text{hod}$. Povezivanjem npr. dva ispusta u jedan udvostručava se količina maziva u odnosu na ostale ispuste (sl. 14).

Kontrola podmazivanja se izuzetno vrši sa aparatom za kontrolu protoka neposredno ispred mesta podmazivanja.

Moguće je vršiti i daljinsku kontrolu pomoću krajnjeg tastera povezanog sa progresivnim razvodnikom i električnom komandom.

P R I M E N A, P R E D N O S T I I N E D O S T A T C I V I Š E V O D N O G S I S T E M A C E N T R A L N O G P O D M A Z I V A N J A

Ovaj sistem podmazivanja primenjuje se za podmazivanje: presa, makaza, bagera, kranova, dizalica, transportera, alatnih mašina, mašina za pakovanje, turbina, gradjevinskih mašina, drobilica kamena, mašina za obradu drveta, topionica, valjaonica, rudarskih mašina, elektrana, fabrika cementa i dr.

Prednosti sistema su:

- moguć je pogon pomoću mašine koja se podmazuje, te se može odstvuati od dodatnog pogona i komandi,
- kod većeg broja tipova pumpi doziranje je podešljivo i odvojeno za svako mesto podmazivanja posebno,
- trajni pogon pumpe sa veoma malim količinama maziva,

- jednostavna kontrola funkcionisanja,
- relativno niži troškovi postrojenja u odnosu na ostale sisteme centralnog podmazivanja,
- pouzdanost podmazivanja je apsolutna.

Nedostatci sistema su:

- pri velikim udaljenostima mesta za podmazivanje od pumpe nastaju mnogi provodnici maziva,
- broj mesta podmazivanja je uslovljjen tačno odredjenom tipu pumpe, te je proširenje moguće samo pomoću progresivnog razvodnika,
- drugo vreme oslobođanja pri velikom otporu cevovoda (na primer pri radu u zimskom periodu, dugački provodnici za napajanje, mali poprečni preseci, čvrsta mast).

8. ZAKLJUČCI

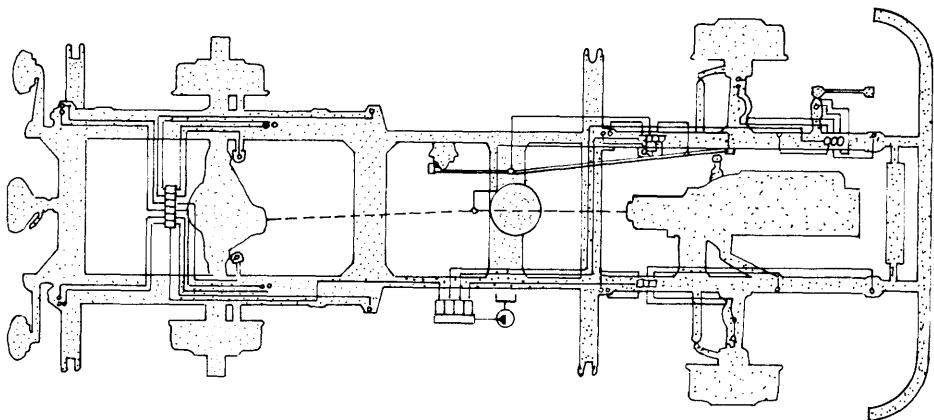
Klasifikacija postupka i opreme koja se primenjuje za podmazivanje raznovrsnih sredstava rada, predstavlja prvi korak, neophodan za: sistematizaciju i realno sagledavanje mogućnosti sistema podmazivanja u konkretnom proizvodnom okruženju i analizu sa različitim aspekata koji obuhvataju:

- funkcionalnu strukturu komponenata sistema,
- mogućnost sistema, tj. broj potisnih vodova, broj mesta trenja, pritisak, protok, vrsta pogona, itd.,
- mogućnosti upravljanja procesom podmazivanja, i
- efekte podmazivanja.

Navedeni pokazatelji uz troškove podmazivanja, pokazuju koliko su opravdani naporci koji se čine pri projektovanju i izradi domaćih sistema za centralno podmazivanje. Ugradnjom sistema centralnog podmazivanja (sl. 15). U opremu domaće mašinogradnje, znato se povišava njena tehnološka efikasnost, pouzdanost i ekonomičnost u uslovima eksploracije, pri čemu se ostvaruju značajne uštede kroz:

- smanjenje neposrednog rada koji se troši na poslovima pripreme maziva i neposrednog podmazivanja,
- racionalno trošenje sredstava za podmazivanje, jer se isključivo troši tačno predviđena količina za svako pojedinačno mesto trenja koje se podmazuje,
- kraće zastoje proizvodne opreme zbog podmazivanja i nižih troškova održavanja, i

- povećanje veka eksploracije i tačnosti u radu elemenata proizvodnog postrojenja.



Sl. 15. Šema centralnog podmazivanja kamiona

Koristeći osnovne principe za konstrukciju sistema centralnog podmazivanja i primenom principa maksimalno moguće unifikacije i standardizacije elemenata, moguće je dobiti različite sisteme centralnog podmazivanja sa najmanjim mogućim brojem standardnih komponenata a time i mogućnost podmazivanja najrazličitije proizvodne opreme.

LITERATURA

- 1 IVKOVIĆ, B.: Osnovi tribologije, Gradjevinska knjiga, Beograd, 1983.
- 2 ŽUGIĆ, SAVIĆ: Analiza mogućnosti uvodenja centralnih sistema za podmazivanje na kritičnim postrojenjima Železare Zenica, Metalurški institut "Hasan Brkić", 1973.
- 3 IVKOVIĆ B.: Produktivnost i ekonomičnost u funkciji triboloških procesa, *Tribologija u industriji*, 4/79.
- 4 Tribološki procesi kod kliznog ležišta, D. Mihailo-

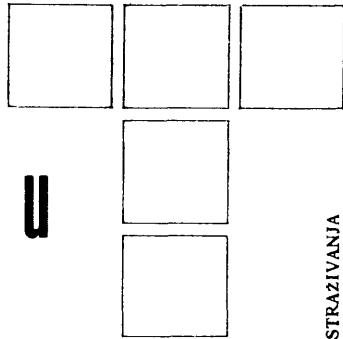
vić, *Tribologija u industriji*, 4/79. od 17 - 22 str.

- 5 KOENING I AUTORI: Opadanje pritiska masti u uredaju za podmazivanje, NLGI Spokesman.
- 6 SAVIĆ V.: Proračun pada pritiska masti pri strujanju kroz cevovod centralnog sistema za podmazivanje, Mašinstvo 4/77.
- 7 Katalozi firmi: DELIMON, JOSEPH VUGELE, MECALFLUID, BIJUR i dr.

VIDOSAV TIMOTLJEVIĆ, dipl. maš. ing. načelnik Konstruktivno tehnološkog odjeljenja "novih mašina", OOUR "Mašine".

LJUBIŠA JANKOVIĆ, dipl. maš. ing. samostalni konstruktor specijalnih mašina u Odelenju "novih konstrukcija" OOUR "Mašine".

DUŠAN KOSTIĆ, dipl. maš. ing. glavni konstruktor za hidrauliku i pneumatiku u Odelenju novih konstrukcija OOUR "Mašine".



Topografija obradjene površine struganjem u funkciji ulaznih i poremećajnih faktora obradnog sistema i mogućnost upravljanja procesom

1. UVOD

Topografija obradjene površine ima dosta veliki značaj i uticaj na tehnoekonomske efekte obradnih procesa. Zbog toga se jasno nameće značaj i ukazuje na potrebu da se ovom problemu posveti znatna pažnja, jer i male intervencije u procesu mogu rezultirati vrlo visokim efektima.

U vezi sa tim neophodno je detaljno ispitivati topografiju obradjene površine sa aspekta svih relevantnih uticajnih faktora procesa obrade, koji dovode do raznih vrsta grešaka geometrije površina.

Pored makro-geometrijskih grešaka oblika i valovi - tosti posebno su interesantne mikro-geometrijske greške hrapavosti površina. Ove greške se javljaju kao posledica režima rezanja, oblika alata, nepravilnosti površina alata, osobina materijala alata, materijala obradka i mnogih drugih nekontrolisanih uticaja na proces obrade.

Najfinija površina nije uvek najbolja, a nepotrebno fino znači i nepotrebno skupo.

Praksa je pokazala da se kod hidrauličnih cilindara naprimer, hrapavosti od ($N7$) pokazala kao optimalna.

Hrapavije površine pokazuju brže habanje zaptivnih elemenata, a kod finijih površina skida se film ulja za podmazivanje pa dolazi do lepljenja i razaranja zaptivnih elemenata.

Osim toga, nepotrebna finoća obradjene površine za mali interval (R_a) zahteva znatno duže vreme obrade, a za posledicu ima nepotrebne troškove.

Stoga je apsolutno nepotrebno iz straha, ili neznanja, da se propisuju ili izvode suviše fine površine.

U ovom saopštenju se iznose iskustva stečena u proizvodnim uslovima RO "HIDRAULIKA" - IHP "PRVA PETOLETKA", Trstenik, i ukazuje na mogućnost efikasne analize uticaja ulaznih i poremećajnih faktora procesa na kvalitet obradjene površine.

OBRADNI SISTEM:

Proces obrade struganjem izveden je u realnim (proizvodnim) uslovima proizvodnje u obradnom sistemu:

- *Mašina:* NC strug, typ SL-3 "MORY SEIKI" - JAPAN, sa kontinualnom promenom kretanja.
- *Alat:* Okretna rezna ploča TPMR kvalitet TNC S+, "SINTAL" - ZAGREB.
- *Merna instrumentacija:* "Talysurf 5M" - instrument za merenje parametara hravavosti, firme "Taylor Hobson" - Engleska.
- *Predmet obrade:* Čaura $\varnothing 70/\varnothing 58 \times 50$ mm, materijal: č.4150.

2. ANALIZA STRUKTURE OBRADNOG PROCESA

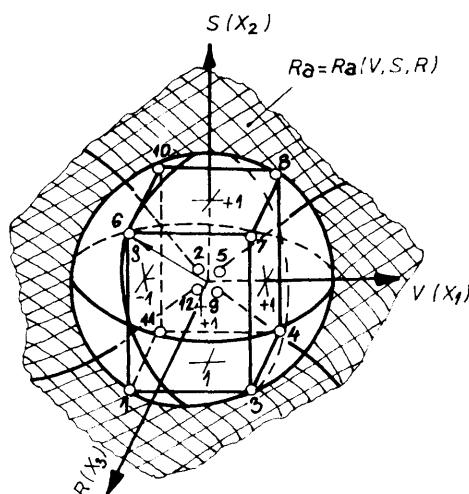
Na obradni proces u proizvodnim uslovima utiče vrlo veliki broj kontrolisanih i nekontrolisanih ulaznih faktora, što ga čini jako složenim za matematičko modeliranje i analizu.

Efikasna analiza i modeliranje ovako složenih obradnih procesa moguća je jedino, korišćenjem savremenih eksperimentalno-analitičkih metoda sa novom teorijom regresione i disperzione analize.

U opštem slučaju skup svih mogućih eksperimenta u istraživanju nekog procesa ili sistema, predstavlja eksperimentalni hiper prostor u kome se prema veličinama pojedinih koordinata (tačaka) dobijaju hiper površi različitog oblika. Međutim, eksperimentatora zanimaju samo neke od ovih hiper površi, a to su one koje su interesantne sa stanovišta izučavanja za praktično korišćenje. Za takve slučajeve obično se poznaju intervali interesantnih koordinata hiper prostora čime se isti izoluje na željeni skup hiper površi.

Tako izolovani hiper prostor ogradiju se sferom odgovarajućeg poluprečnika (3), a zatim se u okviru istog

određuju položaji gde će biti locirane mernne tačke (Sl. 1). To se postiže specijalnom planom matricom (X) koja obezbeđuje: optimalni raspored mernih tačaka, minimalni broj mernih tačaka, maksimalnu količinu informacija o procesu, minimalnu disperziju rezultata merenja kao i efikasnu matematičku obradu.



Sl. 1. - Izolovani hiper prostor

Prema rezultatima merenja u određenim tačkama izolovanog prostora dobijaju se neophodne informacije za analizu i modeliranje istog, čime se dobija veza između relevantnih ulaznih faktora u proces i izlaznih veličina iz procesa u obliku odgovarajuće hiper površi. Dalji posao se odvija na istraživanju i analizi topografije takve površi u smislu ispitivanja i određivanja domena za optimalno upravljanje procesom.

3. EKSPERIMENTALNI REZULTATI I NJIHOVA MATEMATIČKA OBRADA

Za relevantne koordinate vektora "ulaza" obradnog procesa (\vec{X}) odabrane su: brzina (V), pomak (S) i geometrija rezne pločice - radijus (R) kao i odgovarajuća združena dejstva momentnih varijabli.

Za "izlaz" obradnog procesa - funkcija cilja uzet je parametar kvaliteta obradjene površine (R_a) tj.

$$\emptyset_c = R_a.$$

U tabeli (T-1) data je plan matrica obradnog procesa sa ukupnim brojem od $N = 12$ eksperimenta, od kojih su $n_o = 4$ u centralnoj tački plana. Sve varijable su kodane sa tri nivoa do kojih je srednji dobijen na osnovu sopstvenih ispitivanja i literaturnih podataka a gornji

i donji nivo varijacijom srednjeg nivoa.

Za matematičko modeliranje zavisnosti polazi se od kodiranog oblika stepena funkcije:

$$\bar{Y} = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 + b_{12} x_1 x_2 + b_{13} x_1 x_3 + b_{23} x_2 x_3 + b_{123} x_1 x_2 x_3 \quad (1)$$

Redosled eksperimenata je rondoniziran u vremenu prema tablici slučajnih brojeva.

U svakom od (N) eksperimenta meren je parametar hravaposti (R_a) u tri različita položaja obratka kako bi se došlo do tačnijih podataka koji su upisani u tabeli (T-1).

Talasni filter mernog instrumenta omogućio je prigušenje (filtriranje) parametara valovitosti površine, tako da je u rezultat merenja uzet samo parametar hravaposti (R_a) [2].

Određivanje koeficijenata regresije $b_0, b_i, b_{ij}, b_{ijk}$, $i = 1, 2, 3$ vrši se po proceduri [3], a prema podacima iz tabele (T-1). Njihovi izrazi u matričnom obliku glase:

$$b = (X^* X)^{-1} X^* \bar{Y} \quad \text{gde su:}$$

(X) - ortogonalna plan matrica iz tabele T-1;

(X^*) - transponovana matrica matrice (X);

$(X^* X)^{-1}$ - inverzna matrica proizvoda matrica ($X^* X$)

Primenjujući prethodnu proceduru dobija se sledeći oblik jednačine (1):

$$\begin{aligned} \bar{Y} = & 1,2826 - 0,390x_1 + 0,7622x_2 - \\ & - 0,0469x_3 - 0,0487x_1 x_2 + 0,0342x_1 x_3 + \\ & + 0,0158x_2 x_3 + 0,0637x_1 x_2 x_3 \end{aligned} \quad (2)$$

Ocena signifikantnosti parametara (koeficijenata) regresije modela (2) vrši se po proceduri [3] postupkom disperzione analize kroz nekoliko uzastopnih ciklusa od kojih se ovde pokazuje jedan.

P R V I C I K L U S:

Na osnovu podataka iz tabele T-1. formira se dijagram disperzije rezultata merenja za svaki od faktora (x_i), (x_{ij}), (x_{ijk}) (Sl. 2).

Faktori procesa: (x_2), ($x_1 x_2 x_3$) i ($x_2 x_3$) imaju najveće razlike medijana (ΔM_e), pa se za iste ispituje signifikantnost u prvom ciklusu. Prethodno se formira tabela (T-2).

Signifikantnost ovih faktora se ocenjuje pomoću "t" kriterijuma Studenta: Za $t_{ri} = \frac{\bar{Y}_i - \bar{Y}_{\text{c}}}{S_p} > t_t$ faktor procesa je značajan, a za $t_{ri} < t_t$ faktor procesa nije značajan za proces.

$$B_i = \frac{\bar{Y}_1 + \bar{Y}_3 + \dots + \bar{Y}_N}{m} - \frac{\bar{Y}_2 + \bar{Y}_4 + \dots + \bar{Y}_{n-1}}{m}$$

$$S_p = S \sqrt{\frac{1}{n_j}} ; \quad S = \frac{\sum \bar{Y}_j}{n_j - 1} - \frac{(\sum \bar{Y}_j)^2}{n_j(n_j - 1)}$$

TABELA 1.

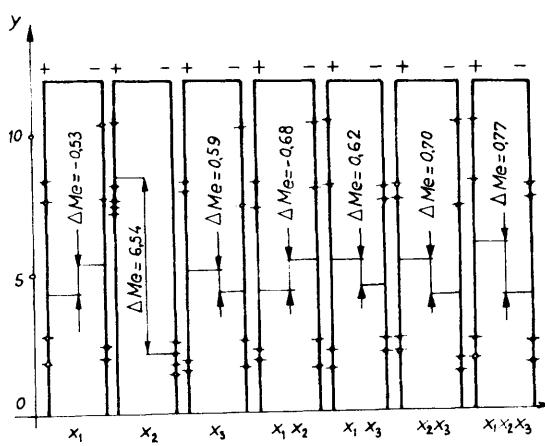
redni broj eksperimenta	Uzlazni hiper prostor								Izlazni hiper prostor						
	prirodne prom. nivoi	V (mm)	S (mm)	R (mm)	Višefaktorni plan $(2^k \cdot n_0)$; $k=3$; $n_0=4$					prirodna izlazna prom. $R_a = \bar{Y}$					
	gornji (+1)	138	0,428	0,8											
	srednji (0)	113	0,214	0,4											
donji (-1)		92	0,107	0,2											
kodirane prom. redoslijed eksper-		X_0	X_1	X_2	X_3	$X_1 X_2$	$X_1 X_3$	$X_2 X_3$	$X_1 X_2 X_3$	Y_1	Y_2	Y_3	\bar{Y}	$\ln \bar{Y}$	
tovanja		1	+1	-1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	1,86	1,74	1,80	1,80	0,58778
2		11	+1	0	0	0	0	0	0	0	3,12	3,20	2,68	3,00	1,09861
3		3	+1	+1	-1	+1	-1	+1	-1	-1	1,80	1,76	1,63	1,73	0,54812
4		7	+1	+1	-1	-1	-1	-1	+1	+1	2,00	1,80	2,16	1,99	0,68813
5		9	+1	0	0	0	0	0	0	0	3,10	3,14	2,91	3,05	1,11514
6		2	+1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	-1	7,80	7,90	9,14	8,28	2,11384
7		1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	8,10	8,30	8,95	8,45	2,13416
8		5	+1	+1	+1	-1	+1	-1	-1	-1	7,50	6,80	6,97	7,07	1,95586
9		12	+1	0	0	0	0	0	0	0	3,15	3,25	2,45	2,95	1,08180
10		6	+1	-1	+1	-1	-1	+1	-1	+1	8,40	11,96	10,41	10,25	2,32727
11		8	+1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	-1	1,80	1,71	2,01	1,84	0,60976
12		10	+1	0	0	0	0	0	0	0	2,92	3,28	3,10	3,10	1,13140

 B_i - jačina dejstva faktora na proces, t_t - tablična vrednost za broj stepeni slobode (f) i nivo značajnosti (α),

$$f = n_j - r$$

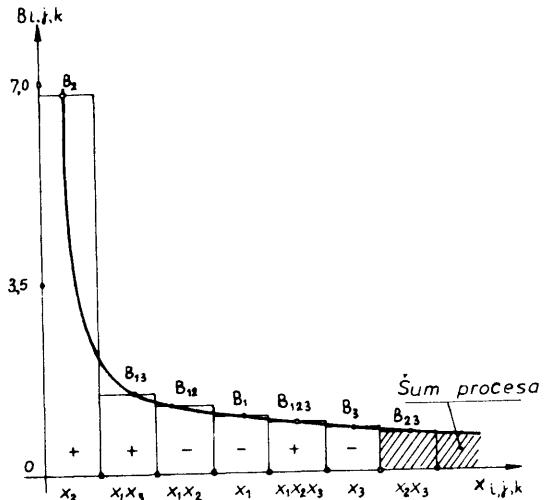
 n_j - broj eksperimenta u j - tom polju tablice (T-2), r - broj polja u tablici (T-2).

$B_2 = 6,91$, $B_{123} = 0,89$, $B_{23} = 0,42$, $t_{r2} = 18,42$, $t_{r123} = 2,37$, $t_{r23} = 1,18$. Za $f = 8$, $\alpha = 10\%$, $t_t = 1,860$. Kod faktora (x_2) i $(x_1 x_2 x_3)$ jačina dejstva je značajna jer je $t_{ri} > t_t$, pa isti nije signifikantan na proces i može se isključiti iz matematičkog modela (2).



Sl. 2. Dispersija rezultata merenja

Primenom izložene procedure dobijaju se sledeće vrednosti:



Sl. 3. Selekcija i rang dejstva "ulaza" na "izlaz" procesa

TABELA 2.

T-2		
FAKTORI x_i	$+x_2$	$-x_2$
$+(x_1 x_2 x_3)$	$\bar{Y}_7 = 8,45$ $\bar{Y}_{10} = 10,25$ $\sum \bar{Y}_j = 18,70$ $\bar{Y}(1) = 9,35$	$\bar{Y}_1 = 1,80$ $\bar{Y}_4 = 1,99$ $\sum \bar{Y}_j = 3,79$ $\bar{Y}(5) = 1,89$
$-(x_1 x_2 x_3)$	$\bar{Y}_6 = 8,28$ $\bar{Y}_8 = 7,07$ $\sum \bar{Y}_j = 15,35$ $\bar{Y}(2) = 7,67$	$\bar{Y}_3 = 1,73$ $\bar{Y}_{11} = 1,84$ $\sum \bar{Y}_j = 3,57$ $\bar{Y}(6) = 1,78$
$+(x_2 x_3)$	$\bar{Y}_7 = 8,45$ $\bar{Y}_{10} = 10,25$ $\sum \bar{Y}_j = 18,70$ $\bar{Y}(3) = 9,35$	$\bar{Y}_4 = 1,99$ $\bar{Y}_{11} = 1,84$ $\sum \bar{Y}_j = 3,83$ $\bar{Y}(7) = 1,92$
$-(x_2 x_3)$	$\bar{Y}_8 = 7,07$ $\bar{Y}_{10} = 10,25$ $\sum \bar{Y}_j = 17,32$ $\bar{Y}(4) = 8,66$	$\bar{Y}_1 = 1,80$ $\bar{Y}_3 = 1,73$ $\sum \bar{Y}_j = 3,53$ $\bar{Y}(3) = 1,76$

Posle završenog prvog ciklusa izdvajanja značajnih faktora sledi drugi i naredni ciklus sve do trenutka kada svi faktori modela postanu nesignifikantni pri nivou značajnosti (α). U ovom slučaju proces selekcije se završava u trećem ciklusu posle čega se formira dijagram sa rangom uticaja pojedinih faktora na proces (sl. 3).

Posle završenog procesa selekcije ulaznih faktora procesa iz matematičkog modela se isključuje faktor ($x_2 x_3$) i konačno se dobija:

$$= 1,2826 - 0,0390x_1 + 0,7622x_2 - 0,0469x_3 - \\ - 0,0487x_1x_2 + 0,0342x_1x_3 + 0,0637x_1x_2x_3 \quad (3)$$

Ocena adekvatnosti modela (3) izvršena je primenom statistike Fišera (F).

Kako je računska vrednost statistike Fišera (F_r) za usvojeni nivo značajnosti (α) i stepena slobode k_1 , k_2 znatno manja od teorijske (F_t) ($F_r = 0,5873 < F_t = 9,01$) zaključuje se da je model (3) adekvatan i dobro reprezentuje proces.

Intervali pouzdanosti matematičkog modela (3) su:

Za eksperimente: 1, 3, 4, 6, 7, 8, 10, 11

$$\bar{Y} \pm t_{fp} \sigma^2(\bar{Y}) = \bar{Y} \pm 0,0238$$

Za eksperimente: 2, 5, 9, 12

$$\bar{Y} \pm t_{fp} \sigma^2(\bar{Y}) = \bar{Y} \pm 0,0100$$

Matematički model (3) iz kodiranog oblika prevodi se u oblik sa prirodnim koordinatama preko jednačine transformacije (4). Konačno se dobija matematički model

(5) u obliku stepene funkcije $R_a = R_a(V, S, R)$

$$X_i = 2 \frac{\ell_n X_i - \ell_n X_{imax}}{\ell_n X_{imax} - \ell_n X_{ir,in}} + 1 \quad (4)$$

$$(i = 1, 2, 3)$$

$$Ra = \frac{2,538 \cdot V^{0,420} \cdot S^{0,2525} \cdot (V-0,3715)}{R^{-0,6538} | \ell_n V (\ell_n S + 1,9138) - 4,724 \ell_n S - 9,1462 |} \quad (5)$$

ZAKLJUČCI

1. Matematički model u obliku (5) dobro reprezentuje obradni proces i vezu ulaznih faktora sa funkcijom cilja (R_a), jer združena dejstva varijabli procesa obezbeđuju znatno bolje prilagodjavanje hiper površi (R_a) u odnosu na merne tačke.

2. Izvršena analiza signifikantnosti ulaznih faktora na proces i izlaznu karakteristiku (R_a) omogućuje uvid u unutrašnju strukturu i zakonitost unutar procesa što ima izuzetan značaj za proces i njegovu adaptaciju stvarnim uslovima.

3. Dobijeni matematički model (5) ima takodje veliki značaj i za upravljanje procesom preko promene koordinata vektora "ulaza" u proces u cilju dobijanja željenih izlaznih karakteristika.

Osim toga, obezbeđuje se i mogućnost dalje analize i istraživanja topografije modelirane hiper površi u cilju pronalaženja optimuma procesa u odnosu na neku od izlaznih karakteristika.

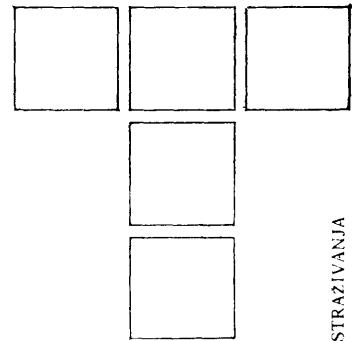
4. U daljim istraživanjima bilo bi interesantno da se pokazanim postupkom izvrši analiza uticaja i drugih faktora obradnog procesa, kako bi se došlo do kompleksnije funkcionalne veze "ulaza" i "izlaza" iz procesa.

LITERATURA

- [1] TAYLOR HOBSON: Exploring surface texture, march 1980.
- [2] TAYLOR HOBSON: Talysurf 5M.prospekt
- [3] STANIĆ J.: Metod inženjerskih merenja, MF Beograd, 1981.
- [4] HADŽIVUKOVIĆ S.: Planiranje eksperimenata, Privredni pregled, Beograd, 1977.
- [5] VUKADINOVIC S.: Teorija matematičke statistike, Privredni pregled, Beograd 1973.

PETAR IVANOVIC, dipl.inž. maš.-Upravnik Alatne pripreme RO "HIDRAULIKA", IHP "PRVA PETOLETKA" - Trstenik

MILOSAV IVANOVIC, dipl.inž.maš. - Šef Biroa tehničke kontrole RO "HIDRAULIKA", IHP "PRVA PETOLETKA" - Trstenik



Kontrola tačnosti obrtanja vratila rotora elektro-pogonskog sistema

(S ruskog preveo: Dr Miodrag Lazić)

Jedan od osnovnih uzroka nastanka vibracija sistema rotor-stator je neuravnoteženost vratila rotora. Najefikasniji metod otklanjanja vibracija, izazvanih neuravnoteženošću obrtnih delova, je metod dinamičkog balansiranja. Osnovni cilj balansiranja je poklapanje centralne (glavne) ose inercije obrtnih masa i ose njihovog obrtanja. Međutim, potpuno otklanjanje zaostale neuravnoteženosti se, na ovaj način, ne ostvaruje. Smanjenje uticaja zaostale neuravnoteženosti na dinamiku sistema može biti dostignuto na račun odredjene izmene krutosti uležištenja vratila rotora. Na primer, krutost oslonaca sa radijalno-aksijalnim ležištima obezbeđuje se formiranjem prethodnog aksijalnog predopterećenja. Veličina sile P_A za formiranje prethodnog aksijalnog naprezanja bira se iz uslova:

$$P_A = F_r \operatorname{tg} \beta + \Delta P_{A1} + \Delta P_{A2}, \quad (1)$$

gde su:

F_r - veličina spoljašnjeg radijalnog opterećenja (radijalna komponenta sile rezanja),
 β - ugao kontakta kuglice sa prstenom ležišta,

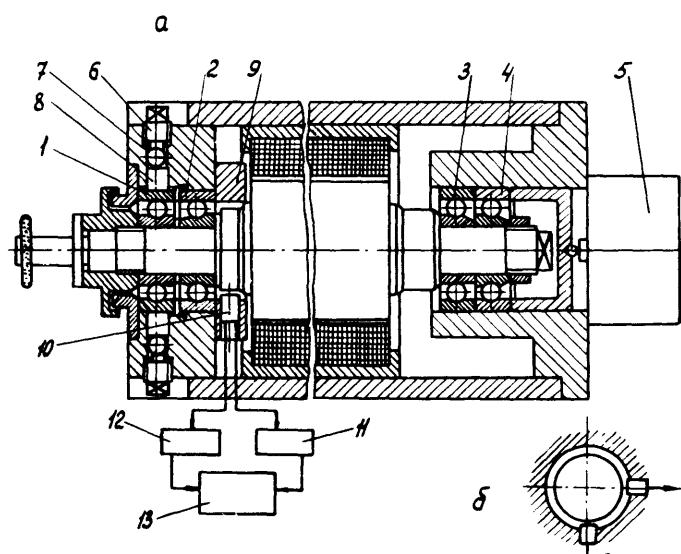
ΔP_{A1} - veća od sledeće dve aksijalne sile:
 a-aksijalna komponenta centrifugalnih sila svih kuglica ležišta ili b-minimalno aksijalno opterećenje amortizovano (prigušeno) žiroskopskim efektom obrtanja kuglica,

ΔP_{A2} - dopunski priraštaj aksijalne sile za savladjivanje neophodne radikalne krutosti oslonaca:

$$0 \leq \Delta P_{A2} \leq P_{Amax} - F_r \operatorname{tg} \beta - \Delta P_{A1},$$

P_{Amax} - maksimalno dozvoljeno aksijalno opterećenje na bazi otpornosti na visoke temperature, ili otpornosti na habanje.

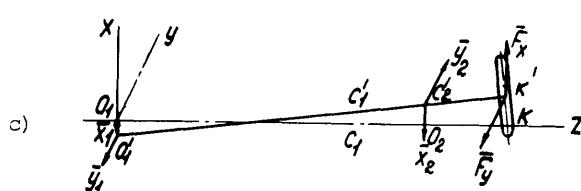
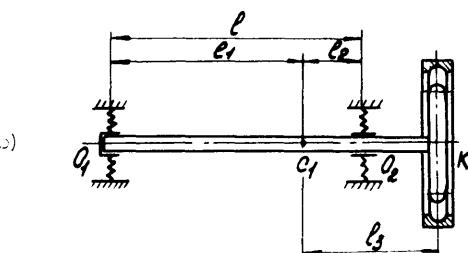
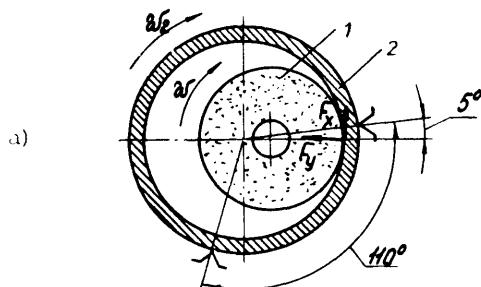
Autori su izveli teorijska i eksperimentalna ispitivanja nove konstrukcije elemenata uležištenja elektro-pogonskih sistema [1] s ciljem da se iznadju mogućnosti kontrole tačnosti obrtanja vratila rotora i poveća vek trajanja ležišta. Rezultati su prikazani u saopštenju [2]. Kao objekat ispitivanja izabran je elektro-pogonski sistem brusilice za brušenje žljebova prstenova ležišta. Iсти se izraduju metodom usecanja pri broju obrta 24000 o/min i nominalnoj pogonskoj snazi 5,5 kW. U prednjem osloncu vratila rotora, umesto dva radijalno aksijalna ležišta, ugradjeno je jedno radijalno i jedno radijalno-



Sl. 1. - Šema elektro-pogonskog sistema: a-opšti prikaz, b-raspored davača 1-radijalno ležište, 2,3,4-radijalno-aksijalno ležište, 5-uredaj za formiranje pred-opterećenja, 6-zavrtanj, 7-kuglica, 8-cilindrični oslonac, 9-poklopac prednjeg oslonca, 10-bezkontaktni induktivni davač, 11,12-elektronski blok za bezkontaktno merenje malih pomeranja, 13-osciloskop

aksijalno ležište, a u zadnjem osloncu postavljena su dva radijalno-aksijalna ležišta po "tandem" sistemu. Kod radijalnog ležišta radijalni zazor se uklanja deformisnjem spoljašnjeg prstena u pravcu pomoćnog kretanja brusne ploče (sl. 1.a). Uvodjenje konstruktivnih izmena obezbeđuje:

- povećanje krutosti prednjeg oslonca u pravcu dejstva radijalne komponente sile rezanja, što se postiže otklanjanjem zazora ili formiranjem radijalnog opterećenja u radijalnom ležištu,
- smanjenje aksijalnog predopterećenja kod radijalno-aksijalnih ležišta, kroz smanjenje ili eliminisanje komponente ΔP_{A2} u jednačini (1). To iz razloga što se potrebna krutost obezbeđuje formiranjem radijalnog opterećenja u radijalnom ležištu,
- mogućnost kompenzacije habanja u procesu eksploatacije elektro-pogonskog sistema blagodareći regulisanju radijalnog opterećenja.



Sl. 2. - a-šema unutrašnjeg brušenja, b-šema sistema vratilo-rotor-brusna ploča, c-šema sile koje dejstvuju na vratilo rotora u procesu brušenja prstena ležišta, 1-brusna ploča, 2-predmet obrade (prsten ležišta)

Pri ispitivanju dinamike elektro-pogonski sistem se prikazuje u vidu krutog rotora postavljenog na elastične oslonce (sl. 2). Pojava zaostale neuravnoveženosti krutog rotora elektro-pogonskog sistema određuje se preko dva vektora disbalansa (vektora koji leže u dve ravni korekcije) i ugla γ između vektora. Dinamičke jednačine krutog rotora, u dva izotropna oslonca, prikazane su u radu [3]. U posmatranom slučaju, kada je prednji oslonac anizotropan, na osnovu teorije kretanja težišta i izmene kinetičkog momenta pri relativnom kretanju u odnosu na težište, jednačine kretanja rotora imaju sledeći oblik:

$$\begin{aligned}
 & \frac{M}{\ell}(\ddot{x}_1 l_2 - \ddot{x}_2 l_1) + c_1 x_1 + c_3 x_2 = \omega^2 (m_1 \epsilon_1 \cos \omega t + \\
 & + m_2 \epsilon_2 \cos \omega t \cos \gamma - m_2 \epsilon_2 \sin \omega t \sin \gamma) + F_x \\
 & \frac{M}{\ell}(\ddot{y}_1 l_2 - \ddot{y}_2 l_1) + c_1 y_1 + c_2 y_2 = \omega^2 (m_1 \epsilon_1 \sin \omega t + \\
 & + m_2 \epsilon_2 \cos \omega t \sin \omega t + m_2 \epsilon_2 \sin \omega t \cos \omega t) + F_y \\
 & \frac{J_p}{\ell}(\ddot{x}_1 - \ddot{x}_2) - \frac{J_e \omega}{\ell}(y_1 - y_2) + c_1 x_1 l_1 + c_3 x_2 l_2 = \\
 & = \omega^2 (m_1 \epsilon_1 s_1 \cos \omega t + m_2 \epsilon_2 s_2 \cos \omega t \cos \gamma - \\
 & - m_2 \epsilon_2 s_2 \sin \omega t \sin \gamma) + F_x l_3 \\
 & \frac{J_p \omega}{\ell}(\dot{x}_1 \dot{x}_2) + \frac{J_e}{\ell}(y_2 - y_1) + c_1 y_1 l_1 + c_2 y_2 l_2 = \\
 & = \omega^2 (m_1 \epsilon_1 s_1 \sin \omega t + m_2 \epsilon_2 s_2 \cos \omega t \sin \omega t + \\
 & + m_2 \epsilon_2 s_2 \sin \omega t \cos \omega t) - F_y l_3
 \end{aligned} \tag{2}$$

U izrazima su:

M - masa rotora; l - rastojanje ležišta; l_1 , l_2 - rastojanja zadnjeg i prednjeg ležišta od težišta rotora; l_3 - rastojanje ose brusne ploče i težišta rotora; c_1 - izotropna krutost zadnjeg oslonca; c_2 , c_3 - krutost prednjeg oslonca u pravcu osa y i x ; ω - frekvencija obrtanja rotora; J_p , J_e - polarni i ekvatorijalni momenti inercije rotora; $m_1 \epsilon_1$, $m_2 \epsilon_2$ - vrednosti neuravnovežene mase (m_1 , m_2) i modula ekscentriteta (ϵ_1 , ϵ_2); s_1 , s_2 - rastojanja ravni u kojima su raspoređene neuravnovežene mase i težišta rotora; F_y , F_x - radijalna i tangencijalna komponenta sile rezanja.

Rešenje sistema jednačina (2) dobija se u sledećem obliku:

$$\begin{aligned}
 x_1 &= a_1 \cos \omega t + a_2 \sin \omega t + b_1 \\
 x_2 &= a_3 \cos \omega t + a_4 \sin \omega t + b_2 \\
 y_1 &= a_5 \cos \omega t + a_6 \sin \omega t + b_3 \\
 y_2 &= a_7 \cos \omega t + a_8 \sin \omega t + b_4
 \end{aligned} \tag{3}$$

gde su:

a_1, \dots, a_8 - konstante, a

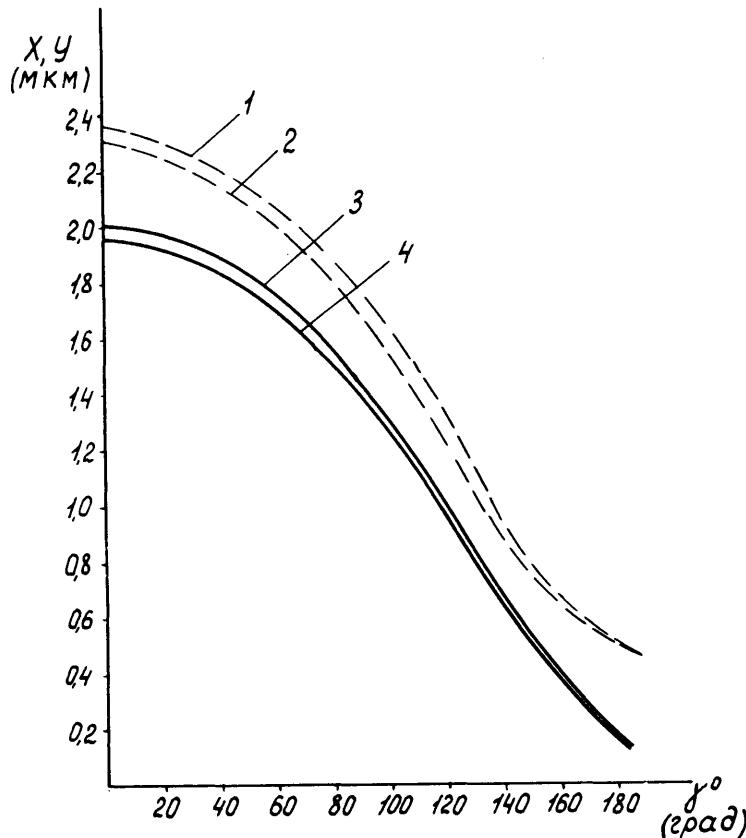
b_1, \dots, b_4 - statičko deformisanje oslonaca vratila.

Na osnovu jednačine (3) dobijene su amplitude oscilovanja vratila rotora u dva uzajamno normalna pravca, pri

$$C_1 = 23 \cdot 10^5 \text{ (N/m)}, C_2 = 16 \cdot 10^5 \text{ (N/m)} \quad \text{i}$$

$$C_3 = 12 \cdot 10^5 \text{ (N/m)}$$

prikazane na sl. 3 u funkciji ugla γ .



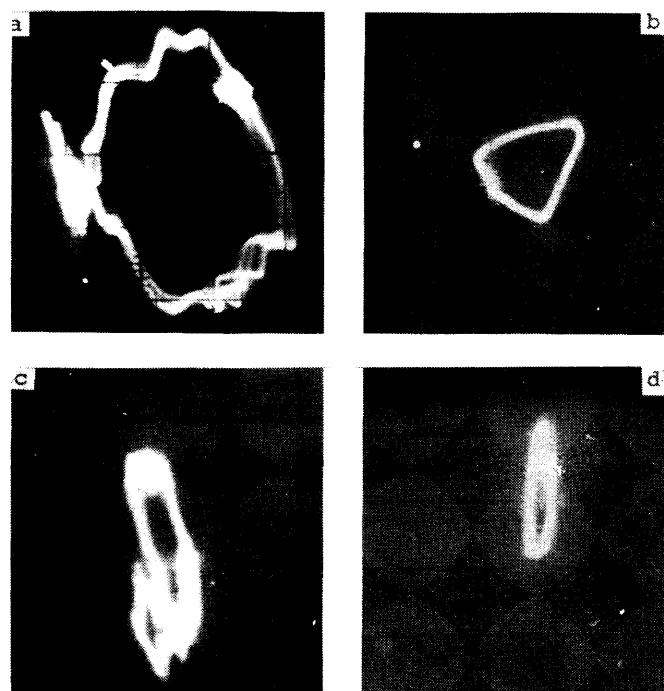
Sl. 3. - Zavisnost amplitude oscilovanja vratila rotora u dva uzajamno normalna pravca

1, 3 - za zadnji i prednji oslonac u pravcu normalnom na pravac deformisanja

2, 4 - za zadnji i prednji oslonac u pravcu deformisanja

ktivnih davača pomeranja, čija je šema vezivanja data na sl. 1.b. Određivanje trajektorije kretanja vratila rotora izvedeno je pri utvrđenom broju obrta (24000 o/min) i u toku 2-3 sec nakon isključenja elektro-pogonskog sistema. Merenja su obnavljana pri deformisanom i nedeformisanom spoljašnjem prstenu radijalnog ležišta. Veličina deformacije se kretala u granicama radijalnog zazora.

Na sl. 4 prikazana je trajektorija obrtanja vratila rotora elektro-pogonskog sistema, dobijena eksperimentalnim putem. Uočljivo je da amplituda oscilovanja



Sl. 4. - Trajektorija obrtanja vratila rotora elektro-pogonskog sistema: a, b - bez deformisanja spoljašnjeg prstena; c, d - pri deformisanom spoljašnjem prstenu radijalnog ležišta u toku rada i neposredno po isključivanju; I-I - pravac deformisanja spoljašnjeg prstena

vratila na mestu prednjeg oslonca suštinski zavisi od deformacije spoljašnjeg prstena ležišta prednjeg oslonca i sile elektromagnetskog pražnjenja. Pri deformisanju prstena u radijalnom pravcu amplituda oscilovanja u pravcu deformisanja se smanjuje i do tri puta. U pravcu normalnom na pravac deformisanja amplituda se neznatno menja što odgovara rezultatima proračuna. Evidentno je smanjenje amplitude oscilovanja u pravcu deformisanja, posmatrano u fazi neposredno po prestanku rada sistema. To je uslovljeno odsustvom elektromagnetskih sila, koje se ne javljaju pri slobodnom obrtanju rotora.

Na taj način, kombinovani prednji oslonac obezbeđuje transformisanje trajektorije kretanja vratila rotora preko izmene radijalnog i aksijalnog opterećenja radi-

lnog i radijalno-aksijalnog ležišta. Smanjenjem amplitude oscilovanja vratila rotora u pravcu radijalne komponente sile rezanja obezbeđuje se, u procesu rezanja, smanjenje greške obrade (posebno valovitosti).

LITERATURA

- [1] А. С. 986610 (СССР). Шпиндель металлорежущего станка.
В. Г. ГОЛОУАТЕНКО, Ю. В. СКОРЫНИН, Н. Т. МИНЧЕНЯ,
М. А. ЛЕВАНЦЕВИЧ, П. А. УОВИЛЧИК. — Опубл. в
Б. И., 1983, № 1.

[2] ГОЛОУАТЕНКО В. Г., СКОРЫНИН Ю. В., МИНЧЕНЯ Н. Т.
Станки и инструменты, 1983, № 6, с. 15-16.

[3] ЗОБНИН А. П., КЕЛЬЗОН А. С., МАЛИНИН Л. М., Влияние
угла между векторами дисбалансов на амплитудно-
частотную характеристику линейной роторной сис-
темы и способ его измерения. Вестник машиностр-
оения, 1982, № 5, с. 27-29.

CENTAR ZA PRODUKTIVNOST RADA
Masinskog fakulteta u Kragujevcu

i z d a o j e

Priručnik za metalce

u četiri knjige

prva

METALOSTRUČARI

druga

METALOGLODAČI

treća

METALOBRUSAČI

četvrta

BRAVARI - ALATNIČARI

Vašu narudžbenicu pošaljite
na adresu:

(Mašinski fakultet — Kragujevac 34000 K r a g u j e v a c
ul. S. Janjić br. 6.