tribologija u industriji

YU ISSN 0351-1642
GODINA VI
MAJ '84

1

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

YU ISSN 0351-1642

GODINA VI
BROJ 1
MAJ 1984.

tribologija u industriji

sadržaj contents содержание

UVODNIK
INTRODUCTION
ПЕРЕДОВИЦА

B. IVKOVIĆ: Tribometrija u proizvodnim procesima - Tribometry in production processes - Трибометрия в производительных процессах 3

ISTRAŽIVANJA
RESEARCH
ИССЛЕДОВАНИЯ

N. REPČIĆ: Analiza tribometrijskih parametara radijalnih kliznih ležišta - Analysis of the tribometric parameters of radial slide bearings - Трибо-метрические параметры радально-скользящих подшипников - 5

M. BABIĆ: Uticaj uslova obrade ravnim brušenjem na tribološka svojstva kontaktnih površina - The effects of the machining conditions in plane grunding on the tribological properties of contact surfaces - Влияние условий обработки плоской шлифовкой на трибологические свойства контакных поверхностей - - - - - - - - - 11

S. DJEKIĆ: Identifikacija tribomehaničkih sistema sadržanih u hidrauličnim amortizerima putničkih vozila - Identification of tribomechanical systems existing in the hydraulic shock dampers for motor vehicles - Идентификация трибо-механических систем в гидравлических амортизаторах легковых автомобилей - - - - - - - - - - 18

NOVOSTI
NEWS
ИЗВЕСТИЯ - 23

KNJIGE I ČASOPISI
BOOKS AND JOURNALS
КНИГИ И ЖУРНАЛЫ - 26

NAUČNI SKUPOVI
SCIENTIFIC MEETINGS
НАУЧНЫЕ СОБРАНИЯ - 29

REZIMEA
ABSTRAKTS
РЕЗЮМЕ - 31

B. IVKOVIĆ

Tribometrija u proizvodnim procesima

Proizvodni procesi bilo koje vrste u industriji prerade metala ostvaruju se korišćenjem odgovarajuće proizvodne opreme, alata i pribora pri čemu se oblikovanje predmeta (proizvoda) vrši direktnim kontaktom alata sa materijalom predmeta obrade. Tribomehanički sistemi sadržani u proizvodnoj opremi i samom procesu prerade materijala sadrže po pravilu i odredjenu vrstu maziva koja ispunjava sredinu u kojoj se kontakt izmedju elemenata brojnih tribomehaničkih sistema ostvaruje. Kako će proizvodni procesi da teku (sa ili bez zastoja), kako će se trošiti proizvodna oprema i alati i kakva će biti pouzdanost proizvodnog sistema u celini zavisi, kao što je poznato, od triboloških karakteristika sva tri elementa osnovnih tribomehaničkih sistema.

Da bi se upoznale tribološke karakteristike elemenata tribomehaničkih sistema sadržanih u proizvodnoj opremi i proizvodnim procesima u celini u industriji prerade metala neophodno je koristiti i tribometriju kao posebnu naučnu disciplinu koja obuhvata sva eksperimentalna istraživanja u tribologiji uključujući i razvoj merne tehnike (metode i instrumentacija).

Prvi tribometri razvijeni su pri pokušajima merenja sile trenja i koeficijenta trenja. Prvi put reč "tribometar" upotrebljena je za uredjaj koji je izgradio Coulomb za merenje sile trenja. U prvoj polovini ovog veka uporedo sa razvojem nauke o trenju i habanju razvijani su i tribometri različitih vrsta čije su zajedničke karakteristike bile jednostavne konstrukcije, prisutnost želje za ubrzanim ispitivanjem i umerena tačnost merenja. Savremeni tribometri su, medjutim, znatno složeniji, imaju veoma mnogo tipova a koriste se za različite svrhe. Savremena podela tribometara, kojih prema analizi društva američkih inženjera za podmazivanje (ASLE) ima oko 234, vrši se sa dva aspekta i to: strukturnog i funkcionalnog.

Sa strukturnog aspekta razlikuju se dve grupe tribometara i to:

- tribometri za definisanje (ispitivanje) elemenata tribomehaničkih sistema i njihovih karakteristika,
- tribometri za upoznavanje i praćenje razvoja triboloških procesa u kontaktnim spojevima elemenata tribomehaničkih sistema.

Sa funkcionalnog aspekta razlikuju se takodje dve grupe tribometrijskih uredjaja i instrumenata i to:

- tribometri za modelska ispitivanja, i
- tribometri za praćenje razvoja triboloških procesa i procesa habanja na kontaktnim površinama elemenata tribomehaničkih sistema u realnim uslovima, na realnim mašinama i mehaničkom sistemu uopšte.

Za industrijsku praksu od posebnog značaja su tribometri kojima se definišu eksploatacijske karakteristike elemenata tribomehaničkih sistema. Ova vrsta tribometara susreće se veoma često u laboratorijama proizvodnih pogona koji rade u okviru većih proizvodnim sistema. Namenjeni su najčešće kontroli kvaliteta ulaznih materijala, kao što su maziva naprimer i imaju zadatak da spreče ulazak u proizvodne procese onih materijala i elemenata čije su tribološke karakteristike lošije odnosno ispod zahtevanih.

Za formiranje triboloških banaka podataka i za studiozniji pristup izboru materijala elemenata tribomehaničkih sistema kao i postupak njihove obrade i režima njihovog korišćenja neophodno je koristiti tribometre kojima se definiše i upoznaje razvoj triboloških procesa a posebno procesa habanja. Tribometri ove vrste susreću se češće u istraživačkim laboratorijama fakulteta ili instituta a mesto im je takodje i u razvojnim odeljenjima većih proizvodnih sistema.

Problemi koji nastaju u savremenim proizvodnim procesima u industriji prerade metala u vezi sa njihovom pouzdanošću a naročito sa vekom trajanja elemenata mašina, uredjaja, alata i pribora posledica su, u značajnoj meri, nepostojanja sistematskog korišćenja tribometara druge vrste odnosno eksperimentalnih istraživanja

kojima se definiše razvoj procesa habanja i tribološke karakteristike odgovarajućih elemenata tribomehaničkih sistema.

Tribometara ove vrste (kojima se definiše proces habanja ili tribološke karakteristike elemenata tribomehaničkih sistema) ima u istraživačkim institucijama i proizvodnim sistemima u našoj zemlji veoma malo. Po pravilu tribometri ove vrste nisu standardni instrumenti već se grade u zavisnosti od problema koji na njima treba da se rešavaju odnosno u zavisnosti od oblika i karaktera elemenata tribomehaničkih sistema koji na njima treba da se ispituju. U praksi se susreću tribometri sa različitim geometrijama kontakata (ukupno 12 vrsta). Najčešće, medjutim, koriste se tribometri u kojima se kontakt ostvaruje izmedju čeone površine malog cilindra i čeone površine diska. Pri ostvarivanju kontakta u tribometrima ove vrste opterećenje se ostvaruje preko cilindra malog prečnika a kretanje se ostvaruje preko diska. Drugi često susretani tip tribometara sadrži kao kontaktne elemente dva ukrštena cilindra koji se u procesu ostvarivanja kontakta obrću odgovarajućim brzinama a opterećenje se ostvaruje preko jednog od diska. U trećoj često susretanoj vrsti tribometara kontakt se ostvaruje izmedju dva diska i to po obimu što znači da je kontaktna površina u osnovi pravougaonog oblika mada se kod ovih tribometara teorijski posmatrano kontakt ostvaruje samo preko jedne linije. Četvrti često korišćeni tribometar sadrži elemente u obliku cilindra ali tako postavljeni da se čeona površina malog cilindra dodiruje, u procesu ostvarivanja kontakta, po obimnoj površini veliko cilindra. Ova četiri navedena tribometra koriste se za definisanje triboloških karakteristika maziva i elemenata tribomehaničkih sistema koji su sadržani u proizvodnoj i drugoj opremi u kojoj se kontakti ostvaruju na sličan način.

Kada se govori o eksperimentalnim istraživanjima u tribologiji, odnosno kada se govori o tribometriji, onda je veoma bitno da se za definisanje triboloških karakteristika elemenata tribomehaničkih sistema koriste tribometri koji obezbedjuju, u prvom redu, istu vrstu geometrije kontakta na kakav se nailazi u realnim uslovima. U protivnom rezultati dobiveni merenjem triboloških karakteristika mogu da budu neodgovarajući za praksu.

Tribometrija kao naučna disciplina još uvek je veoma malo zastupljena u domaćim proizvodnim sistemima pa čak i u domaćim istraživačkim institucijama. Ovo je jedan od osnovnih razloga zbog čega nemamo triboloških banki podataka, odnosno, zbog kojih ne možemo da upravljamo proizvodnim procesima sa gledišta njihove pouzdanosti i trošenja.

UDK: 621,822.5,004,6

N. REPČIĆ

Analiza tribometrijskih parametara kod radijalnih kliznih ležišta

UVODNA RAZMATRANJA

Savremena industrija u cilju smanjenja intenziteta habanja i usporavanja triboloških procesa neminovno nameće, razvoj novih i efikasnijih triboloških saznanja. Ovo se odnosi na sve tribo-mehaničke sisteme koji su u sklopu proizvodne, ili neke druge opreme. Tribo-mehanički sistemi mogu biti raznovrsni pa su i problemi koji se javljaju interdisciplinarnog karaktera. Medjutim, sasvim je sigurno da je moguće u rješavanju ovih triboloških problema, izgraditi jedan zajednički pristup koji bi bio baziran na definisanju uslova ostvarivanja kontakta elemenata tribo-mehaničkog sistema, strukturi i definisanju triboloških osobenosti. Radijalna klizna ležišta spadaju svakako u ključne tribo-mehaničke sisteme koja su u priličnoj mjeri lišena kontinuiranog ispitivanja. Razlozi su poznati, jer za pravilno funkcionisanje ležišta konstruktori i projektanti moraju pravilno uskladiti veliki broj mehaničkih, fizikalnih i geometrijskih parametara, što obično izaziva odustajanje od kliznih ležišta, mada bi ona nekada znatno bila pogodnija nego kotrljajuća ležišta. Istaknimo da i nova rješenja uležištenja putem aktivnih magnetnih ležaja utiču na smanjen interes za tribološka istraživanja kliznih ležišta. Medjutim, još dugo vremena će konvencionalni načini uležištenja imati svoje mjesto u opremanju proizvodne opreme.

TRIBOMETRIJSKI PARAMETRI

Vijek trajanja funkcionisanja jednog kliznog ležišta kao tribo-mehaničkog sistema zavisi od dosta faktora. Kao najvažniji bi bili npr. brzina relativnog kretanja koja utiče na energetski bilans, a samim tim i na stabilan rad putem viskoznosti maziva, zatim opterećenje koje diktira izbor ostalih parametara u cilju procjene područja rada kliznog ležišta (teško opterećeno područje So > 1, ili brzohodno područje So < 1), temperatura u zoni kontakta rukavca, maziva i posteljice, vrijeme kontakta, geometrija kontakta, materijali elemenata ovog tribo-mehaničkog sistema, itd. Normalno, da pored svih ovih faktora znatan uticaj ima i kriterijum pohabanosti rukavca i posteljice koji se odražava na relativni zazor, koji predstavlja ključni parametar u tribometrijskim analizama kliznih težišta. Po pravilu, klizna ležišta funkcionišu u uslovima različitih brzina kretanja s obzirom da neka proizvodna oprema u raznim vremenskim intervalima ima različite režime rada. Osim toga često se mjenja i opterećenje, a to sve skupa utiče onda i na temperaturu ležišta, tako da u pristupu tribološkim problemima ovog tribo-mehaničkog sistema treba imati u vidu da vrijednosti pojedinih faktora nisu konstantne nego se kreću u odredjenim granicama. Najvažnije je svakako, pronaći one faktore koji se najčešće, ili najduže vrijeme, javljaju. Struktura ovog tribo-mehaničkog sistema obuhvata fizičko-hemijske i druge osobenosti elemenata, kao i prirodu interakcije elemenata. Kao elemente ovog tribo-mehaničkog sistema uvrstili bi rukavac, posteljicu (nalivak), mazivo, a u nekim situacijama uvrštava se i okolina kao četvrti elemenat. Bitne karakteristike su i mikrogeometrija rukavca i posteljice, strukturne osobine površinskih slojeva, kao i fizičko hemijske osobine sredstva za podmazivanje. Interakcija izmedju svih navedenih elemenata je veoma značajna za razvoj triboloških procesa pa njeno definisanje spada u prioritete. To podrazumjeva odredjivanje vrste trenja, mehanizma habanja, načina podmazivanja, kao i odredjivanje prirode interakcije izmedju elemenata. Bitan faktor su i tribološke karakteristike koje obuhvataju vrijeme trajanja kontakta do pojave kritične pohabanosti, što se neminovno odigrava pri startovanju i zaustavljanju, a može uticati na prelaz iz teško opterećenog područja rada u brzohodno područje. Isto tako tu spadaju i ostali faktori vezani za habanje elemenata ovog tribo-

mehaničkog sistema kao što su: otpornost na habanje, intenzitet habanja, definisanje krivih habanja pri raznim uslovima ostvarivanja kontakta, itd. Ovaj rad će ukazati na neke elemente koji su bitniji od ostalih za pravilno funkcionisanje jednog radijalnog kliznog ležišta obuhvatnog ugla 2π.

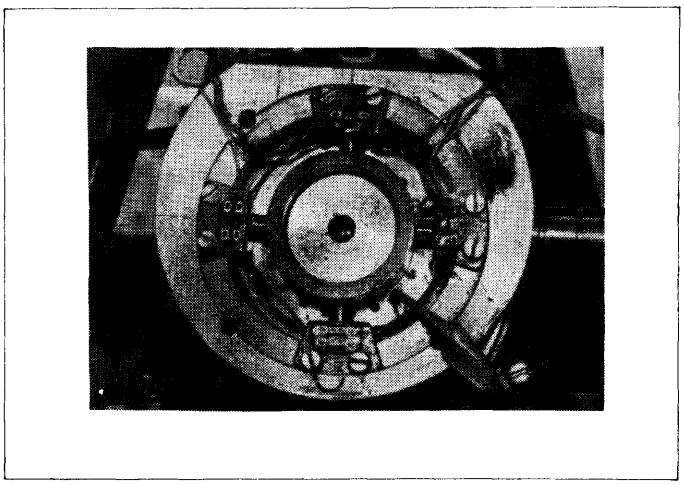
PROGRAM ISPITIVANJA I REZULTATI ISPITIVANJA

Opis uredjaja i program ispitivanja

Tribometrijski parametri koji bi se trebali definisati u svim tribološkim analizama radijalnih kliznih ležišta su svakako debljina uljnog filma, koeficijent tečnog trenja i energetski (toplotni) bilans. Ukoliko bi u svim situacijama imali dovoljnu debljinu uljnog filma uz male vrijednosti koeficijenta tečnog trenja, mogli bi govoriti o stabilnom i pouzdanom radu kliznog ležišta . Svi ostali parametri trebaju da budu ustanovljeni tako da omogućavaju postizanje potrebne statičke i dinamičke moći nošenja sloja maziva, kao i što manji gubitak snage usljed trenja.

Analizirana su radijalna klizna ležišta čija je konstruktivna karakteristika $\lambda = 1$, pri čemu su se opterećenja mijenjala u intervalima kao što je dato na dijagramima koji su detaljnije objašnjeni u daljem tekstu. Cilj ovih istraživanja je bio da se za odredjenu grupu radijalnih kliznih ležišta čiji je obuhvatni ugao 2π daju osnovni podaci o načinima i mogućnostima odredjivanja debljine uljnog filma, koeficijenta tečnog trenja , trenucima nastanka hidrodinamičkog plivanja i odvajanja rukavca od posteljice, uticaju relativnog zazora odnosno zazora na stabilnost i pouzdanost rada ležaja, itd. Sve je ovo sagledano u svijetlu bezdimenzione karakteristike, Sommerfeldovog broja *So* kako bi znali da li se radi o teško opterećenom području ili o brzohodnom području. Uredjaj za ispitivanje radijalnih kliznih ležišta bio je snabdjeven univerzalnim brojačem UZ 144, pojačivačem KWS/GT-5, osciloskopom tip 547, mjeračima ulazne i izlazne temperature ulja, hidrauličnim agregatom za kontinuirani dovod ulja u ležaj, mjernim satovima za registraciju podataka kojim se odredjuje moment trenja, mjernim satom za registraciju podataka kojim se odredjuje moment trenja, mjernim satom za registraciju natezne sile dinamometra, pisaljke za grafički prikaz Stribeckove krivulje, elektromotora i remenskog prenosa za pogon rukavca, uredjajem za očitavanje koordinata Y_1, Y_2 i x, koje definišu kretanje centra rukavca itd. Temperatura sistema i ulja je održavana približno konstantnom da bi se izbjegla promjena viskoznosti maziva, dakle ispitivanja su vršena u stacionarnom stanju. Ispitivanja su vršena ispred i iza ležišta da bi se uticaj deformacija sistema što vjerodostojnije obuhvatio. Opseg ispitivanih veličina je vidljiv iz dijagrama a takodje i veličine srednjeg specifičnog pritiska $\bar{p}$, odnosno veličine sile F, zatim ugaone brzine ω, dinamičke viskoznosti maziva, η, vrijednosti Sommerfeldovog broja *So* i drugih veličina. Uredjaj za ispitivanje dat je na slikama 1 i 2.

Sl. 1. Uredjaj za ispitivanje

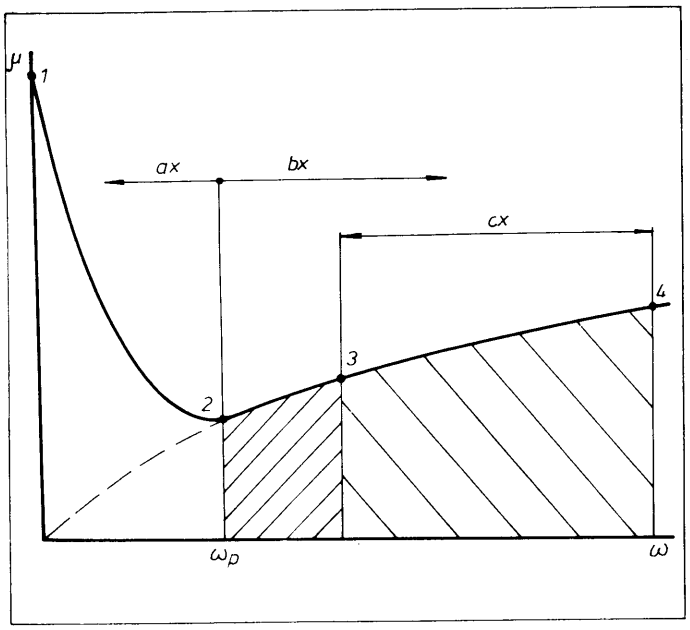


Sl. 2. Uredjaj za ispitivanje

SHP — MIXER

ANALIZA NASTANKA TEČNOG TRENJA

Jedan od bitnih elemenata pravilnog funkcionisanja kliznog ležišta je svakako i odredjivanje trenutka nastanka hidrodinamičkog podmazivanja. Ovo zbog toga da bi se moglo planirati u kojem brzinskom području bi trebalo raditi klizno ležište a da ne izadjemo izvan donje ili gornje granice stabilnosti (slika 3). U ovom radu daje se izraz za računanje ugaone brzine u trenutku nastanka hidrodinamičkog podmazivanja ω_p.



Sl. 3. Područja rada kliznog ležišta

μ - koeficijent trenja
ax - mješovito trenje
bx - tečno trenje
cx - područje optimalnog rada
1 - suho trenje
2 - otpusna tačka
3 - donja granica rada
4 - gornja granica rada

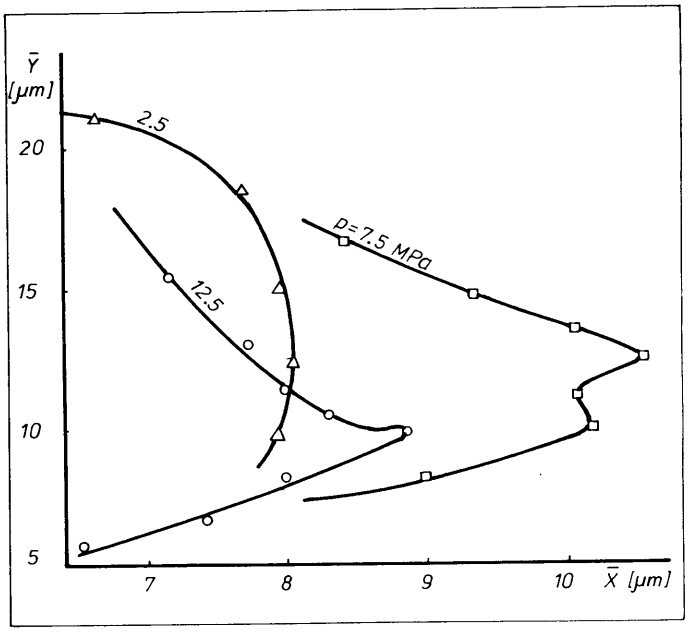
U ovim analizama uspostavljen je ovakav izraz za računanje ugaone brzine ω_p:

$$\omega_p = K\pi \frac{F}{\eta . V} \quad |\mathrm{rad/s}| \qquad (1)$$

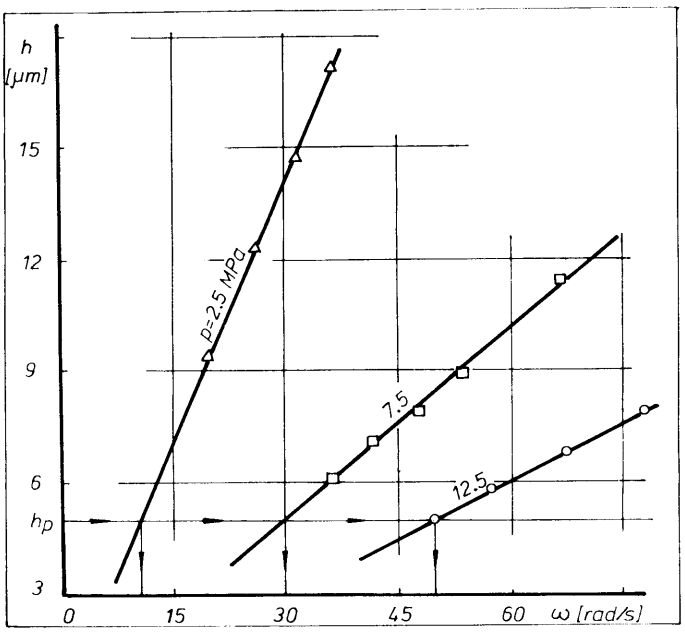
K - koeficijent u $|m|$
F - opterećenje rukavca u $|N|$
η - dinamička viskoznost ulja u $|Pa.s|$
V - zapremina rukavca u $|m^3|$

Primjetno je da, koeficijent *K* je dimenziona veličina, i on ne zavisi od zračnosti ležišta, nego ovisi od materijala posteljice i kvaliteta površinske hrapavosti.

Vogelpohl je u svojim analizama nastanka hidrodinamičkog podmazivanja dao sličnu relaciju |5|. Težište pri ispitivanju je baš bilo dato ovom koeficijentu i ta vrijednost prosječno je iznosila $K = 1{,}63.10^{-9}$ $|m|$. Podru-



Sl. 4. Putanja centra rukavca



Sl. 5. Promjena debljine uljnog filma

čje ispitivanja bilo je od 4 - 20 $|kN|$ odnosno od 2,5 - 12,5 $|Mpa|$, konstruktivna karakteristika $\lambda = 1$, a kvaliteti površinske obrade za posteljicu izradjenu od P.CuSn 14 je N8, a za rukavac izradjen od Č.0645 je N7. Na bazi izmjerenih podataka na slici 4 su dati inserti putanje

centra rukavca za razne vrste pritiska i ugaone brzine. Na sl. 5 je data promjena debljine uljnog filma sa naznakom ugaone brzine ω_p u otpusnoj tački.

ANALIZA DEBLJINE ULJNOG FILMA I KOEFICIJENTA TAČNOG TRENJA

Kod ove analize uspostavljeni su izrazi za računanje debljine uljnog filma h i koeficijenta tečnog trenja μ.

Ti izrazi su:

$$h = K_1 \frac{Z}{So} \quad |\mu m| \tag{2}$$

$$\mu = K_2 \frac{\psi}{\sqrt{So}} \quad |-| \quad \text{gdje je:} \tag{3}$$

K_1 - Koeficijent K_1 koji je dobiven za usvojenu zakonomjernost promjene debljine uljnog filma u funkciji So. Ispitivanja su dala prosječnu vrijednost $K_1 = 0{,}262$,

Z - zazor ležaja u $|\mu m|$

So - Sommerfeldov broj $|-|$

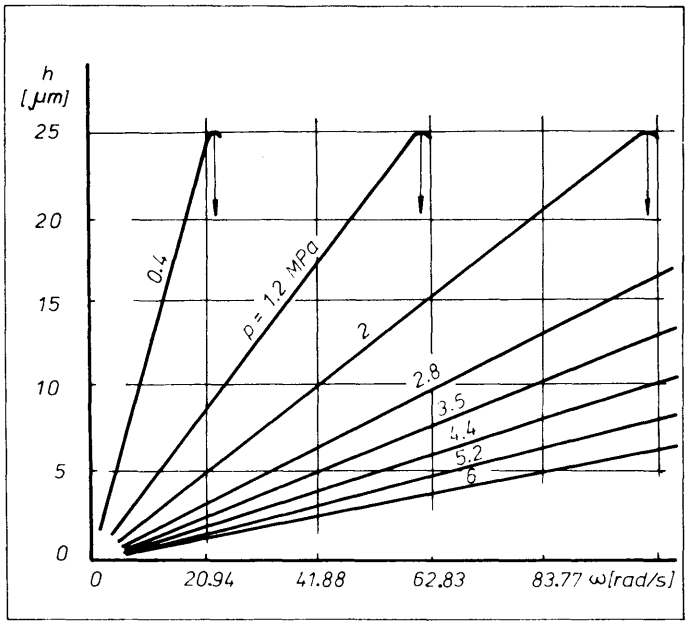
$$So = \frac{\bar{p} \cdot \psi^2}{\eta \cdot \omega} \tag{4}$$

K_2 - Koeficijent koji je uspostavljen na bazi svih podataka ovog ispitivanja. Prosječna vrijednost iznosi $K_2 = 3{,}5$,

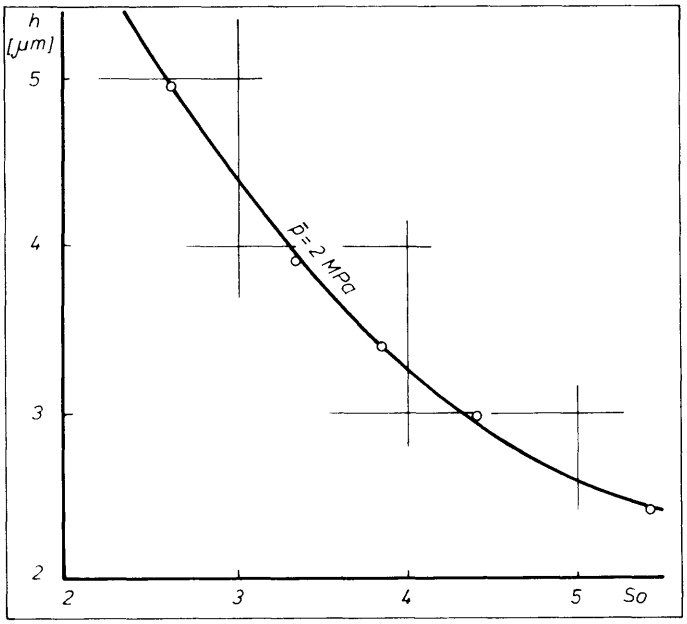
ψ - relativni zazor $|-|$

Postupak ispitivanja je sproveden pod istovjetnim uslovima kako je to već naprijed objašnjeno, s tim što su se vrijednosti za srednji specifični pritisak $\bar{p}$ unekoliko izmjenile. Te promjene pritiska i ostalih veličina vidljive su na dijagramima datim na sl. 6, 7, 8, 9. Sam pristup ispitivanju navedenih veličina je koncipiran tako da se na osnovu uspostavljenih relacija, tražile najoptimalnije vrijednosti za koeficijente K_1 i K_2. Relevantni faktori koji odlučujuće utiču na rad radijalnih kliznih ležišta su obuhvaćeni u izrazima 2 i 3 samo je trebalo naći putem ovih koeficijenata K_1 i K_2 njihove prave odnose. Uspostavljeni izrazi imaju svoju opravdanost s obzirom da se rezultati dobijeni na ovaj način dobro poklapaju sa ispitivanjima drugih autora |5|, |1|.

Slika 6 pokazuje promjenu debljine uljnog filma za razne vrijednosti pritiska na kojoj su uočljiva i karakteristična mjesta trenutka gubljenja uljnog klina. Tako na pr. za pritisak $\bar{p} = 2$ $|MPa|$ gubitak uljnog klina je $\omega = 101{,}15$ $|rad/s|$. Situacija na dijagramu je inače dobivena analizom podataka koji govore o putanji centra rukavca i enormno velikoj promjeni momenta trenja koji je uzrokovao proklizavanja remenskog prenosa. Zakonitost promjene debljine uljnog filma u odnosu na Sommerfeldov broj So data je na sl. 7 i to samo za pritisak $\bar{p} = 2$ $|MPa|$ jer za druge vrijednosti je skoro identična promjena. Ova identičnost ukazuje na to da postoji mogućnost davanja izraza (2) u obliku koje je tu uspostavljen. Situacija na slici 7 je dobivena na osnovu sl. 6 i relacija koje su poznate u hidrodinamičkoj teoriji podmazivanja |3|, |1|.

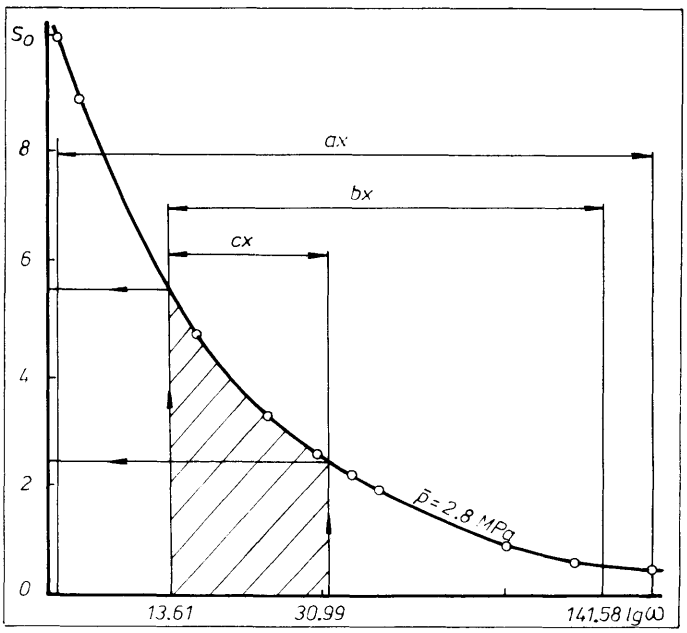


Sl. 6. Promjena debljine uljnog filma

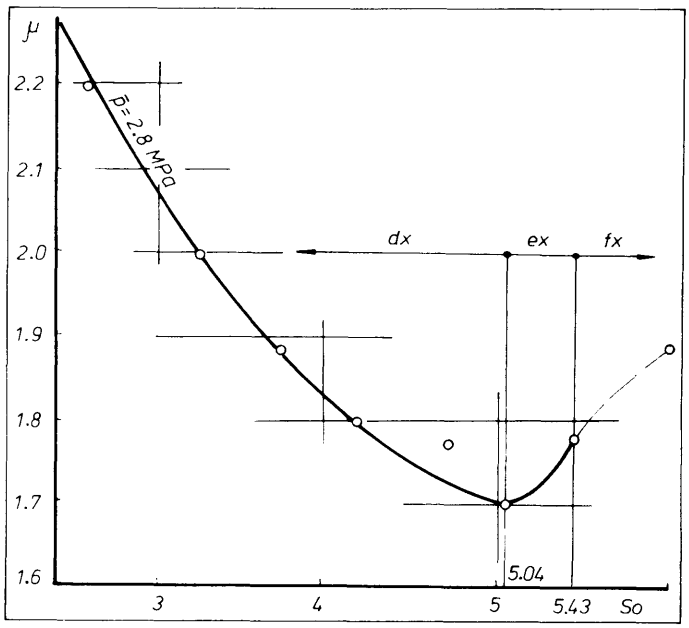


Sl. 7. Zakonitost promjene debljine uljnog filma u odnosu na So

Na sl. 8 i 9 su data interesantna područja pri radu jednog radijalnog ležišta i razmatrana područja u ovom radu u funkciji *So*.



Sl. 8. Interesantna područja pri radu jednog radijalnog ležaja



Sl. 9. Razmatrana područja data u odnosu na So

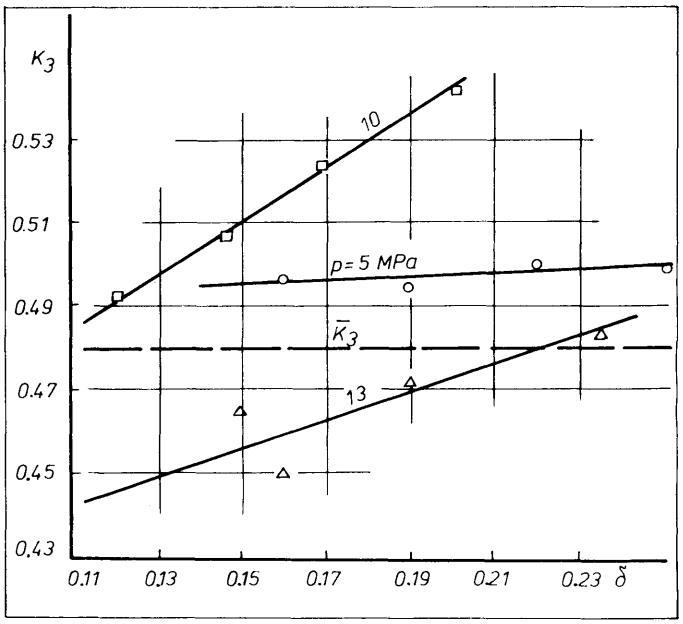
Uočljiva područja na tim dijagramima su područja *ax*, *bx*, *cx*, *dx*, *ex* i *fx*. Područje gdje imamo minimalne debljine uljnog filma, male vrijednosti koeficijenta tečnog trenja a i zadovoljavajuću stabilnost rada je područje *cx*. Područje *bx* nam ilustrativno pokazuje na kojim vrijednostima dolazi do gubljenja uljnog klina, a *ax* je područje teoretski stabilnog rada ležaja.

Područje *ex* je područje gdje su debljine uljnog filma manje nego u oblasti *dx* i gdje istina postoji dovoljna debljina uljnog filma, ali sa većom opasnosti prelaska u nestabilno područje. Područje *fx* je područje mješovitog trenja.

Područje *dx* je područje stabilnog reda, gdje imamo optimum debljine uljnog filma i koeficijenta tečnog trenja.

ANALIZA RELATIVNOG ZAZORA

Odlučujući uticaj na hidrodinamički rad kliznih ležišta ima zazor odnosno relativni zazor ψ. Izmedju ostaloga utiče na geometrijski oblik kliznog prostora, hidrodinamičku nosivost, toplotne bilanse, raspored pritiska u uljnom filmu kao i na cirkulaciju ulja u ležištu. U radu su date odredjene sugestije u tretmanu i računanju relativnog zazora. Analiza je sprovedena pod uslovima kao što je već prije navedeno, stim što je relativna debljina uljnog filma δ uzimala vrijednosti $0 < \delta \leq 0{,}5$, a $So > 1$ tj. radilo se o teško opterećenom području rada ležišta.



Sl. 10. Koeficijent K_3 u funkciji δ

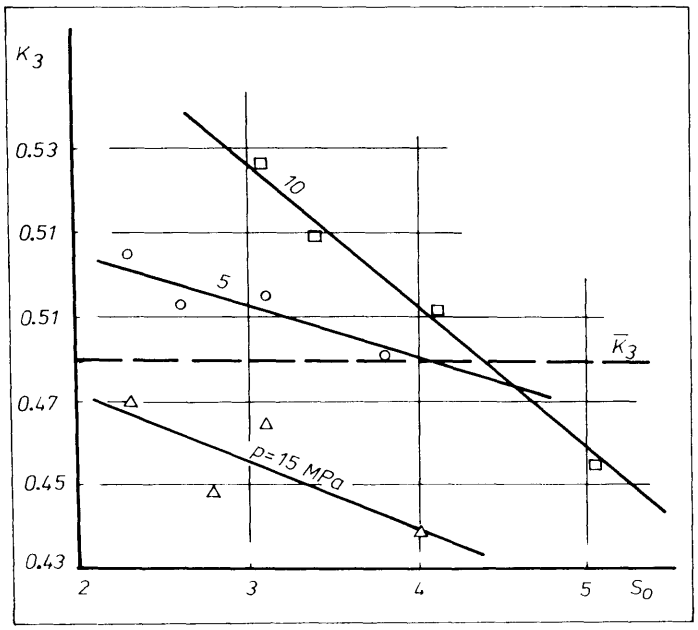
Zakonomjernost promjene relativnog zazora ψ tražen je u obliku smjernica VDI 2204. Naime, išlo se na uključivanje Sommerfeldovog broja *So*, kako bi se postigla jednostavnost u primjeni. Koristeći dosadašnje spoznaje

može se uspostaviti jedan ovakav odnos:

$$K_3 = So \cdot \delta \qquad \text{odnosno} \qquad (5)$$

$$\psi^2 = K_3 \frac{\eta \cdot \omega}{\bar{p} \cdot \delta} \qquad (6)$$

Veličina vrijednosti K_3 koja je postignuta pri eksperimentalnim istraživanjima na opisanom uredjaju iznosi prosječno $K_3 = 0{,}48$ odnosno $K_3 \approx 1/2$. Na slikama 10 i 11 data je promjena koeficijenta K_3 u funkciji relativne debljine uljnog filma δ i vrijednosti So, za tri vrijednosti srednjeg specifičnog pritiska $\bar{p}$, koja je utvrdjena pri eksperimentu.



Sl. 11. Koeficijent K_3 u funkciji So

Eksperimentalna istraživanja su pokazala da utvrdjena vrijednost za koeficijent K_3 je sasvim zadovoljavajuća jer se približava vrijednosti koja je utvrdjena i u smjernicama VDI 2204. Sa dijagrama je vidljivo da je raspon vrijednosti za koeficijent K_3 u intervalu od 0,43 - 0,53 zavisno od pritiska, odnosno srednja vrijednost je oko 0,48.

ZAKLJUČAK

U analizi tribometrijskih parametara kod radijalnih kliznih ležišta obuhvatnog ugla 2π, dat je prikaz nekih triboloških parametara gdje su konstatovane sljedeće činjenice:

1. Nastanak hidrodinamičkog podmazivanja je opisan na način koji omogućuje jednostavno saznanje o tom problemu tribo-mehaničkih sistema, pri čemu je uspostavljen i odgovarajući izraz za računanje ugaone brzine, pri kojoj nastaje hidrodinamičko podmazivanje.

2. Iznalaženje debljine uljnog filma i koeficijenta tečnog trenja je moguće i putem opisanih izraza, stim što treba imati u vidu da su pri eksperimentu učinjena neka pojednostavljenja, koja su bila neminovna, tako da predloženi izrazi mogu dobro poslužiti u prethodnim analizama. Ta pojednostavljenja su ustvari odredjena ograničenja u pogledu opterećenja, geometrijskih veličina i uslova ispitivanja (ispitivanja su vršena u stacionarnim uslovima), tako da za uslove koji nisu obuhvaćeni ovim ispitivanjima izrazi se mogu koristiti, ali sa većim tolerancijama.

3. Relativni zazor ima bitan uticaj na rad ležišta pa je u ovom radu dat način iznalaženja i odredjene sugestije u tom pogledu. Zakonomjernost promjene data je za teško opterećeno područje i manje relativne debljine uljnog filma što je i vidljivo u analizi. Izraz je dat u obliku smjernica VDI s tim što je analiza uključila i bezdimenzionu karakteristiku So, ali za jedan odredjeni dijapazon vrijednosti s ciljem da se dobiju pouzdaniji rezultati.

LITERATURA

|1| FRONIUS, S.: Antriebselemente, VEB Verlag Technik Berlin, 1979.

|2| NEALE, M.J.: Tribology Handbook. London, 1973.

|3| LANG, R.O., STEINHILPER, W.: Gleitlager. Springer - Verlag Berlin, 1978.

|4| MOORE, F.D.: Principles and Applications of Tribology, Pergamon. Oxford, 1978.

|5| VDI 2204, Gleitlagerberechnung.

SHP — MIXER

UREĐAJ ZA HLAĐENJE I PODMAZIVANJE

PRIMENOM UREĐAJA OBEZBEĐUJE SE:

- priprema SHP sa optimalnom koncentracijom
- smanjenje potrošnje mineralnih emulgirajućih ulja, polusintetičkih i sintetičkih sredstava
- smanjenje utroška rada za pripremanje SHP

KVALITETNOM PRIPREMOM SHP POSTIŽE SE:

- smanjenje potrošnje alata
- povećanje kvaliteta obrađenih površina
- poboljšanje zaštite površina od korozije

UREĐAJ JE RAZVILA

Laboratorija za obradu metala i tribologiju Mašinskog fakulteta u Kragujevcu

PROIZVOĐAČ

Zavodi »Crvena zastava« EMAP OOUR »MAŠINE«

UDK: 621.92'9.015.004.6

M. BABIĆ

Uticaj uslova obrade ravnim brušenjem na tribološka svojstva kontaktnih površina

UVOD

Smanjenje pouzdanosti tribo-mehaničkih sistema, gubitak radne sposobnosti, kao i disipacija energije, u osnovi, predstavljaju posledicu procesa koji se odvijaju u površinskim slojevima elemenata u kontaktu. Zbog toga, eksploatacijske karakteristike neposredno zavise od fizičko-mehaničkih svojstava materijala u tankim površinskim slojevima (mikrostruktura, zaostali unutrašnji naponi, mikrotvrdoća i sl.), koji primaju kontaktna opterećenja, makrogeometrije (neuravnjenost, ovalnost i dr.) i mikrogeometrije (valovitost i hrapavost) kontaktnih površina.

Kvalitet površina elemenata tribo-mehaničkih sistema, definisan fizičko-mehaničkim i geometrijskim karakteristikama, formira se u toku tehnološkog procesa obrade uz prenošenje svojstava iz prethodnih na završne operacije obrade.

Imajući ovo u vidu, nameće se veoma važan zadatak, koji se sastoji u iznalaženju veza izmedju vrsta obrade, režima rezanja i uslova obrade i triboloških karakteristika u procesu ostvarivanja kontakta.

Ovako definisan problem otvara široko polje istraživanja na osnovu čijih rezultata se danas formira teorija tehnološkog nasledja.

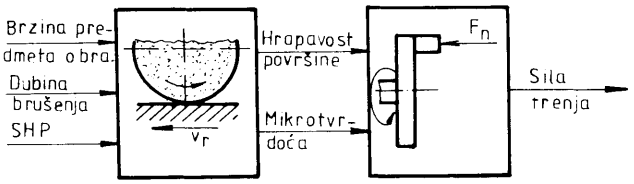
U radu je iznet deo istraživanja obavljenih u Laboratoriji za obradu metala rezanjem i tribologiju Mašinskog fakulteta u Kragujevcu u okviru magistarskog rada autora. Rad je posvećen problemu uticaja uslova obrade ravnim brušenjem na tribološka svojstva kontaktnih površina.

Eksperimentalno dobijeni rezultati omogućuju jasno uspostavljanje ispitivanih zavisnosti, pa čak i njihovo analitičko definisanje.

PROGRAM ISPITIVANJA

Eksperimentalno istraživanje imalo je za cilj utvrdjivanje uticaja uslova obrade ravnim brušenjem na karakteristike kontaktnih slojeva elemenata tribo-mehaničkih sistema i veličinu sile i koeficijenta trenja u uslovima ostvarivanja trenja klizanja.

Ovako definisan zadatak istraživanja može se prikazati blok dijagramom sa ulaznim i izlaznim parametrima procesa obrade i procesa trenja klizanja (sl. 1).



Sl. 1. - Blok-dijagram procesa eksperimentalnog ispitivanja

Kao osnovni izlazni parametri iz procesa obrade, s obzirom na kvalitet obradjene površine, mereni su hrapavost površine i mikrotvrdoća površinskih slojeva predmeta obrade.

Pri konstantnim ostalim parametrima uslova obrade, varirani su uzdužna brzina predmeta obrade (v_r), dubina rezanja (δ) i sredstvo za hladjenje i podmazivanje (SHP).

Ispitivanjem su obuhvaćene potpune kombinacije četiri nivoa brzine predmeta obrade v_r (4 m/min, 7,3 m/min, 13,8 m/min i 20 m/min), tri nivoa dubine brušenja δ (0,01 mm, 0,03 mm i 0,06 mm), uz variranje uslova hladjenja i podmazivanja (obrada bez SHP i obrada u uslovima

TABELA 1.

V_r (m/mm)	4			7,3			13,8			20		
δ (mm)	0,01	0,03	0,06	0,01	0,03	0,06	0,01	0,03	0,06	0,01	0,03	0,06
bez SHP	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
SHP-A	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24

primene SHP-A). Prema tome, program ispitivanja za obe zadatkom definisane faze (merenje parametara hrapavosti i mikrotvrdoće i tribološka merenja) može se prikazati tabelom, koja sadrži 24 opitne operacije (tabela 1).

USLOVI ISPITIVANJA

Uslovi formiranja kontaktnih površina

Obrada uzoraka za ispitivanje obavljena je na brusilici za ravno brušenje sovjetske proizvodnje, tipa 3G 71 snage elektromotora za pogon vretena 2,2 kW. Korišćena je standardna brusna ploča dimenzija 250 x 25 x 76 mm od specijalnog korunda, srednje finoće, tvrdoće i strukture, sa keramičkim vezivom (4B60N6V, proizvodnja "Swaty"-Maribor).

Po stepenu uticaja na hrapavost brušene površine postupak i režim preoštravanja brusne ploče spadaju u grupu dominantnih faktora. Osim toga, tokom vremena trajanja obrade, posle preoštravanja, dolazi do intenzivne promene mikro-reljefa radne površine brusne ploče, a time, i hrapavosti brušene površine. Da bi se otklonio ovaj uticaj brušena površina,pri svim variranim uslovima obrade,formirana je preoštrenom brusnom pločom. Preoštravanje pre svake opitne operacije obrade vršeno je jednosečnim dijamantskim alatom, pri konstantnim parametrima režima preoštravanja (poprečni posmak - 0,3 m/min, dubina grubog preoštravanja - 0,04 mm, dubina finog preoštravanja - 0,02 mm).

Uzorci za ispitivanje izradjeni su od ugljeničnog konstrukcionog čelika za poboljšanje Č.1730. U procesu termičke obrade poboljšanja ostvarena je martenzitno - trustitna struktura čelika tvrdoće 57 HRC.

Svaka od opitnih operacija brušenja iz programa ispitivanja obavljena je istovremeno na po dva uzorka dimenzija 12 x 12 x 15 mm. Jedan od njih korišćen je za merenja parametara hrapavosti površina i mikrotvrdoće površinskog sloja, dok je drugi upotrebljen u tribološkim ispitivanjima na tribometru.

Sredstvo za hladjenje i podmazivanje SHP-A predstavlja vodeni rastvor, sa koncentracijom 3%, sintetičkog vodotopivog koncentrata namenjenog za proces obrade brušenjem.

Uslovi merenja hrapavosti površina

Merenje parametara hrapavosti brušene površine vršeno je na profilometru-profilografu tipa TALYSURF-5M-120 iz proizvodnog programa firme RANK TAYLOR HOBSON.

Početni korak u procesu merenja parametara hrapavosti i snimanja profila obradjene površine sastoji se u izboru sledećih osnovnih parametara:

- posmatrane dužine (lm) - dužine koja se koristi pri odredjivanju parametara hrapavosti,
- broja mesta merenja na ispitivanoj površini i
- rasporeda mesta merenja po ispitivanoj površini.

Pravilan izbor ovih parametara, kojima se praktično definišu uslovi merenja hrapavosti, obezbedjuje potrebnu tačnost i verodostojnost dobijenih rezultata.

Standard JUS M.A1.031 preporučuje posmatranu dužinu jednaku petostrukoj vrednosti referentne dužine (ℓ). Pri tome, referentna dužina brojčano je jednaka prekidnoj talasnoj dužini za filtriranje dugih talasa mikroneravnina.

Na osnovu preporuka standarda usvojene su vrednosti referentne dužine ℓ = 0,8 mm i posmatrane dužine lm = 5.ℓ = 4 mm.

Hrapavost je merena poprečno u odnosu na pravac tragova obrade, na četiri mesta po širini ispitivane površine.

Uslovi merenja mikrotvrdoće

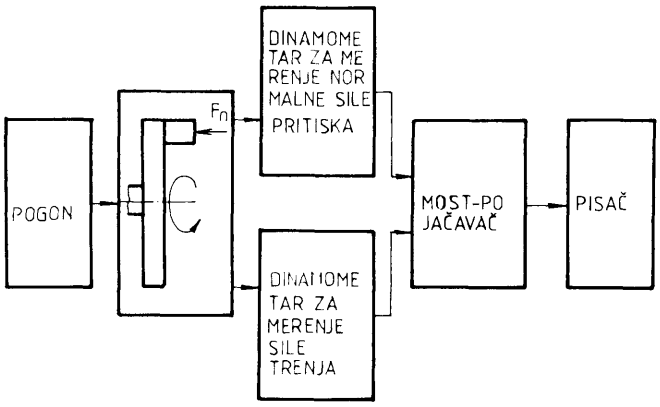
Merenje mikrotvrdoće površinskih slojeva obradjenih uzoraka obavljeno je korišćenjem standardne Knoop-ove metode, koja, zahvaljujući pogodnom obliku utiskivača (veoma izduženi romb) i malim silama utiskivanja, omogućuje ispitivanje veoma tankih površinskih slojeva.

Za realizaciju programa ispitivanja mikrotvrdoće površinskih slojeva prethodno su pripremljene površine dobijene sečenjem po sredini, normalno u odnosu na pravac obrade, brušenih uzoraka.

Merenje je vršeno na po pet mesta po širini uzorka, na svakih 0,01 mm dubine sloja - do dubine 0,1 mm. Takodje,merena je i mikrotvrdoća jezgra materijala.

Uslovi tribološkog ispitivanja

Za ispitivanje uticaja uslova obrade kontaktnih površina na veličinu sile i koeficijenta trenja korišćen je tribometar čija se konstrukcija sa geometrijskog aspekta zasniva na šemi kontakta ekscentrično postavljenog uzorka i rotirajućeg diska ("pin on disc" sistem).



Sl. 2. - Blok šema tribometra

Nepokretni uzorak (1) naleže površinom čije se tribološke karakteristike ispituju (površina je formirana u odredjenim uslovima obrade brušenjem) na čeonu površinu kontratela u obliku diska (2). Na ovaj način ostvaruje se jednosmerno klizanje elemenata u kontaktu.

Ispitivanje je izvršeno u konstantnim uslovima ostvarivanja kontakta:

- normalna sila pritiska $F_n = 10$ daN ,
- nominalni kontaktni pritisak $p = 10$ daN/cm^2,
- brzina relativnog kretanja $v = 20$ m/min ,
- nominalna površina kontakta $A = 1$ cm^2 ,
- vreme trajanja kontakta $t = 60$ min.

Da bi se obezbedila potpuna uporedivost rezultata , svaki ispitivani uzorak (1) uparivan je sa diskom koji nije prethodno bio u kontaktu. Diskovi, dimenzija 68 x 7 mm,izradjeni su od poboljšanog konstrukcionog hrom - nikl čelika Č.5431, tvrdoće 50 HRC.

Kontaktne površine diskova formirane su obradom brušenja (u kontaktnim uslovima obrade), i karakterišu ih sledeće vrednosti parametara hrapavosti: Ra = 0,45 μm , Rp = 1,9 μm, Rmax = 4,0 μm , b = 1,8 i ν = 1,9.

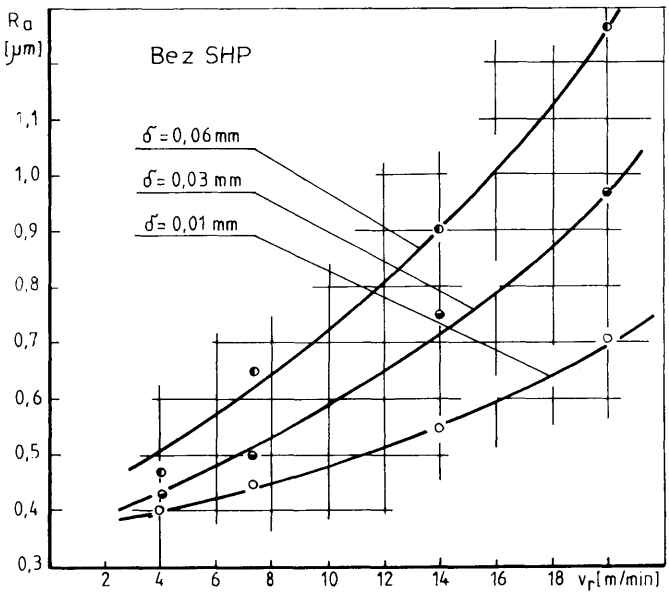
Za podmazivanje kontakta korišćeno je visokokvalitetno mineralno ulje, koje sadrži aditive protiv oksidacije, korozije i penjenja.

REZULTATI ISPITIVANJA

Rezultati merenja hrapavosti površina

Merenjem su obuhvaćena tri parametra visine hrapavosti (Ra, Rp, Rmax) i relativna dužina nošenja profila (tp) na različitim dubinama profila hrapavosti - kao strukturni parametar hrapavosti.

Na osnovu dobijenih rezultata formirani su dijagrami zavisnosti izmedju parametara visine hrapavosti i parametara režima ravnog brušenja, za slučajeve obrade bez SHP i uz korišćenje SHP-A.



Sl. 3. - Zavisnost parametra hrapavosti R_a od parametara režima obrade

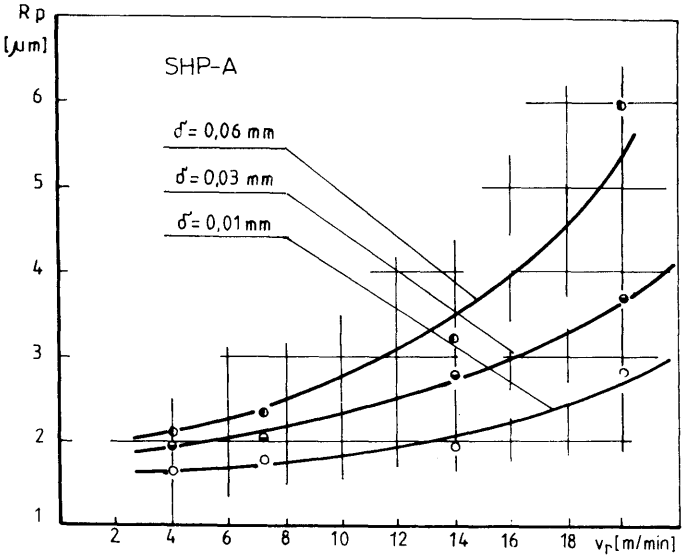
U radu je prikazano samo nekoliko dijagrama (sl.3-sl.5) kojima se ilustruje priroda dobijenih zavisnosti.

Za sve kombinacije variranja uslova obrade dobijene su odgovarajuće krive nošenja profila, koje karakterišu zakon raspodele relativne dužine nošenja profila (tp) po dubini profila površine. Neke od krivih nošenja prikazane su na slikama 6 i 7.

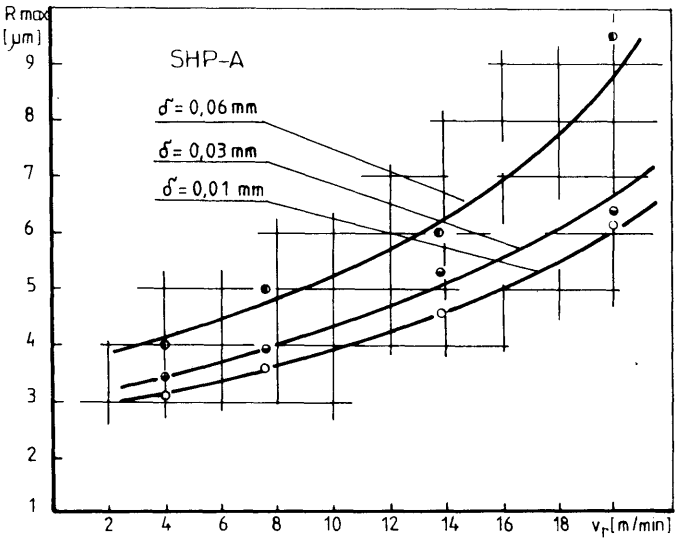
Sa tribološkog aspekta veoma je značajan oblik početnog dela krive nošenja, koji se može aproksimirati analitičkom zavisnošću:

$$tp = K\, p^{u} , \qquad (1)$$

gde je p - parametar koji pokazuje nivo sečenja profila i varira od 0 do Rmax.



Sl. 4. - Zavisnost parametra hrapavosti Rp od režima obrade

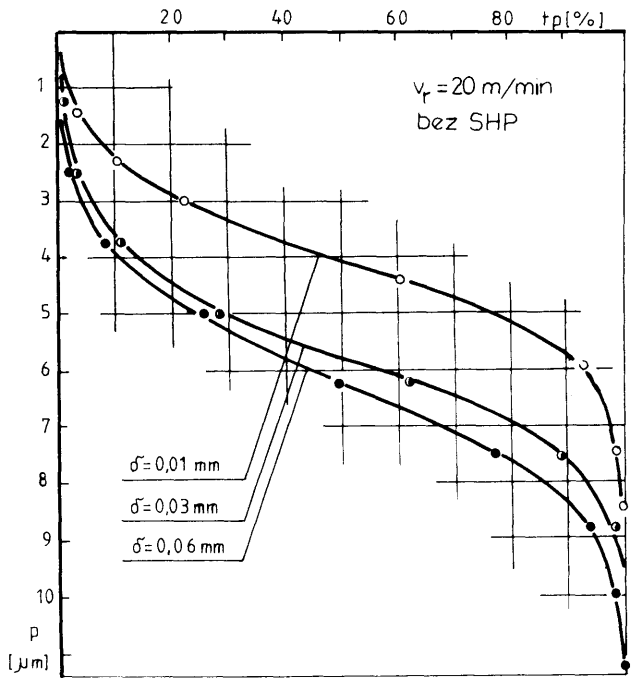


Sl. 5. - Zavisnost parametra hrapavosti Rmax od režima obrade

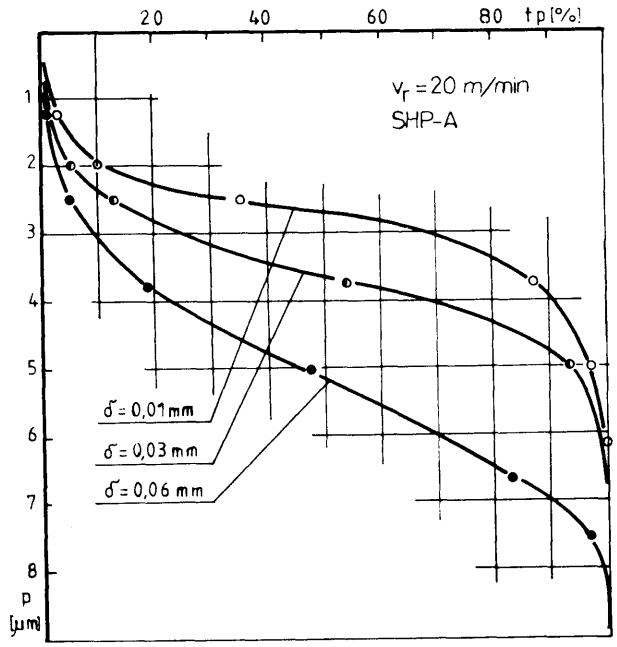
Ukoliko se promena relativne dužine nošenja prikaže u odnosu na relativnu dubinu profila x = p/Rmax, onda se početni deo krive nošenja u relativnim koordinatama aproksimira zavisnošću:

$$tp = b(p/Rmax)^{\nu} = b\,x^{\nu} \,. \qquad (2)$$

Na osnovu rezultata merenja primenom metoda najmanjih kvadrata odredjene su konstante K i b i eksponenti u i ν, odnosno, odredjene su analitičke zavisnosti početnih delova krivih nošenja (tabela 2). Pri tome treba imati u vidu da je konstanta K jednaka dužini nošenja profila površine na dubinu p = 1 μm ($tp_{(1)}$).



Sl. 6. - Krive nošenja profila: V_r = 20 m/min, obrada bez SHP



Sl. 7. - Krive nošenja profila: V_r = 20 m/min, obrada pri upotrebi SHP-A

Očigledno je da vrednosti eksponenata variraju u veoma uskim granicama pa se može smatrati da je u=ν≈2,0.

TABELA 2. Krive nošenja površina u apsolutnim i relativnim koordinatama

SHP	v_r	7,3 m/min	13,8 m/min	20 m/min
	δ	$tp=5,11p^{1,95}$ $tp=1,19x^{1,95}$	$tp=2,2p^{2,0}$ $tp=0,71x^{2,0}$	$tp=20p^{1,99}$ $tp=0,75x^{1,99}$
bez SHP	0,01 mm	$tp=4,5p^{1,95}$ $tp=1,04x^{1,95}$	$tp=1,4p^{1,99}$ $tp=0,67x^{1,99}$	$tp=0,8p^{2,06}$ $tp=0,65x^{1,06}$
bez SHP	0,03 mm	$tp=3,2p^{1,97}$ $tp=1,0x^{1,97}$	$tp=0,77p^{2,05}$ $tp=0,65x^{2,05}$	$tp=0,55p^{1,95}$ $tp=0,63x^{1,95}$
bez SHP	0,06 mm	$tp=12p^{2,05}$ $tp=1,84x^{2,05}$	$tp=4,95p^{2,11}$ $tp=1,28x^{2,11}$	$tp=1,7p^{2,26}$ $tp=1,3x^{2,26}$
SHP-A	0,01 mm	$tp=7,5p^{2,09}$ $tp=1,14x^{2,09}$	$tp=1,52p^{2,2}$ $tp=0,74x^{2,2}$	$tp=1,12p^{2,25}$ $tp=0,66x^{2,25}$
SHP-A	0,03 mm	$tp=1,5p^{2,2}$ $tp=0,76x^{2,2}$	$tp=1,33p^{2,2}$ $tp=0,66x^{2,2}$	$tp=0,94p^{2,09}$ $tp=0,65x^{2,09}$
SHP-A	0,06 mm			

Za sve dobijene izraze koeficijenti korelacije kreću se u granicama r = 0,97-0,99.

Rezultati merenja parametara visine hrapavosti (Ra, Rp, Rmax) i analitički dobijeni strukturni parametri hrapavosti b i $tp_{(1)}$ omogućili su formiranje analitičkih zavisnosti oblika:

$$R = Co + C_1 v_r^x \delta^y , \qquad (3)$$

gde su sa R označeni svi navedeni parametri hrapavosti površine.

TABELA 3.

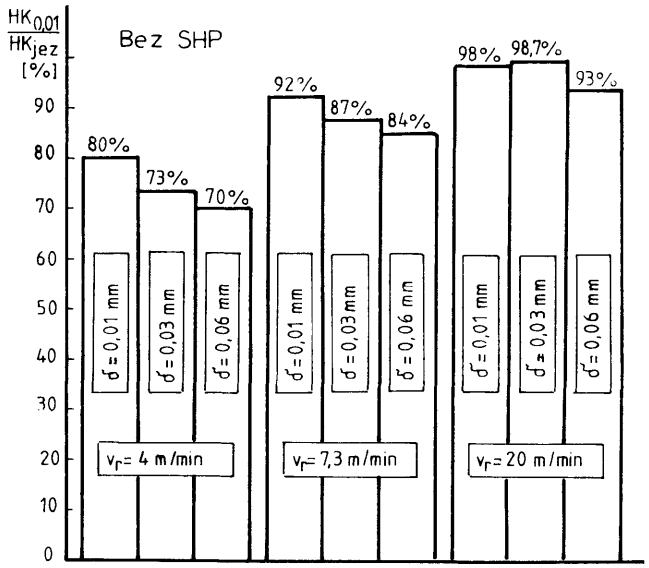
Param. hrap.	ANALITIČKI IZRAZI bez SHP	ANALITIČKI IZRAZI SHP-a
Ra	$0,36+0,1v_r^{127}\delta^{0,57}$ (r = 0,99)	$0,34+0,1v_r^{1,52}\delta^{0,98}$ (r = 0,96)
Rp	$2,0+0,04v_r^{1,8}\delta^{0,26}$ (r = 0,99)	$1,6+0,14v_r^{1,88}\delta^{0,82}$ (r = 0,98)
Rmax	$4,8+0,2v_r^{2,4}\delta^{0,6}$ (r = 0,99)	$3,0+0,41v_r^{1,3}\delta^{0,45}$ (r = 0,97)
$tp_{(1)}$	$11,9v_r^{-1,5}\delta^{-0,5}$ (r = 0,96)	$0,8+4,7v_r^{-2,3}\delta^{1,22}$ (r = 0,95)
b	$0,7+4,2v_r^{-2,1}\delta^{-0,5}$ (r = 0,92)	$0,5+0,1v_r^{-0,8}\delta^{-0,9}$ (r = 0,97)
r - koeficijent korelacije		

Konstanta C_1 i eksponenti x i y odredjeni su metodom najmanjih kvadrata u postupku iteracionog odredjivanja konstante Co, pri čemu je kao kriterijum u procesu iteracije korišćen maksimum koeficijenta korelacije.

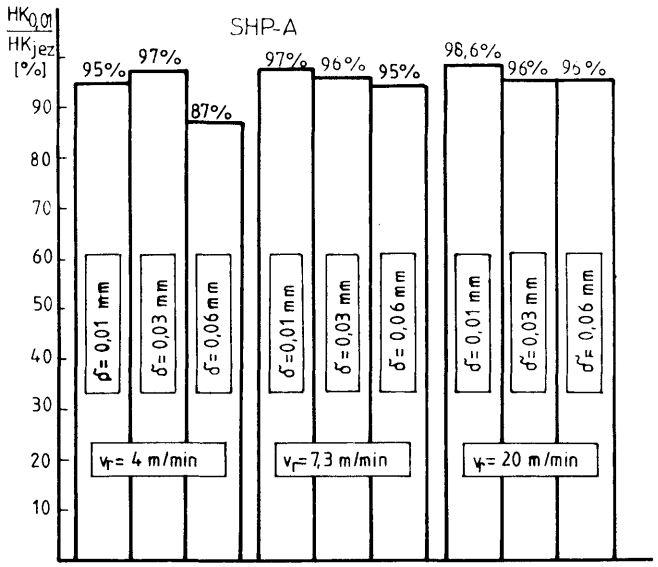
Dobijene analitičke zavisnosti prikazane su u tabeli 3.

Rezultati merenja mikrotvrdoće

Rezultati merenja mikrotvrdoće ukazali su na pojavu otpuštanja čelika u površinskim slojevima. Pad mikrotvrdoće za varirane uslove obrade brušenjem prikazan je koeficijentom promene mikrotvrdoće na dubini 0,01 mm u odnosu na mikrotvrdoću jezgra materijala (sl. 8 i 9).



Sl. 8. - Koeficijent promene mikrotvrdoće pri obradi bez SHP



Sl. 9. - Koeficijent promene mikrotvrdoće pri obradi u uslovima primene SHP-A

Povećanje dubine brušenja, u ispitivanim uslovima, utiče na smanjenje mikrotvrdoće površinskih slojeva. Uočava se da je intenzitet promene mikrotvrdoće u funkciji dubine brušenja posebno izražen pri najmanjoj brzini predmeta obrade, dok sa povećanjem brzine predmeta obrade u procesu brušenja uticaj dubine brušenja opada.

Nasuprot dubini brušenja, porast brzine predmeta obrade pokazuje pozitivno dejstvo na mikrotvrdoću površinskog sloja.

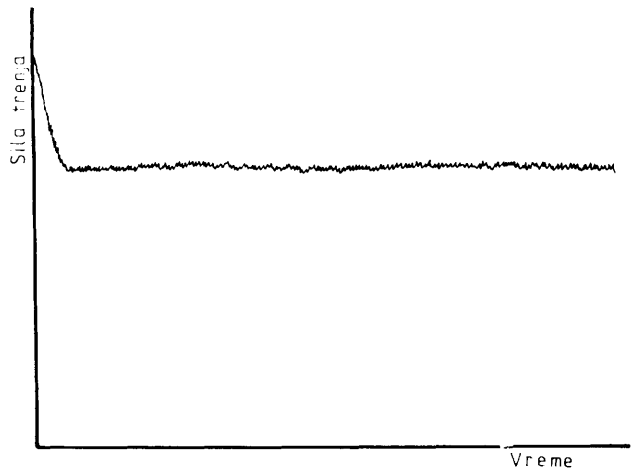
Navedene zavisnosti proističu iz prirode delovanja ispitivanih parametara režima obrade na toplotni režim obrade brušenjem.

Veće dubine brušenja, istovremenim povećanjem snage toplotnog izvora i vremena njegovog delovanja na obradjenu površinu, dovode do rasta toplotnog opterećenja predmeta obrade i pogoduju stvaranju strukturno izmenjenog sloja.

Promena brzine predmeta obrade,pak, ne pokazuje jednoznačno dejstvo na snagu toplotnog izvora i vreme njegovog dejstva. Većim brzinama odgovaraju snažniji toplotni izvori, ali i kraće vreme delovanja na obradjivani materijal. Pri tome, vreme delovanja toplotnog izvora obično pokazuje presudan uticaj pa većim brzinama predmeta obrade odgovara manja količina toplote koja dospeva u predmet obrade.

Tribometrijski rezultati

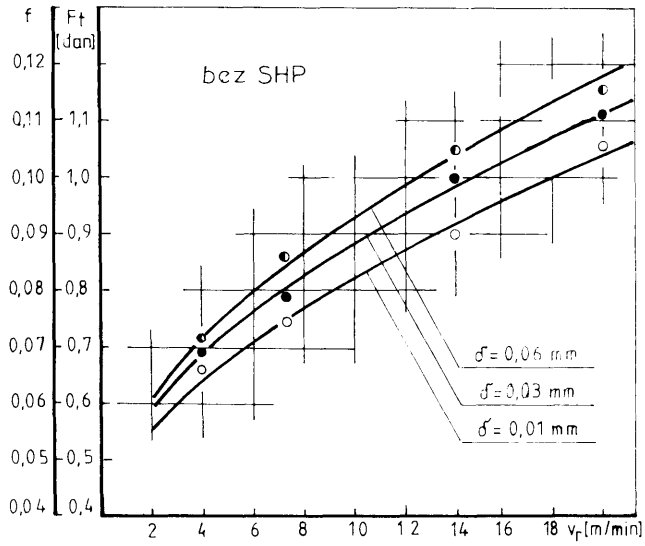
Neprekidno u toku odvijanja trenja klizanja za svaki od variranih uzoraka, čije su kontaktne površine formirane u odredjenim uslovima obrade ravnim brušenjem, registrovana je sila trenja. Tipičan primer zapisa sile trenja prikazan je na sl. 10. Početak relativnog kretanja karakteriše trenutni skok vrednosti sile trenja (Ft).



Sl. 10. - Zapis sile trenja (odgovara površini dobijenoj bez SHP, pri V_r = 13,8 m/min i = 0,06 mm)

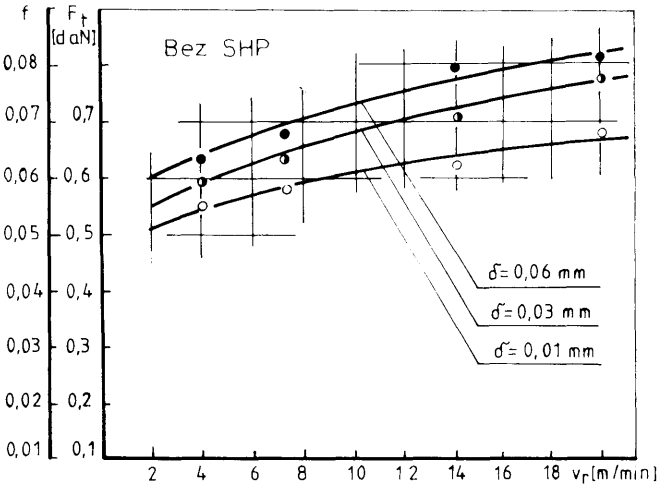
U periodu inicijalnog perioda uočava se brz pad sile trenja do momenta dostizanja ravnotežnog nivoa.

Dobijeni rezultati za silu trenja i proračun utvrdjene vrednosti koeficijenta trenja dijagramski su prikazani u funkciji uslova formiranja ispitivanih kontaktnih površina (sl. 11 i 12).



Sl. 11. - Uticaj režima obrade na silu i koeficijent trenja (obrada bez SHP)

Na osnovu matematičkog modela objašnjenog u prethodnom tekstu odredjene su i analitičke zavisnosti koeficijenta trenja od ispitivanjem obuhvaćenih parametara režima ravnog brušenja v_r i δ, za slučajeve obrade bez SHP i uz primenu SHP-A (tabela 4). Očigledno je da sila



Sl. 12. - Uticaj režima obrade na silu i koeficijent trenja (obrada uz primenu SHP-A)

i koeficijent trenja rastu sa porastom brzine uzdužnog kretanja predmeta obrade i dubine rezanja u procesu formiranja kontaktnih površina. Pri tome, brzina predmeta obrade pokazuje veći stepen uticaja u odnosu na dubinu brušenja.

TABELA 4. - Analitičke zavisnosti koeficijenta trenja od brzine uzdužnog kretanja predmeta obrade i dubine brušenja

Materijal	SHP	Analitičke zavisnosti
Č.1730	bez SHP	$f = 0{,}034+0{,}018 v_r^{606} \delta^{0{,}14}$
Č.1730	SHP-A	$f = 0{,}031+0{,}03 v_r^{0{,}386} \delta^{0{,}25}$

Primena SHP-A znatno smanjuje stepen uticaja ovih parametara režima obrade na veličinu sile (koeficijenta) trenja.

ZAKLJUČCI

Rezultati eksperimentalnog istraživanja ukazuju na postojanje jasne zavisnosti izmedju uslova formiranja kontaktnih površinskih slojeva u procesu ravnog brušenja, njihovih geometrijskih i fizičko-mehaničkih svojstava i triboloških karakteristika. Priroda dobijenih zavisnosti može se izraziti i kroz nekoliko osnovnih zaključaka.

- Pooštravanje režima obrade, s obzirom na brzinu predmeta obrade (v_r) i dubinu brušenja (δ) odražava se na povećanje parametara visine mikroneravnina i smanjenje noseće sposobnosti površina. Zakon ovih promena karakteriše veliki stepen korelacije pa se može analitički definisati.

- Primena SHP-a u odnosu na obradu bez SHP pokazuje pozitivno dejstvo na mikrogeometrijske karakteristike površine. Delovanjem SHP ne utiče se samo na sniženje nivoa ispitivanih parametara visine hrapavosti i povećanje dužine nošenja profila površine, već se umanjuje i stepen uticaja parametara režima obrade, o čemu svedoči smanjenje eksponenata u analitičkim izrazima.

- Brzina predmeta obrade i dubine brušenja pokazuje suprotno dejstvo na mikrotvrdoću površinskog sloja. Naime, smanjenje brzine predmeta obrade i povećanje dubine brušenja praćeno je povećanim otpuštanjem materijala u površinskim slojevima i padom mikrotvrdoće. Ovakvo dejstvo parametara režima brušenja proističe iz prirode njihovog dejstva na snagu toplotnog izvora u zoni brušenja i vreme njegovog dejstva na obradjivanu površinu. Stepen otpuštanja znatno opada zahvaljujući primeni SHP-a.

- Smanjenje sile trenja, tj. disipacije energije u tribo-mehaničkom sistemu sadržanom u tribometru, moguće je primenom blažih, režima obrade, u procesu formiranja kontaktnih površina ravnim brušenjem. Do povoljnijih frikcionih karakteristika dolazi se i uz znatno oštrije režime obrade na račun primene kvalitetnih sredstava za hladjenje i podmazivanje u procesu obrade.

LITERATURA

|1| BABIĆ M., Uticaj SHP na toplotno opterećenje predmeta obrade i hrapavost površine u obradi metala ravnim brušenjem, Tribologija u Industriji,4, 1981.

|2| BABIĆ M., Razvoj tribometra za istraživanje uticaja uslova obrade kontaktnih površina na vek trajanja elemenata tribo-mehaničkih sistema, Tribolobija u industriji, 2, 1983.

|3| CHICHOS, H., Tribology, a sistem approach to the science and tehnology of friction, Lubrication and wear, Elsevier, Amsterdam, 1978.

|4| HALLING, J., Principles of tribology, Macmillan, London, 1975.

|5| IVKOVIĆ, B., Osnovi tribologije u industriji prerade metala, Gradjevinska knjiga, Beograd, 1983.

|6| JAŠĆERICIH P.I.; RIŽOV E.V.; ABERČENKOV, V.I., Tehnalagičeskaja masljedstvenost v mašinostrojeniji, Nauka i tehnika, Minsk, 1977.

|7| KOLEKTIV AUTORA, Friction and wear devices, second edition, ASLE, 1978.

ISTRAŽIVANJA

UDK: 62-567.2.004.6

S. ĐEKIĆ

Identifikacija tribomehaničkih sistema sadržanih u hidrauličnim amortizerima putničkih vozila

UVOD

Amortizeri kod vozila imaju zadatak da prigušuju oscilacije karoserije i točkova, koje nastaju pri kretanju vozila putem sa odredjenim neravninama. Od pravilnog funkcionisanja amortizera zavisiće i eksploatacione osobine vozila (upravljivost, komfor, veza točkova sa putem, vek trajanja pneumatika i drugih elemenata).

Savremeni sistemi vešanja vozila, čiji je element i amortizer, su takvi da je osnovni način prigušivanja oscilacija preko viskoznog trenja. U novije vreme, sa povećanjem brzine kretanja vozila, postepeno se prelazilo na primenu teleskopskih hidrauličkih amortizera koji imaju odredjene prednosti tako da se danas ovi amortizeri skoro isključivo koriste.

Sila prigušenja hidrauličkog amortizera pri radu zavisi od mnogobrojnih faktora |2| od kojih su najvažniji:

- zazor izmedju klipa i cilindra
- zazor izmedju vodjice i klipnjače
- viskoznost ulja
- krutost pojedinih opruga u ventilskom sistemu i dr.

Za odredjeni tip amortizera, sila otpora (u hodu razvlačenja i sabijanja) ima odredjenu veličinu neposredno po izradi. Medjutim, veličina sile otpora koja je zavisna od brzine kretanja klipa:

$$F = k.V^n$$

gde je: k - koeficijent otpora
n - eksponent brzine
V - brzina kretanja klipa

tokom eksploatacije neprestano opada. Ne postoji još uvek precizno definisan kriterijum po kome bi se mogla davati ocena o tome da li je jedan amortizer posle odredjenog vremena rada ispravan, ili nije. (Postoje samo odredjeni predlozi u tom smislu.)

Bitan uticaj na opadanje sile otpora amortizera u toku eksploatacije imaju tribološki procesi, čija je posledica habanje elemenata u kontaktu pri radu amortizera. Usled habanja pokretnih elemenata amortizera dolazi do povećanja zazora izmedju istih kroz koje protiče veća količina ulja čime se automatski menja otpor proticanju, ili se povećava količina ulja, koja ističe iz amortizera što za posledicu ima opadanje sile otpora.

Uzimajući u obzir činjenicu da je vek trajanja amortizera u odnosu na vozilo znatno manji |1| bitan je svaki napor u pravcu povećanja istog. Da bi se omogućilo povećanje veka trajanja amortizera treba svakako uticati preko smanjenja veličine habanja njegovih elemenata i to još u periodu konstruisanja i izrade. Da bi se to ostvarilo potrebno je svakako izvršiti potpunu identifikaciju tribomehaničkih sistema sadržanih u jednom amortizeru.

ANALIZA OSNOVNIH TRIBOMEHANIČKIH SISTEMA KOD TELESKOPSKIH HIDRAULIČKIH AMORTIZERA

Tribološki procesi i procesi habanja koji se neminovno javljaju na elementima tribomehaničkih sistema kod hidrauličkih amortizera izazivaju, kako je već rečeno, opadanje sile otpora, a time i smanjenje veka trajanja.

Kako se amortizeri za pojedina vozila razlikuju praktično samo po veličini i nekim manjim konstruktivnim specifičnostima, to se može analizirati jedan od predstavnika ovih tipova.

Tribološki i procesi habanja kod jednog teleskopskog hidrauličkog amortizera javljaju se kod sledećih kontaktnih parova:

A. kontaktni par koga čine radni cilindar i klip, odnosno klipni prsten,
B. kontaktni par koga čine klipnjača i vodjica
C. kontaktni par koga čine klipnjača i zaptivka

Karakteristika ovih parova je da se ostvaruje pravolinijsko relativno kretanje uz povremeno zaokretanje jednog elementa u odnosu na drugi. Može se takodje kons-

tatovati da se kod ovih parova javlja trenje klizanja.

Karakteristike kretanja (put, brzina, učestanosti i dr.) kod svih parova su iste, a menjaju se istovremeno u toku rada u širokim granicama i to kako po veličini tako i po smeru.

Sva tri osnovna tribomehanička sistema, koja se javljaju kod ovih tipova amortizera, imaju svoje specifičnosti.

U zavisnosti od materijala elemenata, kontaktni parovi se razlikuju. Kod jednog su oba elementa u kontaktu metalna (par *A*) a kod drugih je jedan metalni, a drugi nemetalni (parovi *B* i *C*).

Uslovi podmazivanja se takodje razlikuju. Kod kontaktnog para *A* imamo dobro podmazivanje tj. ovaj par je u ulju kao trećem elementu sistema. Takodje se i kontaktni par *B* ostvaruje skoro isključivo u ulju dok se kontakt *C* ostvaruje u drugim uslovima, daleko nepovoljnijim. Kod ovog kontaktnog para, sa jedne strane kontakta imamo pretežno ulje (unutrašnja strana), a sa druge strane je vazduh sa svim nečistoćama, česticama prašine i dr.

Može se takodje konstatovati da su temperature različite kod pojedinih parova, a menjaju se tokom rada u dosta širokim granicama (cca -40-100°C). Spoljašnja opterećenja na kontaktnim površinama se takodje razlikuju kod svih kontaktnih parova i stalno se u toku rada menjaju, što tribomehaničke sisteme čini još složenijim.

IDENTIFIKACIJA USLOVA RADA OSNOVNIH TRIBOMEHANIČKIH SISTEMA

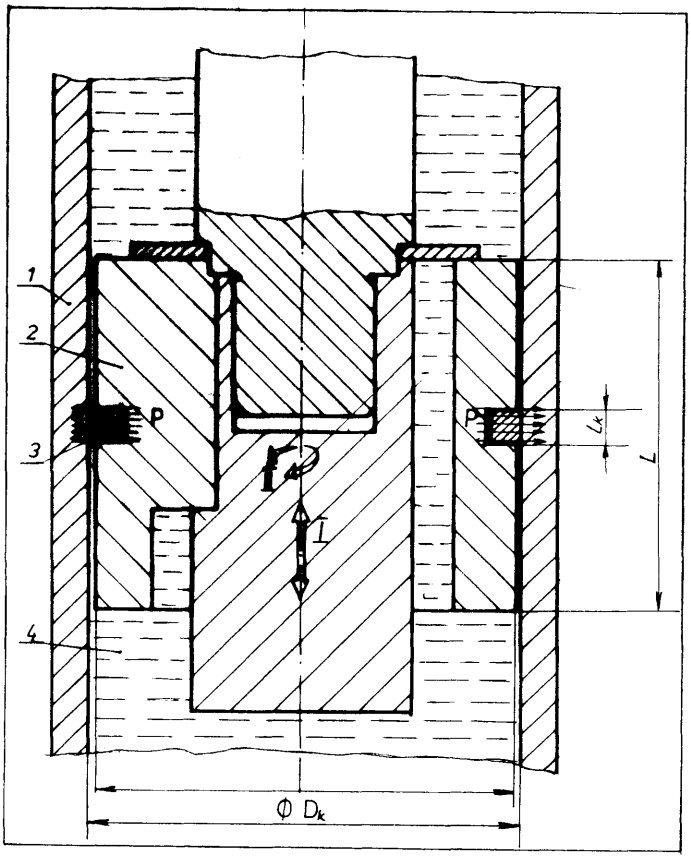
U ovom delu se daje šematski prikaz osnovnih kontaktnih parova, kao i uslovi pod kojima se kontakti ostvaruju, a što ove tribomehaničke sisteme čini specifičnim. Za sva tri osnovna tribomehanička sistema može se konstatovati da imaju vrlo promenljive uslove pod kojima rade (brzina, ubrzanja, učestanost, put, temperatura, opterećenje i dr.). Veličine ovih parametara menjaju se svakog trenutka (u toku jednog ciklusa) i mogu se tačno utvrditi jedino merenjima u eksploataciji, što je dosta teško.

Navedeni kontaktni parovi javljaju se kod svih tipova hidrauličkih amortizera, gde se mogu razlikovati samo po veličini kontaktnih površina i eventualno po spoljnjem opterećenju, koje zavisi od vozila na kome se nalazi.

A. Kontaktni par radni cilindar - klipni prsten

Ovaj kontakt se ostvaruje izmedju cilindra napunjenog uljem i klipa odnosno klipnog prstena (sl. 1).

Zadatak ovog sklopa je da stvara pritisak u ulju pri kretanju pri čemu se sila otpora prenosi preko klipa na klipnjaču.



Sl. 1. - Osnovni elementi tribomehaničkog sistema A

1-radni cilindar
2-klip
3-klipni prsten
4-ulje

I-oscilatorno pravolinijsko kretanje klipa
II-povremeno zaokretanje

Relativno kretanje izmedju cilindra i klipa, odnosno klipnog prstena je periodično pravolinijsko (I) kao i povremeno zaokretanje oko ose (II). Parametri kretanja menjaju se u svakom ciklusu (zavisno od uslova puta) a isto tako su različiti u svakom trenutku u toku jednog ciklusa.

Pravolinijsko oscilatorno kretanje (I) i zaokretanje (II) uslovljavaju da se klipni prsten u toku jednog ciklusa stalno nalazi u kontaktu sa novim površinama cilindra.

Pritisak izmedju klipnog prstena i cilindra nije ravnomeran po obimu s obzirom da je prsten deformisan elastično pri ugradnji, a deformacije nisu svugde iste.

Što se temperatura tiče može se reći da su one različite duž cilindra, a veće su za cca 10-15°C na dnu u odnosu na gornji deo.

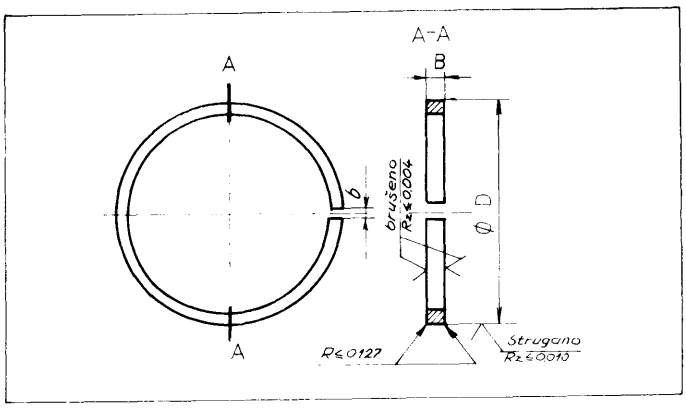
K a r a k t e r i s t i k e e l e m e n a t a k o n t a k t n o g p a r a :

RADNI CILINDRI se izradjuju od šavnih cevi sa fino obradjenom unutrašnjom površinom (Ra $\leq$ 0,8), a prečnik

im je tolerisan u plusu. Materijal cilindara je Č.04.61 sa σ_m = 550 N/mm^2 i Hv = 210-270, sa feritno perlitnom strukturom.

KLIPNI PRSTEN je od sivog liva čiji se hemijski sastav bira tako da zadovolji odredjene uslove od kojih su najbitniji:

- da se pri montaži deformiše samo elastično
- da ima visoku otpornost na habanje
- da ima mali koeficijent trenja
- da je otporan na uticaj ulja na temperaturi od -40-100°C
- da se ivice na spoljnoj površini ne dobijaju oštre pri obradi (R $\leq$ 0,127 mm), i dr.



Sl. 2. - Klipni prsten

Fizičko-mehaničke karakteristike materijala date su u tabeli 1.

TABELA 1.

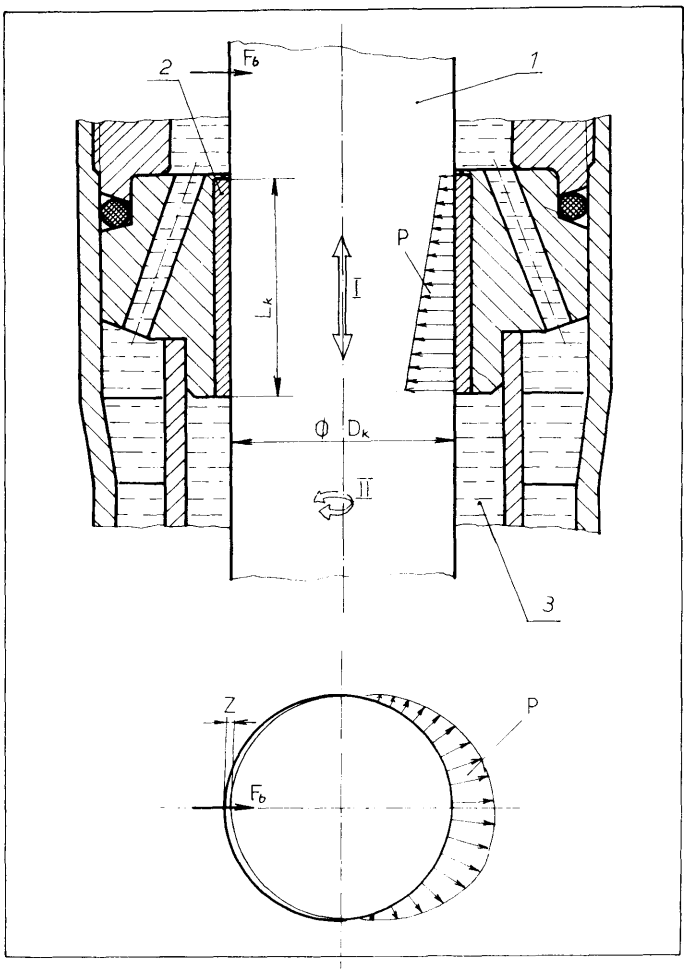
Fizičko-mehaničke karakteristike	Jed. mere	Vrednost
Tvrdoća	Hv_5	110-170
Čvrstoća na savijanje	N/mm^2	min 310
Modul elastičnosti	N/mm^2	(85-105)x10^3

Kod pojedinih serija ugradjuju se klipni prstenovi od nemetalnih materijala, obično od poliamida 6/6+GF/$MoSO_2$ da bi habanje cilindara bilo manje, a i jeftiniji su.

Klipni prsten je sve vreme u kontaktu sa cilindrom po celoj svojoj širini, a dužina cilindra, koja dolazi u kontaktu sa njim, je jednaka hodu klipa i kod različitih uslova kretanja je različita i takodje zavisi od konstrukcije amortizera.

B. Kontaktni par klipnjača - vodjica

Šematski prikaz ovog kontaktnog para dat je na sl. 3.



Sl. 3. - Osnovni elementi tribomehaničkog sistema B

1 - klipnjača
2 - čaura vodjice
3 - ulje

Vodjica u amortizeru ima zadatak da obezbedi pravilno pravolinijsko vodjenje klipnjače sa klipom duž ose, a istovremeno služi i kao oslonac za klipnjaču koja je u hodu sabijanja izložena izvijanju. Pored toga, vodjica ima i zadatak da zatvori radni prostor u cilindru sa gornje strane kako bi što manja količina ulja isticala iz cilindra u rezervoar.

Karakteristika ovog para je da kontaktna površina vodjice neprestano dolazi u kontakt sa novim površinama klipnjače (u toku jednog ciklusa). Kontaktni pritisak koji se javlja usled postojanja promenljive bočne sile je promenljiv, a na kontaktnu površinu se usled zazora ne rasporedjuje ravnomerno, ni u uzdužnom, ni u poprečnom pravcu (sl. 3).

K a r a k t e r i s t i k e e l e m e n a t a k o n t a k t n o g p a r a

Klipnjača kao jedan od vitalnih elemenata amortizera prima na sebe sva opterećenja od karoserije vozila, a

preko nje se prenose i sva oscilatorna kretanja.

Klipnjača se izradjuje od hladno vučenog ugljeničnog čelika Č.15.80.5 čije su garantovane mehaničke karakteristike date u tabeli 2.

TABELA 2.

Oznaka materijala	Zatezna čvrstoća σ_m (N/mm^2)	Izduženje $L_o=5d_o$ (%)	Tvrdoća HB
Č.15.80	710-860	8-20	210260

Na delu koji dolazi u kontakt sa vodjicom i zaptivkom, klipnjača je hromirana i fino polirana. Prečnik je u uskim tolerancijskim granicama (u minusu) s obzirom da zazor mora da je što manji.

Vodjica klipnjače (čaura) se utiskuje u telo vodjice izradjeno od SINT-B10, a izradjuje se od suvoležajnog materijala. Kontaktna površina je prevučena teflonom (PTFE), čije su osnovne karakteristike date u tabeli 3.

TABELA 3.

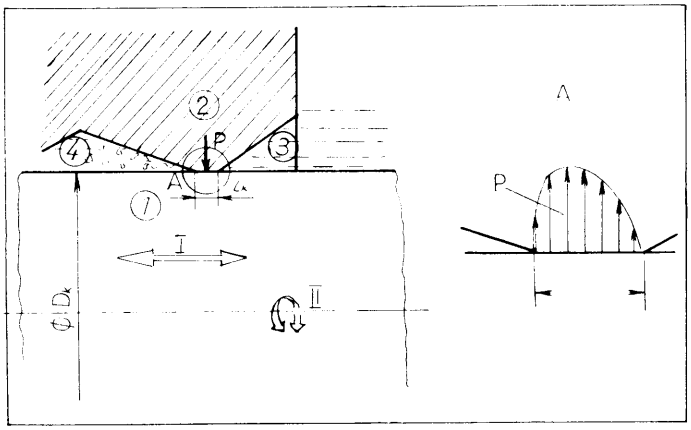
Oznaka materijala	Tvrdoća shA/D	Udarna žilavost daNcm/cm^2	Modul elast. daN/cm^2	Tem. traj. upotrebe °C	Zatezna čvrstoća daN/cm^2	Čvrstoća na savijanje daN/cm^2
PTFE (teflon)	92-96A	bez loma	3500-4000	110	200	190

C. Kontaktni par klipnjača - zaptivka

Zaptivanje unutrašnjeg prostora amortizera vrši se iz dva razloga:

- da ulje ne izlazi vani
- da u radni prostor ne ulazi nečistoća koja bi se mešala sa uljem i time uticala na smanjenje veka trajanja amortizera.

Zaptivanje se vrši uljnim zaptivkama kao na sl. 4.



Sl. 4. Osnovni elementi tribomehaničkog sistema C

1-zaptivka 3-unutrašnji prostor
2-klipnjača 4-spoljašnji prostor

Pritisak zaptivke na klipnjaču ostvaruje se elastičnim deformacijama unutrašnjeg (zaptivnog) dela, koji se navlači na klipnjaču, i oprugom koja obavija unutrašnji deo zaptivke i deluje stalnom silom. Specifični pritisak zaptivke na kontaktnoj površini pri kretanju klipnjače u aksijalnom pravcu neće biti konstantan, a takodje nije konstantan ni po obimu.

Zaptivka u normalnom stanju ima oštru ivicu (vrlo mali radijus zaobljenja), ali se usled deformacija pri navlačenju na klipnjaču površina kontakta povećava. Usled habanja u eksploataciji ova se kontaktna površina povećava tako da je ne možemo smatrati konstantnom.

Karakteristika ovog para je i to što uslovi podmazivanja nisu isti pri kretanju u oba smera s obzirom da sa jedne strane zaptivke imamo uglavnom ulje, a sa druge strane vazduh tj. obično i ulje koje je izmešano sa vodom, prašinom i drugim primesama, Sredina sa ove strane kontakta sadrži i čvrste čestice peska i dr., što bitno utiče na proces habanja elemenata ovog sistema. Pored toga ova sredina utiče i na promenu mehaničkih karakteristika materijala zaptivke, a takodje stvara i proces oksidacionog habanja.

K a r a k t e r i s t i k e u l j a

Amortizer je, kako je napred rečeno, napunjen uljem koje služi da u njemu pri proticanju kroz otvore stvara otpor viskoznog trenja. Ovo ulje služi da podmazuje kontaktne parove tako da se kontakti *A* i *B* praktično ostvaruju u ulju, a kontakt *C* delimično. Zbog svoje uloge u amortizeru ulje mora da ima i dobre podmazujuće osobine.

Različiti tipovi amortizera (amortizeri namenjeni za različita vozila), zavisno od potrebne sile prigušenja i uglavnom od ventilskog sistema, zahtevaju različite karakteristike ulja. Kod amortizera domaće proizvodnje uglavnom se koriste tri tipa ulja: ulje za amortizere tip "A", "B" i "C". Ova ulja se izradjuju na bazi lakih ulja parafinske i naftenske osnove čiji sastav odredjuje proizvodjač tako da se dobiju sledeće karakteristike, tabela 4.

KRITIČNI TRIBOMEHANIČKI SISTEM I KRITIČNI ELEMENT KOD HIDRAULIČKIH AMORTIZERA

Kritični tribomehanički sistem kod hidrauličkog amortizera i kritični elemenat biće onaj usled čijeg habanja najčešće dolazi do prestanka, ili smanjenja, sposobnosti prigušivanja oscilacija kod hidrauličkih automobilskih amortizera utiče priličan broj faktora, teško je

TABELA 4.

Karakteristika ulja		Jed. mere	U LJ E - tip			Metoda ispitivanja
			A	B	C	
Sadržaj mehaničkih nečistoća i vode		%	0	0	max 0,1 vode	ASTM D95,96
Viskozitet	na 20°C	mm^2/s	100-110	36-42	-	JUS B.H6.022
	na 40°C		36-39	14-18	max 20	
	na 100°C		min 5,7	4-5	4,4-5,4	
Penušanje	na 24°C	ml	20/o	20/o	50/o	ASTM D892
	na 93,5°C		50/o	30/o	100/o	
	na 24°C		20/o	20/o	50/o	
Tačka paljenja		°C	min 170	min 140	min 120	JUS B.H8.601
Temp. stinjavanja		°C	-45	-45	max-45	JUS B.H8.034
Index viskoziteta			97	190	190	ASTM D2270

odrediti koliki je u tome udeo procesa habanja elemenata tribomehaničkih sistema. Da bi se to utvrdilo potrebno je sprovesti opsežna istraživanja.

Medjutim, na osnovu neke nezvanične statistike, može se konstantovati da amortizeri najčešće gube prigušujuću sposobnost usled smanjenja nivoa ulja koje ističe kroz sistem zaptivanja. Isticanje ulja se uglavnom odvija usled pohabanosti zaptivke, ili stvaranjem riseva na površini klipnjače. Nesumnjivo je da se smanjenje otpora javlja i usled habanja i ostalih elemenata tribomehaničkih sistema koji su navedeni kao i usled toga što materijali opruga gube svoju karakteristiku posle odredjenog broja ciklusa rada.

Na osnovu iznetog možemo smatrati da je tribomehanički sistem C (kontaktni par klipnjača - zaptivka) kritičan s obzirom na vek trajanja amortizera, a u okviru njega se zaptivka pojavljuje kao kritičan elemenat. Svakako da tu treba imati u vidu da amortizer može da izgubi svoju radnu - prigušujuću sposobnost i ranije, ali usled eventualnih grešaka u montaži, izradi, grešaka u materijalu pojedinih elemenata i dr., što je predmet drugih razmatranja.

ZAKLJUČCI

Na osnovu prednjeg možemo reći da je ponašanje navedenih osnovnih tribomehaničkih sistema vrlo bitno za ispravno funkcionisanje hidrauličkih amortizera kao i za njihov ukupan vek trajanja.

Uslovi u kojima kontaktni parovi rade su vrlo promenljivi i zavise uglavnom od uslova puta po kome se vozilo kreće. S obzirom da su skoro svi parametri kretanja, kao i opterećenje, vrlo promenljivi, dosta je teško vršiti neka predvidjanja u pogledu ponašanja elemenata navedenih tribomehaničkih sistema i njihovog veka trajanja, pogotovu kada se zna da ne postoje jasno definisani kriterijumi trajnosti.

Ponašanje i vek trajanja pojedinih kontaktnih parova je funkcija većeg broja parametara (materijal, kvalitet obrade, uslovi eksploatacije - opterećenja, brzine kretanja i dr.). Medjutim, karakter i veličina bočne sile pri kretanju kontaktnih parova u neku ruku imaju dominantan uticaj.

Za normalne uslove eksploatacije, možemo smatrati zaptivku kritičnim elementom i njoj se mora posvetiti veća pažnja. U priličnom broju slučajeva do prestanka rada amortizera dolazi i usled velikog habanja vodjice. I vodjica i zaptivka su medjutim u kontaktu sa klipnjačom te se posebna pažnja mora posvetiti karakteristikama njene kontaktne površine i načinu dobijanja kako bi se habanje navedenih elemenata svelo na najmanju moguću meru. Ovo je pogotovu važno kada se zna da se na karakter kretanja i opterećenja ne može uticati.

Formiranju optimalnih karakteristika kontaktnih površina i ponašanja elemenata kontaktnih parova će se verovatno kroz dalja istraživanja posvetiti posebna pažna.

LITERATURA

|1| A. D. DERBAREMDIKER; Moskva, Mašinostroenie, 1969.

|2| T. DAVČEV: "Istraživanje na nadežnosta na hidrauličnite amortizeri i faktorite koji najmnogu vlijaat na nivnata nadežnost, Doktorska disertacija, Skoplje, 1983.

|3| B. IVKOVIĆ: Osnovi tribologije u industriji prerade metala, Bgd., Gradjevinska knjiga, 1983.

|4| Prospekti Fabrike amortizera u Prištini.