

# tribologija u industriji

## tribology in industry – трибология в промышленности

sadržaj



contents



содержание

UVODNIK  
INTRODUCTION  
ПЕРЕДОВИЦА

ISTRAŽIVANJA  
RESEARCH  
ИССЛЕДОВАНИЯ

ZA NEPOSREDNU PRAKSU  
FOR DIRECT PRACTICE  
ДЛЯ НЕПОСРЕДСТВЕННОЮ  
ПРАКТИКУ

NOVOSTI  
NEWS  
ИЗВЕСТИЯ

TRIBOLOŠKI REČNIK  
GLOSSARY OF TRIBOLOGY TERMS  
СЛОВАРЬ ПО ТРИБОЛОГИИ

Jugoslovensko društvo za tribologiju ◊  
Yugoslav Tribology Society ◊  
Югославское общество по трибологии . . . . . 101

V. DOVGYALO, V. MIRONOV, O. YURKEVICH: Technological Principles of Controlling Tribological Properties of Laminates with Polymeric Matrices ◊ Tehnološki principi kontrolisanja triboloških svojstava laminata sa polimernim matricama ◊ Технологические начала контроля трибологических свойств ламинатов с полимерными матрицами . . . . . 103

A. RAC, W. DAOUD: Uticaj impregnacije na tribološke karakteristike kompozita kao materijala za samopodmazujuće ležajeve ◊ Influence of Impregnation on Tribological Characteristics of reinforced thermoset bearing material ◊ Влияние импрегнации на трибологические свойства термически подготовленных подшипниковых материалов . . . . . 109

B. IVKOVIĆ, S. ZAHAR, M. ERIĆ: Tribološki informacioni sistem - osnova za upravljanje procesima trenja i habanja u industrijskim i transportnim sistemima ◊ Tribological Information System - A Basis for Control of Friction and Wear Processes in Industrial and Transportation Systems ◊ Трибологическая информационная система - основа управления процессами трения и изнашивания в промышленных и транспортных системах . . . . . 114

D. JEŠIĆ: Tribološki aspekti nodularnog lijeva dobiveni po osmose - trigger postupku ◊ Tribological Aspects of Nodular Cast Iron Obtained by osmose - trigger Procedure ◊ Трибологические аспекты нодулярного чугуна полученного по способу осмосе - trigger . . . . . 121

B. NEDIĆ: TIS - Informacije: Mogućnost upravljanja procesom obrade praćenjem dinamičkih komponenti otpora rezanja . . . . . 127

ZLATNA MEDALJA ZA TRIBOLOGIJU za 1992. godinu . . . . . 130

. . . . . 132

# Jugoslovensko društvo za tribologiju

Na Osnivačkoj skupštini održanoj 10. Novembra 1992. godine, na Mašinskom fakultetu u Beogradu, formirano je Jugoslovensko društvo za tribologiju koje nastavlja i proširuje aktivnosti bivšeg Jugoslovenskog komiteta za tribologiju.

Jugoslovenski komitet za tribologiju bio je formiran kao asocijacija 22 univerzitetske i naučne organizacije iz svih republika bivše SFRJ, izuzev Makedonije. Raspadom SFRJ i formiranjem novih država na jugoslovenskom prostoru nastala je potreba za drugaćijim organizovanjem i u oblasti tribologije.

Jugoslovensko društvo za tribologiju (JDT) je sada organizovano kao dobrovoljna društveno-stručna, vanstranačka organizacija, koja objedinjava stručne i naučne radnike koji se bave razvojem novih i primenom postojećih triboloških znanja u industrijskim i drugim sistemima.

Jugoslovensko društvo za tribologiju ima individualne i kolektivne članove. I individualni i kolektivni članovi mogu biti građani SR Jugoslavije ali i drugih država, pre svega onih koje su osnovane na prostoru bivše SFRJ, odnosno na južnoslovenskim prostorima. Prava i obaveze i individualnih

i kolektivnih članova su odredene Statutom organizacije koji je usvojen na Osnivačkoj skupštini i stavlja se na uvid svakom potencijalnom članu koji to zahteva. Osnovni ciljevi JDT su:

- Okupljanje naučnih i stručnih radnika radi podizanja nivoa znanja, informisanosti i obezbeđivanja zajedničkog rada na razvoju novih i primeni postojećih triboloških znanja;
- Pružanje pomoći inženjerima i tehničarima u industrijskim i drugim sistemima u naučnom i stručnom usavršavanju i organizovanju odgovarajućih oblika permanentnog obrazovanja;
- Praćenje savremenog razvoja nauke i tehnologije iz šire oblasti tribologije i ukazivanje na tokove, zbivanja i moguće promene u ovoj oblasti;
- Stvaranje propisa i standarda u oblasti tribologije;
- Razmatranje i davanje stručnih mišljenja o planovima, programima, nalazima i drugim aktima važnim za razvoj tehnike, tehnologije i proizvodnje u Jugoslaviji sa tribološkog aspekta;
- Davanje mišljenja o optimalnosti tehničkih i tehnoloških rešenja pri investicionim i drugim poduhvatima s tribološkog aspekta;
- Podsticanje i pomoć u izdavanju i izdavanje publikacija svih vrsta koje na određeni način doprinose razvoju i afirmaciji tribologije kao nauke i tehnologije (knjige, časopisi, priručnici, posebne publikacije);
- Pripremanje, održavanje i pomoć u održavanju naučnih i stručnih skupova u široj oblasti tribologije.
- Omogućavanje povezivanja naučno-stručnih institucija i pojedinača sa odgovarajućim institucijama u zemlji i inostranstvu;
- Ukazivanje na nepotrebno dupliranje istraživačkih kapaciteta i istraživačkih programa u različitim institucijama;
- Razvijanje informacionog sistema iz oblasti tribologije;
- Saradnja sa drugim stručnim i naučnim udruženjima.

Jedan od neposrednih zadataka Jugoslovenskog društva za tribologiju je i organizovanje Treće jugoslovenske konferencije o tribologiji YUTRIB'93 koja već postaje tradicionalna. Prve dve konferencije održane su u organizaciji bivšeg Jugoslovenskog komiteta za tribologiju 1989 i 1991 godine. Očekuje se da i ovogodišnja konferencija okupi većinu domaćih stručnjaka koji rade u oblasti tribologije direktno ili koriste tribološka znanja da bi uspešno obavljali svoje poslove u oblastima u kojima tribološki aspekt nije dominantan ali doprinosi podizanju kvaliteta rada (projektovanje proizvoda i tehnologije, na primer).

Najviši organ Jugoslovenskog društva za tribologiju je Skupština koju čine svi individualni i predstavnici kolektivnih članova. Skupština se održava po potrebi ali najmanje jednom u četiri godine. Ona bira Izvršni odbor, predsednika i dva podpredsednika društva kao i sud časti.

Na Osnivačkoj skupštini izabrani su u prvom mandatnom preiodu od četiri godine:

Za predsednika JDT:

Prof. dr Branko Ivković, dipl. ing.

Za podpredsednike JDT:

Prof. dr Aleksandar Rac, dipl. ing. i Docent dr Miroslav Babić, dipl. ing.

Za članove izvršnog odbora (pored predsednika i podpredsednika društva) izabrani su i :

Prof. dr S. Sekulić, prof. dr M. Durđenović, Prof dr. R. Ječmenica, S. Kralazić, R. Milić, S. Arsenijević i V. Pajović.

Za sud časti izabrani su:

Prof. dr S. Tanasijević, Docent dr B. Jeremić, Docent dr R. Rakoć i B. Nedeljković.

Statutom je, takodje, prihvaćeno da časopis TRIBOLOGIJA U INDUSTRII koji je posle četrnaest godina izlaženja ispunio status međunarodnog časopisa formiranjem, pored ostalog, internacionalne redakcije i štampanjem radova i na ruskom i engleskom jeziku, postane i glasilo Jugoslovenskog društva za tribologiju.

Pristupnice za članstvo u Jugoslovenskom društvu za tribologiju poslate su svim predplatnicima časopisa TRIBOLOGIJA U INDUSTRII a mogu se dobiti i na Mašinskom fakultetu u Kragujevcu na kome se nalazi i sedište JDT-a.

## **Yugoslav Tribology Society**

*In November of 1992, Yugoslav Society for Tribology was formed, which is intended to continue and extend activities in the field of tribology of former Yugoslav Committee for Tribology.*

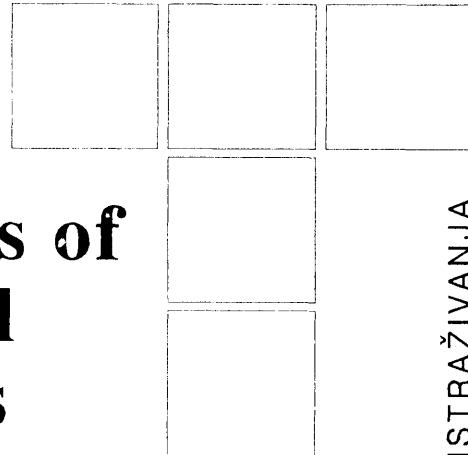
*Yugoslav Society for Tribology is scientific and expert, nongovernment and non-party institution that gathers scientific and expert workers from all fields of tribology. YTS enables mutual exchange of tribological information and helps development of new knowledges as well as application of existing tribological knowledges in industrial and other systems.*

## **Югославское общество по трибологии**

*В ноябре 1992. года основано Югославское общество по трибологии, которое продолжает и расширяет научную деятельность в области трибологии бывшего Югославского Комитета по Трибологии.*

*Югославское общество по трибологии является научной, неполитической организацией объединяющей ученых и специалистов, занимающихся разными областями трибологии. ЮТО обеспечивает взаимный обмен трибологическими информациами и способствует развитию новых и уже существующих трибологических знаний в промышленных и других системах.*

*Svim našim čitaocima i  
saradnicima želimo uspešnu  
1993. godinu*



*V. DOVGYALO, V. MIRONOV, O. YURKEVICH*

# Technological Principles of Controlling Tribological Properties of Laminates with Polymeric Matrices

ISTRAŽIVANJA

## 1. INTRODUCTION

Laminated system with polymeric matrices are often helpful in providing reliable performance of heavy loaded friction assemblies operated without lubrication. Thin polymeric coatings fixed adhesionaly onto metallic substrates are widely used in mechanical engineering [1, 2]. The combination of rigid heat-conducting metallic substrate and polymeric layer possessing damping, self-lubricating and wear resisting characteristics ensures high, compared to block polymers, load-bearing capacity of friction pairs. Their service life depends in many respects on the level the polymer layer possesses such contradictory properties as adhesional activity towards the substrate under static contact as well as adhesional inertness towards the counter face under dynamic contact conditions. However, this complex of requirements is not easy to meet, so this limits the choice of polymers and capacities of coatings for operation in friction assemblies.

Laminated systems with continuos reinforcing fillers and polymeric binders showing wider potentialities for controlling tribological characteristics are of great interest. Plastic laminates based on carbon, glass and organic fibre fillers, whose unit strength exceeds that of other structural materials, metals and alloys included, belong to that group. They show high strength at static and dynamic loading with good tribological characteristics.

The level of triboengineering characteristics, as well as other properties of plastic laminates, depends largely on their technology. The main technological aspects of plastic laminates are:

- i) selection of components

- ii) selection of method for one-layer material (prepreg) fabrication
- iii) designing laminated materials
- iv) manufacture of laminated material and articles.

We shall consider problems related to the selection of components for plastic laminates, and technological parameters for their manufacture. This lecture discusses the role of procedure used in prepreg fabrication, and design of plastic laminates, in controlling their tribological characteristics trough the structure and properties of the functional layers. Binders possessing high antifrictional features - polycarbonate (PC), polysulfone (PSF) and polytrifluorochloroethylene (PTFCE) - and fillers - fabrics of carbon and glass fibre that are widely used in triboengineering - were chosen for the experiments.

The structure of a plastic laminate can be conditionally divided into three zones, viz.:

- 1) the working layer in contact with the counter face (it must be highly resistant and have low friction coefficient)
- 2) the bottom layer contacting the substrate and other elements of the friction unit base (it must have high adhesiveness to the substrate along with damping properties)
- 3) the layer (or layers) between the previous two (its/their purpose is to support the load and dissipate heat from the friction zone).

## 2. SELECTION OF METHOD FOR PRE-PREG FABRICATION

The stage of prepreg fabrication (one-layer material or semi-finished product in the form of tape or fabric (filler) impregnated with polymeric binder) provides great opportunities for developing laminates with required sets of triboengineering, adhesional, physicomechanical, and

---

*V. Dovgyalo, Belarus Academy of Sciences  
V. Mironov, Belarus Academy of Sciences  
O. Yurkevich, Belarus Academy of Sciences*

Table 1. Tribological characteristics of plastic laminates based on particulate polycarbonate

Filler	Method	$\lambda$ $\omega T/MK$	P MPa	J $\times 10^9$	f	T K	$P_{ul}^{(*)}$ MPa
Carbon fabric	ECPT	0.50	1	1.88	0.18	321	15
			5	4.81	0.05	346	
	UCPT	0.40	1	2.44	0.28	330	10
			5	9.84	0.12	375	
Glass fabric	ECPT		1	9.84	0.23	344	6
			4		0.11	366	
	UCPT		1	17.01	0.50	355	4
			4		0.14	380	

<sup>(\*)</sup>  $P_{ul}$  values were determined at:  $v=0.5 \text{ m/s}$ ;  $\lambda$  is coefficient of thermal conductivity

any other properties. The powder technology of prepgs was used as the basic method; this procedure is versatile - it can be used with thermoplastics, thermosets, different types of fillers (tape, fabric, plait) - and has several advantages, compared to other technological methods of producing composites [3]. We have tested two versions of the technology:

- 1) fibrous filler was covered with electrically charged particles of a particulate binder in an electric field of 50 to 500 kV/m (ECPT)
- 2) fibrous filler was covered with uncharged particles (UCPT)

For comparison, film technology (FT) implying combination of film and fibrous filler was considered. In all the cases above, the binder was secured to the filler by thermal treatment at a temperature higher than the softening (or melting) point of the polymer.

Friction test results obtained using the schematic "shaft-partial bearing" showed the tribological characteristics of

the materials to depend on the procedure the prepgs had been fabricated. Table 1. lists wear rates J, friction coefficient f, friction temperatures T, and ultimate pressure  $P_{ul}$  (at constant sliding velocity  $v=0.5 \text{ m/s}$ ) for the materials obtained by ECPT and UCPT. The comparative analysis of the data listed allows the following conclusion to be made [4]. First, values of J, f and T for the materials produced by ECPT are much lower then for those produced by UCPT. Secondly, variations in the tribological characteristics, with the methods the prepgs had been fabricated, were observed for carbon and glass fibre-reinforced plastics; the variations being most pronounced for carbon fibre plastics. The wear resistance and antifrictional properties of the glass fibre plastics are much lower then those of the carbon fibre plastics. Thirdly, on increasing the load (pressure), the influence of the method the prepgs had been fabricated, on the tribological characteristics becomes stronger. The ultimate load bearing capacity of the EPCT-fabricated specimens was 1.5 times

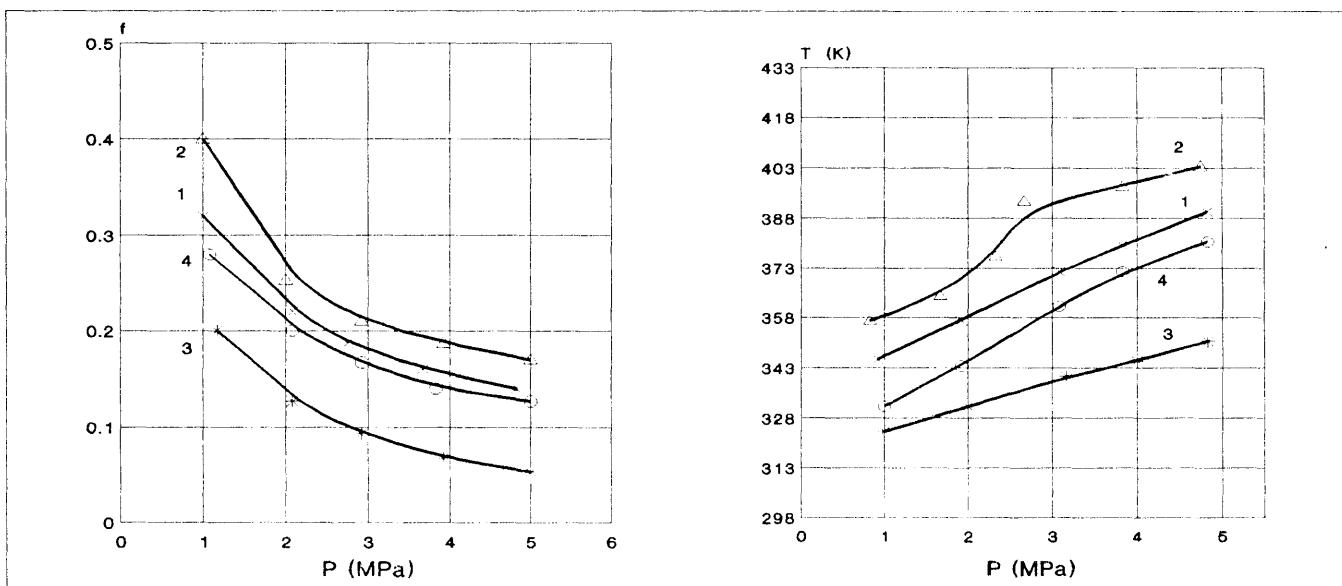


Fig. 1. Dependences of friction coefficient f (a) and temperature T of specimens (b) on pressure P for carbon fibre plastics based on PTFCE (1, 2) and PC (3, 4) fabricated by ECPT (1, 3) and UCPT (2, 4)

Koefficijent trenja f i temperaturna T u zavisnosti od pritiska p

Коэффициент трения f и температура Т в зависимости от давления p

lower than of those obtained by UCPT. Similar variations in the tribological characteristics with the prepreg technology have been detected for PC and PTFCE-based materials. Figure 1. shows results evidencing to this argument. Dependences of  $f$  and  $T$  on  $P$  show the friction coefficient to fall with pressure increments, but the temperature to rise. The specimens fabricated by ECPT exhibited lower  $f$  and  $T$  values at all the loads applied. Differences grow greater in  $f$  and  $T$  with increasing  $P$  for all materials fabricated by different methods.

The improvements in the antifrictional properties and wear resistance achieved by using electrocharged particles are mostly connected with variations in the cohesiveness of the plastic laminates. In this case, the dominating role in  $f$  and  $J$  increase is played by variations in the structure and reinforcement of the plastic laminate.

The effect of material density results from more densely packed electrodeposited layers of binder charged particles, and also crosslinking and orientation of the molecular structure of the polymer in the field of the binder residual charges during prepreg fabrication. Less imperfect polymeric matrix is obtained, with more uniform distribution across the reinforcing filler carcass. This is supported by experiments conducted in order to estimate the density and strength of PTFCE films fabricated by electrodeposition of particulate polymers. Figure 2. shows dependences of the density and tensile strength of PTFCE electrodeposited on foil (with melting) on the integral charge of the layer. The analyses of these dependences reveal increases in the polymer layer density (curve 1) and strength (curve 2). The facts of the polymer layer in the material are related to electric polarization which makes the polymer layer less imperfect. Their relation to the thermal conductivity, and also dispersity and charge

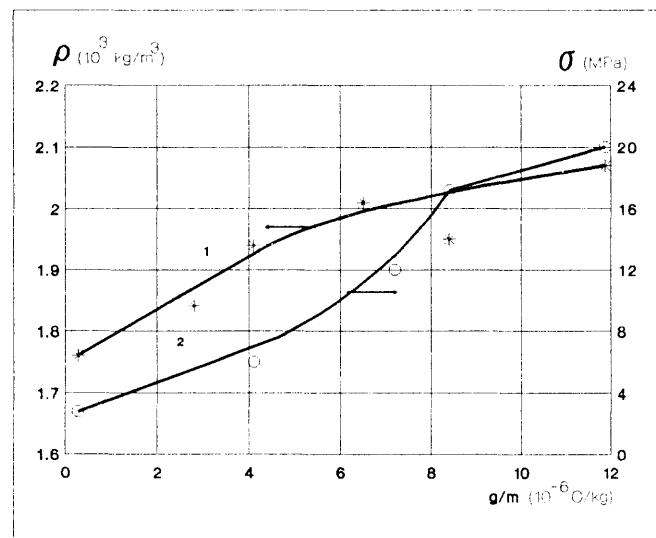


Fig. 2. Effect of integral charge of PTFCE particle layer on the density (1) and tensile strength (2) of films formed by melting the layer

Gustina i napon u zavisnosti od ukupne mase prevlake  
Плотность и напряжение в зависимости от общей массы покрытия

of the polymer particles, intensity of the external field determine the ways of controlling the tribological characteristics of plastic laminates.

Comparison of carbon fibre-reinforced plastics produced by film and powder technologies, Table 2, witnesses for advantages of the process in which electrically charged particles were used. Table 2, giving test results on PC and PSF-based plastic laminates, indicates improvements in the antifriction properties as resulting from the stronger adhesion of the binder to the film owing to a greater contact area between the binder and the reinforced fibres.

Table 2. Effect of prepreg technology on tribological characteristics of carbon fibre-reinforced plastics

Process	Binder	$J_g \times 10^6$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$f$	T [K]
ECPT	PC	2.22	0.29	348
		3.48	0.28	349
ECPT	PCF	2.37	0.26	339
		2.58	0.32	348

Note:  $J_g$  is weight wear rate

### 3. SELECTION OF DESIGN FOR PLASTIC LAMINATE

Designing of a plastic laminate and articles from it is an important stage responsible in many ways for the triboeengineering properties. The thickness and the number of plies, adhesional bonding between the plies and physicomechanical properties of the bottom ply are the main parameters influencing the rigidity of the plastic laminate as a whole.

Figure 3. shows the effect of ply quantities on the tribological characteristics of plastic laminates. The extreme

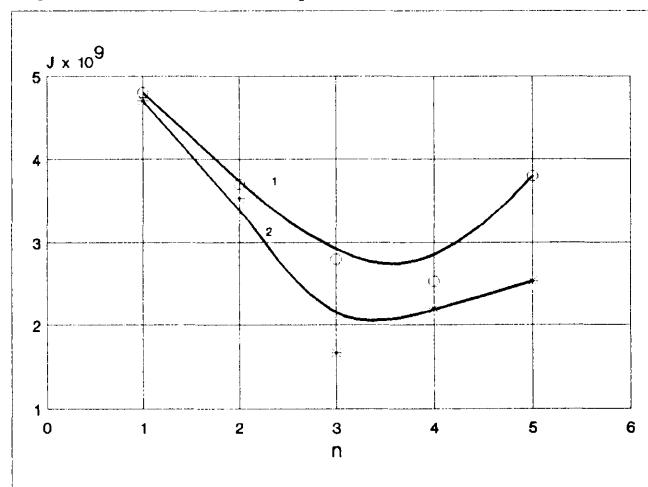


Fig. 3. Effect of ply quantity on wear rate for PC-based plastic: 1 - plies without adhesional bond; 2 - plies are adhesional bonded

Uticaj broja plazala n na intenzitet habanja: 1 - bez adhezivnih vez; 2 - sa adhezivnim vezama

Воздействие числа переходов  $n$  на интенсивность изнашивания: 1 - без одгезивных связей; 2 - с адгезивными связями

mode of the wear rate dependence on the ply number can be associated with the competing influences of the plastic laminate rigidity and heat dissipation in the friction zone. The role of adhesion between the plies should also be mentioned: for any ply quantities tested the wear resistance of the laminates, to which plies were bonded adhesionaly, was higher than that of the materials without adhesional bond between the plies. We believe this observation to be caused by changes in the heat dissipation conditions.

The important role of the elastic properties of the bottom layer is supported by the following data. To estimate this role, model experiments were conducted with two layers - a working layer, the top one, and the bottom layer. The bottom layer was made of different materials, from rubber to metals; this provided wide variations in the tensile elastic modulus. It should be mentioned that the two layers were not bonded adhesionaly, hence adhesional interaction could not affect the wear resistance of the plastic laminate (we did not intend to discuss this influence in the present paper).

Figures 4. and 5.(b) show wear rates for the top layer, PC+carbon fabric, vs. elastic modulus of the bottom layer, and reduced rigidity D/b of the plastic laminate. The D/b values were found from the expression [5]:

$$D/b = \frac{E_1 \cdot t_1^3}{12} + \frac{E_2 \cdot t_2^3}{12} + \left( \frac{t_1 + t_2}{2} \right)^2 \cdot \frac{t_1 \cdot t_2 \cdot E_1 \cdot E_2}{E_1 \cdot t_1 + E_2 \cdot t_2}$$

where b is the specimen width;  $E_1$  and  $E_2$  are elastic moduli of the top and bottom materials;  $t_1$  and  $t_2$  are the thicknesses of the top and bottom layers.

The dependence mode evidences to an optimal rigidity of the twolayer material that ensures the lowest wear at the

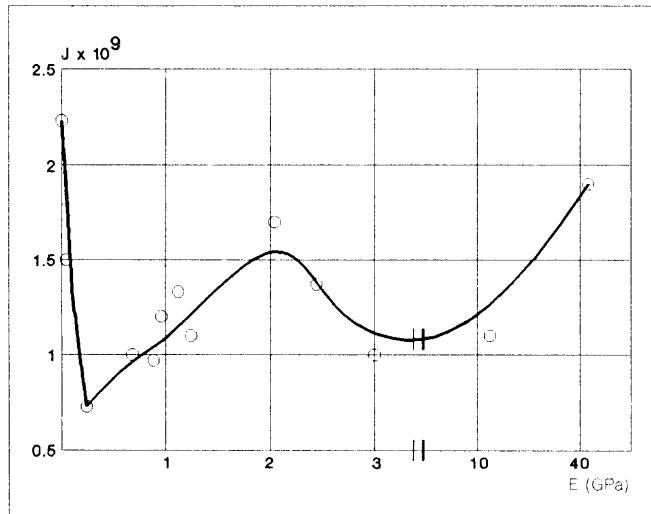


Fig. 4. Effect of wear rate of PC-based plastic on the elastic modulus of the bottom layer material  
Intenzitet habanja J u zavisnosti od modula elastičnosti E  
Интенсивность изнашивания J в зависимости от модуля эластичности E

given load-and-speed friction regimes. The optimum is connected with many factors and processes occurring in the friction zone. Of major importance are the following factors. First, damping of the radial loads caused by shaft run-out should be mentioned, which leads to compressive stress relaxation, viz. stretching of the working layer, and increases the fatigue wear threshold of the material. Secondly, tangential microdisplacements can occur in the top layer of the material when the rigidity of the system varies. This factor can contribute in creating unstable friction regimes with oscillatory variations in the strained state of the working layer. Figure 4. shows the regime for the situation when the bottom layer was of rubber (the left-hand descending branch of the curve).

The above suppositions agree quite well with the results obtained for the effect of the bottom layer thickness on wear. With smaller thicknesses, the effect of the elastic properties of the bottom layer on the rigidity of the system diminishes until at a definite thickness, that depends on the testing conditions, the dependence  $J = f(D/b)$  disappears, Figure 5-a.

It was interesting to estimate wear in more detail in the most characteristic point of the curve in Fig. 4., related to the LDPE and PCA (the bottom layer), Fig. 6. The estimates showed the differences in the wear values to increase significantly with the testing period, and this is one more indication to study the potentialities of laminated systems.

We have described technological capabilities of controlling the tribomechanical characteristics of laminated systems with polymeric matrices. The prepreg powder technology is argued to improve significantly, compared to other production processes, the tribological characteristics, and widen the load-and-speed range for plastic

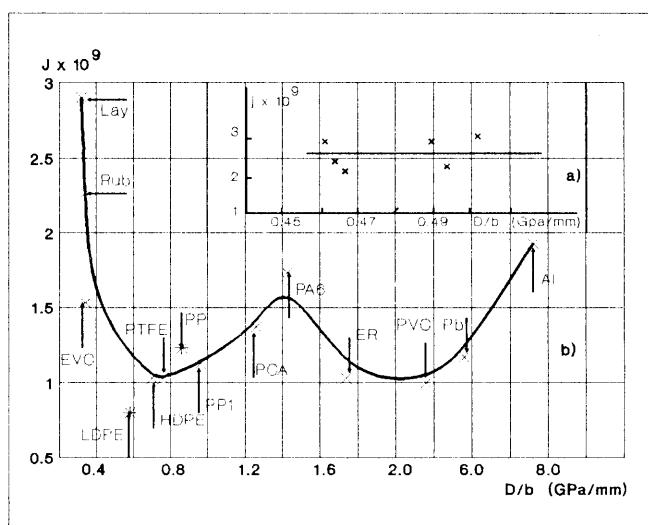


Fig. 5. Wear rate for PC-based carbon plastic vs. reduced rigidity.  
The bottom layer thickness was a: 150 μ; b: 800 μ  
Intenzitet habanja u zavisnosti od D/b  
Интенсивность изнашивания в зависимости от

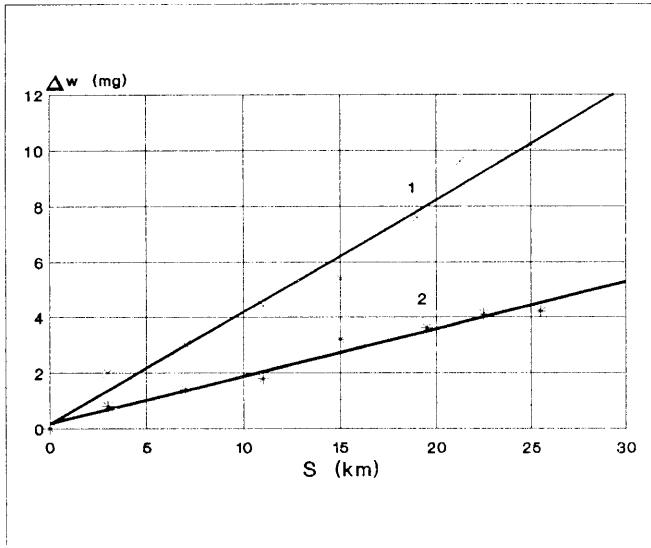


Fig. 6. Wear values for PC-based plastic on the run distance and bottom layer material: 1 - PCA; 2 - HPDE

Habanje u zavisnosti od puta trenja  
Изнашивание в зависимости от дорожки трения

laminates based on continuous fibrous - carbon and glass - fillers.

The marked influences of the parameters of the functional layers of laminated materials, their elastic characteristics and adhesion between the layers involved, necessitate their consideration in designing of tribosystems, as well as conduction of further investigations.

## REFERENCES

- [1.] BELY V. A., DOVGUALE V. A., YURKEVICH O. R., *Polymeric Coatings*, Minsk, nauka i Tekhnika, 1976.
- [2.] SHESTAKOV V. M., *Working Capacity of Thin Polymeric Coatings*, Moscow, Mashinostroenie, 1973.
- [3.] BELY V. A., DOVGUALE V. A., YURKEVICH O. R. In: *Proceedings of International symposium on Fiber Reinforced Plastics / Composite Materials*, 1988., China, Section 5-D, p. 1-7.
- [4.] MIRONOV V. S., DOVGUALE V. A., YURKEVICH O. R., Soviet Friction and Wear Journal, 1991., Vol. 12, No 2, p. 326-332.
- [5.] RICHARDSON M. O. W. (Ed.), *Polymer Engineering Composites*, London, Applied Science Publishers, Ltd., 1977.

## Tehnološki principi kontrolisanja triboloških svojstava laminata sa polimernim matricama

Laminirani sistemi sa polimernim matricama su često korisni jer obezbeđuju pouzdan rad jako opterećenih frikcionih sklopova koji rade bez podmazivanja. Tankе polimerne prevlake adheziono pričvršćene na metalne osnove su široko korišćene u mašinskom inženjerstvu 6š11, 26d1. Kombinacija krutih toplotno provodljivih metalnih osnova i polimernog sloja koji ima prigušenje, kao i karakteristike samopodmazivanja i otpornosti na habanje obezbeđuju visok kapacitet prenošenja opterećenja, u poređenju sa blokovima od polimera. Njihov vek trajanja zavisi u mnogo čemu od nivoa na kome polimerni sloj poseduje tako kontradiktorne osobine kao što su adheziona aktivnost prema osnovi pri statičkom kontaktu, kao i adheziona inertnost prema suprotnoj strani pod uslovima dinamičkog kontakta. Međutim, ovaj kompleks zahteva nije lako da se ispunи, tako da to ograničava izbor polimera i kapaciteta prevlaka za rad u frikcionim sklopovima.

Laminirani sistemi sa kontinualnim ojačavajućim puniocima i polimernim vezivima koji pokazuju šire potencijale za kontrolisanje triboloških osobina su od velikog interesa. Plastični laminati zasnovani na ugljeničnim, staklenim i organskim vlaknastim puniocima, čija jedinična snaga prevazilazi snagu ostalih strukturnih materijala, uključujući i metale i legure, pripadaju ovoj grupi.

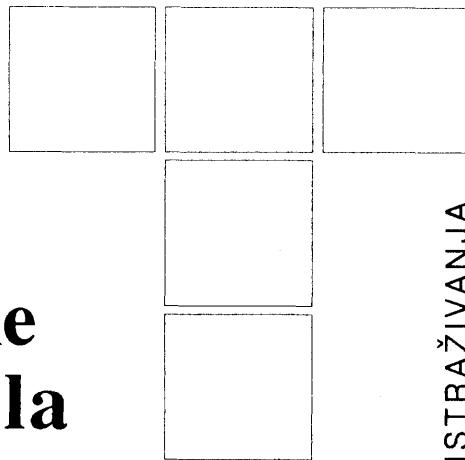
Nivo triboinženjerskih karakteristika, kao i ostalih osobina plastičnih laminata, zavise u mnogome od njihove tehnologije. Glavni tehnološki aspekti plastičnih laminata su:

- i) selekcija komponenata
- ii) selekcija metoda proizvodnje jednoslojnih materijala (prepreg)
- iii) projektovanje laminiranih materijala
- iv) proizvodnja laminiranih materijala i proizvoda.

Razmatraćemo probleme koji se odnose na selekciju komponenata za plastične laminate, i na tehnološke parametre za njihovu proizvodnju. Ovo izlaganje razmatra ulogu procesa korišćenog u proizvodnji preprega, i projektovanje plastičnih laminata u kontrolisanju njihovih triboloških karakteristika preko strukture i osobina funkcionalnih slojeva. Veziva koja poseduju visoke antifrikcione oscbine - polikarbonat (PC), polisulfat (PSF) i poli( trifluorohloro)etilen (PTFCE) - i punioci - materijali od ugljeničnih i staklenih vlakana koji se široko koriste u triboinženjerstvu - su izabrani za eksperimente.

Struktura plastičnog laminata može se uslovno podeliti u tri zone, odnosno:

- 1) radni sloj u kontaktu sa suprotnom stranom (on mora biti visoko otporan i imati mali koeficijent trenja)
- 2) donji sloj koji dodiruje osnovu i ostale elemente osnove frikcione jedinice (on mora imati visoku adhezivnost prema osnovi uz prigušna svojstva)
- 3) sloj (ili slojevi) izmedju prethodna dva (njegova/njihova svrha je da prihvati opterećenje i da odvodi toplotu iz zone trenja).



A. RAC, W. DAOUD

# Uticaj impregnacije na tribološke karakteristike kompozita kao materijala za samopodmazujuće klizne ležajeve

ISTRAŽIVANJA

## 1. UVOD

Samopodmazujući klizni ležaji predstavljaju posebnu vrstu ležaja koja je poznata po tome što ležaji mogu da rade i bez podmazivanja [1]. Zbog tog svojstva često se nazivaju i suvi ležaji. Primjenjuju se u različitim industrijskim područjima, u transportnim sredstvama-automobila, brodova, poljoprivrednih mašina, u avio i kosmotičnici itd. [2].

Za proizvodnju samopodmazujućih ležaja potencijalno se može koristiti veliki broj nemetalnih materijala [3], ali se ovi ležaji, najčešće, izrađuju od samo nekih vrsta termoplastičnih materijala kao što su politetrafluoretlen, poliacitali, poliamidi, poliimidi i termostabilnih smola od kojih su najznačajnije fenolne i epoksidne smole [4, 5]. U cilju poboljšanja mehaničkih i triboloških karakteristika ovim materijalima se dodaju različiti punioci i ojačivači.

Ležaji izrađeni od termostabilnih smola ojačani vlaknima široko se koriste u pomenutim oblastima tehnike i zbog toga su veoma poznati u inženjerskoj praksi. Najčešći sastav materijala su fenolne smole ojačane tekstilnim ili azbestnim vlaknima [6, 7]. Ovi materijali, koji se nazivaju kompoziti, poseduju visoku čvrstoću, otpornost na udare, atmosferalije i mnoge hemikalije, ali njihove tribološke karakteristike nisu naročito povoljne [8]. Tako, na primer, koeficijent trenja u uslovima trenja suvih površina može imati i relativno visoke vrednosti od 0.2 do 0.45 [9, 10]. Zbog toga se klizni ležaji izrađeni od kompozita koriste na sledeća dva načina. Jedan je da se tokom rada ležaji

podmazuju radnim fluidom, vodom ili konvencionalnim mazivima (ulje/mast). U drugom slučaju, kada se koriste kao suvi ležaji, poboljšavaju se tribološke karakteristike materijala različitim impregnacijama.

Polazeći od tih saznamja osnovni razlog istraživanja, čiji su rezultati prikazani u ovom radu, je bio da se odredi optimalna impregnacija koja će da obezbedi povoljne tribološke karakteristike kada ležaji rade bez podmazivanja odnosno kada se koriste kao suvi ležaji.

## 2. ISPITIVANI MATERIJAL I IMPREGNACIJE

Za predmetna istraživanja korišćen je kompozitni materijal na bazi fenol-formaldehidnih smola ojačanih tekstilnim vlaknima čije su mehaničke karakteristike prikazane u tablici 1 [9].

Tablica 1. Mehanička svojstva ispitivanog materijala

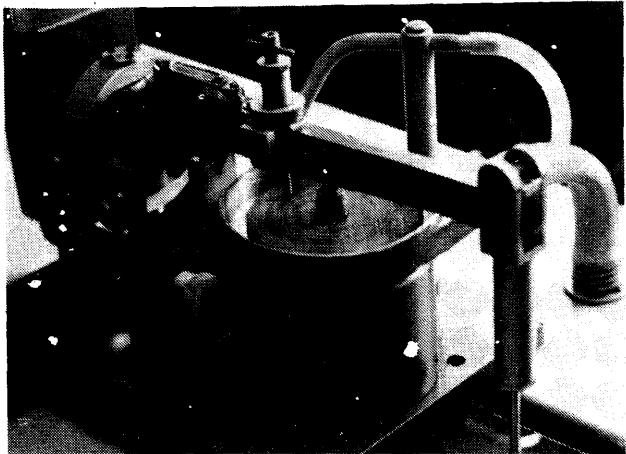
Čvrstoća na pritisak $R_{cm}$	u pravcu vlakna	$130 \text{ N/mm}^2$
	upravno na vlakna	$280 \text{ N/mm}^2$
Zatezna čvrstoća $R_m$	u pravcu vlakna	$130 \text{ N/mm}^2$
Žilavost šarpi	u pravcu vlakna	$0.74 \text{ J/sm}^2$
	upravno na vlakna	$17.6 \text{ J/sm}^2$

Impregnacija usvojenog kompozitnog materijala vršena je sa dva sredstva. Klasično, uljem za podmazivanje (impregnacija A) što je česta praksa kod ovih ležaja i preporuka proizvođača materijala i mešavinom parafinskog voska i lanenog ulja u odnosu 80:20 (impregnacija B).

Prof. dr Aleksandar Rac, dipl. ing. Mašinski fakultet,  
Beograd  
W. Daoud

### 3. EKSPERIMENTALNA ISTRAŽIVANJA

Eksperimentalna istraživanja vršena su na dva laboratorijska uređaja. Korišćenjem uređaja tipa "pin-on-disk" (sl. 1) ispitivane su uporedno karakteristike trenja i habanja materijala sa napred naznačenim impregnacijama. Pri tome je disk bio izrađen od kompozitnog materijala, a stacionirana epruveta (pin) od čelika Č4721, tvrdoće 217 HB.



Sl. 1. Detalj tribometra pin-on-disk

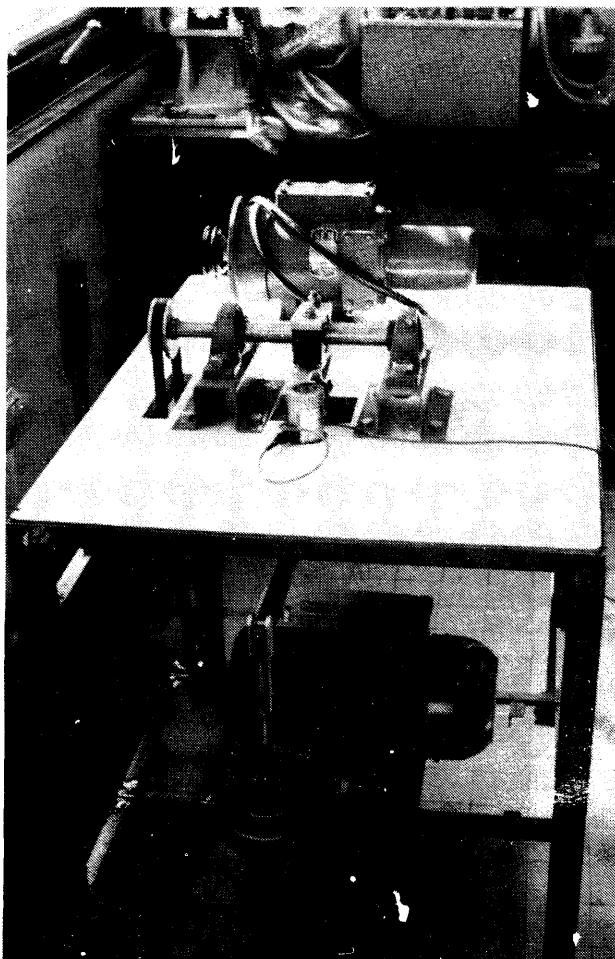
Pin-on-disc tribometer

Детаљ трибометра "pin-on-disk"

Radna površina pina je polusferična sa radijusom 6 mm. Površinska hrapavost Ra radne površine iznosila je 0.1 nm. Ispitivanja su vršena pri sledećim uslovima: brzina klizanja menjana je u rasponu od 1 do 2 m/s, što znači u gornjem opsegu primene kompozitnog materijala za uslove trenja suvih površina, dok su opterećenja bila u opsegu od 10 do 25 N. Tokom ispitivanja meren je gubitak mase diska sa tačnošću  $10^{-4}$  g i na osnovu toga izračunati su intenziteti i faktori habanja.

Dalja istraživanja su realizovana na realnim ležajima izrađenim od kompozita korišćenjem probnog stola sopstvene konstrukcije (sl. 2).

Uredaj omogućuje ispitivanja pri različitim brojevima obrtaja rukavca i opterećenjima. Pri radu uređaja moguće je direktno i kontinualno praćenje veličine trenja i temperatura površine ležaja i ili maziva. Pomoću opisanog uređaja vršena su uporedna ispitivanja ležaja sa impregnacijom B i ležaja bez impregnacije ali podmazivanog tehničkom mašču čije su karakteristike odgovarale zahtevima propisanim standardom JUS B. H3. 634. Uslovi ispitivanja su bili sledeći: pritisak po jedinici projektovane površine ležaja iznosio je  $175 \text{ KN/m}^2$ , a obimna brzina rukavca  $1.25 \text{ m/s}$ . Ovi uslovi daju pr karakteristiku veću od  $2 \cdot 10^5$ , što znači da su uslovi ispitivanja bili ostri za posmatrani materijal. Vreme ispitivanja je određeno uspostavljanjem stacioniranog rada ležaja sa gledišta trenja i temperature u dužem vremenskom periodu. Cilj istraživanja je bio da se uporede karakteristike trenja i temperaturu ležaja i na osnovu toga oceni efikasnost impregnacije u uslovu na standardni slučaj kada se ležaj podmazuje.



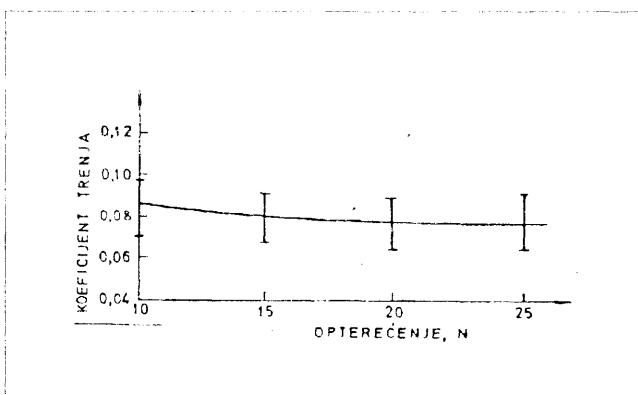
Sl. 2. Izgled uređaja za ispitivanje nemetalnih kliznih ležaja

Bearing test ring

Взгляд установки для исследование подшипников

### 4. REZULTATI ISPITIVANJA I DISKUSIJA

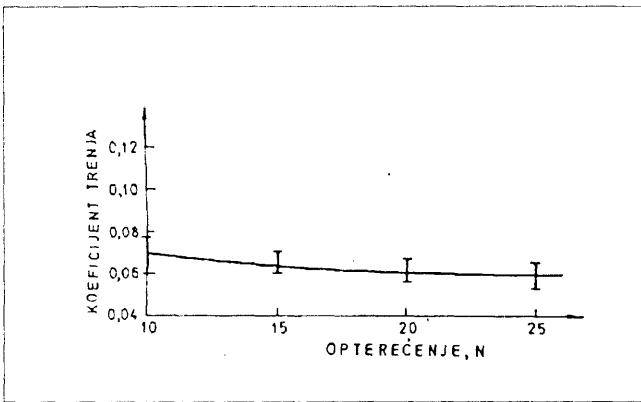
Ispitivanjima na tribometru dobijene su zavisnosti koeficijenta trenja i intenziteta habanja od opterećenja pri različitim brzinama klizanja i to za dve izabrane impregnacije.



Sl. 3. Zavisnost koeficijenta trenja od opterećenja za impregnaciju

A Coefficient of friction versus load for material impregnated with oil

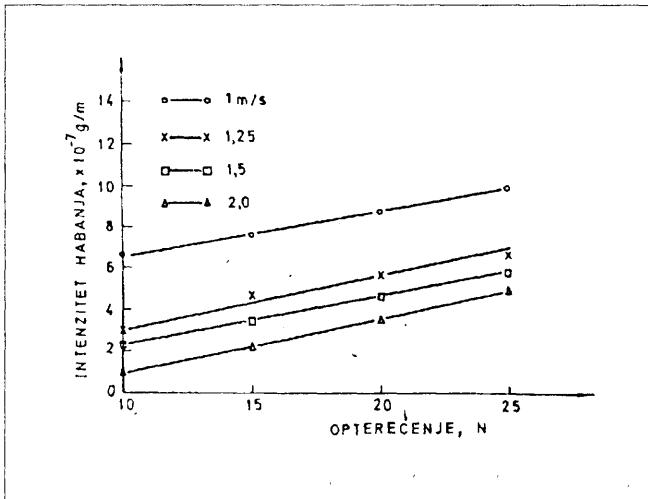
зависимость коэффициента трения от нагрузки (импрегнация А)



Sl. 4. Zavisnost koeficijenta trenja od opterećenja za impregnaciju B  
*Coefficient of friction versus load for material impregnated with paraffin wax*  
*Зависимость коэффициента трения от нагрузки Импрегнация В)*

Koeficijent trenja nezavisno od vrste impregnacije (sl.3 i sl.4) opada sa porastom opterećenja, mada taj pad nije izrazit. Uticaj brzine klizanja je više izražen kod impregnacije A, gde je zapažen i porast koeficijenta trenja sa porastom brzine. Srednja vrednost koeficijenta trenja iznosi 0.08 za materijal sa impregnacijom A, a 0.06 za materijal sa impregnacijom B. To ukazuje da je impregnacija parafinskim voskom povoljnija sa gledišta trenja.

Intenzitet habanja iskazan kao odnos mase pohabanog materijala i pređenog puta (sl.5 i sl.6) pokazuje da je isti manji kod materijala sa impregnacijom B za sve opsege ispitivanih brzina i opterećenja. Iz datih dijagrama može se, takođe, zaključiti da je kod materijala impregnisanim



Sl. 6. Zavisnost intenziteta habanja od opterećenja za različite brzine klizanja (impregnacija voskom)  
*Wear intensity - load relationship for different sliding speeds (impregnation with wax)*  
*Зависимость коэффициента изнашивания от нагрузки при различных скоростях скольжениях (импрегнации воском)*

uljem izražena neravnomernost u habanju i značajno rasipanje rezultata.

Sa slike 5 se vidi da interzitet habanja opada sa porastom brzine samo do brzine od 1.5 m/s u opsegu ispitivanih opterećenja. Za 1.5 i 2 m/s kao i opterećenja iznad 20 N habanje raste. To znači da se ti uslovi javljaju kao kritični sa gledišta habanja. Međutim kod kompozita sa impregnacijom B (sl.6) zakonomernost habanja je izuzetno pravilna. Sa porastom opterećenja habanja linearno raste za svaku posmatranu brzinu, a sa porastom brzine opada i to važi za sva ispitivana opterećenja.

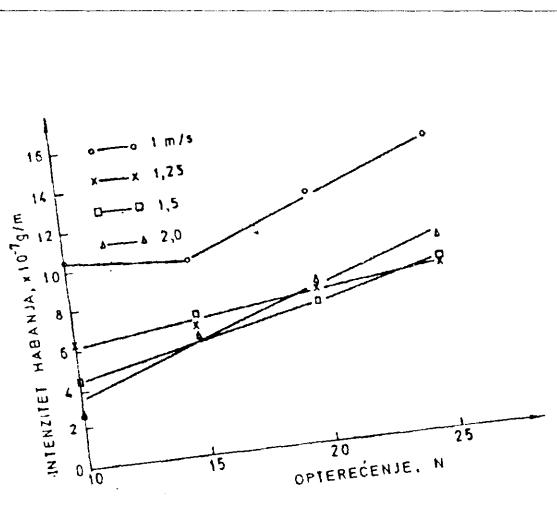
Objašnjenje za ovakve rezultate trenja i habanja može se naći u činjenici da impregnacija uljem ne obezbeđuje adekvatno podmazivanje pri višim brzinama i opterećenjima. Tokom ispitivanja zapažano je istiskivanje ulja na krajevima diska i uslovno "suv" kontakt na mestu dodira pina i diska kada su dodiri pod opterećenjem. Ovakve pojave nisu registrovane kod impregnacije mešavinom parafinskog voska i lanenog ulja.

Na osnovu dobijenih rezultata izračunati su faktori habanja koristeći poznatu formulu

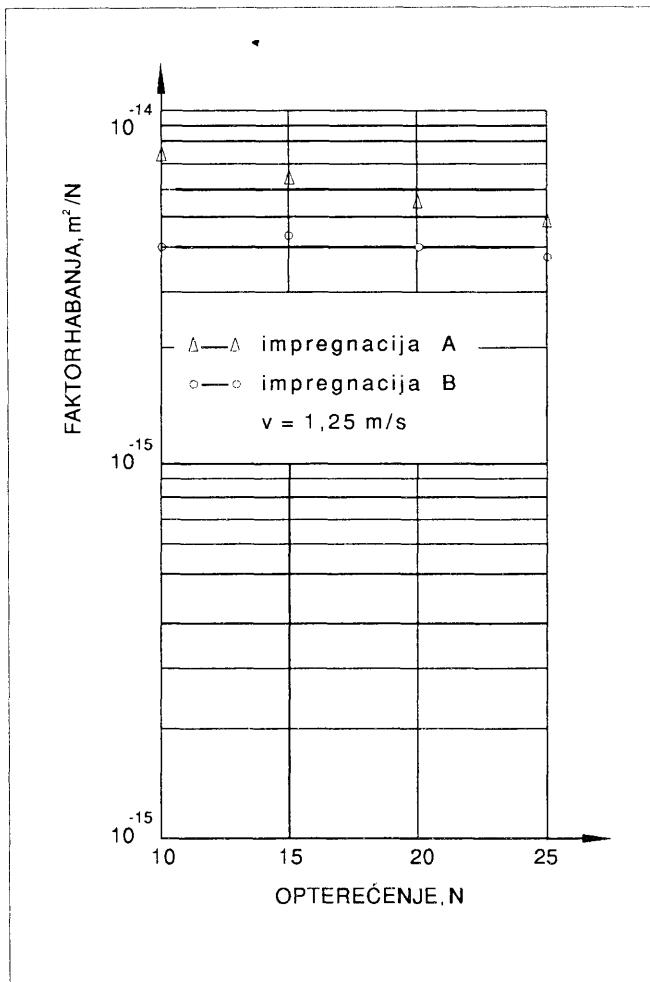
$$V = K \cdot F \cdot s,$$

gde je:  $V$  - zapremina pohabanog materijala,  
 $K$  - faktor habanja,  $F$  - opterećenje i  
 $s$  - pređeni put.

Srednje vrednosti faktora habanja za opsege ispitivanih brzina i opterećenja iznose  $64 \cdot 10^{-15} \text{ m}^2/\text{N}$  za materijal sa impregnacijom A i  $43 \cdot 10^{-15} \text{ m}^2/\text{N}$  kod materijala sa impregnacijom B. Ispitivanja su, takođe, pokazala da se faktori habanja malo menjaju sa promenom opterećenja (sl.7).



Sl. 5. Zavisnost intenziteta habanja od opterećenja za različite brzine klizanja (impregnacija uljem)  
*Wear intensity - load relationship for different sliding speeds (impregnation with oil)*  
*Зависимость коэффициента изнашивания от нагрузки при различных скоростях скольжениях (импрегнация маслом)*

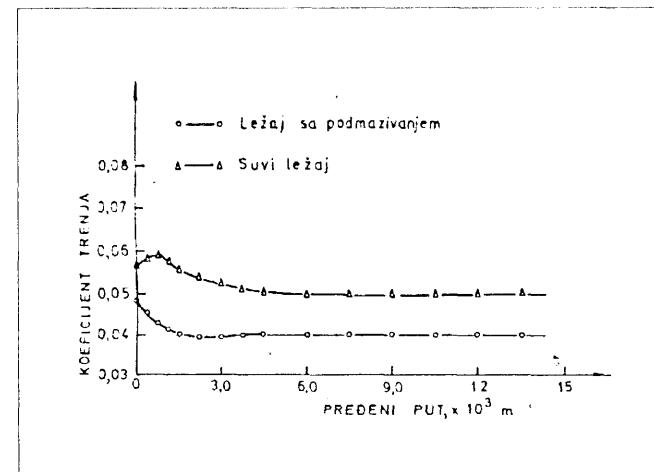


Sl. 7. Promena faktora habanja sa opterećenjem  
Variation of wear factor with load  
Изменение фактора изнашивания с изменением нагрузки

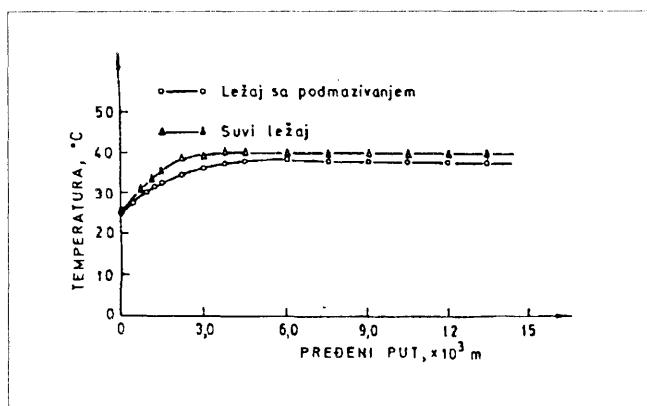
Pošto su ispitivanja na tribometru ukazala na prednosti impregnacije voskom, dalja istraživanja sa ležajima su realizovana sa tom impregnacijom. Kao što je već rečeno, na probnom stolu za ležaje ispitivani su ležaj sa impregnacijom i ležaj podmazivan tehničkom mašću. Veličina trenja (sl.8) i temperatura površine ležaja (sl.9) pokazuje da ležaj sa impregnacijom daje skoro iste vrednosti koefficijenta trenja i neznatno višu temperaturu. Iz rezultata se može zaključiti da kod podmazivanog ležaja period uhodavanja traje duže nego kod ležaja sa impregnacijom, što je bilo i za očekivati. Takođe se zapaža da koefficijent trenja kod suvog ležaja raste u početnom periodu rada, a zatim opada do neke stalne vrednosti.

## 5. ZAKLJUČAK

Sprovedena istraživanja su pokazala da ležišni materijal na bazi fenol-formaldehidnih smola ojačan tekstilnim vlaknima i impregniran mešavinom parafinski vosak/laneno ulje poseduje bolje tribološke karakteristike u odnosu na impregnaciju uljem. Pri istim uslovima ispitivanja, koristeći tribometar pin-on-disk, utvrđeno je da su koefficijenti trenja i intenziteti habanja znatno manji kod impregnacije materijala voskom za opsege brzina klizanja od 1 do 2 m/s i različitim opterećenjima.



Sl. 8. Promena koefficijenta trenja u toku rada ležaja  
Variation of bearing friction coefficient with sliding distance  
Изменение коэффициента трения в текении работы подшипника



Sl. 9. Promena temperature ležaja u toku rada  
Variation of bearing surface temperature with sliding distance  
Изменение температуры подшипника в текении работы

Impregnacija parafinskim voskom obezbeđuje skoro iste karakteristike trenja i temperaturu ležaja kao i u slučaju podmazivanja tehničkom mašću. To znači da se ispitivani materijal sa pomenutom impregnacijom može koristiti za suve ležaje, odnosno omogućuje rad ležaja bez održavanja i podmazivanja i kod viših pr vrednosti.

Ova ispitivanja su takođe pokazala da je faktor habanja relativno nezavisan od opterećenja, pa se dobijene vrednosti mogu koristiti za procenu veličine habanja u fazi projektovanja ležaja.

## LITERATURA

- [ 1.] A.RAC, *Osnovi tribologije*, Mašinski fakultet, Beograd, 1991.
- [ 2.] A.I.SVIRIDYONOK, *Self-lubrication mechanisms in polymer composites*, Trib Int, 24,1,1991,37-43
- [ 3.] J.K.LANCASTER, *Polymer-based bearing materials*, Tribology, 5, 6, 1972, 249-255
- [ 4.] J.K.LANCASTER, *Dry bearings: A survey of materials and factor affecting their performance*, Tribology, 6, 6, 1973, 219-251.
- [ 5.] J.K.LANCASTER, *Bearings*, Machine Design, 50,15,1978, 137-156.
- [ 6.] M.I.CAMPBELL, *An introduction to reinforced thermoset bearings*, Trib. Int., 11,3,1978, 178-180.
- [ 7.] D.C.EVANS, G.S.SENIOR, *Self-lubricating materials for plain bearings*, Trib. Int. , 15, 5, 1982, 243-248.
- [ 8.] J.C.ANDERSON, *Wear of commercially available plastic materials*, Trib. Int., 15, 5, 1982, 255-263.
- [ 9.] V.DORDEVIĆ, A. RAC, *Ispitivanje materijala za klizne ležaje*, Mašinski fakultet, Beograd, 1992.
- [10.] E.R.BRAITHWAITE, ed."Lubrication and Lubrications", Elsevier Pub. Co.,1967

## Influence of Impregnation on Tribological Characteristics of Reinforced Thermoset Bearing Material

*Self-lubricating bearings based on thermosetting resins reinforced with fibres are well known in engineering practice. The most common matrix is phenolic resin and textile fibres are generally used as reinforcement. This bearing material does not possess particularly good dry wear resistance, incorporation of solid lubricant or impregnation of bearing material is necessary.*

*Knowing this, the influence of different impregnation on tribological properties is tested. Phenol-formaldehyde resins reinforced with textile laminates was used as dry bearing material (Table 1). This material was impregnated with two different substances: one was mineral oil which is a common practice, the other was a mixture of paraffin wax and linseed oil in the proportion 80-20.*

*Material impregnated with wax possesses lower friction and wear intensity (Fig.3 to Fig.7) in the range of tested speeds from 1 to 2 m/s and different loads. This investigation was carried out on pin-on-disc tribometer.*

*In the next phase of the investigation full scale test rig for sliding bearings was used. The aims of this investigation were to compare friction characteristics and bearing temperature of bearings impregnated with wax to those lubricated with grease. Testing conditions were as follows: sliding speed equaled 1.25 m/s and bearing pressure 175 KN/m<sup>2</sup>, so that pv value of over 2x10<sup>5</sup> was reached. Results shown in Figures 8 and 9 demonstrate that the friction coefficient and the temperature of the bearing surface are very similar in both cases. It means that impregnation with the mixture of paraffin wax and linseed oil is very satisfactory, so that a tested material impregnated with wax can be used for dry free maintenance bearings.*

## Влияние импрегнации на трибологические свойства термически подготовленных подшипниковых материалов

*Самосмазывающиеся подшипники с автоматической смазкой, основанные на термически подготовленных смолах усиленных волокнами, широко известны в инженерном деле. В роли матрицы чаще всего используют фенольную смолу, а в роли усилителя - текстильные волокна. Поскольку этот материал не обладает достаточной износостойкостью при сухом трении то необходимо применение твердых смазок или импрегнации материала для подшипников.*

*В этом, аспекте проведены исследования воздействия различных видов импрегнации на его трибологические свойства. При этом для изготовления подшипников, работающих в условиях сухого трения, использовали фенолформальдегидные смолы с текстильными волокнами (таблица 1). Этот материал пропитывали двумя веществами - минеральным маслом, используемым в практике, и смесью парафинового воска с льняным маслом, в отношении 80:20. Импрегнированный воском материал показал меньшую интензивность трения и изнашивания и (рис. 3-7) в пределах исследуемых скоростях от 1-2 м/с и при различных нагрузках. Исследования проводились на пин-он-диск трибометре.*

*На следующем этапе испытаний использовали комплектное оборудование для исследования подшипников скольжения, чтобы сравнить характеристики трения и температуры подшипников импрегнированных воском, смазываемых технической смазкой.*

*Испытания проводились в следующих условиях: скорость скольжения 1.25 м/с, давление подшипников 175 кН/м<sup>2</sup>. Таким способом было получено значение пв больше 2x10<sup>5</sup>. Полученные результаты, приведенные на рис. 8 и 9, показывают, что коэффициенты трения и температуры поверхностей подшипников в обоих случаях очень подобны.*

*Это значит, что импрегнирование материала смесью парафинового воска и линяного масла дает хорошие эффекты, так что его целесообразно применять при изготовлении подшипников работающих без смазывания.*

IVKOVIĆ, S. ZAHAR, M. ERIĆ

# Tribološki informacioni sistem - osnova za upravljanje procesima trenja i habanja u industrijskim i transportnim sistemima

## 1. UVOD

Produktivnost industrijskih i transportnih sistema zavisi u velikoj meri od intenziteta razvoja triboloških procesa u zonama kontakta brojnih tribomehaničkih sistema kojima se proizvodnoj opremi (mašine, pribori, alati i dr.) i transportnim sredstvima vrši prenos snage i kretanja, prenos informacija, vodenje elemenata sistema i ostvaruju obradni procesi.

Pouzdanost funkcionisanja industrijskih i transportnih sistema, troškovi održavanja proizvodne opreme (mašina, alata, pribora i sl.) i transportnih sredstava, utrošak energije u proizvodnim procesima i transportu, troškovi maziva kao i troškovi proizvodnje i transporta u celini u velikoj meri su funkcija intenziteta razvoja procesa trenja i habanja u zonama kontakta osnovnih tribomehaničkih sistema.

Upravljanje procesima trenja i habanja, kao i stvaranje uslova za njihov usporen razvoj, zahteva poznavanje triboloških karakteristika materijala elemenata tribomehaničkih sistema koje su po svojoj prirodi relativne. Tribološke karakteristike materijala jednog elementa osnovnog tribomehaničkog sistema, na primer, zavise od osobina materijala drugog čvrstog elementa u kontaktu i maziva, od uslova pod kojima se kontakt ostvaruje kao i od izbora parametara za identifikaciju (sila trenja ili veličina pohabanosti, na primer).

Tribološke karakteristike materijala elemenata tribomehaničkih sistema predstavljaju osnov za formiranje brojnih baza podataka u tribološkim informacionim

sistemima čiji je razvoj u toku u nekoliko industrijski razvijenih zemalja. Istraživanja tribološkog karaktera koja su u poslednje dve decenije realizovana u laboratorijama Mašinskog fakulteta u Kragujevcu (Srbija) omogućila su i formiranje Tribološkog informacionog sistema (TIS) sa tri grupe baza podataka. Osnovne karakteristike ovog sistema, njegova struktura i organizacija, predmet su razmatranja u ovom radu.

## 2. OSNOVNA STRUKTURA I KARAKTERISTIKE TIS-A

Struktura realizovanih istraživačkih programa, kao i onih koji su u toku, u laboratorijama Mašinskog fakulteta i industrijskim sistemima sa kojima ova institucija saraduje, uticala je na izbor strukture Tribološkog informacionog sistema. Istraživanja u oblasti tribologije obradnih procesa, posebno u oblasti tribologije rezanja, bila su i danas su veoma obimna. Veliki broj rezultata istraživanja u ovoj oblasti omogućavaju određivanje triboloških karakteristika reznih alata, sredstava za hlađenje i podmazivanje i obradivosti materijala. Uvođenje u proizvodne procese novih alatnih materijala i novih vrsta sredstava za hlađenje i podmazivanje, na primer, uslovjava potrebu za neprekidnim tribološkim istraživanjima ove vrste.

U strukturi TIS-a prva grupa baza podataka pripada Tribologiji obradnih procesa. Osnovne baze podataka u ovoj grupi su:

- ▶ baza podataka o tribološkim karakteristikama alata,
- ▶ baza podataka o tribološkim karakteristikama sredstava za hlađenje i podmazivanje i
- ▶ baza podataka o obradivosti materijala predmeta obrade.
- ▶ baza podataka o uslovima pod kojima se ostvaruju obradni procesi.

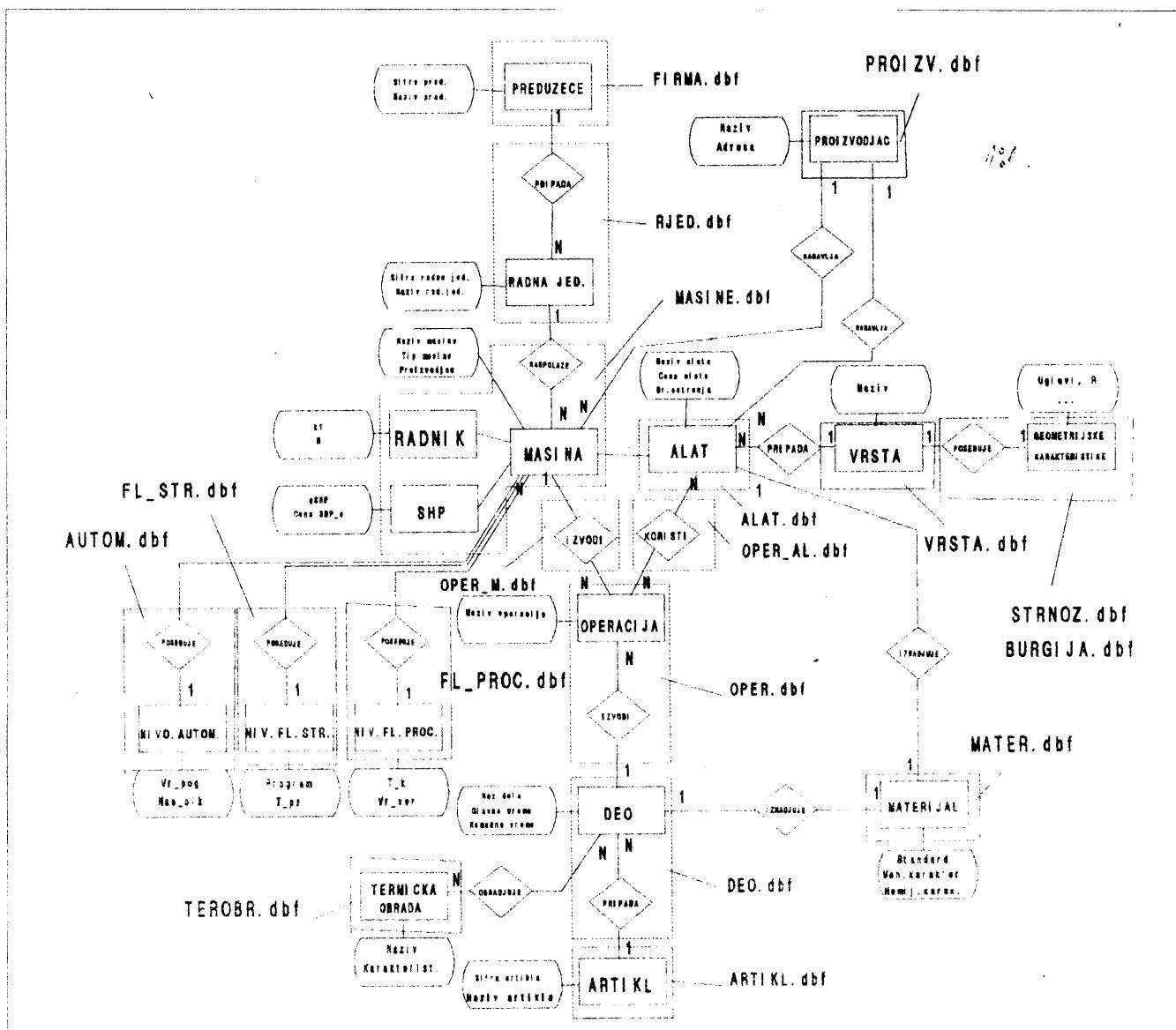
Prof. dr Branko Ivković, dipl. ing.  
Mašinski fakultet, Kragujevac  
Prof. dr Svetislav Zahar, dipl. ing.  
Mašinski fakultet, Kragujevac  
Milan Erić, dipl. ing.  
Mašinski fakultet, Kragujevac

Tribološke karakteristike elemenata tribomehaničkih sistema u kojima se realizuju obradni procesi određuju se sa aspekta trenja (energetski aspekt) i sa aspekta habanja.

Tribološke karakteristike elemenata ove vrste tribomehaničkih sistema zavise od uslova pod kojima se obradni procesi ostvaruju. Bez poznavanja uslova pod kojima se kontakt između alata i materijala predmeta obrade ostvara u obradnim procesima podaci o tribološkim karakteristikama nemaju nikakvu vrednost. Da bi se obezbedila veza između uslova pod kojima se obradni procesi ostvaruju i triboloških karakteristika sva tri elementa tribomehaničkih sistema ove vrste formirana je četvrta osnovna baza podataka koja između ostalih podataka sadrži i podatke vrednosnog karaktera (cene mašina, alata, SHP-a, radne snage i sl.).

Druga grupa baza podataka odnosi se na Tribologiju mašinskih elemenata. Osnovne baze podataka formirane prema vrstama mašinskih elemenata su:

- baza podataka o tribološkim karakteristikama zupčastih prenosnika,
- baza podataka o tribološkim karakteristikama lančanih prenosnika,
- baza podataka o tribološkim karakteristikama kaišnih prenosnika,
- baza podataka o tribološkim karakteristikama kontroljućih ležajeva,
- baza podataka o tribološkim karakteristikama vodica i
- baza podataka o tribološkim karakteristikama materijala elemenata tribomehaničkih sistema ove vrste (metali, nemetali, maziva) dobijenih u modelskim uslovima (tribometri).



Tribološke karakteristike mašinskih elemenata određene su, takođe, sa aspekta trenja (silom trenja) i sa aspekta habanja korišćenjem više vrsta parametara habanja (linijski, površinski, zapreminski). Informacije o uslovima ostvarivanja kontakta (relativna brzina, spoljašnje opterećenje, mazivo i sl.) na koje se tribološke karakteristike odnose nalaze se u svakoj bazi posebno.

Baza podataka o tribološkim karakteristikama materijala elemenata tribomehaničkih sistema dobijenih eksperimentalnim ispitivanjima u laboratorijskim uslovima na tribometrima različitih vrsta (pin on disk, four ball i sl.) ima poseban značaj jer može da bude korišćena i za određivanje triboloških karakteristika svih vrsta mašinskih elemenata.

Treća grupa baza podataka je bibliografskog karaktera. U njoj se nalaze informacije o rezultatima istraživanja u oblasti tribologije koji su objavljeni u određenom broju izabranih časopisa, o objavljenim knjigama u kojima se razmatraju problemi trenja i habanja i o zbornicima radova sa triboloških konferencija. Predviđeno je da baze podataka ove grupe budu formirane po vrstama informacija i po užim oblastima tribologije kojima pripadaju. Na primer, izlazna informacija iz ove grupe baza podataka može da se odnosi na tribološke karakteristike nodularnog liva koje su dobijene istraživanjima u više institucija i zemalja a objavljene u više časopisa i zbornika radova triboloških konferencija.

U ovoj fazi razvoja TIS-a na Mašinskom fakultetu u Kragujevcu potpuna organizacija baza podataka razvijena je za baze podataka iz oblasti Tribologije obradnih procesa dok je organizacija druge dve grupe u pripremi.

### **3. ORGANIZACIJA BAZA PODATAKA O TRIBOLOGIJI OBRADNIH PROCESA**

Baza podataka o tribologiji obradnih procesa dizajnirana je korišćenjem modela ENTITY-RELATIONSHIP. Model polazi od dijagrama entiteti-veze prikazanih na sl. 1.

Prikazani model predstavlja jedno od rešenja problema vezanih za Tribologiju obradnih procesa. Ovaj model se može menjati zavisno od zahteva koji se postavljaju pred sistem :lista entiteta, veza i atributa može se proširivati ili smanjivati, neki entiteti mogu postati atributi i obratno, pojedine veze mogu nestati, nove veze mogu biti dodata itd.

Na osnovu stepena i tipa veze između entiteta i pravila za prevodenje modela u relacijski strukturne baze podataka dobijaju se relacije sa međusobnim vezama prikazane na sl. 2.

Baza podataka vezane za alat, koji se koristi u odgovarajućem obradnom procesu, a iz kojih se mogu dobiti informacije vezane za režim u kojima se koristi alat (brzina rezanja, broj obrtaja, korak i sl.) kao i informacije koje

su vezane za habanje alata, sa nazivima polja, njihovim tipom i dužinom su :

#### **ALAT.dbf**

SIF_AL	C 9	- šifra alata
STAND	C12	- standard
NAZ_AL	C25	- naziv alata
CA	N 9.2	- cena alata
I_1	N 4	- broj oštrenja alata + 1
T1	N 5.2	- vreme promene alata
T2	N 5.2	- vreme oštrenja alata
K2	N 6.3	- lični dohodak radnika
SIF_MAT	C 6	- šifra materijala
PROIZ	C 6	- šifra proizvodača
VR_AL	C 2	- vrsta alata

#### **OPER\_AL.dbf**

SIF_DELA	C 8	- šifra dela
SIF_AL	C 9	- šifra alata
SIF_OP	C 3	- šifra operacije
PA	N 3	- broj alata
ZT	N 4	- broj komada između dva oštrenja
V	N 6.2	- brzina rezanja
N	N 5	- broj obrtaja
S	N 6.2	- korak
H1	N 6.2	- habanje alata
H2	N 6.2	- habanje alata
H3	N 6.2	- habanje alata
RA	N 6.2	- srednje arimet. odstupanje
RZ	N 6.2	- srednja visina neravnina
RMAX	N 6.2	- maximalna visina neravnina
OBLSTR	C20	- oblik strugotine
BRKOM	N 7	- broj komada

#### **STRNOZ.dbf**

SIF_AL	C 9	- šifra alata
REDBR	N 2	- redni broj
KAPA	N 3	- napadni ugao
KAPA1	N 3	- pomoći napadni ugao
ALFA	N 3	- ledni ugao
GAMA	N 3	- grudni ugao
R	N 5.2	- radius vrha pločice

#### **BURGIJA.dbf**

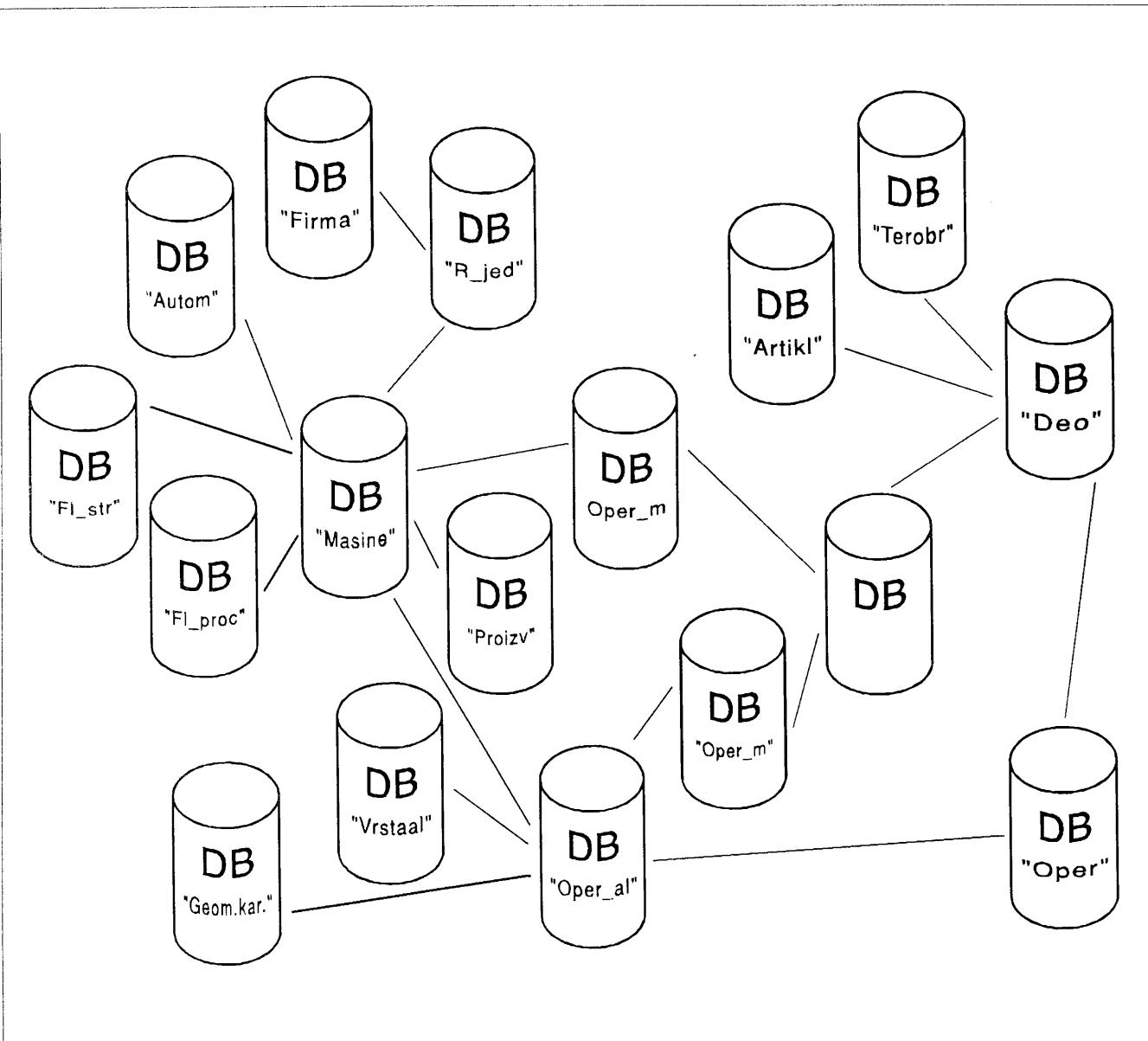
SIF_AL	C 9	- šifra alata
REDBR	M 2	- redni broj
D	N 3	- prečnik
D0	N 3	- prečnik jezgra
OMAGA	N 3	- ugao zavojnice
FI	N 3	- ugao vrha
ALFA	N 3	- ledni ugao
F	N 5.2	- fazeta

#### **VRSTAAL.dbf**

VR_AL	C 2	- vrsta alata
NAZ_VRSTE	C20	- naziv vrste

### **4. STRUKTURA I OBLIK IZLAZNIH INFORMACIJA**

Korišćenje Tribološkog informacionog sistema u celini ili pojedinih baza podataka moguće je na više načina.Jedan od načina korišćenja podrazumeva raspolaganje sa izlaznim informacijama stalnog i povremenog karaktera, koje za industrijsku praksu i druge korisnike priprema naučnoistraživački tim okupljen oko Tribološkog informacionog sistema. Mogućnosti korišćenja baza podataka



*Sl. 2. Medusobne veze banke podataka  
Conection between data bases  
Взаимосвязи банков данных*

Tribološkog informacionog sistema ovim nije iscrpljena. Individualni pristup sistemu i pretraživanje baza podataka je uvek moguće kao i priprema posebnih vrsta izlaznih informacija na zahtev korisnika.

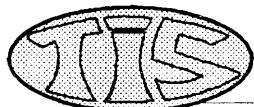
U ovoj fazi razvoja Tribološkog informacionog sistema priprema se i izdaje jedna izlazna informacija stalnog karaktera tipa "newsletters" pod nazivom "TIS informacije". Struktura ove izlazne informacije se sastoji iz tri dela. U prvom delu daju se uvodne napomene o vrsti i poreklu podataka koji se u njoj navode. Navodi se naziv baza podataka koja se koristi za izradu "TIS informacije" i ukazuje na izvornu eksperimentalnu dokumentaciju, odnosno istraživački program iz koga su podaci preuzeti. Drugi deo sadrži podatke koji su predmet informacije a treći kratak komentar o njima sa ukazivanjem na mogućnost njihovog korišćenja u praksi. U drugom delu ove

vrste izlaznih informacija izlaze se rezultat istraživanja koji je i predmet informacije sa uslovima pod kojima su eksperimenti izvođeni i ako je to relativno, sa osvrtom na korišćenu eksperimentalnu tehniku. Treći deo "TIS informacije" sadrži kratak komentar o prikazanom rezultatu istraživanja i ukazivanje na moguću oblast primene u industrijskim ili transportnim sistemima.

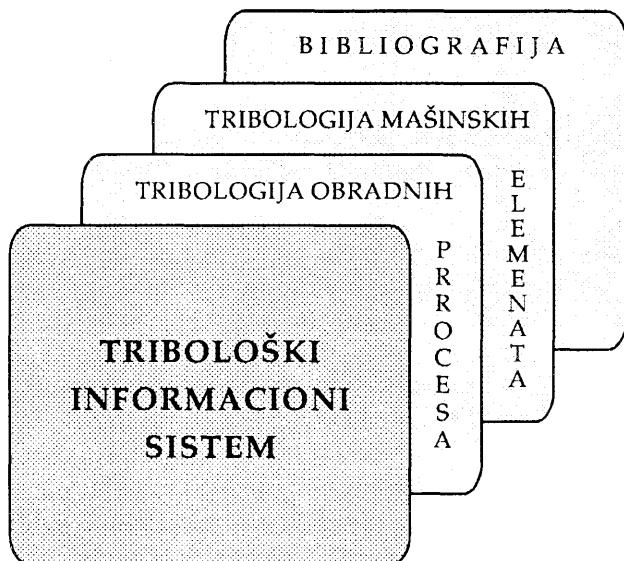
Na slici 3 prikazano je zaglavljje jedne od do sada štampanih "TIS informacija", a na slici 4 tribološke karakteristike odvalnog glijadala sa i bez prevlaka.

TIS informacija štampa se na A4 formatu (210x296) uvek na četiri strane sa mogućnošću formiranja kompleta u celini ili po oblastima.

Izlazne informacije povremenog karaktera pripremaju se posle obezbeđenja dovoljno podataka, odnosno posle



# TIS Informacije

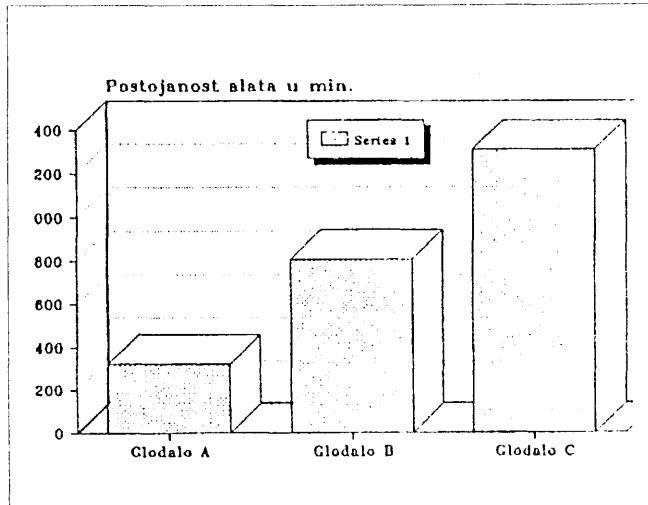


*Sl. 3. Izgled prve strane jedne TIS informacije  
The first page of TIS-information  
Вид первый страницы одной из ТИС информации*

unošenja u odgovarajuće baze podataka rezultata istraživanja dobijenih u više istraživačkih institucija domaćih i stranih. Izlazne informacije ove vrste mogu da budu pripremljene o, na primer, tribološkim karakteristikama nodularnog liva, tribološkim karakteristikama jedne ili više vrsta reznih alata prevučenih sa TiN prevlakama, tribološkim karakteristikama jedne ili više vrsta sredstava za hlađenje i podmazivanje i sl. Ove informacije, u izvesnoj meri, monografskog karaktera, namenjene su industrijskoj praksi i oslobođene u potreбnoj meri nedovoljno pouzdanih podataka. Izlazne informacije ove vrste iz Tribološkog informacionog sistema namenjene su onima koji u industrijskim i transportnim sistemima direktno rade na smanjenju trenja i habanja elemenata proizvodne opreme i transportnih sredstava. Na slici 5 je prikazan uticaj koncentracije polusintetičkih mineralnih ulja u

*Tabela 1. Tribološke karakteristike maziva za trena - hanicki sistem "A"*

Tribološke karakteristike	Uslovi ostvarivanja kontakta		Vrste maziva		
	Zapojašnje opterećenje [daN]	Relativna brzina [m/s]	Mazivo 1	Mazivo 2	Mazivo 3
za aspekt trenja	5 - 20	2 - 5	100	110	105
za aspekt habanja	10	3	100	112	108



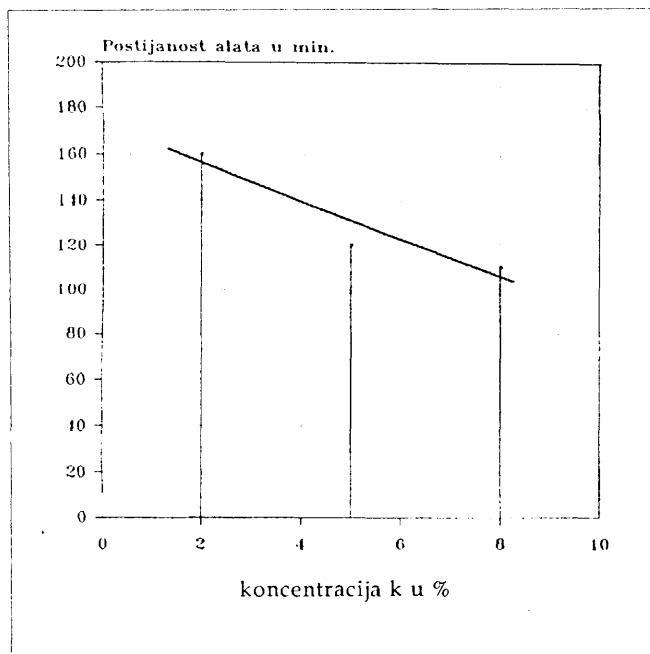
*Sl. 4. Postojanost odvalnih glodala sa i bez tribološke prevlake  
Tool life of hob milling cutter with and without TiN coating  
Долговечность зуборезных фрез с и без износостойкого покрытия*

emulzijama na postojanost vretenastih glodala pri obradi jedne vrste čelika, kao primer sadržaja jednog dela informacija ove vrste. Kompletna informacija sadrži i tribološke karakteristike ovih emulzija pri obradi drugih vrsta materijala, drugim vrstama obrade (struganje, bušenje i sl.).

Izlazne informacije iz Tribološkog informacionog sistema, koje se izdaju na zahtev korisnika, a namenjene su rešavanju, na primer, problema povećanja veka trajanja kritičnog elementa određenog tribomehaničkog sistema kroz izbor maziva su veoma kratke i sadrže samo tribološke karakteristike sa aspekta trenja i sa aspekta habanja jedne ili više vrsta maziva. Uslovi ostvarivanja kontakta za koje se tribološke karakteristike maziva iskazuju odgovaraju potpuno ili približno uslovima pod kojima funkcioniše tribomehanički sistem, čiji se problem veka trajanja rešava. U tabeli 1 je prikazan tipičan oblik informacije ove vrste.

## 5. ZAKLJUČCI

Upravljanje procesima trenja i habanja u industrijskim i transportnim sistemima moguće je značajno poboljšati korišćenjem odgovarajućih baza podataka Triboloških informacionih sistema, kojih ima sve više u industrijski razvijenim zemljama.



*Sl. 5. Uticaj koncentracije polusintetičkih ulja u emulzijama na postojanost alata  
Tool life versus cutting fluid concentration  
Воздействие концентрации полусинтетических масел и эмульсий на долговечность инструмента*

Rezultati istraživanja tribološkog karaktera dobijeni ranijih godina, kao i brojni istraživački programi koji se danas realizuju u naučnoistraživačkim organizacijama i univerzitetskim laboratorijama zahtevaju posebnu obradu radi svrstavanja određenog broja podataka u baze podataka Triboloških informacionih sistema.

Izrada izlaznih informacija svih vrsta poverava se, po pravilu, timovima koji pored istraživača sadrže i tribologe iz industrijske prakse. Izlazne informacije zahtevaju posebnu pažnju pri izradi, jer i male greške u preporukama korisnicima rezultata istraživanja, mogu da izazovu velike štete u industriji i transportu.

Tribološki informacioni sistem formiran na Mašinskom fakultetu u Kragujevcu otvoren je za saradnju ne samo drugim informacionim sistemima, već i sa institucijama i pojedincima koji ne raspolažu sa sličnim sistemima, ali se bave razvojem triboloških znanja ili ih koriste u praksi.

## LITERATURA

- [ 1.] S. JAHANMIR, A. W. RUFF, S. M. HSU, **A Computerized Tribology Information System**, National Bureau of Stanford, USA
- [ 2.] B. IVKOVIĆ, TIS - informacije, jedan od izlaza iz Tribološkog informacionog sistema, Tribologija u industriji № 4, 1990., Kragujevac
- [ 3.] B. IVKOVIĆ, D. KAROVIĆ, Odvalna glodala sa i bez TiN prevlaka, Tribologija u industriji № 1, 1992., Kragujevac

## Tribological Information System - A Basis for Control of Friction and Wear Processes in Industrial and Transportation Systems

*Control of friction and wear processes in industrial and transportation systems, as well as creating conditions for their slower development, requires knowledge of tribological characteristics of materials of all the three elements of the tribomechanic systems by which in production equipment (machines, devices, tools, etc.) and transportation means the transfer of power and motion, and transport of information is performed, and in which the machining processes are being realized. By their nature, tribological characteristics of materials are relative. Wear processes, for instance, of one element of the tribomechanic system, are being developed with lower or higher intensity depending on nature of material and tribological characteristics of other two elements.*

*Tribological characteristics of material of tribomechanic systems elements represent a foundation for forming of Tribological Information systems whose development is in progress in several industrially developed countries. Investigations of a tribological character that were realized in last two decades in university laboratories in Serbia enabled also forming of Tribological Information System (TIS) with three groups of data bases.*

*The first group relates to the area of tribology of the machining processes. The structure of bases of this group includes data bases on tribological characteristics of tools, data bases on tribological characteristics on coolants and lubricants, data bases on working piece material machinability, and data bases on conditions under which the machining processes are being realized.*

*The second group of data bases relates to Tribology of machine elements and it contains tribological characteristics of basic machine elements such as gears, chain transporters, sliding and rolling bearings, lubricants, etc.*

*In the third group of data bases contained are information of bibliographical character from the area of tribology.*

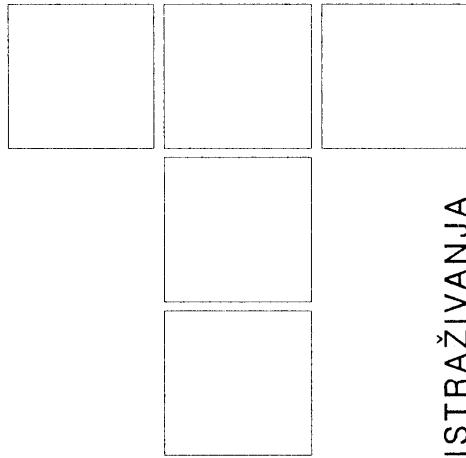
*The structure of the output information consists of information of constant and periodical character. Information of the constant character and one kind of periodical information are being prepared based on data in corresponding data bases and they are offered to the users in industrial and transportation systems. The other kind of periodical output information from the TIS is being prepared and issued at the request of the known user and is adapted to his needs.*

*Tribological Information System is, at the moment, in the phase of intensive development also in the areas of tribology of machining processes and tribology of machine elements.*

D. JEŠIĆ

# Tribološki aspekti nodularnog lijeva dobiveni po osmose-trigger postupku

ISTRAŽIVANJA



## 1. UVOD

Poznato je i potvrđeno u praksi da se otpornost prema habanju ne može predvidati samo na osnovu mehaničkih svojstava materijala ili samo na osnovu tvrdoće.

Posebno je teško predvidati ponašanje materijala u uslovima trenja dijelova mašina izrađenih od legura sa višefaznom strukturu, kao što je nodularni lijev. Tribološka svojstva ovih materijala zavise uglavnom od svojstava i količina pojedinih strukturalnih faza kao što je udio feritno perlitne osnove.

Pošto od strukture nodularnog lijeva zavise tribološka i eksploatacionala svojstva NL moramo izabrati hemijski sastav materijala i tehnologiju lijevanja da bi dobili određenu strukturu, a sa njom poželjna mehanička i eksploatacionala svojstva materijala.

Obzirom na vrlo složenu konstrukciju kućišta dizel motora za koji je posebno važno da u različitim mjestima odljevka bi bila jednaka struktura i svojstva.

Osmose-trigger postupak se sastoji od kombinacije osmose i trigger postupka.

Za uspešno noduliranje po osmose-trigger postupku potrebno je obaviti više radnji što spada u tehnologiju lijevanja. Ovaj rad predstavlja probu izbora optimalnog hemijskog sastava nodularnog lijeva i tehnologije lijevanja kućišta motora obzirom na tribološke i ekonomski zahtijeve.

## 2. STRUKTURA NODULARNOG LIJEVA I OTPORNOST PREMA HABANJU KUĆIŠTA "PIELSTRICK" MOTORA 12PA6V280

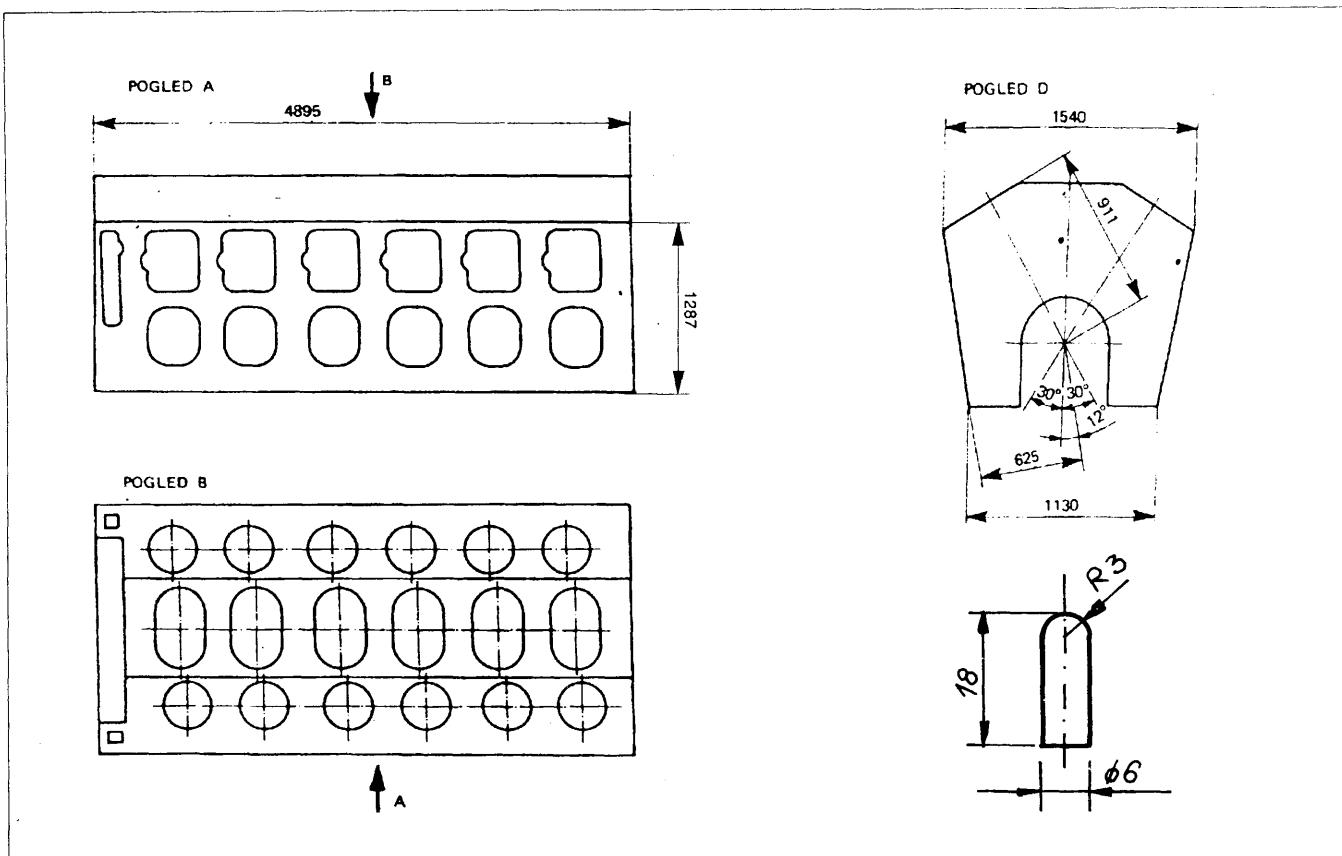
Kvalitet nodularnog lijeva bio je NL 500. Pošto je trebalo proizvesti 11000 kg taljevine, odlučeno je da se taljevina proizvodi u obje kupolne peći istovremeno. Trebalo je prikupiti potrebnu količinu taljevine u što moguće kraćem vremenu radi manjeg pada temperature. U praksi lijevaonice "3. Maj" kod proizvodnje nodularnog lijeva kvaliteta NL 500 u taljevinu se dodaje 1% Ni. Dodatak nikla omogućava u kvaliteti NL 500 najpovoljniji odnos ferita prema perlitu u matrici lijeva. Time se doseže zahtjevana natezna čvrstoća uz zadovoljavajuće izduženje.

Kod lijevanja cilindarskog bloka Pelstrick 12PA6V280 odlučeno je da se nikal ne dodaje u lonac nego u saržirnu košaru i kroz otvor za saržiranje ubacuje se u kupolnu peć. Time smo željeli spriječiti hladjenje taljevine u ljevačkom loncu.

Kod taljenja u kupolnim pećima uduvani zrak obogaćivan je sa cca 4% O<sub>2</sub>. Obogaćivanje zraka sa O<sub>2</sub> povećava kapacitet svake peći na 6000-7000kg/sat taljevine i omogućava povišenje temperature taljevine ka izlazu iz peći za cca 70 ° C.

Temperatura taljevine na žlijebu peći je bila 1480 ° C. Ispred jedne peći postavljen je 15000 kilogramski lonac kompletno pripremljen za Osmose-Trigger postupak. Iz te peći taljevina je prikupljena u taj lonac, a ispred druge peći postavljen je 5000 kilogramski lonac u kojeg se ispuštalila taljevina iz druge kupolne peći. Prikupljena taljevina prelijevana je u 15000 kilogramski lonac u kojem se nodulira po Osmose-Trigger postupku.

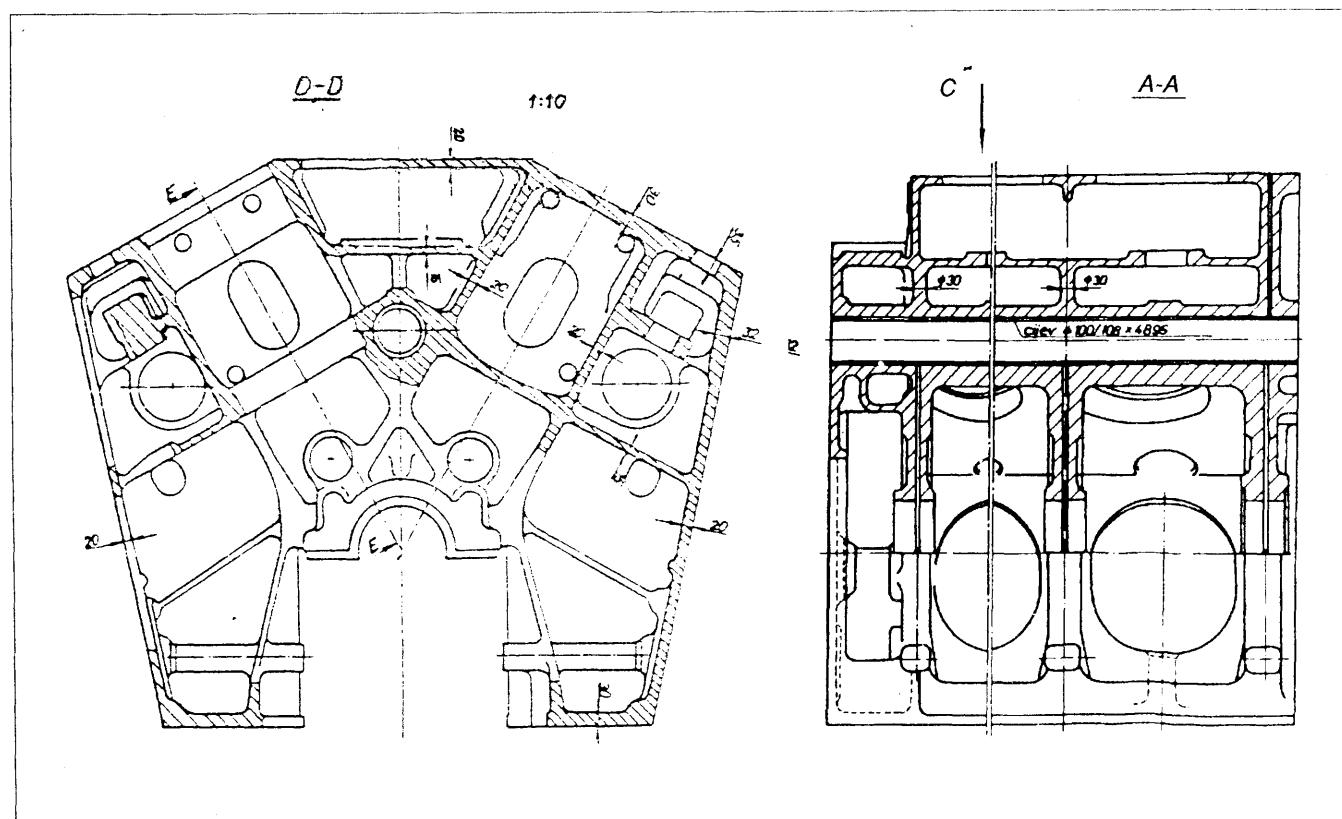
Dušan Ješić, dipl. ing.,  
Zanatoprema,  
Rijeka



Sl. 1. Slika kućišta dizel motora Pielstrick 12PA6V280

Diesel engine i. c. block Pielstrick 12PA6V280

Картер дизельного двигателя Pielstrick 12PA6V280



Sl. 2. Slika presjeka kućišta dizel motora Pielstrick 12PA6V280

Cross section diesel i.c. engine block Pielstrick 12PA6V280

Разрез картера дизельного двигателя Pielstrick 12PA6V280

Na ovakav način prikupljena taljevine bili smo priseljeni radi skraćivanja vremena prikupljanja taljevine, a sve zbog čim manjeg pada temperature taljevine.

Odsumporavanje taljevine vršeno je na žlijebu peći kod svakog proboda peći. Za odsumporavanje taljevine upotrebljeno je 3% kalcijeva karbida.

Nakon dovoljne prikupljene količine taljevine, pomoću dizalice jedna za drugom izvučene su izolirane šipke, prvo jedna pa onda druga. Reakcije između nodulatora i taljevine nakon podizanja obeju šipki bile su burne.

U toku trajanja reakcije stalno je bio otvoren dovod komprimiranog duška kroz poroznu opeku, koja se nalazi u dnu lonca. Time je taljevina intenzivno mješana te je objezbeden dobar kontakt između nodulatora i taljevine i to je preduvjet za uspješnu nodulaciju taljevine.

Nakon faze noduliranja pristupilo se čišćenju lonca od nakupljene šljake i preostalog kalcijeva karbida. Posle merenja temperature taljevine išlo se na lijevanje pripremljenog kalupa.

Da bi se obezbijedila bolja kristalizacija entoktičnog grafita i njegovog povoljnijeg rasporeda, pristupilo se modificiranju taljevine u uljevnoj čaši. Za tu svrhu pripremljen je specijalni dozator za dodavanje modifikatora. Upotrebљeni modifikator ima trgovacki naziv "Caloy specijal" engleske tvrtke "Materijals and Methods Ltd" iz Engleske.

Vrijeme lijevanja cilindarskog bloka je bilo 36 sekundi. Temperatura lijevanja bila je  $1330^{\circ}\text{C}$ , što je za ovakav odljevak zadovoljavajuće.

Tabela 1.

Materijal	Analiza materijala					Analiza Šarže			
	C	Si	Mn	P		C	Si	Mn	P
Čelik	2.80	0.20	0.500	0.050	40	1.12	0.08	0.200	0.020
Sorel	4.04	1.00	0.009	0.027	60	2.42	0.60	0.006	0.016
					100	3.54	0.68	0.206	0.036
Fe Si						0.65			
Fe Mn									
	Šaržirano				3.54	1.33	0.646	0.036	
	Analiza na žlijebu peći				3.55	1.13	0.48	0.036	
1.9% "Procaloy 14"						0.82			
0.30% "Coloy specijal"					0.10	0.10			
Konačna analiza					3.64	2.05	0.48	0.036	

Tabela 2.

	C	Si	Mn	P	S
Na izlazu iz peći	3.46	1.79	0.27	0.049	0.05
Nakon odsumpravanja	3.60	1.87	0.37	0.038	0.10
Nakon noduliranja	3.71	2.29	0.28	0.040	0.003

Za noduliranje je upotrebljen nodulator pod trgovackim nazivom "Procaloy 14" engleske tvrtke "Materijals and Methods Ltd" u količini 1.8 %.

Kemijska analiza prikazana je u tabeli 2, a izvršena je na isječenim epruvetama.

### 3. MEHANIČKA ISPITIVANJA

Mehanička, strukturalna i tribološka ispitivanja izvedena su na uzorcima isječenim iz kućišta motora, kao i na epruvetama od valjaka posebno izvedenih materijal NL 500 feritno-perlitne osnove koji se veoma uspešno može koristiti za lijevanje kućišta dizel motora.

### 4. METALOGRAFSKA STRUTURA

Uzorci za analizu strukture isječeni su iz kućišta motora, pripremljeni su za metalografska ispitivanja i snimljeni na optičkom mikroskopu.

Dobivena metalografska struktura matrice je sastavljena iz 50% ferita i 50% perlita.

Grafit je iznad 90% tipa K, veličine 3.

#### 4.1. Toplinska obrada

Obavljen je proces za otklanjanje unutrašnjih napetosti na slijedeći način:

- polaganjem i ravnomjerno podizanjem temperature odljevka do oko  $550\text{-}580^{\circ}\text{C}$  u trajanju tri sata

Tabela 3. u kojoj su prikazana mehanička svojstva.

	Probna palica 1	Probna palica 2
Čvrstoća na vlak $R_m (\text{N/mm}^2)$	519	535
Izduženje %	8	10
Tvrdoća HB	172	170



Sl. 3. NL 500 povećanje 100x nenagriženo  
NL500 increase 100x unetched  
Нл500 повышение 100х нетравленное

- zadržavanje na toj temperaturi u trajanju 7 sati
- postupno hlađenje u peći i to po  $40^{\circ}\text{C}$  na sat do temperature  $120^{\circ}\text{C}$ .

## 5. TRIBOLOŠKA ISPITIVANJA

Tribološka ispitivanja izvršena su na uzorcima isječenim iz kućišta motora, a ispitivanja su izvršena na tribometru PIN-DISK u LJubljani.

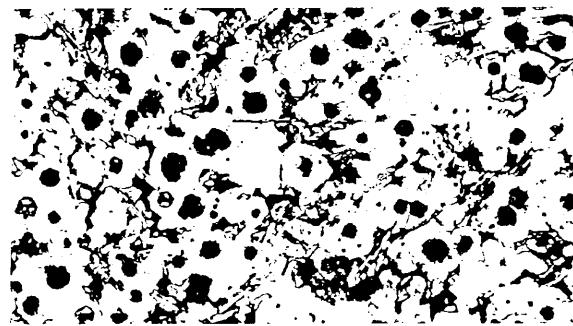
Slika 6. prikazuje povezanost pinova i diska, dok slika 7. prikazuje konstrukcione veličine diska i pinova.

Habajući papir je odgovarao vezi čep-isječak ležaja. Parametri ispitivanja mjereni su u sljedećem opsjeku:

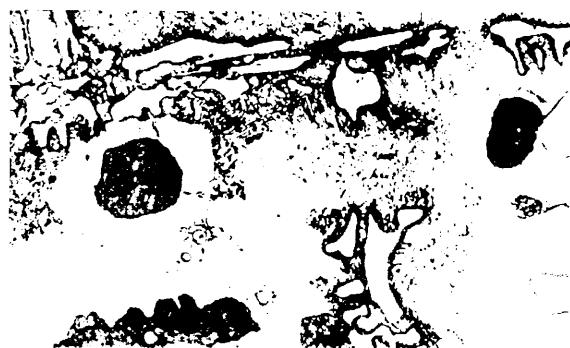
- brzina klizanja  $1.20\text{-}3.26\text{ m/s}$
- površinski pritisak  $0.25\text{-}1.25\text{ MPa}$

Sl. 8. Prikazuje rezultate ispitivanja na trošenje

Gubitak mase (u mg) praćen je do  $1.5 \cdot 10^6$  okretaja uz isti materijal oba protukomada.



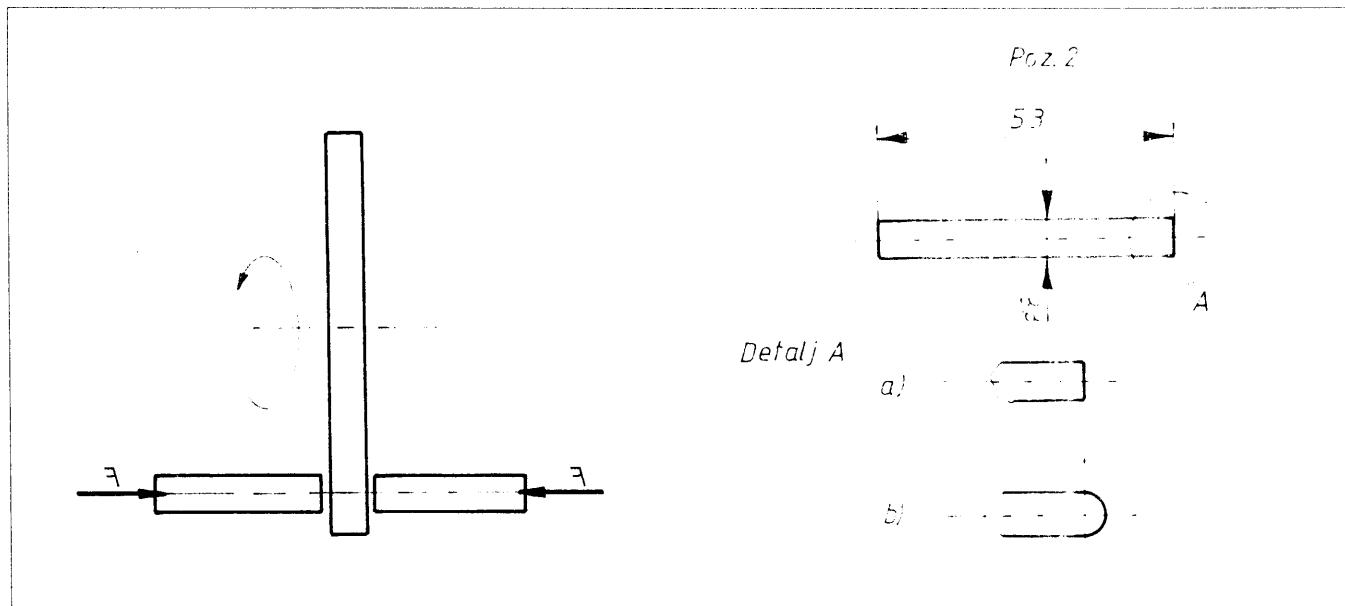
Sl. 4. NL 500 povećanje 100% nagriženo sa  $\text{HNO}_3$  2%  
NL500 increase 100x etched with  $\text{HNO}_3$  2%  
Нл500 повышение 100х негравленное  
с  $\text{HNO}_3$  2%



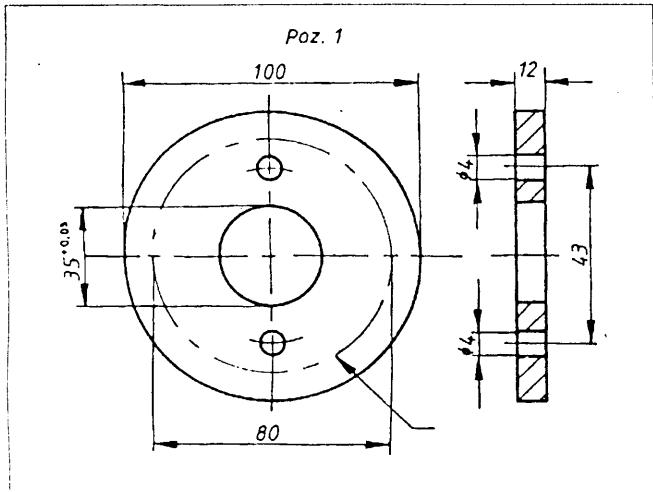
Sl. 5. NL 500 povećanje 500x nagriženo sa  $\text{HNO}_3$  2%  
NL500 increase 500x treatment with  $\text{HNO}_3$  2%  
Нл500 повышение 500х негравленное  
с  $\text{HNO}_3$  2%

Nodularni lijev NL 500 sa feritno-perlitnom strukturon pokazuje u početku do  $0.25 \cdot 10^6$  okretaja nagli trend trošenja (faza uhodavanja) koji kasnije postaje naglo blaži.

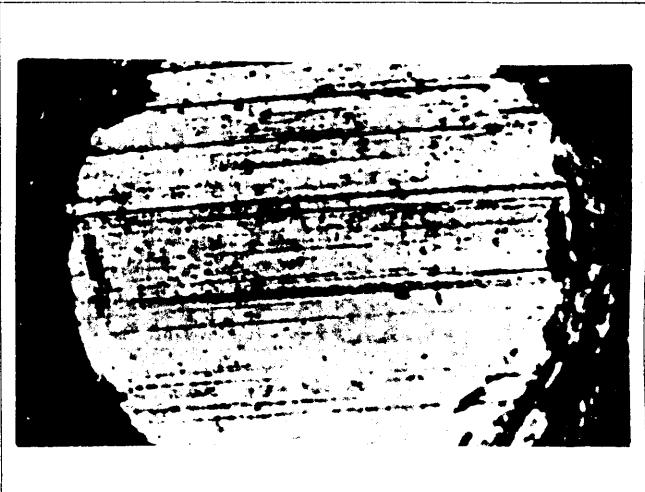
Sl. 9. Prikazuje tragove trošenja epruvete 3.



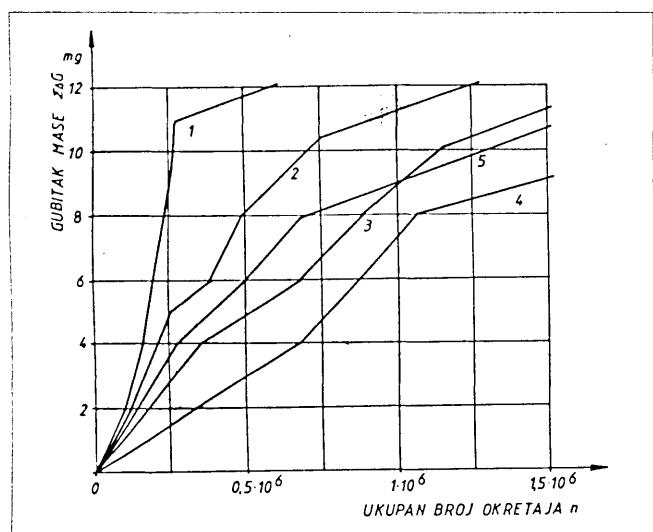
Sl. 6. Povezanost pinova i diska  
Pio-on-test  
Связь пинов и дисков



Sl. 7. Konstrukcione veličine diska i pinova  
Pin and disk geometry  
Конструкционные величины диска и пинов



Sl. 9. Tragovi trošenja epruvete 3.  
Wear of test place 3  
Следы изнашивания образца 3



Sl. 8. Rezultati ispitivanja na trošenje  
Wear test results  
Результаты исследования износостойкости

## 6. ZAKLJUČCI

- Na bazi teorijskih razmatranja i istraživačkih radova može se zaključiti da eksploraciona svojstva materijala se mogu predvidjeti na osnovu ispitivanja strukture materijala, odnosno postoji bitna veza između udjela pojedinih strukturnih faza sa tribološkim i eksploracionim svojstvima materijala.
- Maksimalno trošenje pokazali su uzorci kod kojih je u strukturi bilo više ferita. Najmanje se trošio NL sa većom perlitnom osnovom i raspoređenim grafitom, grafitom srednje strukture.

- Gubitak mase mg praćen je kod različitog broja okretaja, pri istom materijalu oba produkta. Svi nodularni lijevovi sa bainitnom strukturom pokazuju u početku do 500 okretaja nagli rast trošenja koji kasnije postaje blaži od 500 do 1000 okretaja, a poslije se javlja sasvim malo trošenje.
- Rezultati ovih istraživanja mogu se uspješno primjeniti u metalnoj industriji, kao i u drugim granama privrede.

## LITERATURA

- [1.] B. IVKOVIĆ, *Osnovi tribologije u industriji prerađe metala*, IRO "Gradevska knjiga", Beograd, 1983.
- [2.] D. KRUMES i dr., *Zamjena čeličnih otkivaka sa ADI (Aststempered Ductile Iron) Metalom*, Savezni projekt 218, 1989-1991.
- [3.] D. JEŠIĆ, *Otpornost na trošenje nodularnog liva NL 420 i NL 600 u uslovima abrazionog trošenja*, Tribologija u industriji 3, JUNI 1990.god.Kragujevac
- [4.] D. JEŠIĆ, *Otpornost na trošenje nodularnog liva NL 420 i NL 600 u uslovima adhezionog trošenja*, Tribologija u industriji 4, decembar 1990. Kragujevac
- [5.] D. JEŠIĆ, *Utjecaj izotermičkog poboljšanja nodularnog lijeva na abraziono i adheziono trošenje*, Livanstvo, Zagreb, Januar-Mart 1991. god.
- [6.] S. TANASIJEVIĆ, *Osnovi tribologije mašinskih elemenata*, Beograd, 1989.god.
- [7.] *Ljevački priručnik Savez ljevača Hrvatske*, 1984. god.