

# tribologija u industriji

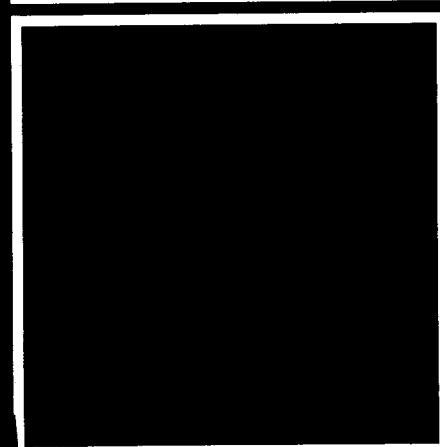
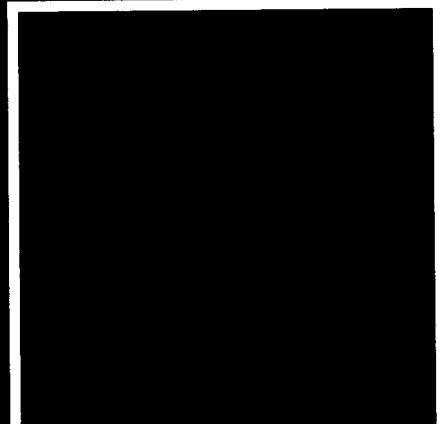
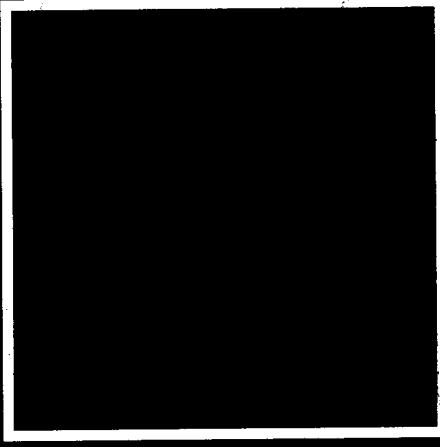
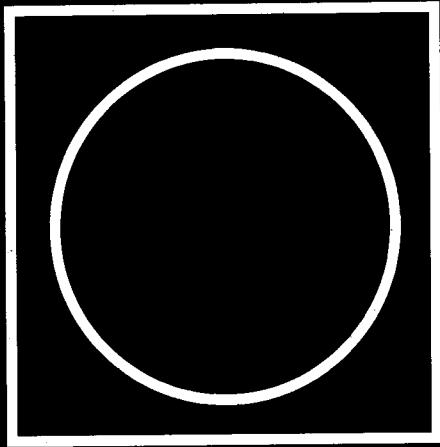
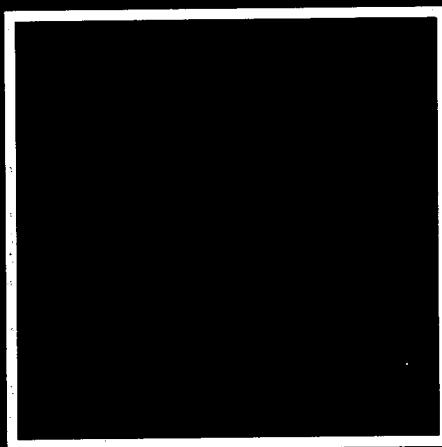
tribology in industry ◇ трибология в промышленности

YU ISSN 03551 - 1642

GODINA XVI

DECEMBAR 1994

4



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



# tribologija u industriji

**tribology in industry ◊ трибология в промышленности**

sadržaj ◊ contents ◊ содержание

UVODNIK  
INTRODUCTION  
ВВЕДЕНИЕ

- S.TANASIJEVIĆ: Mehanički prenosnici snage trenjem - putevi daljeg razvoja ◊ Mechanical Power Transmitters - Directions of Future Development ◊ Силовые механические передачи - пути дальнейшего развития . . . . . 107

ISTRAŽIVANJA  
RESEARCH  
ИССЛЕДОВАНИЯ

- A. RAC, B. IVKOVIĆ: Tribology Research and Education in Yugoslavia ◊ Tribološka istraživanja i obrazovanje u Jugoslaviji ◊ Трибологические исследования и образование в Югославии . . . . . 110
- B. TADIĆ, S. PECELJ: Eksperimentalna istraživanja triboloških karakteristika nodularnog liva ◊ Some Results of Investigations of Nodular Cast Irons Tribological Characteristics ◊ Экспериментальное исследование нодулярных чугунов . . . . . 115

- A. RAC: Tribologija motora SUS - stanje i tendencije ◊ Tribology of Automotive Engines - Present State and Tendencies ◊ Трибология двигателей внутреннего сгорания - состояние и тенденции . . . . . 119

- V. N. LATYSHEV, V. A. GOLDEVSKI: Neki rezultati u oblasti tribologije rezanja i tehnologije podmazivanja ◊ Some Results of The Work in The Sphere of Cutting Tribology and Lubrication Technology ◊ Некоторые результаты в области трибологии резания и технологий смазывания . . . . . 127

NOVOSTI  
NEWS  
НОВОСТИ

- . . . . . 132

KNIGE I ČASOPISI  
BOOKS AND JOURNALS  
КНИГИ И ЖУРНАЛЫ

- . . . . . 133

NAUČNI SKUPOVI  
SCIENTIFIC MEETINGS  
НАУЧНЫЕ СОБРАНИЯ

- . . . . . 135

# Mehanički prenosnici snage trenjem - putevi daljeg razvoja

Prenosnici u mašinama, priborima, mehaničkim uređajima i drugim industrijskim proizvodima su uređaji koji služe za prenos energije mehaničkog kretanja na daljinu, kao i za preobražaj njenih parametara.

Opšta namena prenosnika čvrsto je povezana sa izvršenjem pojedinih funkcija, među kojima su najkarakterističnije: raspodela energije, smanjenje ili povećanje brzine, promena vrste kretanja, regulisanje brzine, pokretanje, zaustavljanje, promena smera i dr.

Prenos energije i mehaničkog kretanja se može ostvariti na više različitim

načina i različitim prenosnim mehanizmima, pa se stoga i prenosnici dele na mehaničke, električne, hidraulične, pneumatske i dr.

Davanje prednosti pri izboru bilo kojoj grupi prenosnika vezano je za sveobuhvatnu analizu konstrukcijskih, tehnoloških i ekonomskih karakteristika mašine, uređaja ili opreme za koju se prenosnik bira.

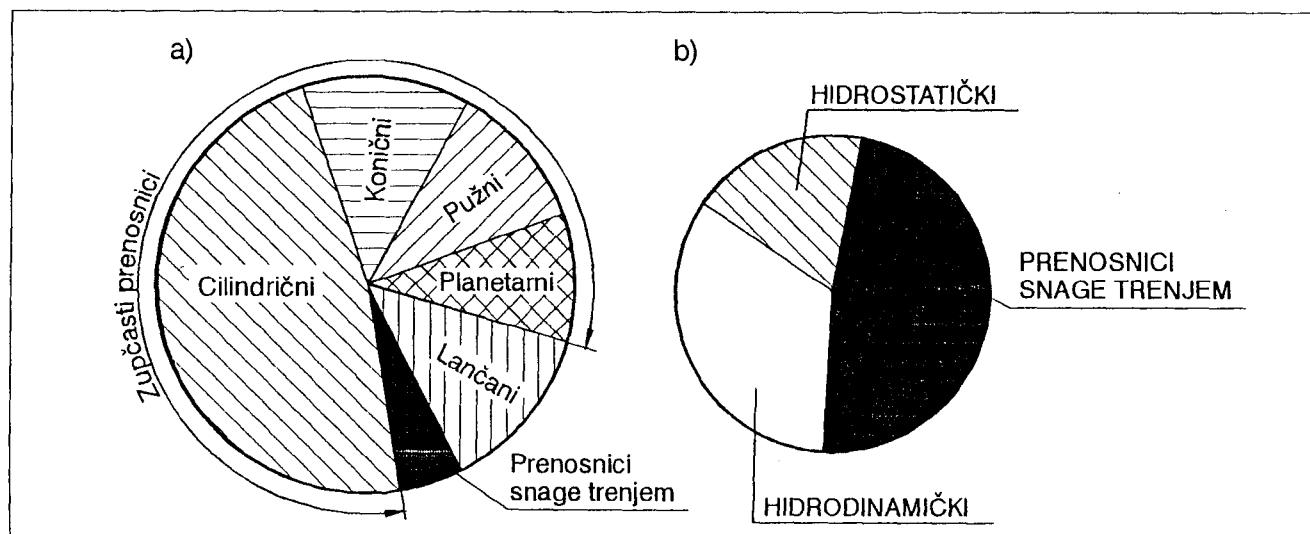
Danas su još uvek dominantni i najviše se koriste mehanički prenosnici različitih vrsta.

Prema nekim statističkim podacima o dosad izvedenim prenosnicima sna-

ge, najveću primenu u oblasti prenosnika konstantnog prenosnog odnosa imaju zupčasti prenosnici (sl. 1.a). Udeo mehaničkih prenosnika snage trenjem značajno je manji.

Savremena primena mehaničkih prenosnika snage trenjem (frikcionih, remenih i lančanih) značajno je usmerena ka razvoju mehaničkih prenosnika sa kontinualno promenljivim prenosnim odnosom, odnosno kontinualnim regulisanjem brzine.

Kontinualno regulisanje mehaničkog prenosa snage i kretanja već skoro pola veka predstavlja značajnu mogućnost tehnike prenosa. Korišćenje



Sl. 1. Rasprostranjenost primene prenosnika snage a - konstantni prenosni odnos b - kontinualno-promenljivi prenosni odnos  
Scope of transmitters applications a - Constant transmitters b - Continuous transmitters  
Распространенность применения передач а) постоянное передающее соотношение  
б) непрерывно изменяющее передающее соотношение

mehaničkih prenosnika sa mogućnošću kontinualne promene prenosnog odnosa i izlaznog broja obrtaja značajno pejednostavljuje konstrukciju tehničkog sistema, dozvoljava iznalaženje optimalnih režima, olakšava upravljanje i pruža mogućnost automatizacije procesa. Svakidašnjim porastom opštег nivoa tehnoloških znanja, razvijaju se i prilagođavaju i mehanički kontinualni prenosnici. Poseban značaj su stekli sa opšte proklamovanom štednjom i racionalnom potrošnjom energije.

Udeo mehaničkih prenosnika snage trenjem u opštoj produkciji kontinualnih prenosnika je najveći (sl. 1.b) i sa tog aspekta mehanizam prenosa snage trenjem ima veoma perspektivnu budućnost.

Mehanizam prenosa snage i kretanja trenjem je u principu sadržan u molekularno-mehaničkoj prirodi trenja. Proces suprostavljanja relativnom kretanju tela je iskorišćen za osnovnu funkciju i namenu prenosnika. Izvesno je da će prenosnici snage trenjem (frikcioni, remeni i lančani) omogućiti prenos snage i kretanja samo onda ako je obrtni moment manji ili najviše jednak momentu "sile trenja mirovanja".

Očigledno da je mehanizam prenosa snage trenjem utemeljen na osobinama "trenja mirovanja" i da ceo proces sprezanja (od početka do kraja ciklusa nog kontakta elemenata tribomehaničkog sistema) protiče u uslovima "trenja mirovanja".

Pojmovi "trenje mirovanja" i "sila trenja mirovanja" su sasvim uslovni jer su ispitivanja pokazala da se trenje mirovanja ostvaruje pri malim pomeranjima elemenata u kontaktu.

Danas se pod pojmom sile trenja mirovanja podrazumeva sila suprostavljanja kretanju, pri malim, delimično reverzibilnim tangencijalnim pomeranjima, nazvanim prethodna pomeranja. Saglasno tome, prethodno pomeranje je relativno mikropomeranje (klizanje, kotrljanje) dva tvrda tela pri trenju u granicama prelaza od

relativnog mirovanja ka relativnom kretanju.

Osnovni problemi vezani za prenos snage i kretanja su u suštini problemi triboloških procesa, odnosno trenja kotrljanja u kome se javlja i klizanje. Suprotno dobro poznatim težnjama za smanjenjem trenja u zupčanicima i ležajevima, na primer kod frikcionih prenosnika, izvesno povećanje trenja je cilj. Naravno da se pri tome čini sve da se habanje svede na najmanju moguću meru.

Razvoj mehaničkih prenosnika snage trenjem je danas veoma aktuelna i značajna istraživačka oblast. Nova istraživanja su usmerena u tri osnovna pravca: razvoj novih konstrukcija, korišćenje novih materijala, razvoj optimalnih topografija kontaktnih površina.

U oblasti konstrukcionih inovacija frikcionih prenosnika, ponovo pažnju zavređuju prenosnici sa više frikcionih točkova u istovremenom kontaktu (višediskni prenosnici). Zahvaljujući svojim rešenjima koja omogućavaju prenos velikih snaga (preko 300 kW) pri relativno malim specifičnim pritiscima, još uvek postoji znatan praktičan interes za razvojem ovih prenosnika.

Materijali će i dalje uglavnom biti metali, ali je sve primetnije korišćenje, za frikcione elemente, sintetičkih materijala i kompozita.

Za dobijanje visoke srednje gustine sila određene proizvodom srednjeg pritiska ( $p_{sr}$ ) i koeficijenta trenja ( $\mu$ ), svršishodno je i povećanje koeficijenta trenja. U ovoj ideji leži jedna od mogućnosti poboljšanja nosivosti frikcionih prenosnika.

Kod frikcionih prenosnika koji rade u uslovima podmazivanja, posebno interesovanje danas zaslužuju razrade novih maziva kojima se do izvenskih granica povećavaju koeficijenti trenja u kontaktu.

Neka ispitivanja pokazuju da se skoro dvostruka vrednost koeficijenta trenja ( $\mu=0.1$ ) dobija pri podmazi-

vanju sintetičkim mazivima na ugljenvodoničnoj osnovi. Karakteristika sintetičkih maziva je da u uslovima visokih opterećenja i visokog pika pritiska u mazivom zazoru dobijaju staklastu i skoro tvrdu strukturu. Posle opterećenja i izlaska iz mazivog kanala struktura ponovo postaje tečna. Karakteristika ovih maziva je i dobra otpornost na oksidaciju.

Remeni prenosnici, kao posebna grupa mehaničkih prenosnika snage trenjem dobijaju sve veći značaj, naročito u razvoju mehaničkih prenosnika sa kontinualno promenljivim prenosnim odnosom (varijatori). Neka ispitivanja pokazuju da u oblasti malih i srednjih snaga, preko dve trećine ukupne svetske producije mehaničkih varijatora su varijatori sa širokim remenom.

U oblasti razvoja remenih prenosnika puna pažnja je usmerena ka novim konstrukcijama remena. Poslednjih godina razvijaju se remena sa asimetričnim profilom, povećane gipkosti i koeficijenta trenja, a smanjene verovatnoće proklizavanja. Za povećanje stepena iskorišćenja i poboljšanje toplotnih napona neophodno je povećanje poprečne krutosti remena. Istovremeno, neophodno je smanjivati krutost remena pri savijanju uz istovremeno povećanje krutosti pri istezanju. Višeznačni uzajamni odnosi navedenih karakteristika zahtevaju od proizvođača neprekidna usavršavanja. Putevi daljeg razvoja leže kako u primeni novih konstrukcija remena, tako i u izboru pogodnih materijalata za osnovu i vučni kord. Sintetički materijali koriste se sve više.

Savremene konstrukcije remenica pokazuju sve veću primenu asimetričnih profila i kaljenih aluminijumskih legura kao materijala. Primena elektro-heminskih ojačanog aluminijuma znatno smanjuje težinu i sile inercije, poboljšava toplotnu provodljivost, sposobnost prenosa velikih brzina i mogućnost preciznog balansiranja.

Svršishodno je konstatovati i velike mogućnosti remenih prenosnika u kontinualnoj automatizaciji transmi-

siji transportnih sredstava. Putevi daljeg razvoja remenih prenosnika značajno su povezani i sa daljim razvojem automatskih menjaca.

Mehanički prenosnici snage trenjem u kojima se kao gipki transmisioni elementi koriste specijalni, metalni lanci predstavljaju već decenijama poznatu mogućnost transportovanja energije. Savremeni pravci usavršavanja ovih prenosnika uglavnom su usmereni ka razvoju lanaca koji su veoma složene konstrukcije, znatno složenije od lanaca klasičnih lančanih prenosnika.

Novi lanci će biti malog koraka i mase, velike krutosti i čvrstoće, dobro vručnih sposobnosti, neosetljivi na asimetrični položaj koničnih di-

skova i sposobni za pouzdan rad u toku celog zadatog veka trajanja. Očigledno je da su postavljeni zahtevi veoma brojni i složeni, pa stoga i konstrukcija novih i kvalitetnih lanaca je prvorazredni zadatak u svetskoj proizvodnji prenosnika.

Danas se u tehničkom svetu intenzivno radi i na razvoju novih rešenja za obezbeđivanje aksijalnog pritiska od koga zavisi bezbedni prenos opterećenja. Sve je više rešenja zasnovanih na kombinaciji hidraulično-mehaničkih principa.

Neprekidna težnja ka automatizaciji tehničkih procesa zahteva i dalji razvoj upravljačkih jedinica mehaničkih prenosnika snage trenjem. Dalji pravci razvoja očigledno su usmereni

ka usavršavanju upravljačkih hidrauličnih servo-sistema.

Na kraju, a moglo je stajati i na početku, večito pitanje: budućnost mehaničkih prenosnika? Istoriski razvoj civilizacije ukazuje da čovek projektuje, konstruiše i stvara po uzoru na sebe samog i sebi sličnim. Tako u njegovim tehničkim sistemima, mozak zamjenjuje elektronikom, nervne sisteme automatizacijom, a skelet mehanikom. Može li čovek bez skeleta i tehnički sistemi bez mehaničkih elemenata?

Zato se sve manje postavlja prethodno pitanje. Mehanički prenosnici imaju budućnost, ništa manju nego i drugi mehanički sistemi.

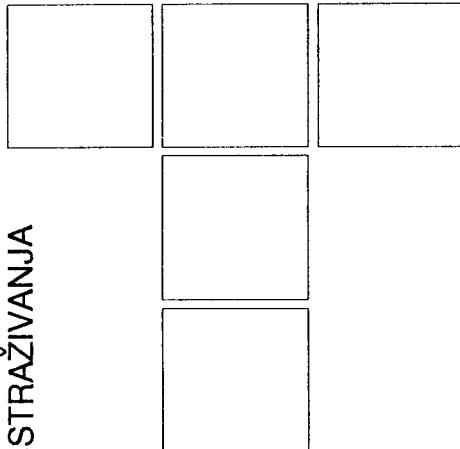
## **Mechanical Power Transmitters - Directions of Future Development**

*Contemporary application of mechanical power transmitters is mainly directed towards the development of mechanical transmitters with continuously variable transmission ratio, i. e., with continuous regulation of velocity.*

*Development of mechanical power transmitters by friction is today a very actual and important research field. New investigations point to three main directions: development of new constructions, application of new materials, and development of optimal topography of contact surfaces.*

## **Силовые механические передачи - пути дальнейшего развития**

*Современное применение силовых механических передач силы трением в значительной мере ориентировано на развитие механических передач с постоянно-изменяющимся передаточным отношением, соединено с постоянной регулировкой скорости. Развитие механических передач силы трением в настящее время является весьма актуальной и важной областью исследований в которых выделяются три основных направления: развитие новых конструкций, использование новых материалов и развитие оптимальной геометрии контактирующих поверхностей.*



*A. RAC, B. IVKOVIĆ*

# Tribology Research and Education in Yugoslavia

*Tribology has made a major contribution to machine design and maintenance because both the operation of moving parts and their life are strongly influenced by friction and wear processes. For this reason tribology researches are important for every industrially developed country. This paper presents the position and activities in the fields of research and education at Yugoslav Universities and in industry, analyzing the current projects and papers from journals and meetings.*

*It can be concluded that tribology activities are similar to other European countries with some characteristic features. Most researches are done at Universities, a minor part in industry. This implies an effort towards putting all this knowledge into practice.*

**KEY WORDS:** *Tribology, Education, Research Activities*

## 1. INTRODUCTION

Technological progress in the last fifty years has been so closely related to tribology, that researches in this discipline can be regarded as a key for further development of mechanical systems. [1]. The requirements of modern industry for material and energy conservation make the tribology particularly significant both in science and engineering. That is why the state of the development of tribology is a synonym of reliability, energy saving and the life of mechanical systems. [2]. The state and the development of any technical discipline, and thereby tribology, in the country under investigation, can be best observed through the state and status of researches and education.

---

*Prof.dr.Aleksandar Rac, dipl.-Ing.,  
Faculty of Mech. Engineering, Belgrade.  
Prof.dr.Branko Ivković, dipl.-Ing.,  
Faculty of Mech. Engineering, Kragujevac.*

Tribology is a multidisciplinary science involving research and practice in materials, lubricants and component & system design. The multiplicity of disciplines incorporating tribology and its subdisciplines makes it difficult to get insight into all activities which are being realized. All the more so because papers are published in various technical journals and presented at meetings, and projects are realized in different disciplines, very often with little communication among authors and research workers. Therefore every effort at analysis, even the one based on a limited sample of the country in question, can serve as a basis for further directions in the development and orientation of research projects. It also enables the comparison with other counties, which had already made such an attempt. [3, 4, 5].

Tribological investigation had achieved a considerable growth in Yugoslavia in the last decade. However, in the future strategy it will be necessary to rationalize them and to set possible goals from the economical and technical point of view. Herein lies the reason for the analysis of the present state.

The first part of this paper regards research activities, the second part concerns the state of education and the third part presents the tendencies and initiatives present in the field of tribology in Yugoslavia and in the Balkan area.

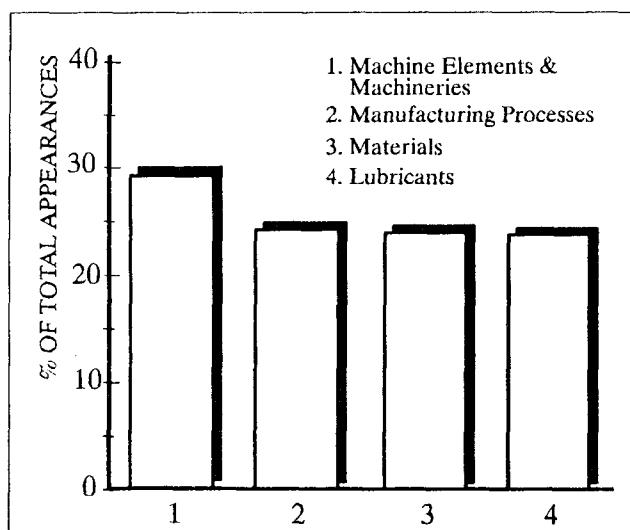
## 2. RESEARCH ACTIVITIES

Widespread researches in tribology were initiated by an intensive growth of industry and transport in Yugoslavia, covering the period of about last forty years. This overlaps with the appearance of tribology as a separate discipline in the world. However, the development of tribology in Yugoslavia was not intensive in the initial period, since the industrialization took place in cooperation with the developed countries. The real picture of the state is probably best seen in the period of the last five to

ten years. That is the reason for presenting the analysis of tribological activities (through projects, published and communicated papers) in the course of the last five years. The sample under investigation and the analysis do not involve all researches and literature, due to the reasons mentioned in the introduction; however, it can be considered representative, since it involves all most important activities. On the basis of the data collected, general estimations can be given and the tendencies of R&D in tribology can be viewed.

In this analysis all the works are classified into four areas which are in the author's opinion, the most significant: materials, machine elements and machinery, manufacturing processes and lubricants.

Out of the total number of papers and projects, about 40% include the consideration of either materials or lubricants or manufacturing processes, and over 50% are concerned with activities related to machine elements and machinery. When we compare these areas with respect to the total number of appearances it can be seen that the researches and the published papers in the four mentioned groups are approximately equally presented (Fig. 1).



*Fig. 1. Current areas of interest in R&D*

*Razmatrane istraživačko-razvojne oblasti*

*Рассматриваемые области исследования и разработки*

Out of all materials metals were most investigated, and lately the important projects and papers deal with tribology of coatings, nonmetal materials and composites.

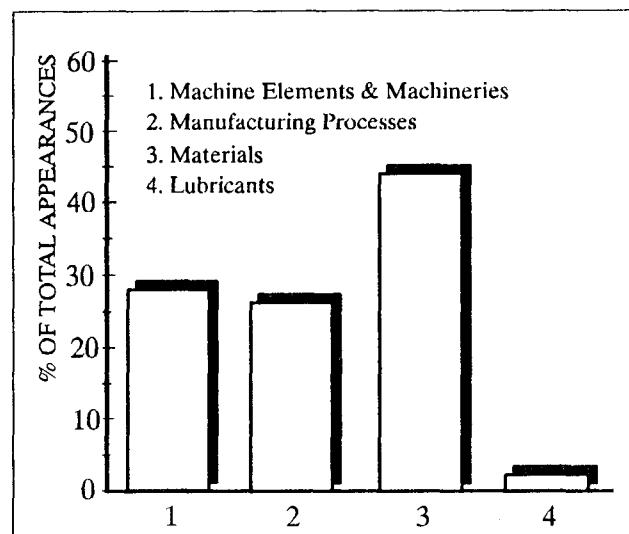
The order of researches of tribological characteristics of machine elements and machinery is the following: sliding bearings, gears, rolling bearings, engines and compressors.

In the tribology of manufacturing processes the field of tools wear during materials cutting dominates, while researches in metal forming are only partly present.

Where lubricants are concerned the most frequent investigations are those of archeological, physical and chemical properties, additives and the behavior of lubricants during operation.

Having in view that the key words in tribology are friction, wear and lubrication, i.e. lubricants, further analysis was made with respect to these descriptors.

Out of the total number of works 39.40%, were treating the problems of friction. Distribution to the four basic groups is presented in Fig. 2.



*Fig. 2. Friction study*

*Istraživanje trenja*

*Исследование трения*

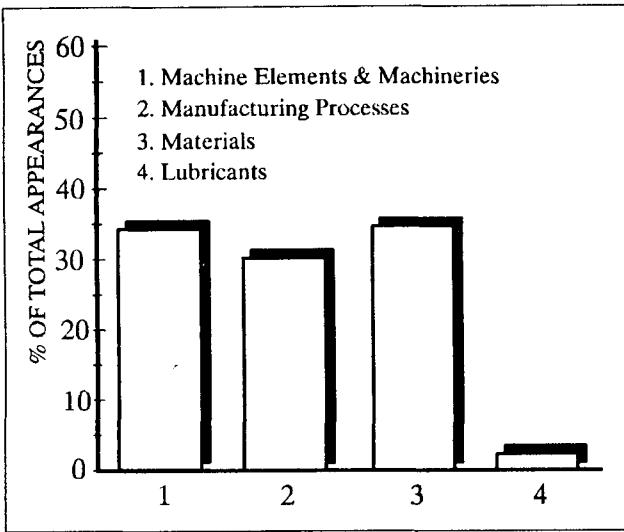
The majority of papers dealing with friction regards the materials, and the least regards lubricants.

The wear phenomenon was investigated in 68.6% of all analyzed projects and published papers. The investigation of wear was more or less equally presented in materials, machine elements and manufacturing processes, and very little in lubricants (Fig. 3).

From the point of view of wear mechanisms and modes the number of appearances is the greatest in adhesive wear (Fig. 4), then in abrasive wear, while other types of wear are slightly presented in researches.

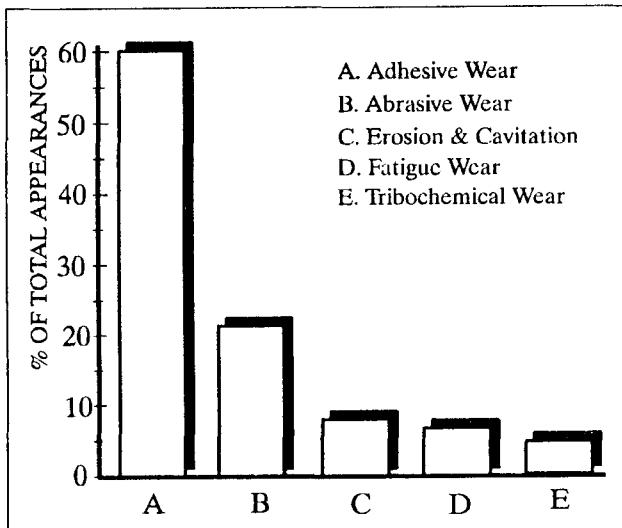
With respect to lubricants, over half of all researches regards industrial oils (Fig. 5), and about 25% motor oils.

The analysis presented and its results indicate that some essential fields of tribology are insufficiently included into projects and considered by research workers. It regards primarily fundamental researches in tribology, and also the development and the application of lubrication theories in practice. There is a small number of papers on hydrostatic, hydrodynamic and elastohydrodynamic lubrication, while in boundary lubrication the situation is somewhat more favorable.



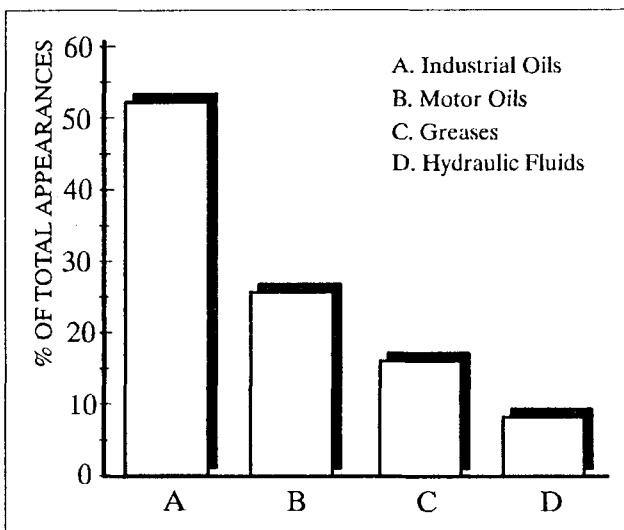
*Fig. 3. Wear study  
Istraživanje habanja  
Иследование изнашивания*

On the contrary, the work in the domain of tribometry, especially in the development and production of devices for testing tribological characteristics of materials and machine elements, has been intensified during the last few years. Also the activity in failure diagnostic was observed as well as the application of modern methods of diagnostic in industry.



*Fig. 4. Wear phenomenon being studied  
Istraživanje vrste habanja  
Иследование видов износа*

sary to include it into curricula of all engineering colleges and universities [9]. The state of education in Yugoslavia was estimated on the basis of curriculum for mechanical engineers, since tribology study takes place almost exclusively in Mechanical Engineering departments. Out of seven departments, only four have undergraduate and/or graduate studies in tribology (Tab. 1).



*Fig. 5. Types of lubricants study  
Istraživanje vrste maziva  
Иследование смазок*

### 3. EDUCATION IN TRIBOLOGY

Education in tribology is considered as one of the very important links for the introduction of tribology into engineering practice. A lot of papers were written about the aspects of education and many meetings were held [6,7,8], but the problems are present even nowadays. The investigation shows that tribology is not sufficiently present in education even in industrially most developed countries, such as the USA, and that it should be neces-

*Table 1. Yugoslav Universities Offering Courses in Tribology*

Faculty of Mechanical Engineering	Level of Course	
	Graduate	Under-graduate
University of Belgrade	Yes	Yes
University of Kragujevac	Yes	Yes
University of Novi Sad	Yes	Yes
University of Niš	Yes	No

However, it should be mentioned that all students of mechanical engineering do not attend the course of tribology. Considering the syllabus of mechanical engineering studies, it could be inferred that some important tribological topics are studied in traditional subjects such as Machine Theory, Machine Design, Fluid Mechanics and others, which can be considered as an unsuitable approach since then the problems are treated from one aspect only.

One of the important activities which should be mentioned are the courses for the innovation of knowledge organized by Yugoslav Society for Tribology. Thereby the lack in education and tribological knowledge of mechanical engineers is partly improved. The need for education is not to be ignored, because the future technological progress depends on training and knowledge of tribologists.

## 4. FUTURE TRENDS AND INITIATIVES

The necessity to use to a great extent and put at the disposal of industry the already achieved knowledge in tribology led to the awareness that it should be systematized and thereby its transfer made possible. It is a branch of tribo-informatics which has been developing fast in the course of the last ten years [11, 12, 13]. The whole tribological information system does not only make easier the transfer of technologies to industry, but advances the communication between different disciplines adjacent to tribology. YUTIS is the Yugoslav Tribological Information System which is nowadays being developed. Its structure, plotted in Fig. 6 contains at this moment three components on which the work is done.

They are: bibliography, tribology of manufacturing processes and tribology of machine elements [14]. Every domain is basically composed of the database about tribological properties of materials, the selection and properties of lubricants and tribology design database.

Further activities are oriented to the popularization of tribology by gathering engineers and experts in conferences, courses and by publishing professional literature. In the course of the last six years the Yugoslav Society for Tribology had organized three national conferences entitled YUTRIB. Periodical "Tribology in Industry" has a long tradition and 15 years of its appearance is certainly a successful exploit.

During the First Balkan Conference on Tribology held in Sofia, Bulgaria, in 1993, the Balkan Tribological Association was founded. The main purpose of the Association is the integration, mutual cooperation and the development of tribology in the Balkans, considering the speci-

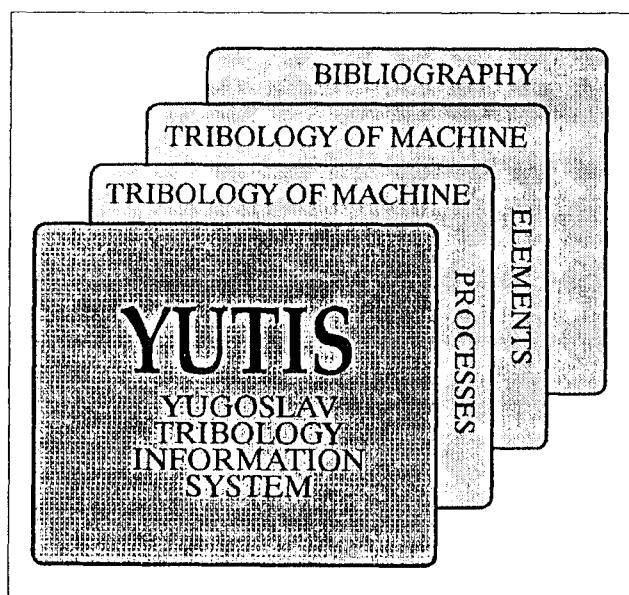


Fig. 6. Components of YUTIS  
Komponente YUTIS-a  
Состављоше YUTIS-a

ficity of this region as a whole and of different countries on it [15].

## 5. CONCLUSIONS

The development of tribology and the enhancement of the level of knowledge in education of engineers should be devoted a deserved attention; but, simultaneously these activities should be made as rational as possible. Hitherto experiences show that the greatest part of activities is realized at Universities, but, that even there, little fundamental researches are made. The transfer and application of tribological knowledge in industry is inadequate. The establishment of the tribological information system should contribute to a better linking of experts of various disciplines and to ensuring the penetration of tribo-technology into practice.

The cooperation with other countries within the framework of the Balkans and through the International Tribology Council will make possible the highly necessary communication of experts and will contribute to the raising standards in various engineering sectors all over the world.

## REFERENCES:

- [ 1.] W. O. Winer: **Future Trends in Tribology**, Wear, 136, 1990, pp. 19-27
- [ 2.] S. Jahanmir: **Future Directions in Tribology Research**, Trans of ASME, Journal of Tribology, 109, 1987, pp. 207-214
- [ 3.] H. Czichos: **Current Aspects of Tribology**, Wear, 77, 1982, pp. 1-11
- [ 4.] D. Dowson, C. M. Taylor: **A Survey of Research on Tribology and Future Priorities**, Wear, 106, 1985, pp. 347-358
- [ 5.] W. H. Roberts: **Some Current Trends in Tribology in the UK and Europe**, Trib. Int., 19.6, 1986, pp. 295-311
- [ 6.] H. Blok: **Education in Lubrication and Wear and its Conceptual Integration into Machine Design**, Third Inter. Conference on Lubrication and Wear, Inst. of Mech. Eng., 1967
- [ 7.] W. Bartz: **Basic and Continuing Education in Tribology**, First Balkan Conference on Tribology, Sofia, 1-3. Oct., 1993, vol.1, pp. 23-39
- [ 8.] D. Dowson, D. A. Jones: ed., **Teaching Tribology, Conference Proceedings**, Institute of Tribology, University of Leeds, 1970
- [ 9.] S. Jahanmir, F. E. Kennedy: **Tribology Education: Present Status and Future Challenges**, Trans of ASME, Journal of Tribology, 113, 1991, pp. 229-231
- [10.] S. Tanasijevic: **Tribology and Education (In Serbian Language)**, Tribology in Industry, XV, 1, 1993, pp. 3-5

- [11.] S. Jahanmir, M. B. Peterson: The Development and Use of a Tribology Research- in-Progress Database, Lub. Eng., 46,3,1990, pp. 153-158
- [12.] T. E. Tallian: Tribological Design Decisions Using Computerized Databases, Trans of ASME, Journal of Tribology, 109, 1987, pp. 381-387
- [13.] Documentation Tribology, BAM, Berlin, vol. 1-20
- [14.] B. Ivkovic: Tribological Information System - A Basis for Control of Friction and Wear Processes in Industrial and Transportation Systems, (In Serbian Language), Tribology in Industry, XIV, 4, 1992, pp. 114-120
- [15.] Project: Founding of the Balkan Tribological Association, Sofia, 1993

\* Presented at the Third Tribological Event of the Argentine Republic and Latin America, Buenos Aires, August 8-12, 1994.

## **Tribološka istraživanja i obrazovanje u Jugoslaviji**

*Tribologija kao stručna i naučna disciplina ima izuzetno visok uticaj na optimalnu konstrukciju i održavanje mašina, zbog toga što je njihov rad i vek trajanja neodvojivo povezan sa procesima trenja i habanja. Iz tih razloga tribološka istraživanja i obrazovanje u toj oblasti su veoma važne karike u razvoju svake industrijske zemlje.*

*Rad daje prikaz pozicije i aktivnosti u oblasti istraživanja i obrazovanja na Univerzitetima u Jugoslaviji i industriji, analizirajući aktuelne projekte i objavljene radove u časopisima i na simpozijumima.*

*Na osnovu izvršenih analiza moguće je zaključiti da su aktivnosti u oblasti tribologije slične kao i u drugim evropskim zemljama sa nekim specifičnim karakteristikama. Većina istraživanja se ostvaruje na fakultetima, a manji deo u industriji. To ukazuje na neophodnost posebnih npora da se izvrši transfer stečenih znanja u praksi.*

## **Трибологические исследования и образование в Югославии**

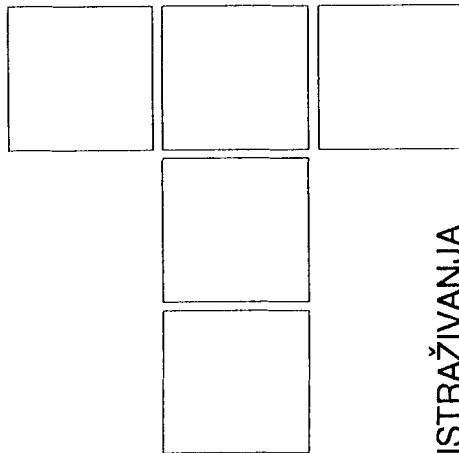
*Трибология как научная дисциплина имеет исключительно большое влияние на оптимальную конструкцию и обслуживание машин, вследствие того что ихработка и срок службы неразрывно связаны с процессами трения и изнашивания. В результате трибологические исследования и обучение кадров в этой области являются очень важными звенями в развитии каждой промышленной страны.*

*В работе показывается состояние и активности в области трибологических исследований и образования кадров в югославских университетах и в промышленности, анализируются актуальные проекты и работы опубликованные по этой же вопросу в журналах и на научных собраниях.*

*Результаты проведённого анализа позволяют утверждать, чтоработка в этой области не отстает за работами в других европейских странах с некоторыми особенностями. Большая часть исследовательских работ осуществляется на факультетах, а меньшая в промышленности. Это указывает на необходимость вложения больших наложений, чтобы достичь значимые изменения внедрить в производство.*

**B. TADIĆ, S. PECELJ**

# Eksperimentalna istraživanja triboloških karakteristika nodularnog liva



ISTRAŽIVANJA

## 1. UVOD

Poznavanje triboloških karakteristika kontaktnih parova ima višestruki značaj i predstavlja jedan od osnovnih pokazatelja potrebnih za adekvatan izbor materijala elemenata tribomehaničkih sistema u eksploataciji. Kontaktni parovi tribomehaničkih sistema, bez obzira o kojoj vrsti kontakta je reč, mogu raditi u različitim uslovima, tj. u širokom opsegu brzina klizanja i normalnog opterećenja koje može biti statičkog i dinamičkog karaktera sa različitim odnosom amplitude i učestalosti oscilacija. Pored toga, eksploatacione uslove odlikuje način podmazivanja, temperatura, kvalitet obrade kliznih površina itd. Svi ovi faktori u određenoj meri utiču na veličinu rasipanja energije i mase u tribomehaničkim sistemima. Može se reći da koeficijent trenja kao pokazatelj tribološke karakteristike kontaktnog para sa aspekta izgubljene (rasute) energije i PQ indeks kao pokazatelj tribološke karakteristike kontaktnog para sa aspekta rasute (izgubljene) mase, predstavljaju složene funkcije karakteristika materijala i eksploatacionih uslova.

Veliki broj faktora uticajnih na veličinu koeficijenta trenja, pored velikog broja različitih mernih sistema kojima se isti meri, doveo je do većeg neslaganja literaturnih podataka.

Deo rezultata prikazanih u radu predstavlja izvod iz eksperimentalnih podataka vezanih za merenje koeficijenta trenja nodularnih livova različito termički tretiranih.

---

Mr Branko Tadić, dipl. ing., asistent,  
Mašinski fakultet u Kragujevcu  
Slavka Peceļ, diplomac, Mašinski fakultet u Kragujevcu

Pouzdanost mernog sistema testirana je ponavljanjem većeg broja eksperimenata pri različitim nivoima opterećenja i brzinama klizanja. Razlike izmerenih koeficijenata trenja pri ponavljanju eksperimenata ne prelaze 1%, što se može pripisati greškama identičnosti uslova ispitivanja (hrapavost površine, podmazivanje i dr).

## 2. MERNA INSTRUMENTACIJA

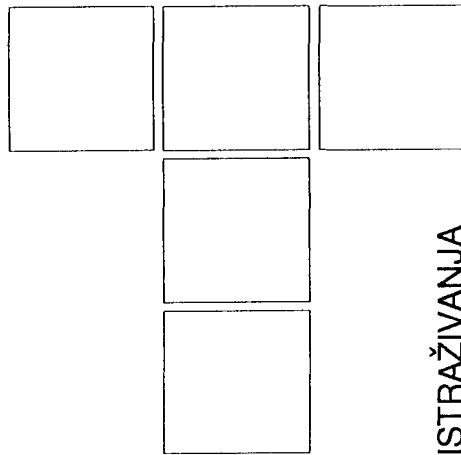
Merni lanac za merenje koeficijenata trenja čine:

- tribometar TPD-93 konstruisan na Mašinskom fakultetu u Kragujevcu,
- most pojačivač HOTINGER, i
- ploter HEWLET PACKARD.

Na sl.1. dat je šematski prikaz kontaktnog para. Stezanje pina vrši se preko aksijalnog ležaja sa jedne i kuglice sa druge strane, tako da se i relativno malom normalnom silom može obezbediti njegovo linjsko naleganje po disku koji rotira odredjenim brojem obrta. Čitav stezni pribor smešten je na polugu tako da napadna linija i normalne sile i sile trenja deluju u težištu preseka poluge na kojoj su smeštene merne trake i povezane sa drugim elementima mernog lanca. Sa druge strane poluga je uklještena u klizaču koji se preko prednapregnutih linjskih kotrljajnih vodjica pomera u pravcu dejstva normalnog opterećenja. Klizač se preko posebnog sistema za opterećenje može kontinualno opterećivati u širokom opsegu normalnog opterećenja. Eksperimentalna ispitivanja su pokazala, da ekscentričnost diska od 0.1 mm daje amplitudu oscilovanja normalnoj sili i sili trenja ne veću od 10%, što je sa aspekta tehnologije izrade diskova sasvim zadovoljavajuće.

**B. TADIĆ, S. PECELJ**

# Eksperimentalna istraživanja triboloških karakteristika nodularnog liva



ISTRAŽIVANJA

## 1. UVOD

Poznavanje triboloških karakteristika kontaktnih parova ima višestruki značaj i predstavlja jedan od osnovnih pokazatelja potrebnih za adekvatan izbor materijala elemenata tribomehaničkih sistema u eksploataciji. Kontaktni parovi tribomehaničkih sistema, bez obzira o kojoj vrsti kontakta je reč, mogu raditi u različitim uslovima, tj. u širokom opsegu brzina klizanja i normalnog opterećenja koje može biti statičkog i dinamičkog karaktera sa različitim odnosom amplitude i učestalosti oscilacija. Pored toga, eksploatacione uslove odlikuje način podmazivanja, temperatura, kvalitet obrade kliznih površina itd. Svi ovi faktori u odredjenoj meri utiču na veličinu rasipanja energije i mase u tribomehaničkim sistemima. Može se reći da koeficijent trenja kao pokazatelj tribološke karakteristike kontaktnog para sa aspekta izgubljene (rasute) energije i PQ indeks kao pokazatelj tribološke karakteristike kontaktnog para sa aspekta rasute (izgubljene) mase, predstavljaju složene funkcije karakteristika materijala i eksploatacionih uslova.

Veliki broj faktora uticajnih na veličinu koeficijenta trenja, pored velikog broja različitih mernih sistema kojima se isti meri, doveo je do većeg neslaganja literaturnih podataka.

Deo rezultata prikazanih u radu predstavlja izvod iz eksperimentalnih podataka vezanih za merenje koeficijenta trenja nodularnih livova različito termički tretiranih.

*Mr Branko Tadić, dipl. ing., asistent,  
Mašinski fakultet u Kragujevcu  
Slavka Peceļ, diplomac, Mašinski fakultet u Kragujevcu*

Pouzdanost mernog sistema testirana je ponavljanjem većeg broja eksperimenata pri različitim nivoima opterećenja i brzinama klizanja. Razlike izmerenih koeficijenata trenja pri ponavljanju eksperimenata ne prelaze 1%, što se može pripisati greškama identičnosti uslova ispitivanja (hrapavost površine, podmazivanje i dr).

## 2. MERNA INSTRUMENTACIJA

Merni lanac za merenje koeficijenata trenja čine:

- tribometar TPD-93 konstruisan na Mašinskom fakultetu u Kragujevcu,
- most pojačivač HOTINGER, i
- ploter HEWLET PACKARD.

Na sl.1. dat je šematski prikaz kontaktnog para. Stezanje pina vrši se preko aksijalnog ležaja sa jedne i kuglice sa druge strane, tako da se i relativno malom normalnom silom može obezbediti njegovo linjsko naleganje po disku koji rotira odredjenim brojem obrta. Čitav stezni pribor smešten je na polugu tako da napadna linija i normalne sile i sile trenja deluju u težištu preseka poluge na kojoj su smeštene merne trake i povezane sa drugim elementima mernog lanca. Sa druge strane poluga je uklještena u klizaču koji se preko prednapregnutih linjskih kotrljajnih vodjica pomera u pravcu dejstva normalnog opterećenja. Klizač se preko posebnog sistema za opterećenje može kontinualno opterećivati u širokom opsegu normalnog opterećenja. Eksperimentalna ispitivanja su pokazala, da ekscentričnost diska od 0.1 mm daje amplitudu oscilovanja normalnoj sili i sili trenja ne veću od 10%, što je sa aspekta tehnologije izrade diskova sasvim zadovoljavajuće.

### 3. PROGRAM ISPITIVANJA

Programom ispitivanja predviđeno je merenje koeficijenta trenja pri linijskom kontaktu diskova, izvadjenih od nodularnog liva NL-420 feritno perlitne osnove različito termički tretiranih i kaljenih pinova izradjenih od čelika Č 1531 istog hemijskog sastava i mehaničkih karakteristika. Hemijski sastav i režim termičke obrade poboljšanjem (temperatura i vreme otpuštanja), dati su u tabeli 1.

Ispitivanja su izvedena u dve faze:

- merenje sile trenja svih diskova tokom habanja istih u intervalu 0 - 30 min pri nominalnom opterećenju od 10 daN i brzini klizanja od 1.5 m/s,
- merenje sile trenja svih diskova tokom habanja istih u intervalu 0 - 5 min pri normalnom opterećenju od 10 daN i 15 daN i brzini klizanja od 2 m/s.

Tabela 1. Hemijski sastav i režim termičke obrade

Oznaka diska	Režim termičke obrade Tp( C)/t(min)	Hemijski sastav nodularnog liva NL-420						
		C	Si	Mn	S	P	Cu	Ni
1	390/30	3.34	2.38	0.30	0.042	0.0006	-	1.24
2	520/60							
3	390/90							
4	390/60							

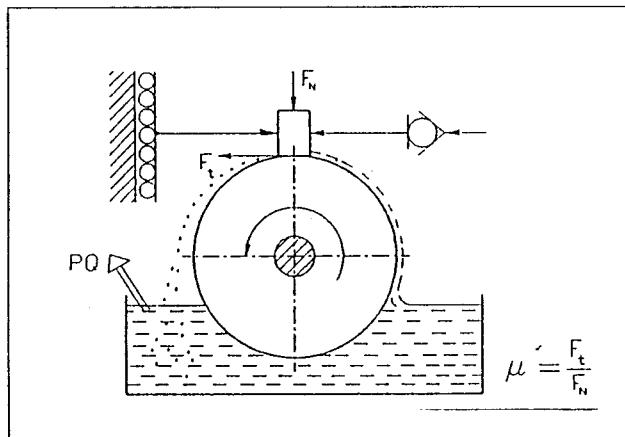
Merenje je izvedeno u uslovima graničnog podmazivanja istom količinom ulja koje će poslužiti za određivanje produkata habanja tj. PQ indeksa koji se ovom prilikom neće razmatrati.

### 4. EKSPERIMENTALNI REZULTATI

Merenjem normalne sile i sile trenja izvršen je proračun koeficijenta trenja i njegove disperzije. Na slikama 2 i 3 histogramski su prikazane veličine minimalnog i maksimalnog koeficijenta trenja, odnosno intervali visoke pouzdanosti  $\mu + 3\sigma$  na osnovu rezultata merenja sile trenja posle 5 min i 30 min, pri normalnom opterećenju  $F_n = 10 \text{ daN}$  i brzini klizanja  $v = 1.5 \text{ m/s}$ .

Na slici 4 prikazan je za iste uslove opterećenja, trend promene srednjeg koeficijenta trenja ( $\mu$ ) tokom vremena 5 - 30 min.

Veličine koeficijenta trenja i njegovog rasturanja  $\mu$  za uslove normalnog opterećenja 10 daN i 15 daN i brzinu klizanja 2 m/s prikazane su histogramski na slikama 5 i 6.



Sl. 1. Šematski prikaz kontaktnog para  
Schematic representation of contact pair.  
Схема контактной пары

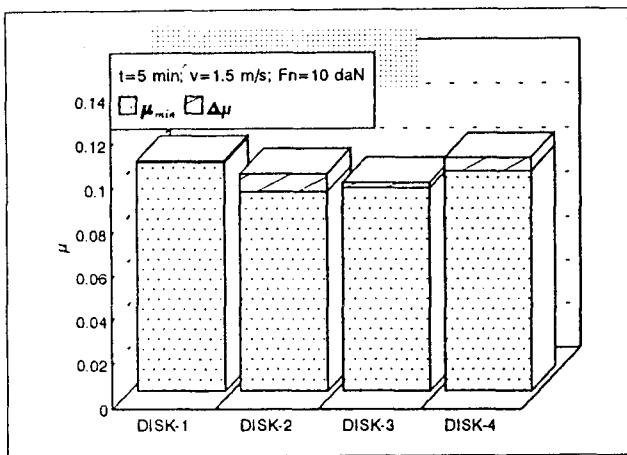
### 5. ANALIZA EKSPERIMENTALNIH REZULTATA

Tribološke karakteristike ispitivanih diskova, sa aspekta trenja, mogu se izraziti preko pokazatelja izведенog na bazi koeficijenta trenja po izrazu:

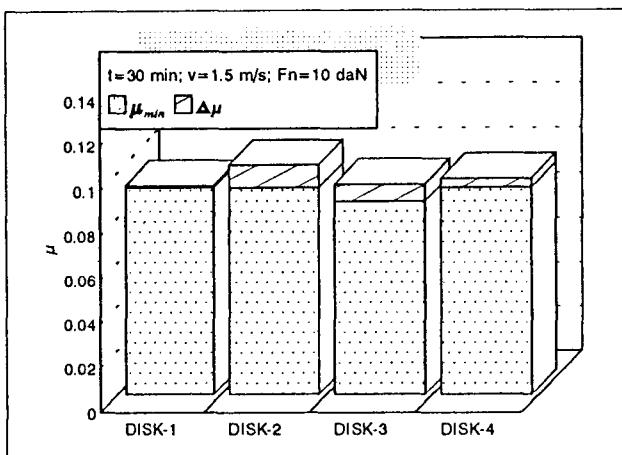
$$P_t = \frac{\mu_r}{\mu_x} \cdot 100 \%,$$

gde je:  $P_t$  - pokazatelj tribološke karakteristike sa aspekta trenja;  
 $\mu_r$  - koeficijent trenja referentnog kontaktnog para;  
 $\mu_x$  - koeficijent trenja x-tog kontaktnog para.

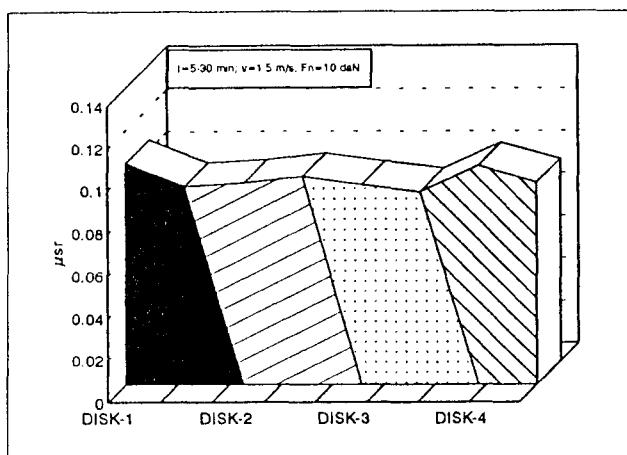
Kao referentni kontaktni par u svim uslovima obrade rezultata biran je par tj. disk sa najmanjim koeficijentom trenja, pa isti uvek dobija maksimalnu vrednost pokazatelja  $P_t$  od 100%. Veličine ovih pokazatelja histogramski su prikazane na slikama 7, 8 i 9.



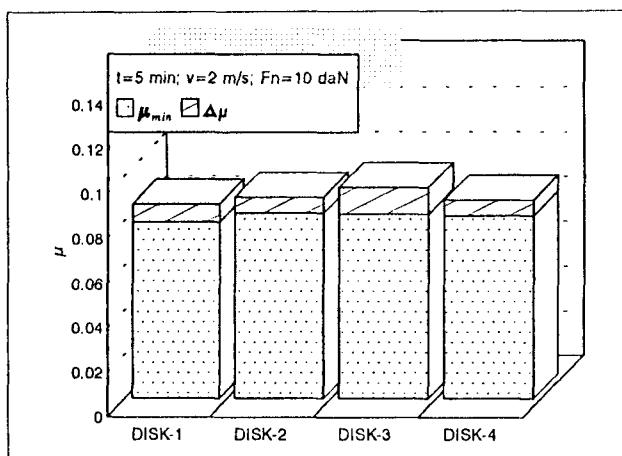
Sl. 2. Uticaj režima termičke obrade na veličinu koefficijenta trenja  
Influence of thermal treatment regime on the value of the friction coefficient  
Воздействие режима термической обработки на значение коэффициента трения



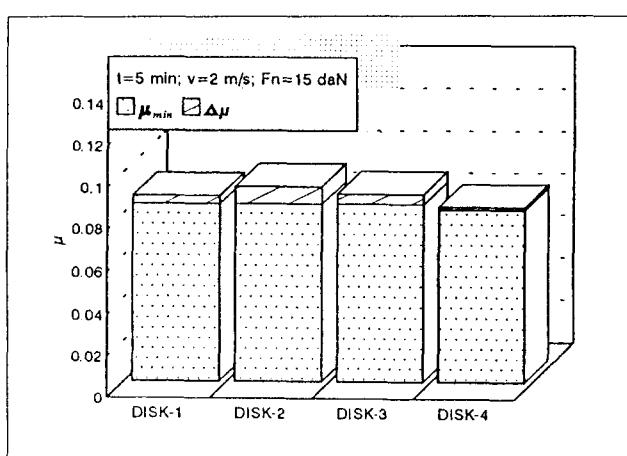
Sl. 3. Uticaj režima termičke obrade na veličinu koefficijenta trenja  
Influence of thermal treatment regime on the value of the friction coefficient  
Воздействие режима термической обработки на значение коэффициента трения



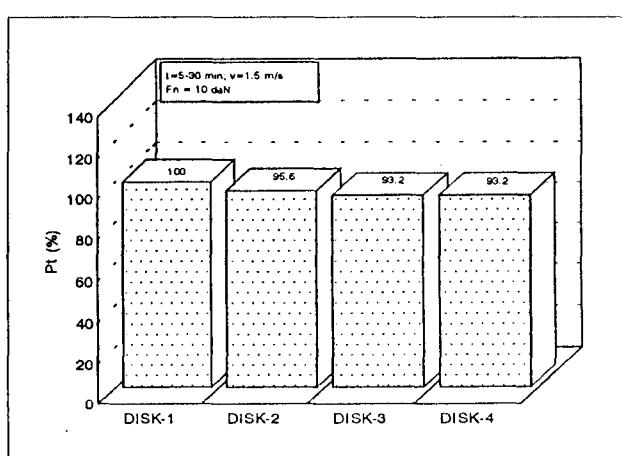
Sl. 4. Trend promene srednjeg koefficijenta trenja u funkciji režima termičke obrade  
Tendency of variation of the medium friction coefficient as a function of thermal treatment regime.  
Направление изменения среднего коэффициента трения в зависимости от термической обработки



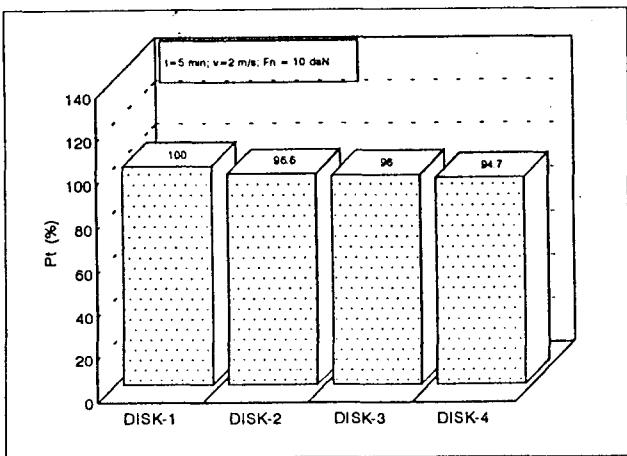
Sl. 5. Uticaj režima termičke obrade na veličinu koefficijenta trenja  
Influence of thermal treatment regime on the value of the friction coefficient  
Воздействие режима термической обработки на значение коэффициента трения



Sl. 6. Uticaj režima termičke obrade na veličinu koefficijenta trenja  
Figure 6. Influence of thermal treatment regime on the value of the friction coefficient  
Воздействие режима термической обработки на значение коэффициента трения



Sl. 7. Uticaj režima termičke obrade na veličinu indeksnog pokazatela Pt  
Influence of thermal treatment regime on the value of the index indicator Pt  
Воздействие режима термической обработки на величину индексного показателя Pt

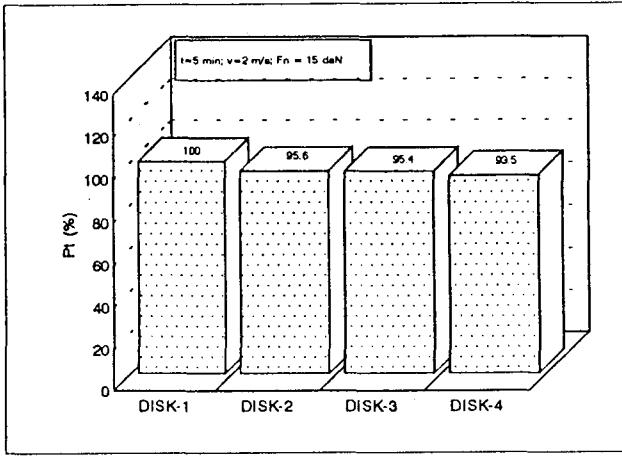


*Sl. 8. Uticaj režima termičke obrade na veličinu indeksnog pokazatelja Pt  
Influence of thermal treatment regime on the value of the index indicator Pt  
Воздействие режима термической обработки на величину индексного показателя Pt*

## 6. ZAKLJUČAK

Analizom eksperimentalnih rezultata može se doći do sledećih zaključaka:

- ▶ uticaj režima termičke obrade na tribološke karakteristike NL-420 sa aspekta trenja, za date uslove ispitivanja nije veći od 10%, što se može tvrditi sa pouzdanošću od 95%;
- ▶ prednost pojedinih režima termičke obrade poboljšanjem vezana je i sa nivoom normalnog opterećenja i veličinom brzine klizanja, pa se tvrdnja o postojanju razlika sa aspekta trenja još više dovodi u pitanje;
- ▶ ako se uzmu u obzir disperzije signala, tj. razlike u dinamičkoj komponenti normalne sile, koja je posledica različite ekscentričnosti diskova, onda se pouzdano



*Sl. 9. Uticaj režima termičke obrade na veličinu indeksnog pokazatelja Pt  
Influence of thermal treatment regime on the value of the index indicator Pt  
Воздействие режима термической обработки на величину индексного показателя Pt*

ne može tvrditi da postoje bitne razlike ispitivanih diskova sa aspekta trenja.

## LITERATURA

- [ 1.] B. Ivković, D. Ješić, B. Tadić: Tribological characteristics of Nodular Cast Iron, INTERTRIBO'93, Bratislava, 1993.
- [ 2.] B. Tadić, S. Milutinović: Tribološke karakteristike nodularnog liva, Tribologija u industriji, No 3/93, Kragujevac, 1993.
- [ 3.] D. Ješić: Tribološki aspekti nodularnog liva dobijeni po osmosetrigger postupku, Tribologija u industriji, No 4/92, Kragujevac, 1992.

## Some Results of Investigations of Nodular Cast Irons Tribological Characteristics

*A part of results presented in this paper represents a summary of experimental data related to measurements of friction coefficient of nodular cast irons treated thermally in different ways. Measurements were done at different sliding speeds and levels of normal loading, after the period of breaking in of the contact pairs and after the certain period of their wear. Analysis of measurements results points to the small influence (differences in friction coefficients do not exceed ten percents) of regime of thermal treatment by betterment on tribological characteristics of nodular cast iron NL - 420, from the aspect of friction.*

*Besides that, the advantage of particular thermal regimes by betterment is related to the value of normal loading and sliding speed, so the statement about existence of differences in friction coefficients is questioned even more.*

## Экспериментальное исследование нодулярных чугунов

*В работе показана часть результатов, полученных при экспериментальных измерениях трения нодулярных чугунов, подвергаемых различной термической обработке. Измерения проводили при разных скоростях скольжения и различных уровнях нормальных нагрузок, после проработки парящихся пар в течение определенного времени изнашивания. Полученные результаты измерений показывают, что влияние режима термической обработки на термические характеристики нодулярного чугуна НЛ-420 небольшое. Разницы в коэффициентах трения не большие 10%.*

**A. RAC**

# Tribologija motora SUS - stanje i tendencije

ISTRAŽIVANJA

*Razvoj motora SUS uslovjen je razvojem mnogih drugih disciplina, medju kojima tribologija zauzima vidno mesto jer značajno doprinosi rešavanju danas aktuelnih problema sa gledišta pouzdanosti i efektivnosti motora.*

*Izvršena istraživanja i ostvareni rezultati u oblasti tribologije doprineli su da se savremeni motori približe postavljenim zahtevima za što manju potrošnju energije, smanjenje odnosa masa/snaga, smanjenje štetne emisije i visoku pouzdanost vitalnih mehanizama motora uz relativno niske troškove održavanja.*

**KLJUČNE REČI:** Motori SUS, Tribološki problemi, Stanje razvoja

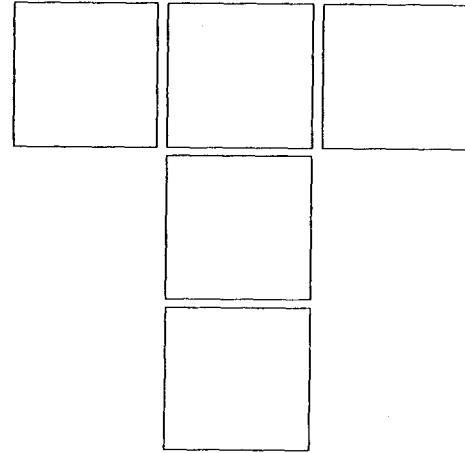
## 1. UVODNA RAZMATRANJA

Razvoj i konstruisanje motora SUS obuhvata niz faza od definisanja i izračunavanja zahtevanih performansi od izrade prototipa i njegovog ispitivanja sa ciljem utvrđivanja pouzdanosti i veka izabranog rešenja. Ukupne aktivnosti na tim poslovima su dugotrajne i skupe, što se naročito odnosi na izradu prototipa i ispitivanje, pa se zbog toga može konstatovati da se kao kritični faktor javlja tačno predviđanje karakteristika još u fazi projektovanja.

S obzirom da radne karakteristike, pouzdanost i vek trajanja vitalnih delova motora zavise u značajnoj meri od triboloških procesa, predviđanje njihovih triboloških karakteristika u fazi projektovanja i konstruisanja je od posebnog interesa [1].

---

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



Osnovni razlozi, koji danas inciraju značajna istraživanja u tribologiji motora SUS su činjenice:

- da se najveće uštede energije mogu ostvariti kod transportnih sredstava odnosno vozila drumskog saobraćaja (tab.1);
- da je visok značaj i uticaj tribologije na ekonomičnost rada drumskih vozila (tab.2);
- da motor SUS sadrži veliki broj triboelemenata i
- da postoji opšta tendencija smanjenja mase motora u odnosu na snagu sa svim posledicama na razvoj triboloških procesa.

Istraživanja u tribologiji motora SUS su vezana za smanjenje potrošnje goriva kroz smanjenje trenja [3, 4, 5, 6], povećanje pouzdanosti svih pokretnih komponenata i zaštitu okoline od zagadjenja izduvnim gasovima [7, 8].

Analizirajući sadašnje stanje zapaža se da su aktuelne sledeće aktivnosti:

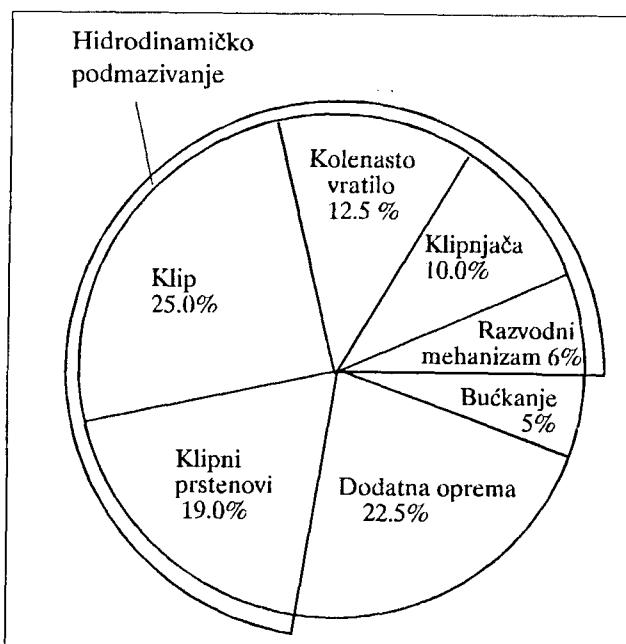
- ▶ Istraživanja u oblasti materijala u cilju povećanja otpornosti na habanje. Osnovni materijali za izradu pokretnih delova motora su ostali isti tokom zadnjih 20 do 30 godina, ali su naglašena istraživanja radi jasnijeg definisanja triboloških karakteristika [9, 10, 11] i njihovo poboljšanje modifikacijom površinskog sloja i/ili korišćenjem antihabajućih prevlaka [12, 13, 14, 15];
- ▶ Istraživanja maziva u pravcu obezbeđenja što dužeg veka upotrebe, smanjenja potrošnje goriva i zagadjenja okoline [16, 17, 18];
- ▶ Razvoj metoda proračuna elemenata i mehanizama motora SUS na osnovu teorija hidrodinamičkog (HD) i elastohidrodinamičkog (EHD) podmazivanja, što omogućuje predviđanje radnih i triboloških karakteristika u fazi konstruisanja [19, 20, 21, 22].

Tablica 1. Potencijalne uštede u SAD kao rezultat triboloških istraživanja

OBLAST	Potencijalne uštede energije		Procena troškova RI programa	Pozitivan odnos
	% SAD potrošnje	Miliardi		
Drumski saobraćaj	7.4	11	12.6	87
Generatori snage i turbomašine	0.7	1.0	7.3	14
Industrijske mašine i procesi	2.8	4.2	3.7	113
UKUPNO	10.9	16.2	23.6	69
Pozitivan odnos = $\frac{\text{ušteda}}{10 \cdot \text{RI troškovi}}$				

Tablica 2. Uticaj istraživačkih oblasti na ekonomičnost

Predložene oblasti RI	Drumski saobraćaj		Industrijske mašine i procesi	Generatori snage i turbomašine	Procene troškova RI mil. dol.
	Motor	Transmisijska			
Maziva i podmazivanje	V	V	M	V	5.6
Materijali i prevlake	V	V	M	V	4.8
Habanje	V	M	M	V	0.7
Klizni ležaji	V	M	V	M	4.4
Kotrljajni ležaji	M	M	V	V	1.7
Zaptivke	M	M	V	M	1.0
Valjanje metala i procesi	M	M	V	M	3.1
UKUPNO					21.3
V - veći značaj M - manji značaj					



Slika 1. Raspodela mehaničkih gubitaka u motoru SUS  
Mechanical losses in engine  
Распределение механических ущербов  
в двигателе внутреннего сгорания

Sa gledišta mehanizama motora SUS, što je praktičniji prilaz za većinu inženjera konstruktora, sledeći tribomehanički sistemi su u žiri intresovanja:

- klizni ležaji kolenastog vratila;
- klipna grupa
- bregasti mehanizam i
- sistem za podmazivanje.

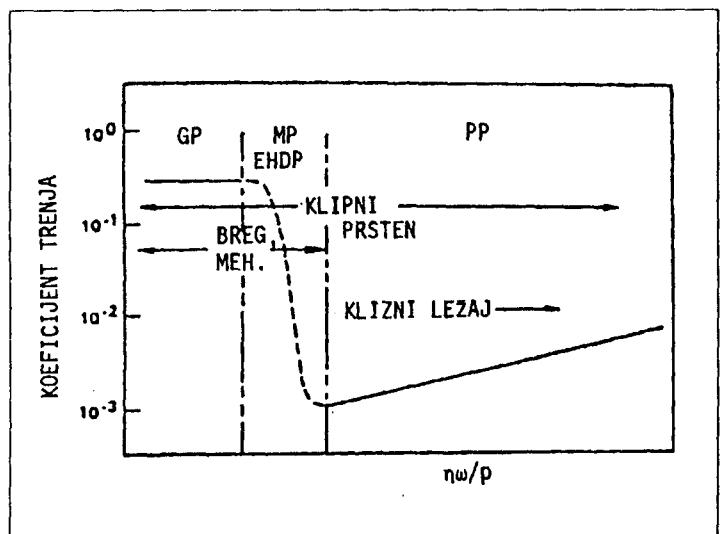
To je i logično ako se zna da su mehanički gubici u motoru SUS [23] najveći kod tih mehanizama (sl. 1) i da pouzdanost motora kao celine zavisi u najvećoj meri od pouzdanosti pokretnih elemenata.

Pomenuti triboelementi i mehanizmi obavljaju svoju funkciju pri različitim režimima podmazivanja (sl. 2), saznanje koje je osnova za sva dalja tribološka razmatranja.

## 2. KLIZNI LEŽAJI

Konstruisanje ležaja kolenastog vratila motora SUS je jedan od aspekata kompleksnog razvojnog programa motora. To je složen posao koji obuhvata aktivnosti od izbora materijala, konstrukcijskog rešenja pa do proračuna radnih i triboloških karakteristika. S obzirom da klizni ležaji kolenastog vratila rade u oblasti HD podmazivanja, njihov proračun sa tribološkog stanovišta obuh-

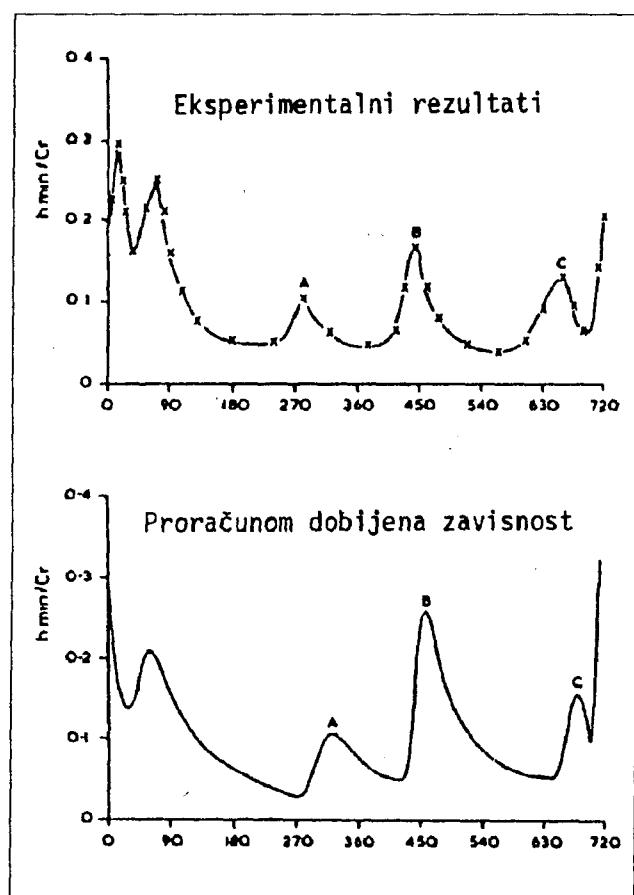
vata određivanje debljine sloja maziva, veličine trenja, temperature ulja u ležaju i protoka ulja kroz ležaj.



Slika 2. Uslovi podmazivanja kod osnovnih mehanizama motora SUS (Stribekov dijagram)

Stribeck diagram showing lubrication modes of engine components

Условия смазки в основных механизмах двигателей (Сtribeka эйюра)



Slika 3. Uporedni rezultati relativne debljine sloja maziva kod kliznih ležaja motora  
Comparing predicted film thickness with experiment

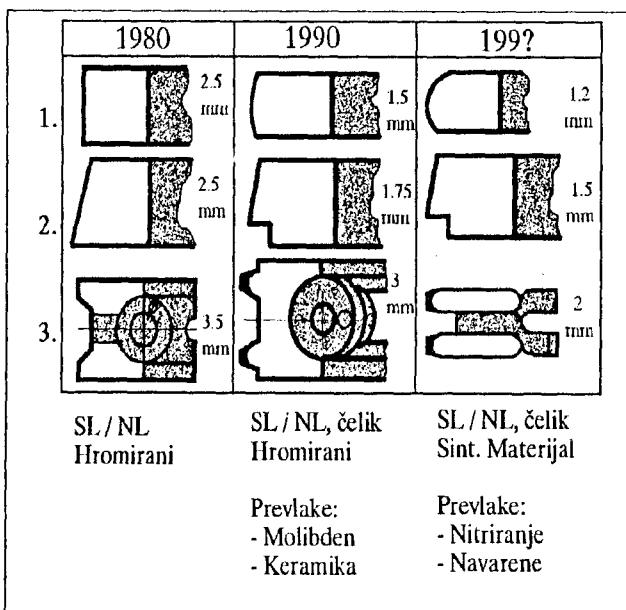
Сравнительные результаты относительной толщины смазочной пленки  
на скользящих подшипниках мотора

Sloj maziva ima tri svoje funkcije: da odvodi toplotu generisanu u ležaju, nosi opterećenje i održava spregnute površine potpuno razdvojene [24]. Otuda i osnovni značaj određivanja debljine sloja maziva. Međutim, dinamička opterećenja koja trpi ležaj motora SUS pri promenljivoj učestanosti obrtanja čine proračun relativno složenim zadatkom. Rešenja koja se danas koriste za procenu debljine sloja maziva razvijena su tek unazad 30 godina [25]. Medju njima treba navesti "Mobility" metodu Bukera [26], "Impuls" metodu Bloka i numeričke metode razvijene od različitih autora, ali i proizvodjača motora i ležaja. Dobijeni rezultati pokazuju relativno dobro slaganje sa eksperimentalnim merenjima (sl. 3), što navodi na zaključak da se već danas može, u fazi konstruisanja motora, analizirati stanje ležaja sa gledišta podmazivanja i uticaj pojedinih faktora [27]. Takve tendencije su jasno prisutne.

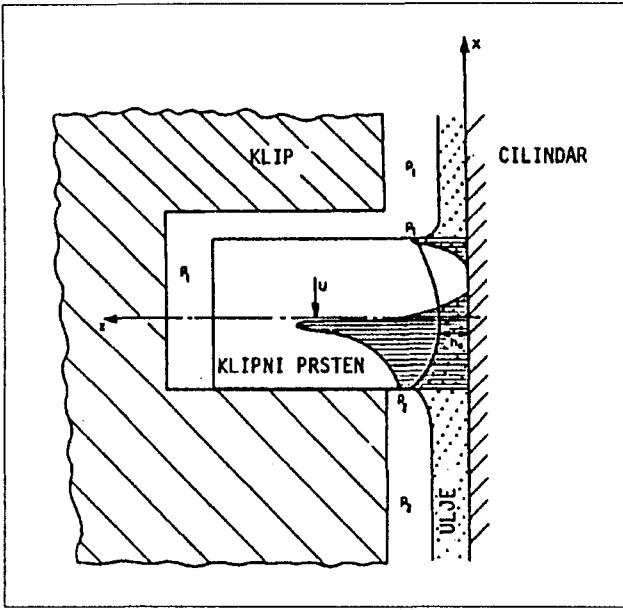
Temperatura ulja u ležaju i protok ulja su međusobno zavisne veličine. Predviđanje protoka vezano je za veličinu pritiska pod kojim se ulje dovodi u ležaj i dozvoljenu radnu temperaturu ležaja. S obzirom na promenljive radne uslove proračun protoka je takođe složen problem, ali su danas već realizovana rešenja koja mogu da obezbede optimiranje ovih veličina [28, 29].

### 3. KLIPNA GRUPA

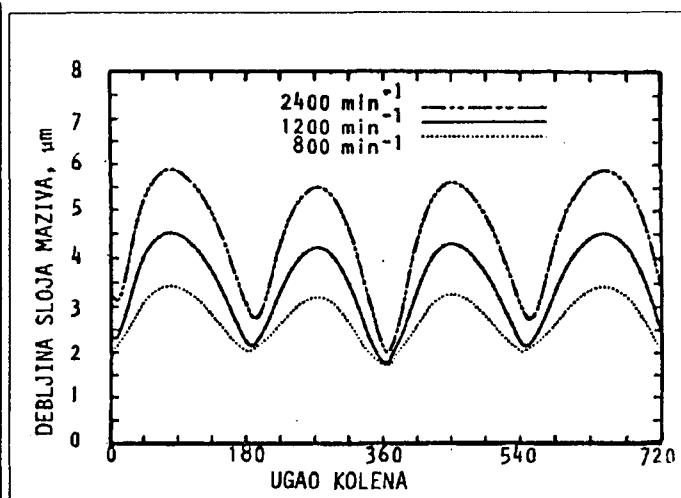
Radovi objavljeni zadnjih godina vezani za tribologiju klipnog prstena obuhvataju nova konstrukcijska rešenja i materijale, matematičko modeliranje trenja, proračun podmazivanja i razmatranje problema vezanih za smanjenje trenja kao i potrošnju ulja [30].



Slika 4. Razvoj konstrukcije klipnog prstena  
Design development of piston rings  
Развитие конструкции поршневого кольца



Slika 5. Geometrija prstena i pritisak u sloju maziva  
Piston ring geometry and oil pressure  
Геометрия кольца и давление в слое смазки



Slika 6. Promena debљine sloja maziva kod klipnog prstena za različite učestanosti obrtanja motora  
Predicted cyclic variation of film thickness for different engine speed  
Изменение толщины смазочного слоя поршневого кольца для разного числа оборотов

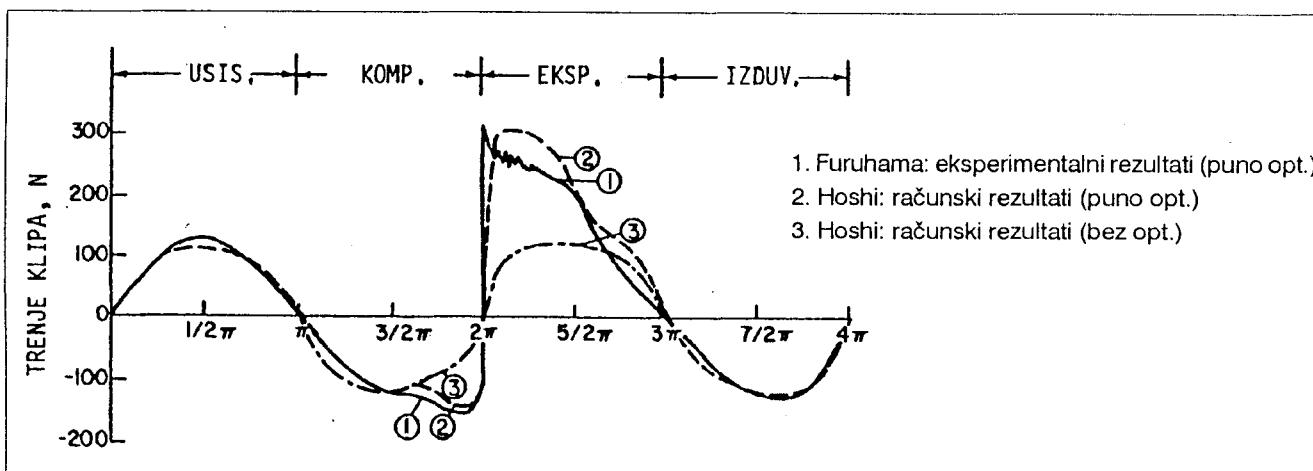
Razvoj klipnih prstenva sa gledišta materijala i konstrukcije menjao se sa opštim tendencijama da se smanji masa motora i oscilujuće mase. Zbog toga je vidljivo smanjenje dimenzija ali i promena oblika radne površine klipnog prstena (sl. 4). Pri tome se postavljaju zahtevi da se smanji trenje i habanje bez gubitaka na efikasnosti zaptivanja. Istovremeno se iskazuje tendencija smanjenja zazora i smanjenja potrošnje ulja, što rezultira i u smanjenje štetne emisije motora.

U odnosu na materijale dominantna je upotreba sivog liva [31, 32], ali je sve prisutnije i korišćenje čeličnih prstenva sa odgovarajućim prevlakama i to posebno kod savremenih motora velikih snaga [33, 34].

Gubici usled trenja kod cilindarsko-klipne grupe su neminovno povezani sa uslovima podmazivanja klipnog

prstena i cilindra. Kako klipni prsten može da radi u oblasti potpunog i nepotpunog podmazivanja, matematički modeli za proračun vezani su za hidrodinamičko i granično podmazivanje [35, 36, 37]. Teorijska analiza hidrodinamičkog podmazivanja klipnih prstenva znači primenu Rejnoldsove jednačine [38], sa analizom pritiska u sloju maziva (sl. 5) i proračunom debljine sloja maziva (sl. 6).

Smanjenje trenja klipne grupe je odlučujuće za povećanje mehaničkog stepena korisnosti motora. Zbog toga nije začudjujuće da su istraživanja u toj oblasti intenzivna. Posebno treba ukazati na rezultate matematičkog modeliranja trenja [39, 40], koji pokazuju dobro slaganje sa eksperimentalnim istraživanjima (sl. 7), što omogućuje da se u fazi projektovanja motora oceni veličina trenja i mehanički gubici [41].



Slika 7. Sila trenja klipnog prstena (dizel motor, 1000 o/min)  
Piston friction (diesel engine, 1000 rpm)  
Сила трения поршневого кольца (дизель, 1000 0/мин)

## 4. BREGASTI MEHANIZAM

Habanje i neadekvatno podmazivanje bregastog mehanizma je čest uzrok problema u radu motora.

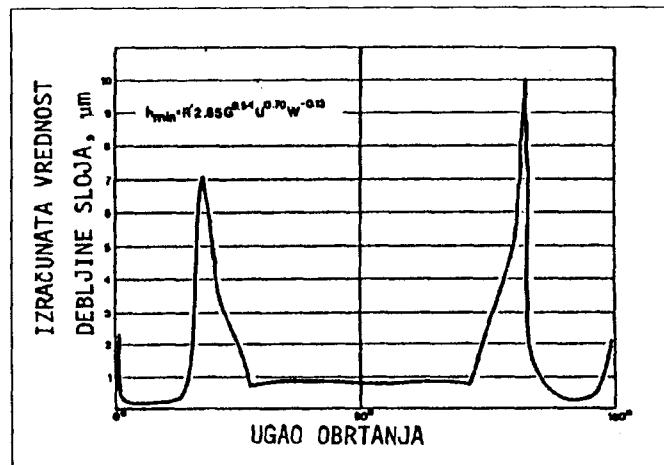
Danas se koriste različita konstrukcijska rešenja bregastog mehanizma, ali je za sve karakteristično da na površinama u dodiru i relativnom kretanju vladaju visoka specifična opterećenja, što znači da za njih važe Hercovi uslovi dodira. S toga je teorija EHD podmazivanja osnova za rešavanje triboloških problema. Međutim, zavisno od geometrije, brzine i svojstava ulja realno se opseg ostvarene vrste podmazivanja kreće od GP do EHDP.

Teorijski modeli u oblasti tribologije bregastog mehanizma imaju za osnovni cilj predviđanje trenja i habanja [42, 43] i analizu ostvarenih uslova podmazivanja izabranog rešenja [44, 45], pre svega određivanje debeljine sloja maziva (sl. 8).

Međutim, zbog složenosti kinematike sistema ne postoje još potpuno izdiferencirana rešenja, pa su dalja istraživanja neophodna.

## 5. SISTEM ZA PODMAZIVANJE

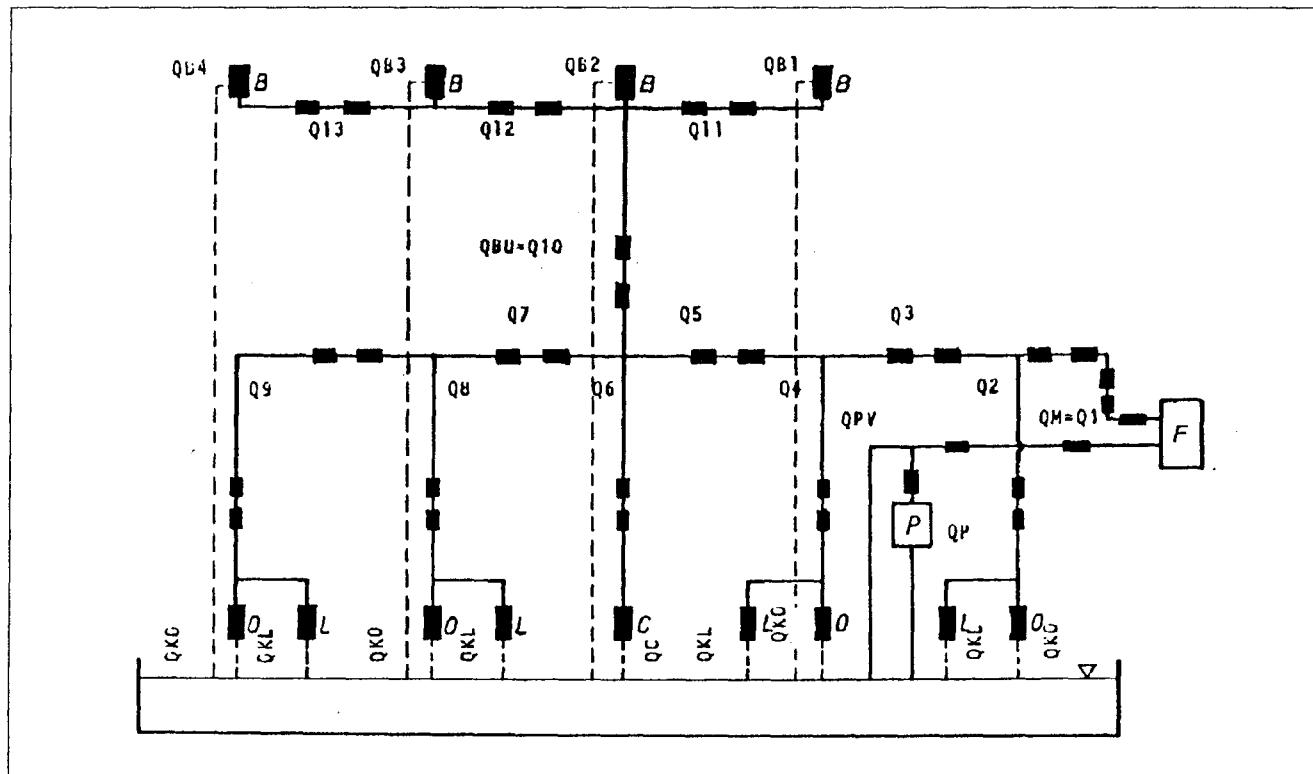
Podmazivanje vitalnih delova i mehanizama motora uključuje i razmatranje sistema pomoću koga se proces podmazivanja ostvaruje [46, 47].



Slika 8. Teorijske vrednosti debeljine sloja maziva za breg  
Theoretical value of film thickness around cam  
Теоретические значения толщины смазочного слоя для кулачка

Poznato je da su u prošlosti konstrukcije sistema za podmazivanje, po pravilu, bile predimenzionisane kako bi se osigurala potrebna količina ulja i u ekstremnim slučajevima, na primer, velikom zazoru usled habanja ležaja ili da se omogući adekvatno podmazivanje ako se iz osnovnog modela proizvode varijante većih snaga [48].

Međutim, danas kada su svi naporci usmereni na povećanje ekonomičnosti motora, takav se pristup može označiti kao neadekvatan. Rešenja se traže u optimiranju svih elemenata sistema za podmazivanje [49] simulacijom sistema tokom projektovanja motora.



Slika 9. Struktura sistema podmazivanja motora SUS  
Scheme of engine lubrication system  
Структурная схема смазки двигателей внутреннего сгорания

## 6. ZAKLJUČAK

Tribološka istraživanja kod savremenih motora određena su, pre svega, zahtevima za što manju potrošnju goriva i visoku pouzdanost. Ti zahtevi nameću rešavanje problema trenja i habanja vitalnih mehanizama motora. Rešenja se, danas, a verovatno i u bližoj budućnosti, traže u:

- ▶ poboljšanju triboloških karakteristika materijala, na prvom mestu korišćenjem modifikacija površina i prevlaka,
- ▶ razvoju i korišćenju ulja za podmazivanje visokog učinka,
- ▶ razvoju analitičkih modela za što tačnije predviđanje triboloških karakteristika pokretnih elemenata motora tokom projektovanja i
- ▶ optimizacijom sistema za podmazivanje sa tendencijom integracije sistema za podmazivanje i hladjenje.

## LITERATURA

- [1.] Rac, A., **Tribološki aspekti konstruisanja osnovnih mašinskih elemenata**, YUTRIB 91, Kragujevac, 1991, Zbornik radova, 17-24
- [2.] Pinkus, O., Wilcock, D. F., **The Role of Tribology in Energy Conservation**, Lub. Eng., 34, 11, 1978, 599-610
- [3.] Mayr, B., **Reduzierung der Reibungsverluste im Fahrzeugmotor**, Schmiertechnik und Tribologie, 27, 1, 1980, 5-9
- [4.] Monaghan, M. L., **Putting Friction in its Place**, Proc. IMechE, 1989, C375/KN1
- [5.] Hamai, K., Masuda, T., Goto, T., and Kai, Sh., **Development of a Friction Prediction Model for High Performance Engines**, Lub. Eng., 47, 1991, 567-573
- [6.] Goto, T., Hamai, K., Kai, Sh., and Masuda, T. A., **Friction Prediction Model for Gasoline Engines**, Proc. of the Japan International Tribology Conference, Nagoya, 1990, 143-148
- [7.] Kovach, J. T., Tsakiris, E. A., and Wong, L. T., **Engine Friction Reduction for Improved Fuel Economy**, SAE p. 820085
- [8.] Lewinsky, P. M., Cooke, V. B. and Andrews, C. A., **Lubrication Oil Requirements for Low Emission Diesel Engines**, AVL Conference "Engine and Environment", Graz, 1989
- [9.] -, **Tendencije u razvoju kliznih ležajeva za motore sa unutrašnjim sagorevanjem**, MIBA Gleitlager, AG, predavanje na seminaru DOS, Arandjelovac, 1988
- [10.] Taylor, B. J., Eyre, T. S., **A Review of Piston Ring and Cylinder Liner Materials**, Trib. Int., 12, 2, 1979, 79-88
- [11.] Eyre, T. S., Crawley, B., **Camshaft and Cam Follower Materials**, Trib. Int., 13, 4, 1980, 147-152
- [12.] James, D. H., Smart, R.F. and Reynolds, J.A., **Surface Treatments in Engine Component Technology**, Wear, 34, 1975, 373-382
- [13.] Day, R. A., **Piston Ring and Liner Wear**, Ind. Lub. and tribology, 34, 2, 1982, 44-49
- [14.] Glüsing, H., Aengeneyndt, K. D., **Ingenieurkeramik im Kraftfahrzeugmotor**, Tribologie und Schmierungstechnik, 37, 3, 1990, 132- 138
- [15.] Beese, J. G., Clarke, H., **The Performance of Materials Associated with Cams**, in "Cams and Cam Mechanisms", ed. Jones, J.R., IME, London, 1978
- [16.] Dawson, R. B., Sliming, P. N., **Dizelska motorna ulja koja štede gorivo**, "JUGOMA 86", Portorož, 1986
- [17.] Greene, A. B., Risdon, T. J., **The Effect of Molybdenum Containing, Oil- Soluble Friction Modifiers on Engine Fuel Economy and Gear Oil Efficiency**, SAE 811187
- [18.] Hamaguchi, H., Maeda, Y. and Maeda, T., **Fuel Efficient Motor Oil For Japanese Passenger Cars**, SAE 810316
- [19.] Lang, O. R., **Hydrodynamische und elastohydrodynamische Effekte in Motoren**, Tribologie und Schmierungstechnik, 37, 1, 1990, 2-10
- [20.] Theyse, F. H., **Fundamentals of Hydrodynamic Lubrication and Their Consequences in Design Engineering**, Wear, 7, 1964, Part I, 385-418, Part II, 477-497
- [21.] Kumpel, G., **Anwendung der Elastohydrodynamik auf Nokel- Stossel-Systeme**, Tribologie und Schmierungstechnik, 33, 5, 1986, 299-308
- [22.] Barwell, F. T., Roylance, B. J., **Tribological Considerations in the Design and Operation of Cams - A Review of the Situation**, in "Cams and Cam Mechanisms", ed. Jones, J.R., IME, London, 1978
- [23.] Lang, O. R., **Reibungsverluste in Verbrennungsmotoren**, Schmiertechnik und Tribologie, 29, 3, 1982, 90-92
- [24.] Perkins, C. A., **Dynamically Loaded Bearing Assessment by Oil Film Analysis**, Ind. Lub. and Tribology, 25, 4, 1973, 159-160
- [25.] Campbell, J., Love, P. P., Martin, F. A. and Rafique, S. O., **Bearings for Reciprocating Machinery: A Review of the Present State of Theoretical, Experimental and Service Knowledge**, Proc. I Mech Eng, 182, Part 3A, 1967- 68
- [26.] Booker, J. F., **Dynamically Loaded Journal Bearings: Mobility Method of Solution**, Trans. of ASME, ser D, 87, 3, 1965
- [27.] Martin, F. A., **Developments in Engine Bearings**, Proc. 9th Leeds-Lyon Symposium on Tribology, Butterworth, 1983
- [28.] Hashizume, K., Hagiwara, Y. and Kumada, Y., A., **Study of the Oil Flow and The Temperature of Journal Bearings**, Proc. Japan International Tribology Conference,, Nagoya, 1990, 295-300
- [29.] Lang, O. R., Steinhilper, W., **Gleitlager**, Springer Verlag, 1978
- [30.] Ting, L. L., **A Review of Present Information on Piston Ring Tribology**, SAE 852355
- [31.] Rac, A., **Istraživanje triboloških karakteristika elemenata i mehanizama motora SUS**, III faza, podprojekat u okviru projekta "Razvoj familije antitoksičnih ekonomičnih benzinskih motora", Mašinski fakultet, Beograd, 1989, str. 27

- [32.] *Sunden, H., Schaub, R., Piston Rings for Slow and medium Speed Diesel Engines*, Trib. Int., 12, 1, 1979, 3-14
- [33.] *Devon, S. M., Reglitzky, A. A. und Seehausen, W., Neue Motoren technologie verandert das Anforderungsprofil von Motorenolen*, Mineraloltechnik, 5.mai 1992
- [34.] *Inoue, T., Maeda, Y., Takeda, M. and Nakada, M., Development of Automotive Piston Rings with High Resistance to Wear and Scuffing*, Proc., Japan International Tribology Conference, Nagoya, 1990
- [35.] *Todsen, U., Untersuchungen am dem Tribologischen System Kolben- Kolbenring-Zylinder*, VDI Forschungsheft, 628/85, 1-52
- [36.] *Kruse, H., Todsen, U., Besherige Forschungsarbeiten am Tribologischen System Kolben-Kolbenring-Zylinder*, Tribologie und Schierungstechnik, 33, 2, 1986, 90-98
- [37.] *Miltosios, G. K., Patterson, D. J. and Papanastasiou, T. C., Solution of the Lubrication Problem and Calculation of the Friction Force on the Piston Rings*, Trans. of ASME, Journal of Tribology, 111, 1989, 635-641
- [38.] *Ruddy, B. L., Dowson, D. and Economou, P. N., A Review of Studies of Piston Ring Lubrication*, Proc. of 9th Leeds-Lyon Symposium on Tribology, Butterworth and Co., 1983
- [39.] *Nautiyal, P. C., Singhal, S. and Sarma, J. P., Friction and Wear Processes in Piston Rings*, Trib. Int., 16, 1, 1983, 43- 49
- [40.] *Jakobs, R., Zur Reibleistung der Kolben-Ringe bei Personenwagen- Ottomotoren*, MTZ, 49, 7/8, 1988, 309- 317
- [41.] *Hoshi, R., Baba, Y., A Study of Piston Friction Force in an Internal Combustion Engine*, ASLE Trans., 30, 4, 1987, 444-451
- [42.] *Dyson, A., Kinematics and Wear Patterns of Cam and Finger Follower Automotive Valve Gear*, Trib. Int., 13, 3, 1980, 121-132
- [43.] *Bell, J. C., Colgan, T., Pivoted- Follower Valve Train Wear: Criteria and Modeling*, Lub. Eng., 47, 2, 1991, 114-121
- [44.] *Hamilton, G. M., The Hydrodynamics of a Cam Follower*, Trib. Int., 13, 3, 1980, 113-119
- [45.] *Smalley, R., Gariglio, R., The Role of Tappet Surface Morphology and Metallurgy in Cam/Tappet Life*, Proc. 9th Leeds-Lyon Symposium on Tribology, Butterworth, 1983
- [46.] *Rac, A., Kostić, Dj. i Balvanliev, A., Mogućnosti pro računa i optimiranja sistema za podmazivanje motora SUS*, Motorna Vozila-Motori, XIV, 81/82, 1988, 275-284
- [47.] *Rac, A., Kostić Dj., Balvanliev A., Japundžić Lj., Opšta karakterizacija sistema za podmazivanje motora SUS*, Goriva i Maziva, 27, 5/6, 1989, 235-245
- [48.] *Holland, J., Optimierung von Ölversorgungssystemen in Motoren Minderung der Reibungsleistung*, Schmiertechnik und Tribologie, 28, 1, 1981, 3-7
- [49.] *Holland, J., Simulation eines Ölverteilungssystems*, Tribologie und Schmierungstechnik, 34, 6, 1987, 346- 351

\* Rad saopšten: na naučno-stručnom skupu "Nauka i motorna vozila", Beograd, 1993  
adresa autora: Mašinski fakultet, 27 Marta 80, 11000 Beograd  
e-mail adresa: erac@ubbg.etf.bg.ac.yu

## Tribology of Automotive Engines - Present State and Tendencies

*Automotive engine consists of a larger number of triboelements i.e. mechanisms that have crucial influence on the efficiency and reliability of its performance. From the tribological standpoint the development of these components is related to three main fields:*

- *study of materials of which the moving mechanisms are made;*
- *developing of methods for tribological characteristics calculation and*
- *developing of lubricants for engine lubrication.*

*The field of materials is a very wide and significant area of research in engine tribology. Besides efforts to improve the tribological characteristics of materials already in use new ones are being introduced. Other trends are towards modification of surfaces exposed to friction and wear and towards using different coatings with the aim of solving the existent tribological problems.*

*On the basis of HD and EHD theories of lubrication calculation of the vital components and systems of the engines (sliding bearings, piston assembly and valve train systems) including the lubrication system, provides a clearer defining of the performance and optimization in the early stage of design.*

*Development of engine oils is conditioned by a number of current demands, from engine design modifications to the demand for an extended service life of the lubricant and decrease in oil consumption and friction in engine.*

*Accomplished solutions have brought about the possibility of meeting the demands for the decrease in energy consumption, mass to power ration and emission, as well as for high reliability and comparatively low maintenance costs.*

## **Трибология двигателей внутреннего сгорания - состояние и тенденции**

Двигатели внутреннего сгорания состоят из большого числа трибологических элементов, т.е. из механизмов, оказывающих значительное влияние на эффективность и надежность их работы. С точки зрения трибологии развитие этих деталей тесно связано со следующими областями:

- исследованием и развитием материалов, используемых для изготавления движущихся деталей;
- развитием методов расчета трибологических характеристик;
- развитием смазок для смазывания деталей двигателей.

Применяемые материалы являются весьма широкой и важной для трибологии движущихся областю. Наряду со стремлениями улучшения характеристик уже используемых материалов развиваются и внедряются новые. Особенно наблюдается тенденции модификации поверхности используемых трения и изнашивания, и применение разного рода покрытий с целью понижения сил трения и их последствий.

Подсчет отечественных движущихся и систем двигателей (подшипников скольжения, шатунной коренной группы, системы распределения вместе с системой смазки) согласно теории гидродинамического и эластогидродинамического смазывания, обеспечивает более ясное определение их характеристик и оптимизацию на первом этапе конструирования движущихся.

Развитие производства моторных масел требует многое факты, от конструктивных изменений в двигателе, продолжения срока службы масла и уменьшения его расхода, до понижения трения в сопряженных движущихся.

Применяемые решения способствовали приближению современных двигателей к заданным требованиям по расходу энергии, понижению отношения масса/мощность, меньшей трохсичности выхлопных газов и повышенной надежности при относительно небольших затратах их обслуживания.

*Očekujemo da ćete ohnoviti  
pretplatu na časopis  
Tribologija u industriji  
za 1995. godinu*

*V. N. LATYSHEV, V. A. GODELJSKI*

# Neki rezultati u oblasti tribologije rezanja i tehnologije podmazivanja

*Prevod sa engleskog: Mr M. Popović, dipl. ing.*

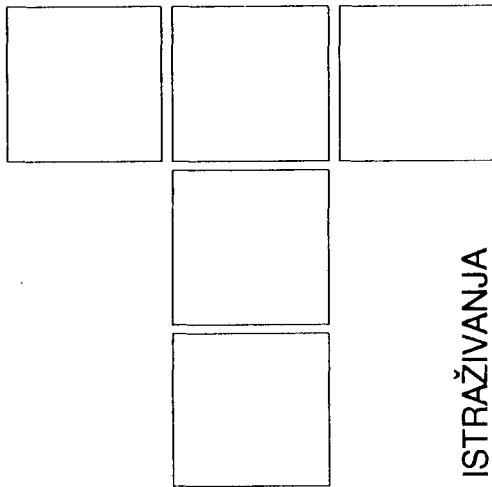
*Grupa istraživača je počela sa radom na ovim problemima na novo-otvorenom Univerzitetu Ivanovo imajući već značajno iskustvo i naučne rezultate. Predmet istraživanja koja su obavljena na Katedri za fiziku čvrstog stanja (sada se zove Odeljenje Tehničke Fizike) su procesi obrade metala koji se dešavaju u aktivnim tehnoškim sredinama. U širokoj oblasti triboloških problema, procesi rezanja, habanja i podmazivanja u tehnoškim sistemima obrade metala zauzimaju posebno mesto zbog njihovih viših energetskih nivoa, specijalnih kombinacija materijala u kontaktu i specifičnih zahteva za (njihove) finalne rezultate.*

## 1. KRATKA ISTORIJA PROBLEMA

Unapređenje proizvodnje mašina je okarakterisano razvojem nove opreme koja funkcioniše pri visokim temperaturnim uslovima, u agresivnim sredinama, u vakumu i drugim specijalnim uslovima. Pojavila se potreba za obradom delova od novih super jakih, toplotno-otpornih, koroziono i eroziono otpornih, nemagnetskih, vatrostalnih i drugih materijala sa posebnim karakteristikama. U industriji proizvodnje instrumenata, korišćenje čistih metala različitih vrsta i legura za specijalne primene takođe se mnogostruko uvećava kao i obim obradivanja nemetala: poluprovodnika, ne-provodnika, polimera, kompozitnih materijala i.t.d.

Pronađeno je mnogo novih materijala koji imaju mnogo nižu obradivost nego konvencionalni čelici imajući u isto vreme sasvim slične mehaničke karakteristike. To znači da je veoma važna uloga hemijske prírode ovih materijala za njihovu obradivost kao i za međusobnu interakciju njihovih površina i interakciju sa sredinom.

*Prof. dr V. N. Latyshev, Državni univerzitet Ivanovo, Rusija  
V. A. Goldlevski, Državni univerzitet Ivanovo, Rusija*

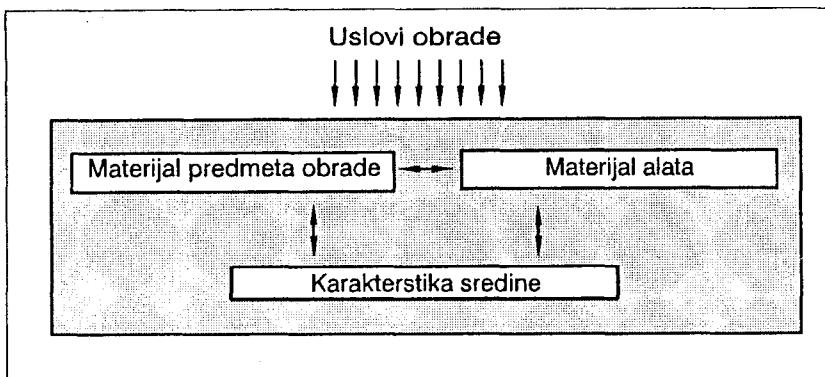


Sada može izgledati da je bilo jednostavnije predložiti primenu hemijski aktivnih sredina u obradi metala rezanjem kao regulatora ili čak upravljača kontaktnih procesa u zonama kontakta materijala-alata-sredine. (Sl. 1).

Razumevanje ovog procesa počinje u tradicionalnoj tribologiji gde su oksidacioni procesi i dejstvo aktivnih aditiva iz maziva na frikcione parove različitih mašina bili istraživani posle šezdesetih. U tom smislu nova disciplina u vezi fluida za obradu rezanjem (sredstva za hlađenje i podmazivanje) nastala je kao produžetak opštег tribološkog pristupa. Međutim, uprkos vidljivoj sličnosti i suštinskoj povezanosti ove dve discipline, njihova "ciljna funkcija" formulisana je na različite načine. Dok je cilj tradicionalne tribologije bio sprečavanje habanja oba kontaktne tela (ako je moguće), za vreme procesa obrade je potrebno zaštititi od oštećenja samo jedan deo frikcionog para (alat) i favorizovati na sve načine oštećenje drugog dela (radni komad).

Bio je to period (do sredine sedamdesetih) obeležen jasnom tendencijom u ovoj oblasti za efektivno povezivanje fenomena adsorbcione redukcije snage (Rehbinder-ov efekat) sa parametrima obrade. To je prouzrokovalo velike serije eksperimenata sa primenom površinski-aktivnih materija (rastvorovi površinski-aktivnih koloidnih substanci i rastopine lako topljivih metala) u obradi. Pažljivija ispitivanja pokazuju da je oblast praktične primene Rehbinder-ovog efekta ograničena takvim tehnoškim metodama koje su povezane sa odsecanjem prilično tankih slojeva od radnih komada, sa dispergovanjem skinutog materijala t.j. sa formiranjem velike specifične površine obrađenih proizvoda.

Jedan od pravaca koji mnogo obećava bio je primena pulverizovanih maziva. Ovo daje znatan efekat zahvaljujući ograničenoj potrošnji fluida, minimiziranom haba-



*Sl.1 Tri glavna dela procesa obrade  
Tree main parts of machining process  
Три основных элемента процесса обработки*

nju alata i maloj hrapavosti obrađene površine. Otkriveno je u ovom slučaju da osim termo-fizičkih procesa na zonu rezanja utiču i neki elektro-procesi kada razvijena međufazna granica mikro-dispergovane kapljice dobija električni naboј. Nažalost, ova obećana ispitivanja bila su zaustavljena neko vreme zbog štetnog dejstva vodeno-uljne magle na pluća ljudi. Samo nekoliko godina kasnije, kada su mašine-alatke sa zaštićenom zonom rezanja bile uvedene u industriju, pojavila se mogućnost za oslobođanje potencijala za uvođenje metode pulverizovanih maziva. Ali, opštiji pristup vezan sa proučavanjem hemijskog aspekta dejstva maziva za vreme obrade rezanjem u različitim sredinama, više obećava.

## 2. ISPITIVANJE HEMIJSKIH KARAKTERISTIKA PODMAZUJUĆEG FILMA

Ideja o korišćenju hemijski aktivnih substanci (EP aditivi) kao sastojaka maziva ponikla je u klasičnoj tribologiji. Logičan put za početak ispitivanja na tu temu bilo je proučavanje najrasprostranjenije hemijski aktivne substance - kiseonika. Eksperimenti su pokazali njegovu važnu ulogu u procesima habanja: pronađeno je, naprimjer, da se trenje u vakumu odvija na najteži način, sa raskidanjem i zavarivanjem površina istovremeno. Ova pitanja privukla su pažnju grupe istraživača u Ivanovu.

Na ispitivanje oksidacionih procesa i oksidanata u obradi metala rezanjem, uticalo je otkriće viših koncentracija vodonik peroksida u vodi za vreme rezanja metala (Gruenberg-ov efekat). Bilo je jasno da se za vreme procesa rezanja dešava ponovna raspodela kiseonika u vodi, uključujući rastvoreni kiseonik, jedan je hemijski vezan sa sredinom a jedan sa formiranim površinskim filmovima. Termodinamički uslovi ovih reakcija neizbežno su specifični zbog katalitičkog dejstva novostvorenih metalnih površina. Intezivne smetnje u ovim procesima, na primer, izazvane posredstvom unošenja u SHP nekih jakih oksidanata, koriste se za ispitivanje efikasnosti instrumenata u cilju razjašnjavanja unutrašnjih mehanizma

ma stvaranja odvojenih filmova za vreme obrade metala rezanjem.

Međutim, pokušaji da se reši problem efektivnog oksidirajućeg maziva "odmah", posredstvom dodavanja aktivnih oksidanata u sredinu, nisu uspeli. To je donelo neke nepoželjne efekte: zajedno sa oksidovanjem frikcionih površina, takođe su oksidovane i neke komponente fluida (uglavnom organska jedinjenja) a osim toga, delovi opreme bili su napadnuti korozijom. Jedno od uspešnih rešenja koje je ova grupa istraživača ponudila, bila je primena suspenzija od nekih specijalno sintetizovanih čvrstih peroksida koji su stabilizovani sa površinski aktivnim supstancama. Takavi peroksići imaju relativno visoku topotnu otpornost i oni su sposobni da otpuštaju kiseonik samo unutar kontaktne zone pod visokim temperaturnim uslovima.

Napravljeni su pokušaji za ostvarenje nešto "blažeg" oksidacionog dejstva sredine dodavanjem ozona u nju. Kao jak oksidant, ozon stvoren u ozonizatoru pod uticajem ultra-violetne svetlosti, iskorišćen je za ozoniranje vazduha koji je propušten kroz mlaz tekuće vode. Takva tehnologija dopušta da se povećaju ne samo antihabajuće karakteristike maziva već takođe i otpornost SHP-a na biološka dejstva nastala usled antisepetičkih osobina ozona.

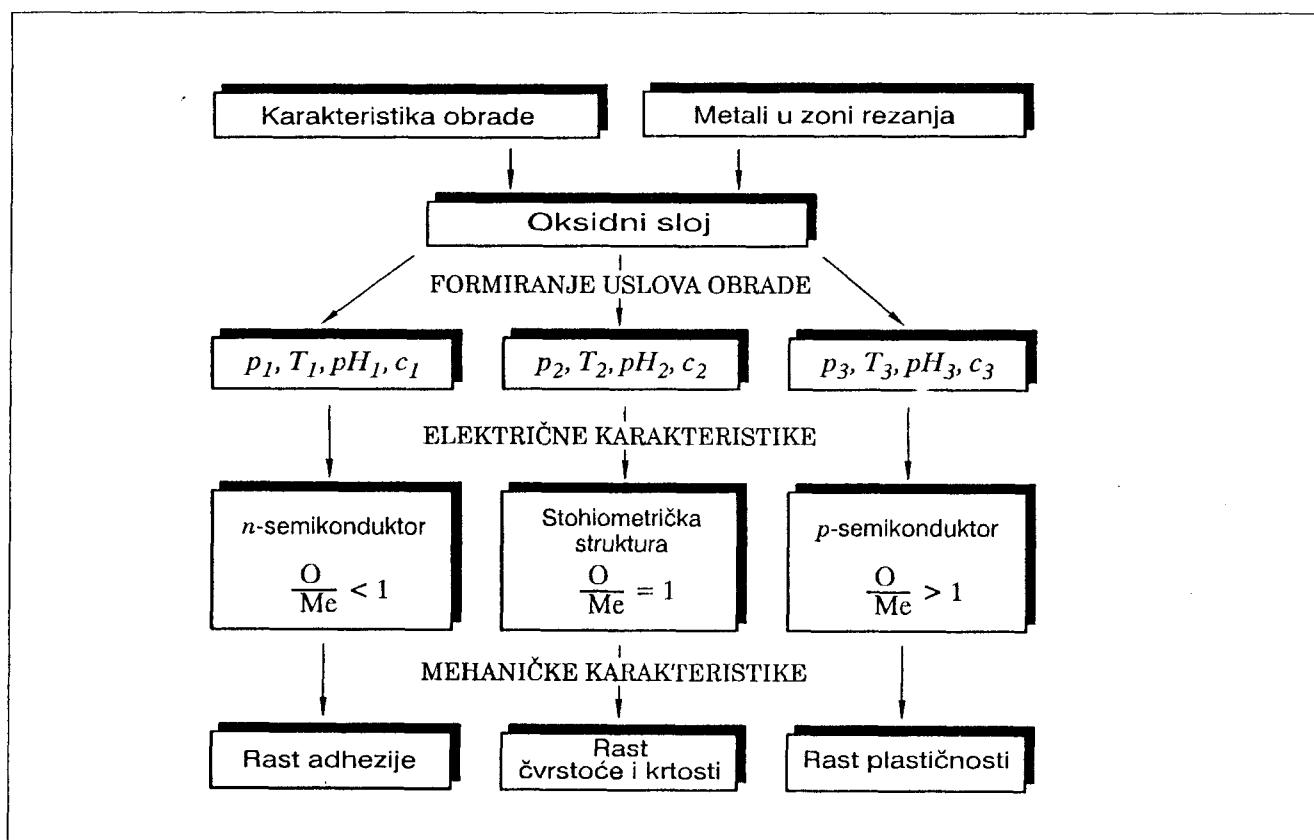
Ostvarivanje važne uloge fizičkih i hemijskih karakteristika za vreme obrade u aktivnoj sredini, ukazalo je na potrebu za primenom specijalnih metoda ispitivanja, posebno, diferencijalne termo-analize, elektronske paramagnete rezonantne spektroskopije, elektro-hemijske metode i drugih eksperimentalnih metoda. Uprkos velikoj količini informacija dobijenih od gore spomenutih metoda, karakter njihovog modela nije dopustio da se govori o rezultatima direktnih ispitivanja pasiviziranog filma koji se pojavljuje pri rezanju. Bio je potreban priličan napor za proučavanje ovih filmova na pravi način. Metode foto-električne polarizacije (FEP) i ... spektroskopije bile su korišćene u tom cilju. Rezultat ovog eksperimentalnog ciklusa bila je činjenica da su antifrikcione i anti-habajuće karakteristike oksida podmazujućih filmova direktno povezane sa stehiometrijom površinskih oksida. Izmena od stehiometrijskog stanja prema jednoj strani ili još jednoj promeni tipa provodljivosti površinskog oksida (tip "n" ili tip "p"). FEP metoda daje povoljnju priliku za izbor korišćenjem "utvrđenog pravila valence" a uzimajući u obzir poluprovodnike i stvarajući uslove za oksidaciju koji bi mogli da obezbede optimalnu stehiometriju oksida prema tribološkim zahtevima. Tako je realizacija ovih ideja dovela do konstrukcije nove "glavne" šeme oksidacionog dejstva maziva (Sl. 2).

### 3. REGULISANA STRUKTURA FORMIRANIH PODMAZUJUĆIH SLOJEVA

Različitost uslova obrade metala je vrlo široka. Postoji veliki broj kombinacija pritisaka, temperatura, radnih materijala i mediuma. Ovo vodi do zaključka da pouzdani uslovi nisu samo hemijski već da granično podmazivanje takođe može odrediti tok tehnološkog procesa i uticati na njegov rezultat. Na primer, bilo je poznato da rastvori koloidnih površinski aktivnih substanci mogu da pokažu podmazujući efekat ne samo zahvaljujući realizaciji Rehbinder-ovog efekta već takođe zahvaljujući formiranju uređenih adsorbacionih mono-slojeva Langmuir-ovog tipa. Prema proučavanju delimično regulisanog faznog sistema (fluid-kristal), takav sloj se može nazvati mezo-morfni t.j. onaj koji ima neko srednje mesto između čvrstog stanja i fluida. Ovi slojevi u aktivnoj su interakciji sa tribološkim strukturama i tako znatno utiču na karakteristike trenja i habanja. Ideja je došla u toku ispitivanja posredstvom primene različitih mediuma koji sadrže površinski aktivne komponente: od nisko-koncentrovanih rastvora za drobljenje do visoko-koncentrovanih mazivih masti za provlačenje i urezivanje navoja. Neki interesantni rezultati postignuti su za vreme primene rastvora površinski-aktivnih supstanci (takođe multikomponentni) na operacije brijanja poluprovodni-

čkih ploča od silikona i galijum arsenida. Bilo je otkriveno da zajedno sa uticajem graničnog podmazivanja u ovom slučaju Rehbinder-ov efekt adsorpcione plastifikacije ostvaruje znatan uticaj na izvođenje procesa obrade i njegove rezultate. Energija rezanja je redukovana a dubina oštećene zone na pločama je dvaput smanjena. Rezultati primene visoko-koncentrovanih slanih rastvora u operacijama rezanja molibdена, niobijuma i tantala mogu biti objašnjeni sa aspekta strukture podmazujućih slojeva. Dalje ispitivanje mezo-faze podmazujućih slojeva postavlja pitanje za pokušaj primene aditiva određene strukture novog "discotic" tipa. Ove supstance koje imaju jezgro u obliku diska, u njihovom "okviru" ne formiraju adsorpcione zajedničke slojeve tipa "ograda od drvenih kolaca" ili strukture tipa "kovani stub", verovatno sa niskom otpornošću za dalji zaokret pravaca srednje površine. Bilo je predloženo korišćenje aditiva te vrste u mineralnim uljima kao triboaktivnih aditiva za SHP koji se mešaju sa vodom.

Logični nastavak gore opisanog ciklusa ispitivanja bio je rad na formiranju strukturalnih anti-frikcionih slojeva difuzionog tipa na površini alata. Došlo se do saznanja da jod unešen u atmosferu za vreme hemijskih procesa, omogućava formiranje anizotropnih filmova sa lisnatom strukturom koji imaju jake anti-frikcione karakteristike.



Sl.2 Mechanizam dejstva podmazujućih oksidnih filmova  
Mechanism of oxide films lubricating action  
Механизм действия смазочных оксидных пленок

## **4. NOVI PRINCIPI: SHP SA KONTROLISANOM AKTIVNOŠĆU**

Pri analizi uslova primene SHP-a na određenoj tehnološkoj opremi, neko može обратити pažnju na važnu okolnost da se svakog momenta samo mali deo ukupne zapremine sredstva za hlađenje koje se stavlja u mašinu-alatku unosi u radnu zonu. Samo nekoliko kvadratnih milimetara kontaktne zone je usmereno na zonu rezanja dok je uobičajen kapacitet rezervoara mašine-alatke oko nekoliko stotina litara. Odnos između "aktivne" i "pasivne" zapremine može biti ocenjen aproksimativnim razlomkom 1:1 000 000. Nije teško videti da potpuno dijametralno različiti eksplotacioni zahtevi traže ove zapremine. Fluid može biti korozivan i biološki neaktiviran u rezervoaru mašine dok u zoni rezanja može biti dat maksimum aktivnih parametara za efikasno stvaranje podmazujućih filmova. U stvari aktivnost će biti posebna samo za vreme kratkih perioda i samo u lokalnim zona ma gde se dešava trenje, deformacija i stvaranje novih površina. Ovo nam dozvoljava da formulšemo SHP prema principima kontrolisane aktivnosti koji vode ka optimalnoj primeni hemijske aktivnosti SHP-a tako što će u "pasivnoj" zoni biti prigušena a u "aktivnoj" zoni - sasvim suprotno - stimulisana. Ovi principi mogu biti ostvareni na različite načine:

- primenom aditiva sa optimalnom temperaturnom tačkom hemijskog razaranja koja odgovara radnoj temperaturi u zoni rezanja;
- koristeći metode aktivacije SHP-a sa spoljašnjim izvorom energije ispred radne zone;
- veštackim pasiviziranjem aditiva u neaktivnoj zoni posredstvom uključivanja u sastav koordinacionih supstanci ili njihovim izloženjem u disperznim koloidnim sistemima.

Aktivacija sa spoljašnjim izvorom energije može biti sasvim raznovrsna po oblicima i metodama pobuđivanja aktivacione energije ali po našem mišljenju bolji rezultati se postižu elektro-metodama. Aktivacija može biti za-preminska ili površinska. Poslednja metoda je sigurno ekonomičnija i efikasnija. Pomoću potencijala elektrode smeštene sa spoljne strane postoji mogućnost da se pojavi neposredno provođenje slobodne površinske energije čvrstih tela (i kao oštećenje) u zoni rezanja kako bi se stimulisala jedna ili druga hemijska reakcija u cilju regulisanja usmerenog elektro-foretskog kretanja koloidnih čestica.

Sa druge strane, za obezbeđenje privremene izolacije aditiva u "pasivnoj" zoni ponuđena je metoda unošenja aditiva u obliku mikro-kapsula u zonu rezanja. Kapsule koje sadrže trib-aktivne aditive imaju prečnik od samo nekoliko mikrometara i obavijene su sa omotačem od organske supstance. Primenom u zoni visoke temperaturе, kapsule izbacuju svoj sadržaj pravo na zagrejanu površinu.

## **5. SPOLJNI POGLED NA OBLAST TRIBOLOGIJE REZANJA I TEHNOLOGIJE SHP-a**

Poznato je da su uslovi primene SHP-a u obradi neverovatno promenljivi. Ne manje promenljivi su i sastav i osobine za sada poznatih tipova SHP-a. Tipičan tehnološki zadatak pri ovim uslovima je optimalni izbor tehnološke sredine za neku konkretnu tehnologiju. U stvari, ovaj problem se može rešiti na dva načina.

Prvi način: izbor najboljeg iz kolekcije raspoloživih jedinjenja (dobar i loš, a možda samo loš). Drugi način se sastoji od pažljivog ispitivanja fundamentalnih fizičkih i hemijskih procesa koji se dešavaju u zoni rezanja sa učešćem svake komponente ispitivane sredine i na toj osnovi odrediti optimalni sastav maziva. Ova dva načina egzistiraju pa je važno da sa jedne strane ispitivanja a sa druge strane praksa daju univerzalnije i pouzdane algoritme za izbor i stvaranje novih SHP-a prema stalnoj pojavi novih tehnoloških uslova.

S tim u vezi, sledeći aspekti mogu ukazati na to, koja će, po našem mišljenju, biti vodeća ispitivanja u tribologiji rezanja u najbližoj budućnosti: a) primena SHP-a sa vodenim rastvorom kao osnovom umesto primene čistih ulja; b) povećanje relativne zapremine nemetalnih materijala koji se obraduju i iz tog razloga potreba stvaranja specijalnih SHP-a (uglavnom mešavine sa vodom) za obezbeđivanje boljih hladivih svojstava pri obradi materijala sa niskom topotnom provodljivoću; c) povećanje zahteva u odnosu na uticaj SHP-a na "tehnološku genetiku" obradenih površina; d) povećanje "sukoba" između proizvodnje SHP-a i održavanja (sanitarni i higijenski servis) i zbog toga odvajanje od industrijskog korišćenja mnogih tehnološki efikasnih aditiva (verovatno u potrazi za alternativama, stimulisaće se interes za aktivacijom SHP-a sa spoljnjim izvorom energije); e) jaka pažnja ka ekološkom aspektu dejstva SHP-a. Ovo će podići talas novih otkrića u oblasti primene SHP-a. Pojedine masti za "neposrednu primenu" više obećavaju u ovoj oblasti u poređenju sa konvencionalnim fluidima.

Kao što mi verujemo, složen, interdisciplinski karakter problema SHP-a zahteva posebnu organizaciju ispitivanja u ovom pravcu. Uloga naučno-industrijske saradnje, veoma je važna na nivou ministarstva, profesionalnih udruženja i na internacionalnom planu.

### **LITERATURA**

- [ 1.]Бобров В. И., Акайова О. Б., Латышев В. Н. и др.: Антифрикционная противизносная присадка к смазочным маслам, А. с. СССР № 11325420, МКИ C 10 т.
- [ 2.]Годлевский В. А.: Исследование возможности активации смазочно-охлаждающих жидкостей методом поверхности электрического

- заряжения зоны резания**, Дис. канд. техн. наук, Иваново, 1982.
- [3.] Годлевский В. А., Березина Е. Б.: **Об использовании водных растворов фталоцианинов в качестве трибоактивных присадок к технологическим средам для резания металлов**, Изв. АН СССР, Сер. физ. 1991, Т. 55, № 9,
- [4.] Девочкин А. А., Лайышев В. Н., Годлевский В. А., Железнов К. Н.: **Особенности смазочного действия микрокапсулированных присадок к СОЖ**, Теорет. и прект. аспекты теории контактных взаимодействий при резании металлов, Чебоксары, 1988.
- [5.] Клушин М. И., Подгорков В. В.: **К вопросу о причинах повышенной эффективности действия распыленных смазочно-охлаждающих жидкостей при резании металлов**, Вопросы теории трения, обрабатываемости металлов, Чебоксары, 1972.
- [6.] Коротиков В. Б., Лайышев В. Н., Александров А. И., Невская С. Е.: **Оценка эффективности смазочно-охлаждающих технологических сред по степени аморфизации формирующихся на поверхностях контакта при резании вторичных структур**, Трение и износ, 1986, Т. 7, № 2,
- [7.] Лазюк Ю. Н.: **Влияние поверхностно-активных смазочно-охлаждающих технологических сред на механическую обработку кремния и арсенида галлия**, Дис. канд. хим. наук, Иваново, 1990.
- [8.] Лайышев В. Н.: **Повышение эффективности СОЖ**, М., 1985.
- [9.] Лайышев В. Н., Карабанов Р. И.: **Влияние растворенного кислорода на износ и стойкость резцов при точении стали**, Вопр. техники и технологии, Иваново, 1973.
- [10.] Марков В. В.: **Исследование влияния перекисных соединений и поверхностно-активных веществ на эффективность действия смазочно-охлаждающих жидкостей при резании нержавеющих сталей**, Дис. канд. техн. наук, Иваново, 1981.
- [11.] Наумов А. Г., Лайышев В. Н., Годлевский В. А. и др.: **Тепловое состояние быстрорежущего инструмента, подвергнутого химико-термической обработке**, Вестн. машиностроения, 1992., № 4,
- [12.] Поверхностные явления в дисперсных системах, Физико-химическая механика, Избр. тр. М., 1979.
- [13.] Развитие науки о резании металлов, Под ред. Н. Н. Зорева, М., 1967.
- [14.] Тарапов А. Г.: **Повышение обрабатываемости резанием жаропрочных материалов путем применения СОЖ с оптимальными окислительными свойствами**, Дис. канд. техн. наук, Иваново, 1990.
- [15.] Latyszew W. N., Godlewska W. A.: Rozwój i perspektywy zastosowań współczesnych chłodziw w procesach szlifowania, XII Naukowa szkoła obrabki sciernej, Bulletin informacyjny, Cz. 1, Warzawa - Wilga, 17-21 września 1990., Warzawa, 1990.

## Some Results of The Work in The Sphere of Cutting Tribology and Lubrication Technology

*A group of researchers started working on these problems in the newly opened State University Ivanovo having already had a considerable experience and scientific results accumulated. The objects of investigations carried out in Solid State Physics Department (now it is called Technical Physics Department) are metal machining processes taking place in active technological mediums [8].*

*In the large sphere of tribological problems the processes of cutting, wear and lubrication in technological systems of metal machining have a special place because of their higher energy levels, a special combination of contacting materials and specific requirements to their final results.*

## Некоторые результаты в области трибологии резаниям и технологии смазывания

На недавно открытом Университетом Иваново группой исследователей, обладающей уже определенным исследовательским опытом и научными результатами, занялась исследованиями в приведенных научных областях.

На Кафедре по физике твёрдых тел (в настоящее время - Отдел Технической физики) исследовали процессы обработки металлов, происходящие в активных технологических средах. Среди многочисленных трибологических проблем процессы резания, изнашивания и смазывания в технологических системах обработки занимают особое место вследствие более высоких энергетических уровней, особых сочетаний материала в конкретных специфических требованиях их окончательным результатам.