



ODREĐIVANJE OPTIMALNE TRIBOLOŠKE MJERE

dr sc. Dušan JEŠIĆ, Tribotehnik, Titov trg 6/4, 51000 Rijeka, Hrvatska

Rezime:

Ovim naslovom mogu se označiti postupci i metode koje imaju za cilj postizanje prihvatljivih vrijednosti trenja i trošenja u realnim tribosistemima. Osim konstrukcijskih mjera, kojima je svrha izbjegavanje ili smanjenje uticaja uzroka trošenja, glavne tribološke mjere su: izbor materijala tribosustava, triboelemenata, zaštita površine od trošenja, uhodavanje i podmazivanje.

Ključne riječi: trošenje, materijal i dodir

DETERMINING OPTIMAL TRIBOLOGICAL MEASUREMENTS

Summary:

The intention of this title is to designate the procedures and methods with the aim of attaining acceptable values of friction and wear in actual tribo-systems, with the exception of constructional measurements whose purposes are to avoid or diminish the impact of the causes of wear. The main tribological measurements are: choice of tribo-element materials, anti-wear protection of surfaces and running-in and lubrication.

Keywords: wear, material and contact

1. UVOD

Izbor materijala elemenata tribosustava od odlučujuće je važnosti za ispravno funkcioniranje svakog tribosustava. Taj izbor je specifičan po tome što za njega postoji relativno malo brojčanih pokazatelja. Zato je put do optimalnog rješenja mukotrpan i trebao bi se sastojati od nekoliko faza kako je prikazano na dijagramu broj 1.

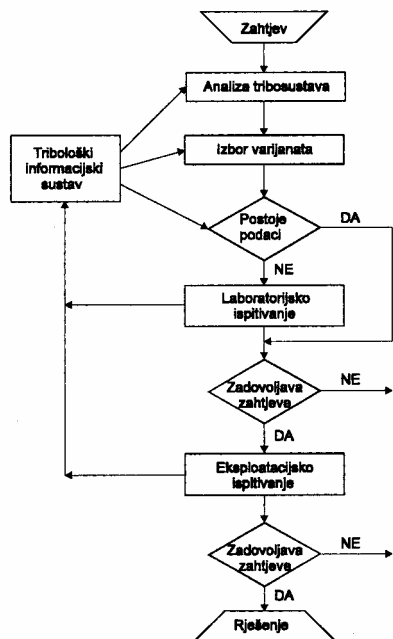
Osnovna zadaća analize tribosustava je utvrđivanje prevladajućeg odnosno najopasnijeg mehanizma trošenja kako bi se na osnovi toga mogli postaviti tribološki zahtjevi na materijale elemenata tribosustava. Naravno da istodobno sa tribološkim zahtjevima treba posvetiti i druge bitne zahtjeve od kojih su najvažniji oni kojima se osigurava cjelovitost tribosustava i oni kojima se osigurava mogućnost izrade elemenata tribosustava, valja napomenuti da otpornost na trošenje nije jednostavno svojstvo materijala. Slično kao što su mehanička svojstva spadaju: čvrstoća, tvrdoća, modul elastičnosti itd., tako se otpornost na troše-

nje sastoji od otpornosti na adheziju, otpornosti na abraziju, otpornosti na umor površine, otpornosti na eroziju, otpornosti na kavitaciju itd. Neophodno je dakle otpornost na trošenje, kao svojstvo materijala, pridružiti određenom mehanizmu trošenja ili njihovoj kombinaciji.

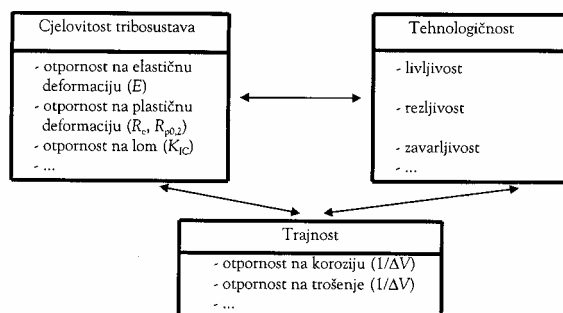
Pri analizi tribosustava i izboru varijantnih rješenja uputna je i upotreba nekog tribološkog informacijskog sustava. Nakon provedenog izbora varijanata dobro je njihov broj smanjiti na osnovi rezultata laboratorijskih pokusa na uzorcima ili modelu tribosustava. Ova faza može se preskočiti ako postoje već provedena odgovarajuća ispitivanja kojih su rezultati dostupni u tribološkom informacijskom sustavu.

Sa smanjenim brojem varijanata provodi se eksperimentalno ispitivanje koje jedino može dati konačno rješenje.

Rezultati laboratorijskih i eksploatacijskih ispitivanja ulaze u datoteku tribološkog informacijskog sustava.



Slika 1. Postupak izbora materijala elemenata tribosistema



Slika 2: Prikaz najvažnije grupe zahtjeva na materijale elemenata tribosustava

U radu iznosimo dio programa ispitivanja gdje su korištena dva diska: jedan je izrađen od sivoga lijeva SL 250 a drugi je izrađen od čelika Č1530, pinovi su izrađeni od nodularnih ljevova NL 420 i NL 600 a treći pin je izrađen od čelika Č3840 koji će biti spomenut u ovome radu, a kao treće tijelo korišteno je mazivo HVL-22 Modriča.

Tablica 1. Kemijski sastav nodularnih ljevova NL 420 i NL 600

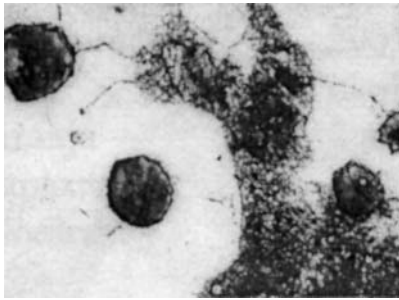
Nodularni ljev Nodular casting	Kemijski sastav u % / Chemical composition in %						
	C	Si	Mn	Mg	P	S	Cu
NL 420	3.62	2.52		0.28	0.020	0.006	
NL 600	3.67	3.20	0.59		0.025	0.040	1.38

Tablica 2. Izmjerene karakteristike pinova nodularnih ljevova

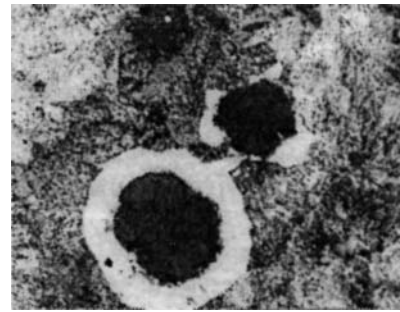
Nodularni ljev Nodular casting	Uvjeti termičke obrade / Thermal processing		Tvrdća u HV ₅ Hardness in HV ₅	Struktura Structure
	T _a u °C/t u min T _a in °C/t in min	T _p u °C/t u min T _p in °C/t in min		
	NL 420	900/60	390/90, 390/60, 390/30	295
NL 600	900/60	390/90, 390/60, 390/30	320	pretežito perlitna mainly perlite

Tablica 3. Usporedne karakteristike nodularnih ljevova

Mehaničke osobine Mechanical properties		NL 420 u polaznom stanju NL 420 in starting state	NL 600 u polaznom stanju NL 600 in starting state
Vlačna čvrstoća Tensile strength	R _m [N/mm ²]	421	596
Granica tečenja Pour point	R _{p0.2} [N/mm ²]	286	378
Izduženje nakon kidanja Post-fracture extension	A ₅ [%]	22	8.9
Suženje nakon kidanja Post-fracture contraction	Z [%]	19	
Tvrdća Hardness	HB	150	270
Udarne radnja loma Fracture impact	K [J]	15	12.6



Slika 3a. Struktura NL 420 šarža 5815-13, povećano 500x, nagriženo, feritno-perlitne osnove



Slika 3b. NL 600, šarža 5766-13, povećano 500x, nagriženo, pretežito perlitne osnove

2. PROGRAM I UVJETI EKSPERIMENTALNIH ISTRAŽIVANJA

Eksperimentalna istraživanja provedena su na tribometru "pin on disk" s ostvarenjem linijskog kontakta između čelone površine pina i oboda površine diska.

2.1 Izotermičko poboljšanje nodularnog lijeva NL 420 I 600

Izotermičko poboljšanje provodi se tako da se predmet s temperature austenizacije naglo ohladi na temperaturu izoterme koja je viša od temperature početka stvaranja martenzita. Na temperaturi T_i drži se određeno vrijeme dok se ne dođe do željene pretvorbe, a nakon toga se ohladi u zraku. Cilj je da se izbjegne pretvorba austenita u martenzit jer to uzrokuje napetost i pukotine.

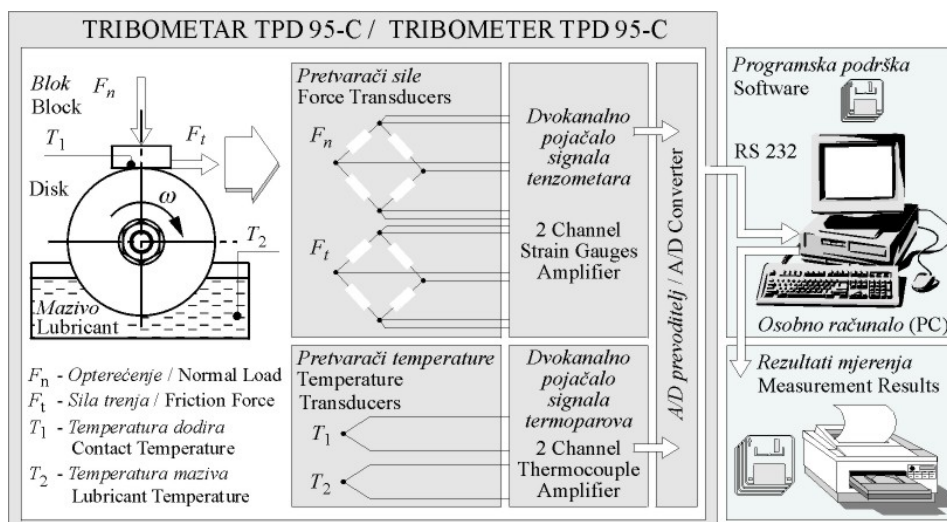
Držanjem na T_i dobija se tzv. međustruktura bainit. On daje obrađivanjem predmetu izuzetno dobre mehaničke osobine.

Izotermičko poboljšanje vršeno je u Laboratoriju za toplinsku obradu Fakulteta strojarstva i brodogradnje u Zagrebu.

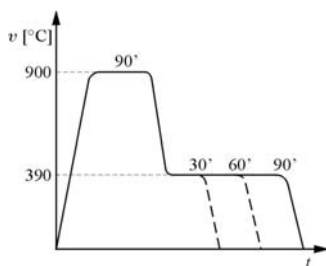
2.2 Program ispitivanja

Programom ispitivanja predviđeno je korišćenje dva diska i to jednog od sivog lijeva SL 250 i drugog izrađenog od čelika Č 1530. Tri pina od kojih su dva izrađena od nodularnog lijeva NL 420 i NL 600 a jedan je od čelika Č 3840 koji se u radu spominje djelomično.

Programom ispitivanja predviđeno je izvođenje 10 eksperimentalnih testova u trajanju od 60 minuta efektivnog dodira uz granično podmazivanje.



Slika 4. Tribometar TPD 95-C "Pin on Disk" s pratećom instrumentacijom



Slika 5. Dijagram izotermički poboljšane epruvete

Tablica 4. Uvjeti ispitivanja

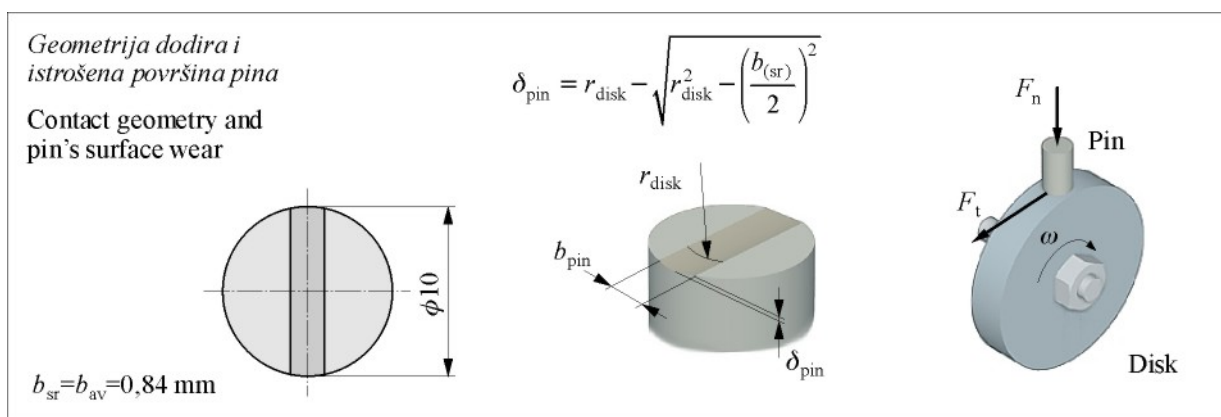
Normalno opterećenje	[N]	200	200
Temperatura		okoline	okoline
Brzina klizanja	[m/s]	2	2
Vrsta podmazivanja		granično	granično
Vrijeme dodira	[min]	60	60

Tablica 5. Elementi tribomehaničkog sustava

Geometrija dodira	linija	linija
Materijal pina	NL 420, 51 HRC	NL 600, 42 HRC
Površina pina	$R_a = 0,23 \mu\text{m}$ $R_{\text{max}} = 1,7 \mu\text{m}$	$R_a = 0,25 \mu\text{m}$ $R_{\text{max}} = 2,6 \mu\text{m}$
Materijal diska	Č 1531, 52HRC	SL 250, 46 HRC
Površina diska	$R_a = 0,60 \mu\text{m}$ $R_{\text{max}} = 6,2 \mu\text{m}$	$R_a = 0,50 \mu\text{m}$ $R_{\text{max}} = 4,2 \mu\text{m}$
Mazivo	HVL-22 Modriča	HVL-22 Modriča

Tablica 6. Rezultati ispitivanja

Sila trenja	[N]	20,8	20,8
Koeficijent trenja		0,104	0,096
$b_{\text{pin(sr)}}$ $b_{\text{pin(av)}}$	[mm]	0,84	0,625
$\delta_{\text{pin(sr)}}$ $\delta_{\text{pin(av)}}$	[mm]	0,0013	0,00072
Površina diska		$R_a = 0,54 \mu\text{m}$ $R_{\text{max}} = 6,0 \mu\text{m}$	$R_a = 0,43 \mu\text{m}$ $R_{\text{max}} = 3,8 \mu\text{m}$



Slika 6. Geometrija dodira i istrošena površina pina koja se može poopćiti i odnositi na sve ispitivane materijale

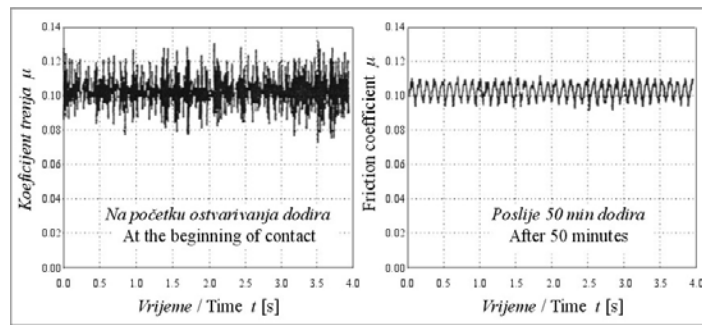
3. REZULTATI ISTRAŽIVANJA

Prikazan je intenzitet trošenja jednog elementa tribomehaničkog sustava bilo koje određene vrste odnosno izabranog parametra trošenja u odnosu na vrijeme trajanja dodira između njegovih elemenata. Kao parametar trošenja, koristi se najčešće promjena dimenzije jednog elementa u dodiru a u našem slučaju bitni su parametri topografije pina i diska prije i poslije ostvarenja dodirnog traga trošenja na pinu.

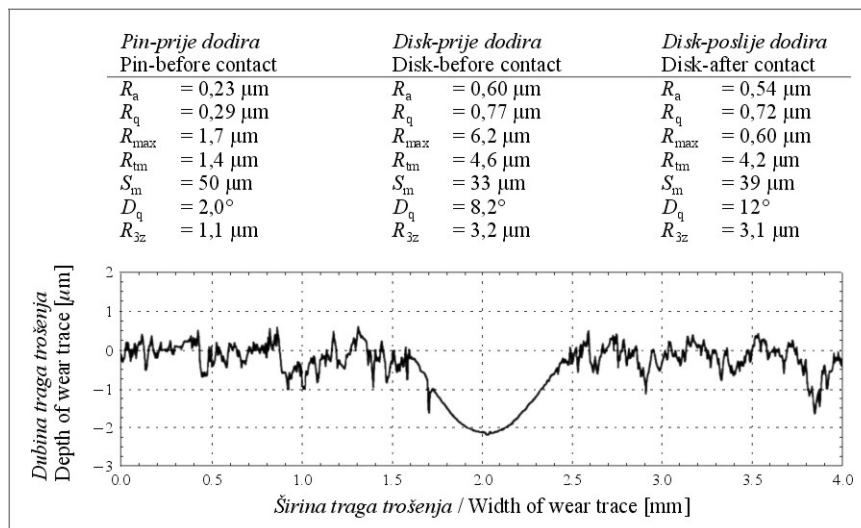
Svaka točka prikazana na dijagramima koeficijenta trenja predstavlja srednju vrijednost izmjenjenih 750 točaka u vremenu od 5 sekundi.

Za vrijeme testa od 60 minuta neprekidnog dodira nije bilo pojave razaranja uljnog filma.

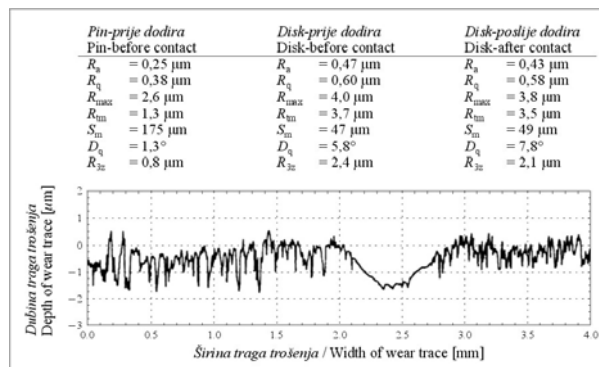
Navedene vrijednosti širine i dubine traga trošenja kod pina dobivene su mjerenjem mikroskopom i računskim putem, prema danom izrazu na slici 9.



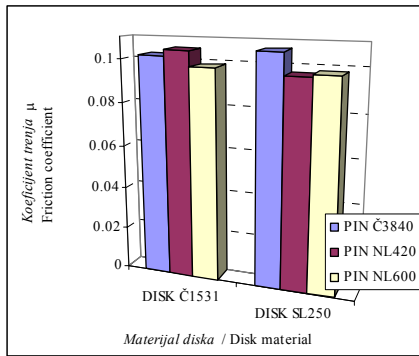
Slika 7. Oblik signala koeficijenta trenja na početku i na kraju ostvarenja dodira između pina NL 420 i diska Č 1531



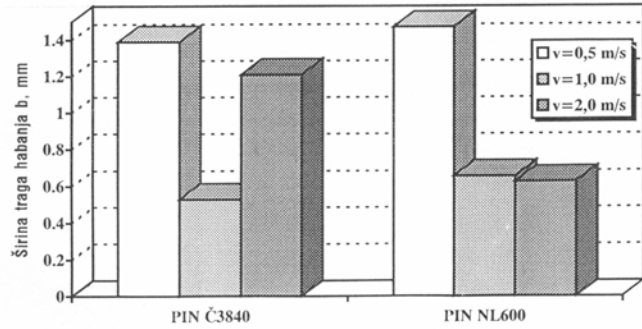
Slika 8. Parametri topografije površine pina i diska prije i poslije početka trošenja na pinu NL 420 i disku Č 1531



Slika 9. Parametri topografije površine pina i diska prije i poslije početka trošenja na pinu NL 600 i disku Č 1531



Slika 10. Koefficient trenja u zavisnosti od materijala elemenata u dodiru pri brzini klizanja $v=2 \text{ ms}^{-1}$ i podmazivanja s mazivom HVL22 mjerjenjem nakon 30 minuta ostvarivanja dodira



Slika 11. Širina traga trošenja u zavisnosti od materijala elemenata u dodiru pri brzini klizanja $v=2 \text{ ms}^{-1}$ i podmazivanja s mazivom HVL-22 mjerjenjem nakon 30 minuta ostvarivanja dodira

4. ZAKLJUČAK

Na osnovu izvedenih eksperimentalnih istraživanja može se zaključiti da je primjenom izotermalnog poboljšanja obje vrste nodularnog lijeva moguće poboljšati njihove tribološke karakteristike mjerene preko otpornosti na trošenje. Najveće povećanje otpornosti na trošenje ostvareno je izotermalnim poboljšanjem nodularnog lijeva NL 600 držanjem na temperaturi T_p u trajanju od 60 minuta.

- Sile trenja odnosno koefficienti trenja manji su pri ostvarivanju dodira između nodularnog lijeva (pinova) i čelika i sivog lijeva (diskovi) od sile trenja i koefficienta trenja koji se javljaju pri ostvarivanju dodira između čelika sa jedne strane i čelika i sivog lijeva sa druge strane.
- Manje sile trenja i koefficienti trenja dobiveni su pri korištenju pina od NL 600.
- Najmanji trag trošenja dobiven je na pinovima izrađenim od nodularnih ljevova NL 420 i NL 600.
- Značajnu prednost nad čelikom imaju nodularni ljevovi u odnosu na svojstva trošenja.
- Malu ali nezanemarljivu prednost nodularni ljevovi nad čelikom imaju i u pogledu njihovih antifriksijskih svojstava.

Općenito se može reći da nodularni ljevovi imaju bolje tribološke karakteristike sa energetskog i ekonomskog aspekta od ispitivanog čelika u korištenim uvjetima. No za konkretnu primjenu potrebno je svaki materijal posebno ispitati u konkretnim uvjetima rada. Također treba biti oprezan i dobro poznavati tribomehanički sustav, njegovu složenost, važnost i odgovornost pojedinog dijela te kojim je uvjetima rada i naprezanja izložen.

5. POPIS OZNAKA

Vlačna čvrstoća	R_m	[N/mm ²]
Granica tečenja	$R_{p0.2}$	[N/mm ²]
Izduženje nakon kidanja	A_5	[%]
Suženje nakon kidanja	Z	[%]
Tvrdoća	HB	
Udarna radnja loma	K	[J]
Temperatura poboljšavanja	T_p, T_i	[K]
Srednje odstupanje profila	R_a	[μm]
Najveća dubina dna profila	R_{max}	[μm]
Srednja širina traga pina	b_{sr}	[mm]
Polumjer diska	r_{disk}	[mm]
Dubina traga pina	δ_{pin}	[mm]

Tablica 7. Usporedna tablica materijala HRN - DIN

HRN	DIN
Č 1531	Ck45
Č 3840	90MnV8
SL 250	GG-25
NL 420	GGG-40
NL 600	GGG-60

LITERATURA

- [1] Barbezat, Sulzer: *GGG-100, Austempered Ductile Iron (ADI)*, 2nd International Conference on ADI, Mart 1986, Ann Arbor, USA.
- [2] B. Ivković, A. Rac: "Tribologija", Jugoslavensko Društvo za Tribologiju, Kragujevac 1995.
- [3] D. Ješić: "Mašinski materijali, Tehnologija dobijanja i primena", Jugoslavensko Društvo za Tribologiju, Kragujevac, 1999.
- [4] D. Ješić: "Tribological Properties of Nodular Cast Iron", Journal of the Balkan Tribological Association, Sofia 2000.
- [5] D. Scott, "Treatise on Materials Science and Technology", Vol. 13, Academy Press, New York – San Francisco – London, 1979.