

tribologija u industriji

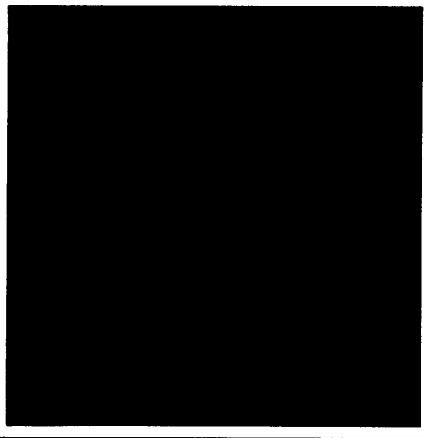
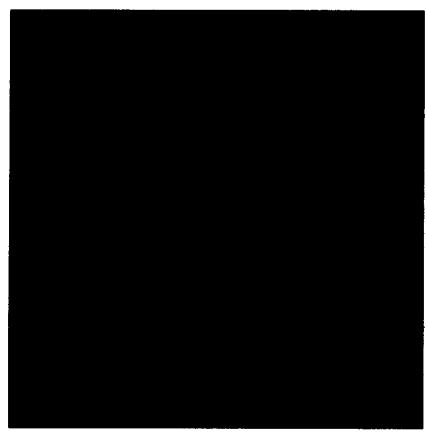
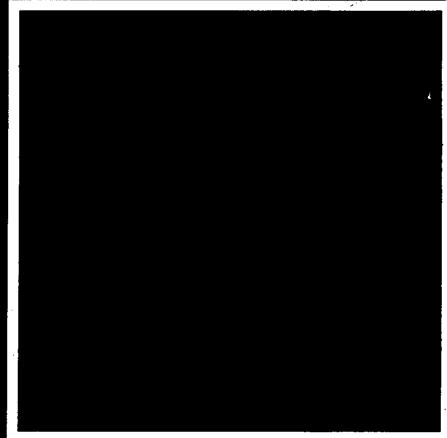
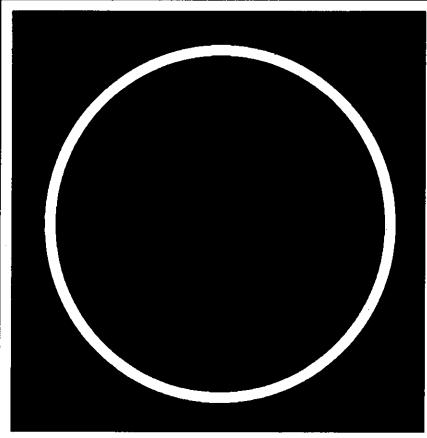
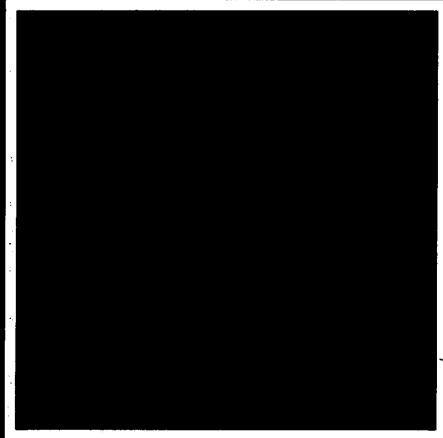
tribology in industry ◇ трибология в промышленности

YU ISSN 03551 - 1642

GODINA XVI

MART 1994

1



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 ПЕРЕДОВИЦА	B. IVKOVIĆ: Časopis Balkanskog društva za tribologiju ◊ Journal of The Balkan Tribological Association ◊ Журнал Балканского трибологического общества	3
ISTRAŽIVANJA RESEARCH ИССЛЕДОВАНИЯ	M. STEFANOVIĆ, V. VASILJEVIĆ: Uticaj geometrije i kontaktnih uslova pri modeliranju toplog sabijanja ◊ Influence of Geometry and Contact Conditions in Hot Compression Modeling ◊ Воздействие геометрии и условий контакта при моделировании горячей осадки	5
	B. NEDIĆ, R. JEČMENICA, M. ĆETKOVIĆ: Tribološke karakteristi- stike reznih alata sa prevlakama od TiN, TiAlN, TiZrN i ZrN ◊ Tribological Characteristics of Cutting Tools with Coatings of TiN, TiZrN, TiAlN and ZrN ◊ Трибологические характеристики режу- щего инструмента с покрытием из TiN, TiZrN, TiAlN и ZrN	11
	R. RAKIĆ: Uticaj triboloških procesa na pouzdanost hidrauličnih sistema kod alatnih mašina ◊ The Influence of Tribological Processes on The Reliability of Hydraulic Systems of Machine Tools ◊ Влияние трибологических процессов на производительность гидравлических систем в металлообрабатывающих станках	16
ZA NEPOSREDNU PRAKSU FOR DIRECT PRACTICE ДЛЯ ПРАКТИКИ	M. DUMOVIĆ, R. ŠOFRANAC, M. ZINDOVIĆ: Istraživanje triboloških karakteristika sivog liva sa povećanim sadržajem fosfora ◊ Investigation of tribological characteristics of grey cast irons with increased content of phosphorus ◊ Исследование трибологических характеристик серого чугуна с повышенным содержанием фосфора	20
KNJIGE I ČASOPISI BOOKS AND JOURNALS КНИГИ И ЖУРНАЛЫ	26
NAUČNI SKUPOVI SCIENTIFIC MEETINGS НАУЧНЫЕ СОБРАНИЯ	29
	31

Časopis Balkanskog društva za tribologiju

Časopis Balkanskog društva za tribologiju je internacionalni časopis koji izdaje Balkansko društvo za tribologiju osnovano 1993 godine u Sofiji za vreme održavanja Prve balkanske konferencije o tribologiji.

Časopis, prema planovima redakcije treba da pokrije, pored opšte problematike tribologije još i tribohemiju i tribobiologiju. U prvom dvobroju (1 i 2), koji izlazi iz štampe u 1994 godini, nalaze se izabrani radovi sa Prve balkanske konferencije o tribologiji BALKANTRIB'93.

Journal of The Balkan Tribological Association

Journal of the Balkan Tribological Association is an International Journal edited by the Balkan Tribological Association for rapid scientific and other information, covering all aspects of the processes included in overall tribology, tribomechanics, tribochemistry and tribobiology.

AIMS AND SCOPE

The decision for the editing and printing of the current journal was taken on Balkantrib'93, Sofia, October, 1993 during the Round Table discussion of the representatives of the Balkan countries: Bulgaria, Greece, Formal Yugoslavian Republic of Macedonia, Rumania, Turkey and Yugoslavia. The Journal of the Balkan Tribological Association is dedicated to the fundamental and technological research of the third principle in nature - the contacts.

The journal will act as an international focus for contacts between the specialists working in fundamental and practical areas of tribology.

The main topics and examples of the scientific areas of interest to the Journal are:

- a) overall tribology;
- b) tribotechnics and tribomechanics: friction, lubrication, abrasive wear, boundary lubrication, adhesion, cavitation, corrosion, computer simulation, vibration phenomena, mechanical contacts, technological tribological processes, etc.
- c) tribochemistry - defects in solid bodies, tribochemical emissions, triboluminescence, tribochemiluminescence, technological tribochemistry, etc.
- d) kinetics, thermodynamics and mechanism of tribochemical processes.
- e) tribobiology (biotribology) - biological tribology, tribophysiotherapie, tribobiological wear, biological tribotechnology, etc.
- f) lubrication - solid, semi-liquid and liquid lubricants; additives for oils and lubricants, surface phenomena, wear in the presence of lubricants.

PREVIEW OF CONTENTS

Vol. 1, No 1 - 2, 1994

1. H. Peter Jost, President of the International Tribological Council, Message to all participants of "BALKANTRIB'93".
2. N. Manolov, Tribology and the world we live in.
3. I. Frene, Tribology from antiquity to our times.
4. W. J. Bartz, Basic and continuing education in tribology.
5. St. Pytko, Cooling-lubricating substances - trends, development and application.
6. D. Pavelescu, Stick-slip and tectonic movements.
7. A. Tudor, I. Musetescu, M. Jordacescu, Tribological studies on pelliculogic organic compositions.
8. V. Alexandrov, E. Assenova, Basic problems of tribomechanics.
9. M. B. Karamis, The resistance of the surface treated AISI 1040 steel to wear by soil.
10. S. K. Ivanov, Triboluminescence and Tribochemiluminescence

- knowledge about excited states in the surface.
- 11 . A. Rac, Tribological properties of nodular cast iron in dry sliding conditions.
12. B. Gupka, Criterion of estimation of structural self-organization in friction.
13. S. Zinenko, The main features of description of self-organization in the tribosystems.
14. O. Bonneau, J. Frene, Tribology research activities.
15. M. Kuzinowski, V. Pavlovski, H. Zebrowski, P. Chichosz, Research on the roughness profile height parameters of the surface machined by turning with ceramic inserts.
16. B. Ivkovic, Productivity through Tribology.
17. K. D. Bouzakis, S. Mitsi, M. Gergiadiou, Mathematical Description of the generated surface form and surface Roughness during lapping.
18. Iv. Dombalov, Ek. Todorova, Tribological problems and their effect on the environment.
19. K. G. Stanulov, G. S. Cholakov, I. A. Cheriisky, Tribological properties of boron, sulfur and phosphorus containing additives packages.

EDITORIAL BOARD

- Honorary and Founding Editor**
Prof. Dr. Niagol Manolov, Bulgaria
- Editor-in-Chief**
Prof. Dr. Slavi Ivanov, Bulgaria
- Assistant Editor**
E. Assenova

Editors

- M. Boneva
P. T. Georgiev
Kr. Danev
Zh. Kalitchin
- International Editorial Board**
- V. Alexandrov, Bulgaria
K. D. Bouzakis, Greece
I. Dombalov, Bulgaria
B. Ivkovic, Yugoslavia
M. B. Karamis, Turkey
M. Mihovski, Bulgaria
D. Pavelescu, Rumania
V. Pavlovski, F. Y. R. Macedonia
K. Stanulov, Bulgaria
A. Rač, Yugoslavia
A. Tudor, Rumania

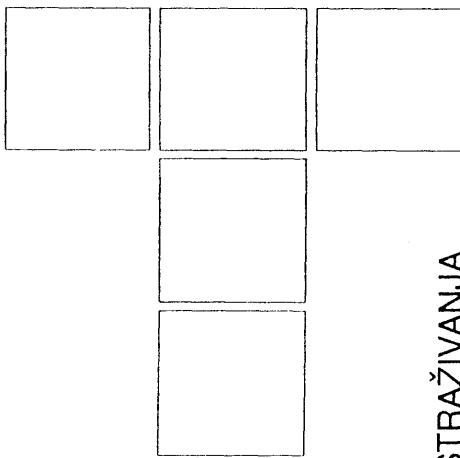
Časopis Balkanskog društva za tribologiju

Redakcija časopisa "TRIBOLOGIJA U INDUSTRII" informiše i na ovaj način domaći naučni i stručni javnosti o pokretanju novog internacionalnog časopisa iz oblasti tribologije iza koga стоји Balkansko tribološko društvo osnovano 1993 godine u Sofiji, za vreme održavanja Prve balkanske konferencije o tribologiji.

Osnivanje Balkanskog društva za tribologiju pokrenuli su Jugoslovensko društvo za tribologiju i Bugarsko tribološko društvo. Članovi društva su pored Jugoslavije i Bugarske još i Grčka, Rumunija, Turska i BJR Makedonija. Očekuju se pristupanje Društvu i drugih balkanskih država.

Журнал Балканского трибологического общества

Редакционная коллегия журнала "ТРИБОЛОГИЯ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ" и национальный информирующий орган научных рабочих и специалистов, членами которых являются представители изданного новою международного журнала по трибологии являющимся органом Балканского трибологического общества, основанного в 1993 году в городе София, на Первой балканской конференции по трибологии. Балканское трибологическое общество основано по инициативе Югославского и Болгарского трибологических обществ. Членами общества являются, кроме Югославии и Болгарии, Греция, Румыния, Турция и БЮР Македония. Общество ожидает присоединение и новых балканских стран.

M. STEFANOVIĆ, V. VASILJEVIĆ

Uticaj geometrije i kontaktnih uslova pri modeliranju toplog sabijanja*

ISTRAŽIVANJA

1. UVOD

Sabijanje se redovno razmatra kao klasičan primer analize procesa zapreminskog hladnog ili toplog oblikovanja. Mehanička analiza procesa sabijanja obuhvata između ostalog i uticaj trenja između materijala i alata i klizanje na kontaktним površinama. U radu su prikazani rezultati fizičkog modeliranja procesa toplog sabijanja korišćenjem plastelinskih višebojnih modela, kod kojih je variran odnos visine i prečnika. Korišćenje plastelina kao modelnog materijala moguće je zahvaljujući sličnosti statičkih i dinamičkih osobina plastelina na sobnoj temperaturi i čelika na temperaturi kovanja.

2. UTICAJ KONTAKTNOG TRENJA

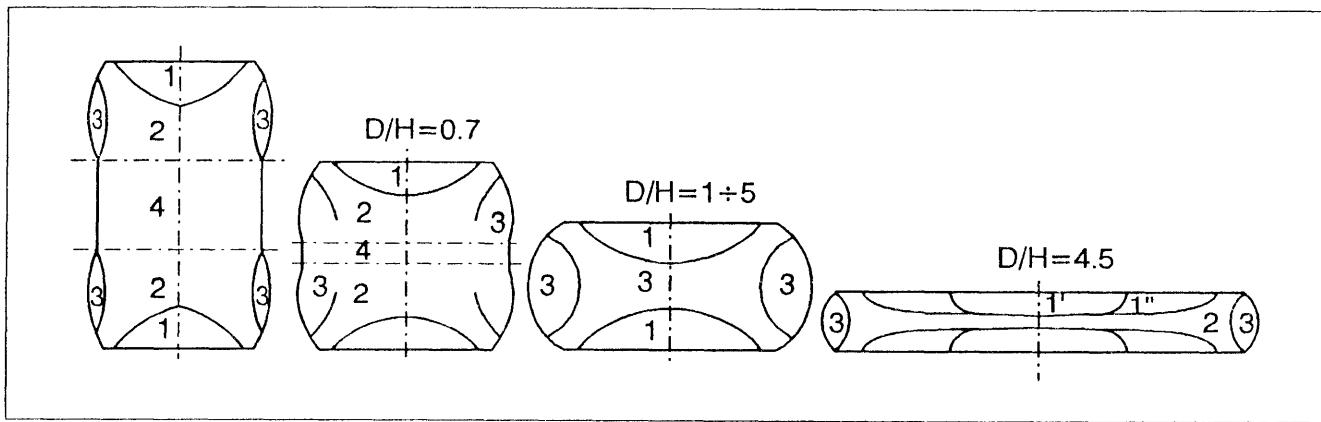
Prisustvo trenja na kontaktним površinama između alata i materijala dovodi do sledećih pojava: deformisana zapremina deli se na više oblasti, specifični pritisak na kontaktnoj površini nije konstantan, dolazi do pojave dopunskih napona.

Pri sabijanju tela između ravnih površina alata usled prisustva trenja na kontaktnim površinama materijala i alata dolazi do neravnomernog deformisanja. Broj zona, u okviru kojih se uočavaju bliske vrednosti iznosa ostvarenih deformacija, zavisi od trenutnog odnosa prečnika i visine tela koje se sabija. Pri odnosu $D/H=0.4-0.7$ deformisana zapremina se deli na četiri zone (slika 1). Zona 1 predstavlja oblast otežanog deformisanja, zahvaljujući silama trenja. U ovoj oblasti javljaju se najmanje vrednosti deformacija. U dodiru sa njom je zona 2 u kojoj nastaju najveće plastične deformacije i gde je pravac tečenja materijala pod uglom 45° u odnosu na pravac dejstvujućih sila, ili pod uglom koji je blizak prethodnom.

U zoni 3 javljaju se nešto manje deformacije u poređenju sa zonom 2 i karakteristična je po ispuštenoj bočnoj površini. Između zona 2 nastaje zona 4, koja se karakteriše najravnomernijom raspodelom deformacija čiji iznosi imaju vrednosti manje nego u zoni 2, a veće nego u zoni 1. Naponska šema u ovoj oblasti je približno jednoosna. Kod tela koja imaju veliku visinu uvek se javlja dvojna ispuštenost na bočnoj površini, kako je to prikazano na slici 1. Ova pojava se gubi pri odnosu $H/D=0.7$ do 0.8 , pri čemu se potpuno gubi zona 4, a zone 2 se objedinjuju u jednu obrazujući u meridijalnom preseku krstasti oblik. Sa povećanjem vrednosti odnosa prečnika i visine (npr. $D/H=4.5$), dolazi do deformisanja zone 1, i to njene periferne oblasti dok centralni deo ostaje veoma malo deformisan (zona 1").

Raspored specifičnih pritisaka, zbog prisustva trenja, ima izraženu neravnomernost po kontaktnoj površini. Značajan uticaj na raspored specifičnih pritisaka ima odnos visine i prečnika tela, odnosno, stepen ostvarene deformacije u toku sabijanja. Sa promenom odnosa D/H menja se uticaj trenja na kontaktним površinama, što se direktno odražava na iznose normalnih napona, kako je prikazano na slici 2 [2]. Eksperimentalno je utvrđena zavisnost normalnog napona σ_z na kontaktnoj površini pri sabijanju pripremka od čelika ($0.091\% C$), na temperaturi $1323^\circ K$ i početnom odnosu $D/H=0.67$. Pri ostvarrenom stepenu deformacije $\varphi = -0.41$, tj. kada je trenutni odnos $D/H \approx 1$, normalni napon na kontaktnoj površini ima minimum na osi simetrije. Sa daljim povećanjem vrednosti odnosa D/H , pri deformaciji $\varphi = -0.69$, grafik zavisnosti normalnog napona duž kontaktne površine ima lokalni maksimum na osi simetrije i glavnu maksimalnu vrednost na krajevima površine. U ovom slučaju je ostvarena najravnomernija raspodela normalnog napona, odnosno specifičnog pritiska na površini kontakta materijala i alata. Pri velikim vrednostima odnosa D/H ($\varphi = -1.07$) dobija se raspodela napona σ_z slična onoj koja se dobija primenom inženjerske metode. Naime, maksimalni napon na kontaktne površine je u ovom slučaju 1.5-2 putova veći od nagona na kontaktne površine u slučaju raspodeli normalnog napona.

Prof. dr Milentije Stefanović, dipl.ing.,
Mr Vesna Vasiljević, dipl. ing.,
Mašinski fakultet, Kragujevac



Sl. 1. Raspored zona deformisanja pri različitim odnosima D/H za proces sabijanja [1]

Distribution of deformation zones for different ratios D/H for the compression process

Распределение полей деформирования при различиях ошиновлениях D/H для процесса обработки осадкой

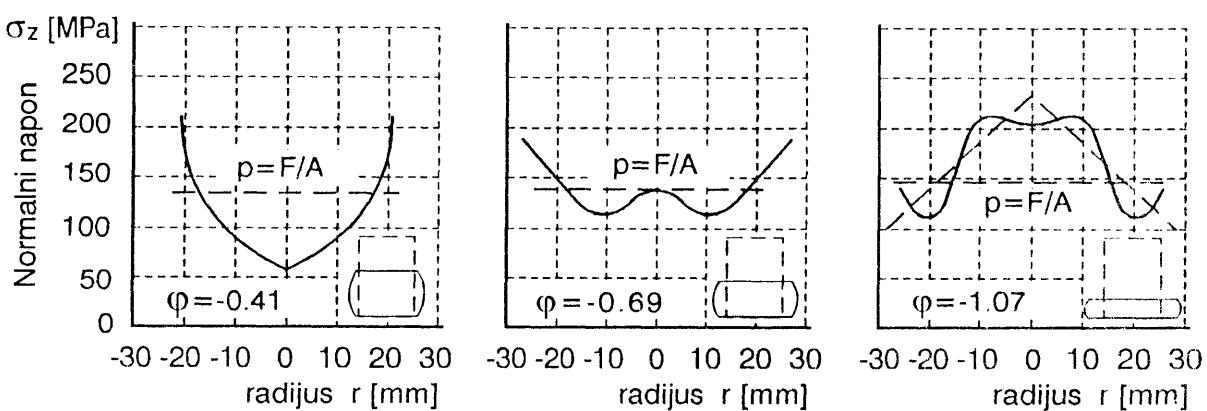
malna vrednost normalnog napona javlja se u blizini ose simetrije, izuzimajući vrednost lokalnog minimuma na samoj osi simetrije. Ovakve raspodele napona mogu se tumačiti različitim uticajem trenja pri različitim vrednostima D/H , kao i pojavom tzv. kontaktnog klizanja na površini dodira sa alatom u određenoj fazi sabijanja.

Klizanje na kontaktnim površinama nastaje samo pri određenoj visini deformisanog tela. Iz literature je poznato da se to klizanje javlja tek pri odnosu $D/H > 1$ [2]. To se objašnjava činjenicom da pri sabijanju smanjenje bočne površine proističe brže nego povećanje kontaktne površine do odredene granice, do prethodno navedene vrednosti odnosa D/H . Međutim, ova vrednost se ne može smatrati potputno ekzaktnom, s obzirom da se primenom različitih maziva može uticati na uslove koji omogućuju ili sprečavaju klizanje materijala na kontaktnoj površini. Nakon početka klizanja materijala na kontaktnoj površini, sa daljim smanjenjem visine tela, dolazi do pojave prelaska dela bočne površine u kontaktну površinu. Do toga dolazi pri velikim odnosima D/H .

Pojava dopunskih napona usled neravnomernog deformisanja posledica je trenja na kontaktnim površinama. Telo koje se deformiše predstavlja celinu u okviru koje zone tela koje se više deformišu teže da prenesu deo deformacije na susedne zone koje se manje deformišu, i obrnuto. To izaziva pojavu uzajamno uravnotežujućih napona, tzv. dopunskih napona u materijalu. Pri analizi šeme osnovnih glavnih napona mora se uzeti u obzir uticaj dopunskih napona (kod procesa sabijanja, u zoni 3 javljaju se ovi naponi).

Na veličinu elementarnih sila trenja na kontaktnoj površini, nastalih pri plastičnom deformisanju, utiče više faktora: stanje površina alata, stanje kontaktnih površina tela koje se deformiše, hemijski sastav površine kontakta tela, temperatura tela, brzina deformisanja, karakter deformisanja itd.

Poznato je da su kod finije obrađenih površina alata sile trenja manje i obrnuto. Pored toga, veličina sila trenja je različita i zavisi od pravca kretanja materijala po kontaktnoj površini i pravca obrade površine alata. Ova pojava



Sl. 2. Raspored normalnog napona na kontaktnoj površini pri osnosimetričnom sabijanju
(čelik sa 0.091% C, $T=1323^{\circ}\text{K}$, $h_0=60 \text{ mm}$, $d_0/h_0=0.67$) [2]

Distribution of the normal stress on the contact surface for axisymmetric compression. (Steel with 0.091 % C, $T = 1323 \text{ K}$, $h = 60 \text{ mm}$, $d/h = 0.67$)

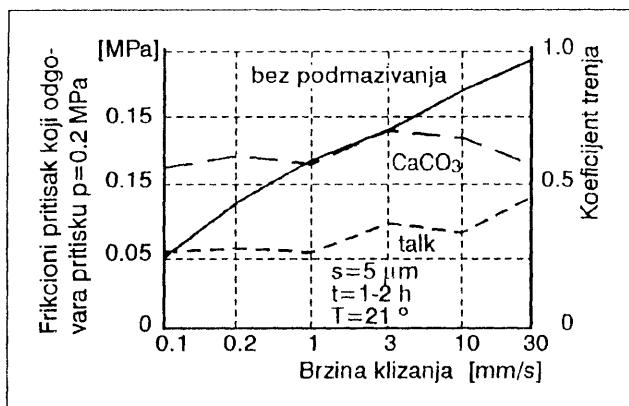
Распределение нормальном напряжения по поверхности контакта при осесиметричной осадке (сталь с 0.091% C, $T=1323^{\circ}\text{K}$, $h_0=60 \text{ mm}$, $d_0/h_0=0.67$)

se naziva anizotropija trenja. Ona je posebno izražena u uslovima povišene hrapavosti alata i obradi u toploj stanju. Postojanje anizotropije trenja može pri plastičnom deformisanju dovesti do neočekivane promene oblika tela. Na primer, pri sabijanju cilindra, kontaktna površina pripremka nakon deformisanja može biti eliptična [7].

Korišćenjem maziva može se na određen način uticati na tečenje materijala pri deformisanju.

3. EKSPERIMENTALNI RAD

Simulacija procesa toplog sabijanja izvedena je pomoću višebojnih plastelinskih cilindričnih modela. S obzirom da plastelin ima slične statičke i dinamičke osobine sa čelikom na povišenim temperaturama, uspešno se koristi za simulaciju procesa tople zapreminske obrade. Na deformisanje materijala i napone koji nastaju u njemu usled deformisanja, osim statičkih i dinamičkih osobina, veliki uticaj ima trenje između plastelina i metalne površine. Ispitivanjem uticaja trenja na iznose napona u plastelinu, pri različitim mazivima i brzinama klizanja dobijaju se odnosi kao na slici 3 [3]. U procesima kovanja najčešće se pri obradi ostvaruje trenje sa koeficijentom 0.4, tako da je u eksperimentu sabijanja plastelinskih modela korišćen talk kao mazivno sredstvo.



Sl. 3. Razlika u trenju između plastelina i metala pri različitim mazivima i zavisnosti od brzine klizanja [3]
Difference in friction between the plasticine and metal for different lubricants and dependence on sliding speed
Разница в трении между пластелином и металлом при использовании различных смазок в зависимости от скорости скольжения

U eksperimentu su korišćene dve vrste cilindričnih modela: višebojni modeli sa prostornom koordinatnom mrežom i višeslojni modeli. Modeli se pripremaju na

Tabela 1.

Broj modela	Opis operacije deformisanja	Metoda analize deformacija	Mere pripremka (modela)	Ukupno skraćenje δ (%)	Eksper. deform. sila
1	sabijanje ($h_{sab}=26.3$ mm)	koordinatne mreže	36x42 mm	37.4	18 daN
2	sabijanje ($h_{sab}=44.2$ mm)	koordinatne mreže	42x63 mm	28.8	26 daN
3	sabijanje ($h_{sab}=53.3$ mm)	višeslojni modeli	36X84 mm	36.5	21daN

poseban način [5, 6], od više boja plastelina. Početne mere modela su date u tabeli 1.

Pripremljeni modeli su sabijani između dve paralelne glatkne metalne ploče pri temperaturi 20°C i brzini deformisanja 5mm/min. Nakon sabijanja modeli su rasečeni duž meridijalne ravni na alatu za sečenje plastelina sa žicom. Izgled modela u meridijalnoj ravni dat je na slici 4.

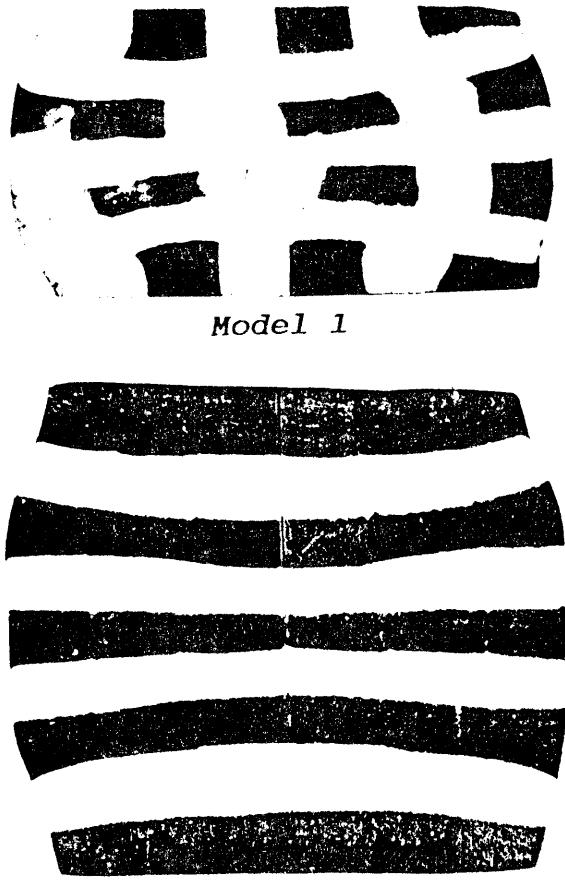
Modeli 1 i 2 u meridijalnoj ravni imaju koordinatnu mrežu a model 3 je višeslojni. Merenjem značajnih koordinata merne mreže na alatnom mikroskopu i upoređenjem tih koordinata sa početnim dobijeno je eksperimentalno polje pomeranja. Za model 3 primenjena je metodologija po Gubkinu [4] za analizu višeslojnih modela. Merenjem debljina slojeva na određenim mestima, podjednako udaljenim od ose simetrije, proračunava se položaj zamišljenih čvornih tačaka pretpostavljene koordinatne mreže. Kao i kod prethodnih modela, upoređenjem ovih koordinata sa početnim, dobija se polje pomeranja.

Za određivanje polja deformacije i efektivnog napona korišćen je softverski paket PAK, razvijen u Laboratoriji za inženjerski softver na Mašinskom fakultetu u Kragujevcu. Rezultati proračuna dati su kao grafički prikazi distribucije efektivne deformacije, komponenata deformacije i efektivnog napona u deformisanoj konfiguraciji modela, koja odgovara eksperimentalnom polju pomeranja. U desnom delu prikaza data je legenda sa vrednostima koje odgovaraju svakoj izoliniji na modelu. U donjem desnom uglu data je razmera prikaza.

4. ANALIZA EKSPERIMENTALNIH REZULTATA

Modeli koji su sabijani su cilindričnog oblika, tako da se tokom deformisanja ostvaruje osnosimetrično deformaciono stanje. Kod korišćenih modela variran je odnos visine i prečnika, s obzirom da on utiče na broj i veličinu različitih deformacionih zona (v. sl.1). Pored toga, od pomenutog odnosa zavisi u kolikoj će se meri, pri određenom iznosu ostvarene ukupne deformacije, realizovati manje ili više homogeno deformisanje.

Kod modela 1, početni odnos visine i prečnika je $m=1.16$, a na kraju sabijanja pri ostvarenom $\delta=37.4\%$ vrednost odnosa $m=0.57$. Pri ovim vrednostima odnosa m u deformisanoj zapremini pri osnosimetričnom defor-



Model 1

Model 2

Model 3

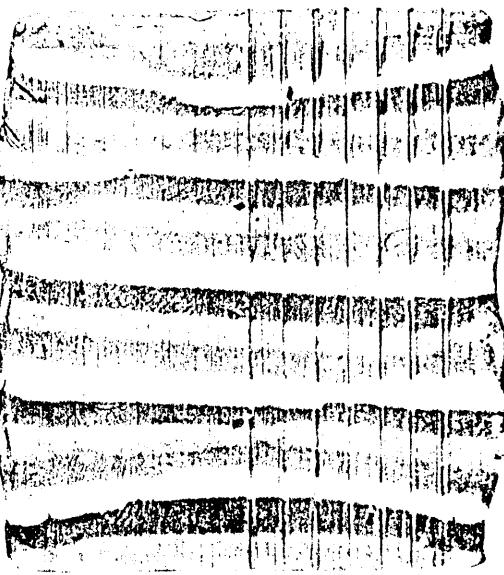
*Sl. 4. Izgled modela u meridijalnoj ravni
Model appearance in meridian plane
Вид модели в меридиональной плоскости*

macionom stanju nastaju tri deformacione zone (v. sl.1). Prema slici 5, izohipsa 1, kojoj odgovaraju vrednosti $\epsilon_e=0.244-0.396$, pripada zoni otežnog deformisanja (zona 1 na slici 1). Deformaciona zona 3, na bočnoj površini, ima nešto veće vrednosti efektivne plastične deformacije, do 0.547, dok su najveće deformacije ostvarene u zoni 2 (izohipse 4-10). Slična raspodela dobijena je i za efektivne napone ($\sigma_e=f(\epsilon_e)$).

Kod modela 2 sa početnim odnosom visine i prečnika $m=1.5$, u operaciji sabijanja je ostvarena ukupna relativna plastična deformacija $\delta=28.8\%$. Pri ovoj geometriji pripremka, u deformacionoj zapremini se javljaju takođe tri deformacione zone, pri čemu postoje dve zone sa izbočenom konturom na bočnoj površini (zone 3), kao što je prikazano na slici 1. Posmatrajući sliku 6 mogu se ovim zonama dodeliti sledeće oblasti vrednosti:

- zona 1 - izolinije 1, 2, 3, $\epsilon_e=0.047-0.216$;
- zona 2 - izolinije 4-10, $\epsilon_e=0.216-0.610$;
- zona 3 - izolinije 3, 4, 5, 6 $\epsilon_e=0.16-0.385$.

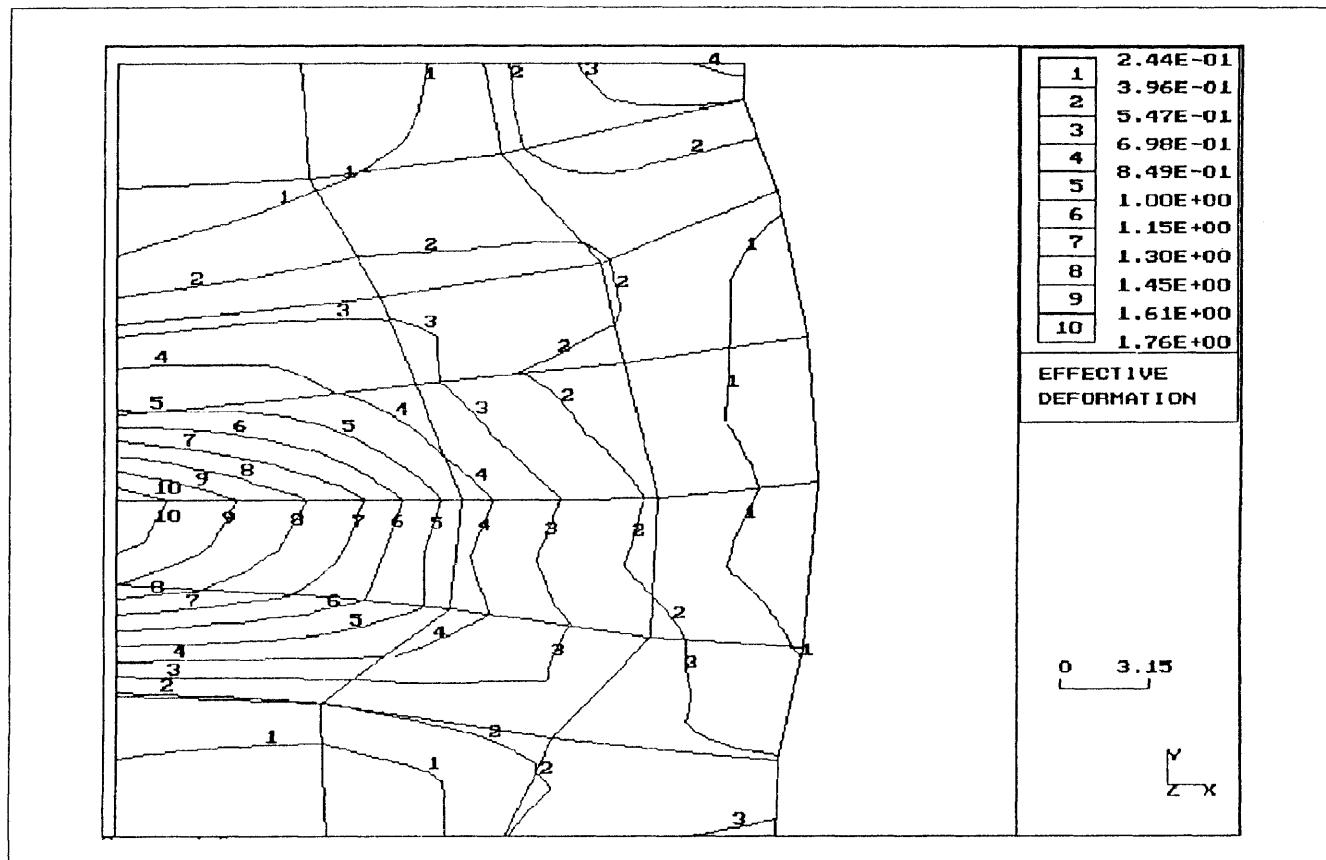
Model 3 izrađen je kao višeslojni, sa početnim odnosom visine i prečnika $m=2.3$. Pri sabijanju je ostvareno ukupno skraćenje $\delta=36.5\%$. Početne mere modela, odnosno vrednost odnosa m , ukazuju na postojanje četiri deformacione zone u deformisanom modelu (v. sl.7):



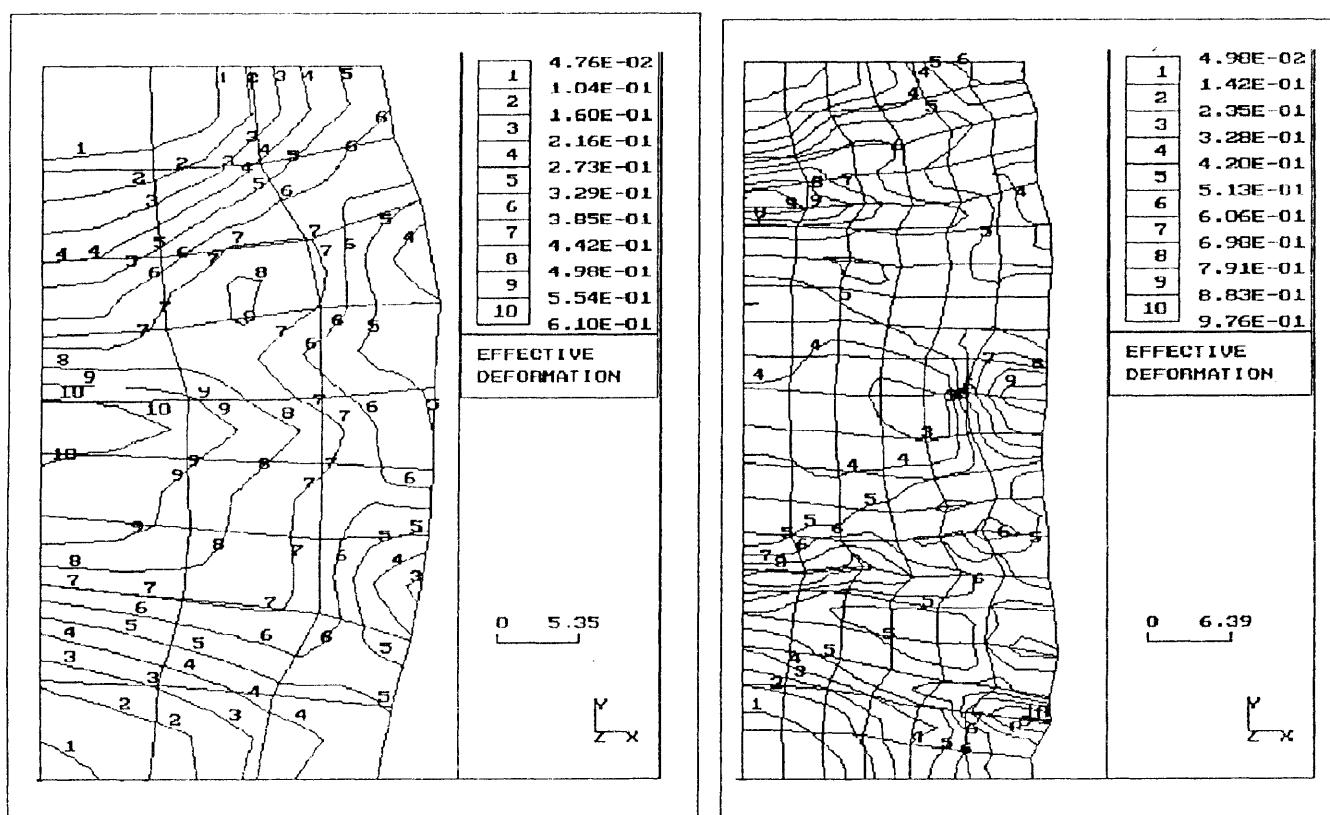
- zona 1 - izolinije 1-3, $\epsilon_e=0.0498-0.328$;
- zona 2 - izolinije 4-10, $\epsilon_e=0.328-0.976$;
- zona 3 - izolinije 4-7, $\epsilon_e=0.328-0.698$;
- zona 4 - izolinije 3-5, $\epsilon_e=0.235-0.513$:

Jasno je da se između odgovarajućih zona ne mogu povući oštре granice vrednosti. Kao što je prikazano na slici 1, zona 4 predstavlja središnju oblast deformisanog modela, u kojoj se javljaju nešto manje vrednosti deformacija. Osim toga, po razmaku pojedinih izolinija (3-4-5), može se zaključiti da je deformisanje u ovoj zoni najravnomernije. To nije slučaj kod modela 1 i 2. Posmatrajući oblik bočne linije modela u meridijalnoj ravni (v. sl. 7), uočavaju se dve ispušćene linije (zone 3) i između njih ravna linija (zona 4).

Operacija sabijanja najčešće prethodi operaciji kovanja ili istiskivanja, pa je veoma bitno za kvalitet finalnog proizvoda postići u ovoj operaciji što ravnomerniju raspodelu deformacija u deformisanoj zapremini. U tom cilju, preporučene vrednosti odnosa visine i prečnika kreću se u granicama $m=1.5-2.5$. Pripremci sa većim vrednostima m , od navedenih, nisu u primeni zbog mogućnosti pojave njihovog izvijanja.



Sl. 5. Izolinije efektivne plastične deformacije za model 1
 Iso - lines of effective elastic deformation for model 1
 Изолинии эффективной эластичной деформации для модели 1



Sl. 6. Izolinije efektivne plastične deformacije za model 2
 Iso - lines of effective elastic deformation for model 2
 Изолинии эффективной эластичной деформации для модели 2

Sl. 7. Izolinije efektivne plastične deformacije za model 3
 Iso - lines of effective elastic deformation for model 3
 Изолинии эффективной эластичной деформации для модели 3

5. ZAKLJUČAK

Fizičkim modeliranjem procesa tople obrade, uz primenu plastelina kao modelnog materijala, (metoda slojeva i metoda koordinatnih mreža), moguće je dobiti deformaciono polje u meridijalnoj ravni komada koji se sabija. Uticaj trenja u kontaktu materijala i alata zavisi od geometrije pripremka - odnosa prečnika i visine; povećanjem ovog odnosa pojačava se i uticaj trenja na karakter deformisanja. Kod komada veće visine deformisanje je homogenije.

Smanjenje trenja na kontaktnim površinama i izbor odgovarajuće geometrije komada u fazi pripremnog sabijanja, omogućava dobijanje povoljne raspodele deformacija, odnosno efikasnije tečenje u završnim operacijama kovanja.

LITERATURA

- [1] П. И. ПОЛУХИН, Технология процессов обработки металлов давлением, "Металургия" Москва, 1988.
- [2] K. LANGE, Lehrbuch der Umformtechnik, Band 2, Springer-Verlang, Berlin, Heidelberg, New York 1974.

[3] K. CHIJIWA, Y. HATAMURA, N. HASEGAWA, Characteristics of Plasticine Used in the Simulation of Slab in Rolling and Continuous Casting, Trans. ISIJ, 1981, 21(3), 178-186.

[4] Г. А. СМИРНОВ-АЙДАЕВ, В. П. ЧИКАДОВСКИЙ, Експериментальные исследования в обработке металлов давлением, Ленинград, "Машиностроение", 1972.

[5] T. WANHEIM, C. FISCHLEIN, Y. YOSHIDA, Strain Measurements in 3D- Simulation of Metal Forming Processes, Annals of the CIRP, Vol. 35/1/1986, 165- 168.

[6] M. STEFANOVIĆ, V. VASILJEVIĆ, Fizičko modeliranje tople obrade - neka rešenja za 2D probleme, Zbornik radova sa 24. Savetovanja proizvodnog mašinstva Jugoslavije, knjiga I, Novi Sad, 1992.

[7] М. В. СГОРОЖЕВ, Е. А. ПОНОВ, Теория обработки металлов давлением, "Машиностроение", Москва 1977.

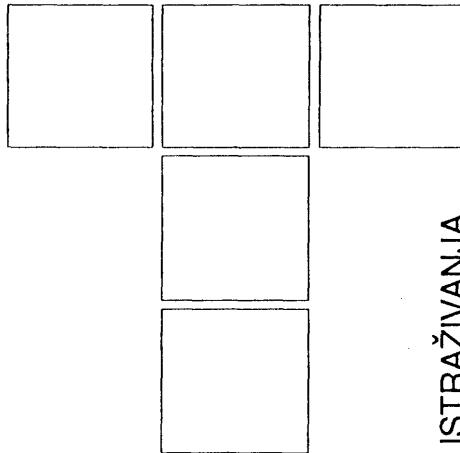
* Rad je izložen na Trećoj jugoslovenskoj konferenciji o tribologiji YUTRIB'93, Kragujevac, 24.-25. juna 1993. god.

Influence of Geometry and Contact Conditions in Hot Compression Modeling

In the paper is considered the influence of contact friction and geometry of the working piece in conventional hot compression. Existence of friction in contact between tool and material leads to uneven deformation and appearance of inhomogeneous deformation field in the deformed volume. Distribution of specific pressures over the contact area is not even and it is significantly dependent upon the geometry and tribo conditions in contact. In the paper are presented results of physical modeling of the hot compression process, by application of multi - colored plasticine as the modeling material. The basic indicator is the deformation field in the main cross sections of the working piece.

Воздействие геометрии и условий контакта при моделировании горячей осадки

В работе рассматривается значение контактного трения и геометрии заготовки при стапидарной горячей осадке. Существование трения в контакте инструмента и заготовки обуславливает неравномерное деформирование и образование разнородного поля деформации в деформируемом объеме. Распределение удельных давлений по поверхности контакта является неравномерным и в большей мере определяется геометрией и трением в контакте. Авторами приводятся результаты физического моделирования процесса горячей осадки при использовании разноцветного пластилина, служащего моделируемым материалом.



Tribološke karakteristike reznih alata sa prevlakama od TiN, TiAlN, TiZrN i ZrN*

1. UVODNA RAZMATRANJA

U poslednje vreme u svetu, a i kod nas, pojavio se veliki broj preduzeća koja poseduju opremu za nanošenje različitih tvrdih prevlaka na rezne alate. Nanošenje ovih prevlaka omogućuje povećanje postojanosti pojedinih alata i do nekoliko puta. Ispitivanja realizovana u ovom radu su imala za cilj utvrđivanje uticaja različitih prevlaka na tribološke karakteristike reznih pločica od tvrdog metala i izbor prevlake za konkretnu operaciju. Za ispitivanje je izabrana odgovarajuća operacija iz proizvodnih uslova iz fabrike "Zastava kamioni" ZCZ Kragujevac. Na rezne pločice odgovarajuće geometrije u "Institutu za bakar" - Bor izvršeno je nanošenje većeg broja prevlaka: *TiN, TiAlN, TiZrN i ZrN*.

2. PROGRAM I USLOVI ISPITIVANJA

Ispitivanja su sprovedena u više faza sa ciljem utvrđivanja obradivosti materijala predmeta obrade alatima sa različitim prevlakama, kao i sa alatom bez prevlake. U radu je dat deo rezultata:

- merenja otpora rezanja,
- merenja temperature rezanja,
- merenja habanja alata i dobijenih krivih habanja i
- merenja kvaliteta obrađene površine.

Predmet obrade

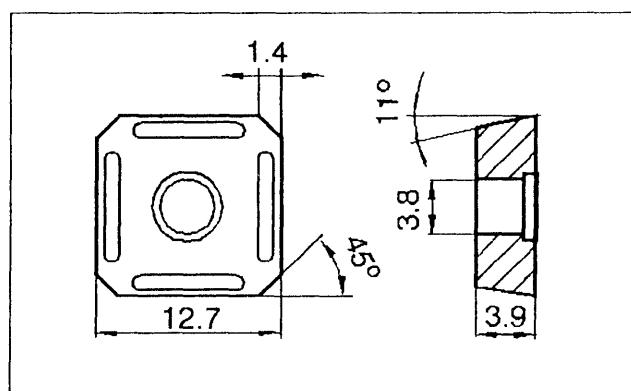
Najveći deo ispitivanja je obavljen na predmetu obrade od Č.4730 u poboljšanom stanju ($\sigma_m = 90 - 100 \text{ daN/mm}^2$, 273 - 300 HB). Proizvodna operacija u "Zastava - kamion-

*Mr Bogdan Nedić, dipl. ing., Mašinski fakultet Kragujevac
Prof. dr Ratomir Ječmenica, dipl. ing., Tehnički fakultet
Čačak
Milan Ćetković, dipl. ing., Zastava - kamioni, Kragujevac*

nima" je unutrašnja obrada struganjem poluobloge. Iz razloga nemogućnosti izvođenja iste operacije i odgovarajućih merenja, ispitivanja su vršena pri spoljašnjoj uzdužnoj obradi struganjem, stim da je radi obezbeđenja što približnijih uslova sa proizvodnom operacijom, izvršeno zaokretanje dinamometra, odnosno nosača alata. Pre ispitivanja skinuta je "kora" sa predmeta obrade.

Alat

Alat je strugarski nož CSDNR 2020 K12 sa izmenljivom pločicom SPMX 12T3AP-75 od proizvođača SECO iz Švedske. Na slici 1 prikazana je rezna pločica sa osnovnim dimenzijama. Ova pločica je namenjena za izvođenje operacija bušenja, odnosno proširivanja alatima sa izmenljivim pločicama.



Sl. 1. Rezna pločica SPMX
Cutting platelets SPMX
Режујача пластина SPMX

Mašina

Sva ispitivanja su izvršena na univerzalnom strugu "Prvomajska" D-480, snage 10 kW, u Laboratoriji za obradu metalova rezanjem na Mašinskom fakultetu u Kragujevcu.

Režimi obrade

Korišćeni režimi obrade su odgovarali materijalu predmeta obrade, snazi mašine, a prvenstveno stabilnosti sistema alat - predmet obrade - mašina. U najvećem broju slučajeva ispitivan je uticaj promene brzine rezanja na merene parametre. Kod svih ispitivanja dubina rezanja je iznosila 0.5 mm . Pri obradi sa većim dubinama sistem je izuzetno nestabilan, velike su vibracije i obrada se nije mogla izvoditi. U zavisnosti od materijala predmeta obrade, vrste ispitivanja, korišćeni su koraci 0.16 i 0.2 mm/o i brzine rezanja u granicama od 88 do 176 m/min . Pri svim ispitivanjima nije korišćeno sredstvo za hlađenje i podmazivanje.

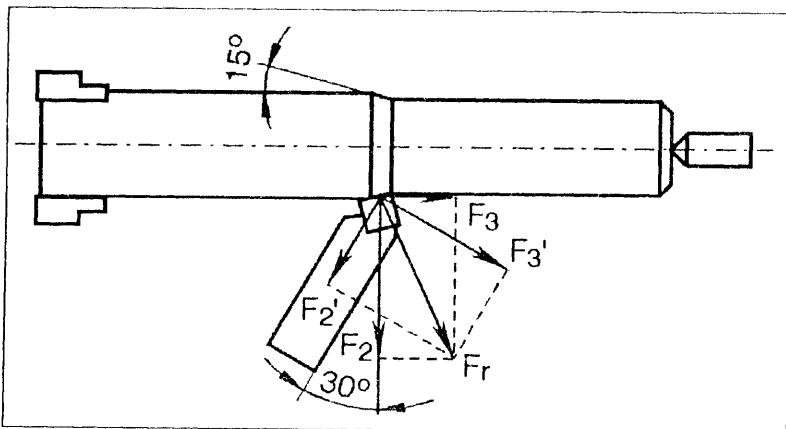
Merna instrumentacija

Za merenje otpora rezanja korišćen je trokomponentni dinamometar KISTLER - 9441, sa odgovarajućim pojачivačem KISTLER, a za zapis signala ploter HEWLET PACKARD - 7090A.

Kako je već napomenuto, radi obezbeđenja približno istih uslova obrade kao u proizvodnim uslovima, dinamometar je zaokrenut za 30° prema slici 2. Na taj način merene su odgovarajuće komponente F_i odnosno F_1' , F_2' i F_3' . Na osnovu analize geometrije mogu se izračunati prave vrednosti komponentnih otpora rezanja F_2 i F_3 . Prema slici 2 odnos analiziranih komponenti je:

$$F_2 = F_2' \cos 30^\circ + F_3' \sin 30^\circ$$

$$F_3 = F_2' \sin 30^\circ - F_3' \cos 30^\circ$$



Sl. 2. Komponente otpora rezanja
Cutting force components
Составляющие процесса резания

Tabela 1.

Vrsta prevlake	Jednačina regresije F_1 (daN)	Koeficijent korelacijske vrijednosti	Stand. odstupanje σ
Bez prevlake	$F_1 = 2215,9 s^{0,616} v^{-0,214}$	0.99247	0.011599
TiN	$F_1 = 1701,05 s^{0,754} v^{-0,104}$	0.99620	0.008447
TiAlN	$F_1 = 2284,7 s^{0,7511} v^{-0,158}$	0.99141	0.01097
TiZrN	$F_1 = 1676,7 s^{0,7241} v^{-0,124}$	0.9886	0.014119
ZrN	$F_1 = 1263,45 s^{0,695} v^{-0,069}$	0.99474	0.008774

Temperatura rezanja je merena veštačkim termoparam. Specijalno formiran veštački termopar je postavljen između podložne i rezne pločice na mestu ispod zone rezanja. Termopar je formiran korišćenjem termoelementa tipa 2 AB AC 15 iz serije "Termocoax" firme "PHILIPS". Elementi termopara su žice od NiCr (+) i Ni (-). Na podložnoj pločici je brušenjem formiran žljeb u koji je postavljen termopar. Termopar je prethodno bio baždaren.

Merenje habanja alata je vršeno na univerzalnom mernom mikroskopu tipa UIM - 21 (SSSR).

Parametri topografije obradene površine su mereni na savremenom mernom sistemu TALYSURF - 6.

3. ANALIZA REZULTATA ISPITIVANJA

Statističkom obradom rezultata merenja uspostavljene su korelativne zavisnosti između otpora rezanja (F_1) i režima obrade (brzine rezanja i koraka) i dobijene su krive habanja.

3.1 Otpori rezanja

Dobijene korelativne veze, koeficijenti korelacije i standardna odstupanja prikazani su u tabeli 1. Dijagrami ovih zavisnosti su dati na slici 3.

Može se uočiti da sa porastom brzine rezanja glavni otpor rezanja F_1 opada u svim slučajevima. Takođe i otpori F_2 i F_3 opadaju izuzev u slučaju pločica sa prevlakom od ZrN (sa korakom 0.2 o/min) i TiZrN (sa korakom 0.16 o/min).

Analizom jednačina iz prethodne tabele može se doći do pokazatelja uticaja vrste prevlaka na veličinu otpora rezanja. Ovaj uticaj se može izraziti preko indeksa obradivosti I_o , koji predstavlja odnos srednjih otpora rezanja pri rezanju referentnom i k -tom pločicom.

Srednji otpori rezanja dobijaju se integriranjem regresionih funkcija na intervalu $v1 < v2$.

Indeks obradivosti se definiše izrazom:

$$I_{O_i} = \frac{\int F_{1i} dv}{\int F_{1ref} dv}$$

gde su:

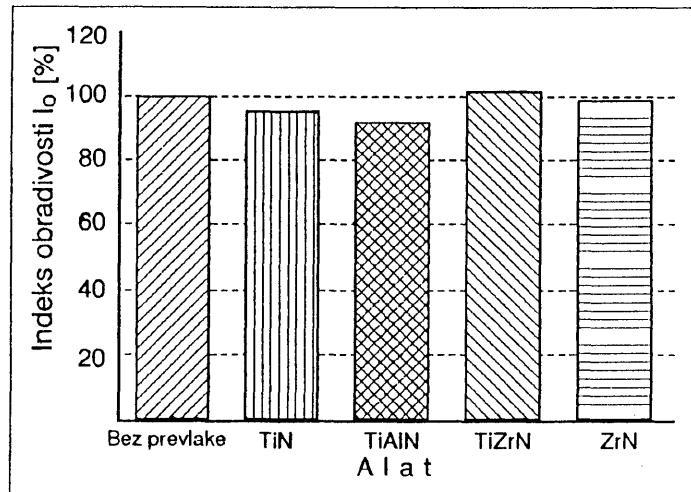
F_{1ref} - otpor rezanja pri obradi sa referentnom pločicom (bez prevlake),

F_{1i} - otpor rezanja pri obradi sa prevučenom pločicom.

Smatrajući pločicu bez prevlake referentnom i poređeći je sa pločicama prevučenim prevlakama TiN, TiAlN, TiZrN i ZrN dolazi se do odgovarajućih vrednosti indeksa obradivosti prikazanih na slici 4. Na osnovu histograma može se zaključiti da je sa aspekta otpora rezanja najbolja pločica je sa prevlakom od TiZrN. To znači da je i utrošak potrebne energije za izvođenje ove operacije minimalan.

3.2 Rezultati i analiza rezultata merenja habanja alata

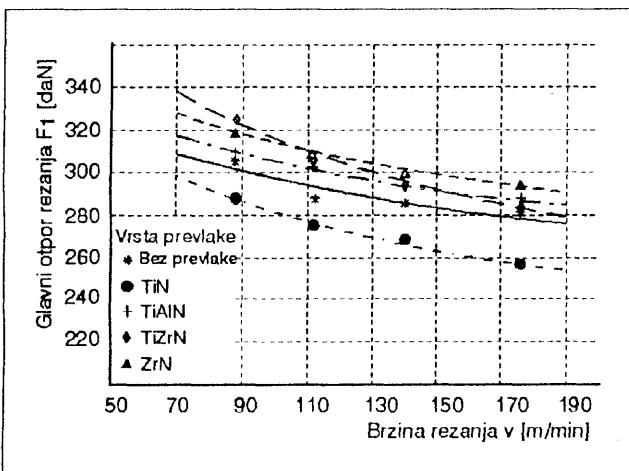
Za praćenje habanja alata korišćeni su linijski parametri habanja h_1, h_2, h_3 prema slici 5.



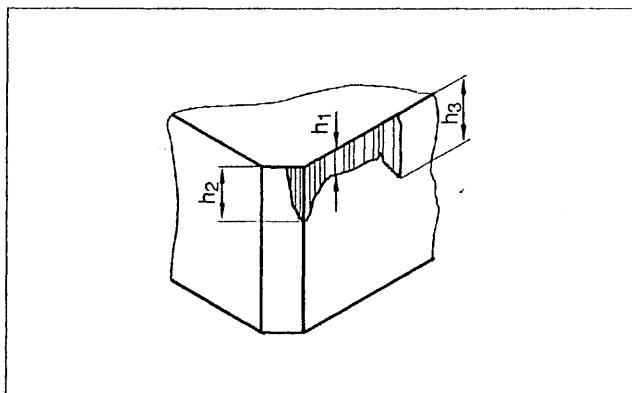
Sl. 4. Indeks obradivosti preko glavnog otpora rezanja
Machiability index as a function of the cutting force
Индекс обрабатываемости через главное сопротивление резанию

Statističkom analizom rezultata merenja dobijene su kri- ve habanja date u tabeli 2 i prikazane na slici 6.

Sa slike se vidi da se pločica bez prevlake znatno brže haba u odnosu na ostale pločice sa prevlakom. Najveću postojanost ima pločica sa TiN, zatim sledi TiZrN, ZrN i TiAlN. Za usvojeni stepen pohabanosti alata na isti način kao kod otpora rezanja moguće je definisati obradivost materijala u zavisnosti od postojanosti alata.



Sl. 3. Glavni otpor rezanja u zavisnosti od vrste prevlake
Main cutting force as a function of the type of coating
Главное сопротивление резанию в зависимости от вида покрытия



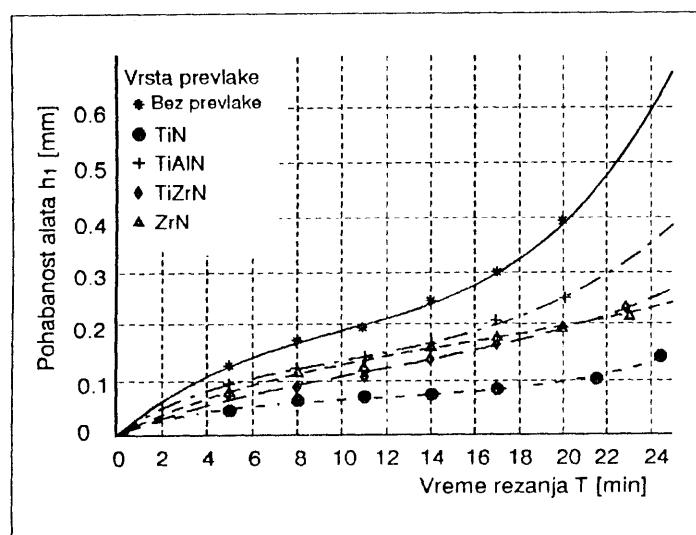
Sl. 5. Habanje rezne pločice
Cutting platelet wear
Изнашивание режущих пластиночек

Tabela 2. Jednačine krivih habanja

Vrsta prevlake	Jednačine krivih habanja h_1 (mm)	Koeficijenat korelacije R	Standardno odstup. σ
Bez prevl.	$h_1 = 0.000106 + 0.035513T - 0.002529T^2 + 0.000087T^3$	0.9972	0.005547
TiN	$h_1 = -0.001233 + 0.013203T - 0.000944T^2 + 0.000026T^3$	0.9914	0.003814
TiAlN	$h_1 = -0.002506 + 0.025331T - 0.001302T^2 + 0.000033T^3$	0.9003	0.026818
TiZrN	$h_1 = 0.002656 + 0.013895T - 0.000535T^2 + 0.000016T^3$	0.9910	0.007085
ZrN	$h_1 = 0.001269 + 0.018498T - 0.000733T^2 + 0.000015T^3$	0.9916	0.006557

Tabela 3.

Vrsta prevlake	Brzina rezanja v (m/min)					
	112		140		176	
	Parametar topografije (μm)					
	R _a	R _{max}	R _a	R _{max}	R _a	R _{max}
Bez prevlake						
TiN	6,3	24	6,3	24	6,4	25
TiAlN	6,1	24	6,1	25	6,1	25
TiZrN	6,2	25	6,2	25	6,1	24
ZrN	6,1	24	6,2	24	6,5	27



Sl. 6. Habanje reznih pločica sa različitim prevlakama
Cutting platelets wear with different coatings
Износование режущих пластиинок
с различными покрытиями

3.3 Kvalitet obradene površine

Rezultati merenja parametara topografije profila obradene površine R_a i R_{max} u zavisnosti od režima obrade (brzine rezanja) i prevlake na pločici alata dati su u tabeli 3.

Iz date tabele može se zaključiti da vrsta prevlake, kao ni brzina rezanja, nemaju bitan uticaj na kvalitet obradene površine.

3.4 Rezultati i analiza rezultata merenja temperature rezanja

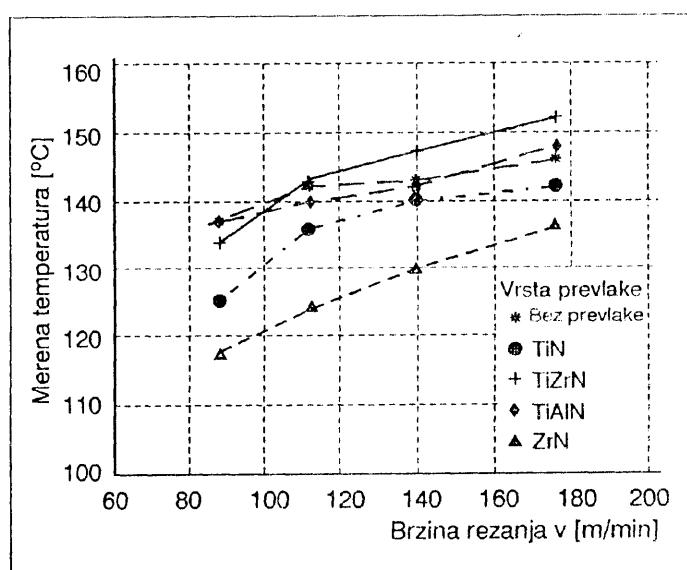
Deo dobijenih rezultata merenja temperature rezanja u zavisnosti od brzine rezanja prikazani su na slici 7. Merenje temperature je vršeno u dužem vremenskom periodu obrade. Za analizu merenih vrednosti usvojena je izmerena temperatura dospilnuta posle 30 sekundi obrade, bez obzira sa kojom brzinom je obrada vršena. Pokazalo je se da je ovakav parametar daleko

osetljiviji od merene temperature dospilnute posle konstantne dužine obrade.

Slike se može uočiti da sa porastom brzine rezanja raste i temperatura rezanja i da je najveća temperatura pri obradi pločicama sa prevlakama od TiZrN, TiAlN, kao i sa pločicom bez prevlake. Međutim, povećanjem vremena obrade na 90 sekundi, pokazalo je da se merene temperature izjednačavaju. U toku tog vremena dospilje se ustaljena temperatura. Ovo ukazuje na to da prevlake različito provode toplotu, i da jedan od mogućih razloga za različitu postojanost pločice treba tražiti i u ovoj činjenici.

4. ZAKLJUČAK

Na osnovu sprovedenih preliminarnih ispitivanja i obrade dobijenih rezultata dobijenih u konkretnim uslovima u kojima je eksperiment obavljen, može se izvesti više zaključaka:



Sl. 7. Merene temperature rezanja
Measured cutting temperatures
Температуры резания

- ▶ Vrsta prevlake nema uticaj na kvalitet obrađene površine,
 - ▶ Razlike glavnih otpora rezanja, kao i ostalih komponenti F₂ i F₃ primenom pločica sa i bez prevlake se kreću u granicama do 15%,
 - ▶ Habanje alata je u vidu karakterističnog pojasa habanja konstantne širine po lednoj površini, stim da se na krajevima kontakta sa predmetom obrade javljaju žlebovi,
 - ▶ Razlike u postojanosti alata su izrazito velike. U zavisnosti od usvojenog kriterijuma habanja te razlike se kreću i preko tri puta.
 - ▶ Merenjem temperature korišćenom metodom, ustavljeno je da se temperature razlikuju 10 do 15%.
 - ▶ Analizom merenih veličina otpora rezanja, kvaliteta obrađene površine, temperature rezanja i postojanosti alata, u konkretnim uslovima obrade ne može se izvoditi jednostavan zaključak o kvalitetu pločice sa samo jednog aspekta. Uočava se da razlike postoje, posebno je to izraženo u različitim postojanstima alata.
 - ▶ Relativno mali obim ispitivanja prikazan u ovom radu ne omogućava uspostavljanje jačih veza između merenih parametara F_i , R_a , θ_i i h . Tek sveobuhvatnija ispitivanja u širem dijapazonu uslova obrade verovatno bi mogla poslužiti za uspostavljanje pouzdanih korelativnih zavisnosti između analiziranih parametara.
- ▶ Na osnovu realizovanih ispitivanja za proizvodnu operaciju obrade poluobloge može se preporučiti pločica sa prevlakom od TiN, iz razloga najveće postojanosti, a zatim pločica sa prevlakom od TiZrN. Drugi kriterijumi za izbor pločice u konkretnom slučaju nisu mero-davni jer je uticaj prevlake na njih relativno mali.

LITERATURA

- [1.] IVKOVIĆ B., **Teorija rezanja**, Biblioteka: Nauka i tehnologija, Kragujevac, 1991.
- [2.] NEDIĆ B., **Upravljanje procesom obrade otvora bušenjem**, magistarski rad, Mašinski fakultet, Kragujevac, 1992.
- [3.] TADIĆ B., **Utvrđivanje korelativnih veza parametara rezanja kao podloge za razvoj ekspertnog sistema u obradi struganjem**, magistarski rad, Mašinski fakultet, Kragujevac, 1992.
- [4.] NEDIĆ B., TADIĆ B., **Razmatranje izbora baznih funkcija za definisanje habanja alata**, YUTRIB '91, Kragujevac, 1991.
- [5.] IVKOVIĆ B., **Razmatranje mogućnosti određivanja obradivosti materijala preko postojanosti alata merenjem otpora rezanja**, Tribologija u industriji 4/90, Kragujevac, 1990.

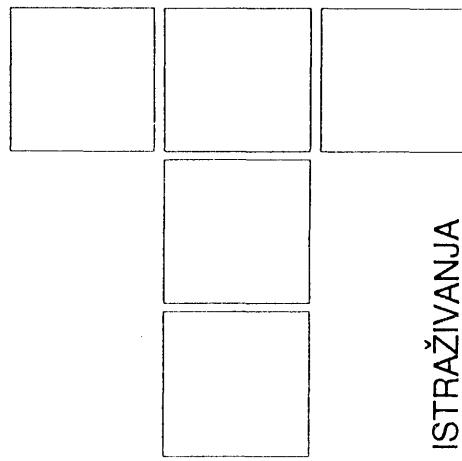
* Rad je izložen na Trećoj jugoslovenskoj konferenciji o tribologiji YUTRIB'93, Kragujevac, 24.-25. juna 1993. god.

Tribological Characteristics of Cutting Tools with Coatings of TiN, TiZrN, TiAlN and ZrN

In the paper is presented a part of results obtained in laboratory conditions with cutting tools made of hard metal with/without coatings of TiN, TiAlN, TiZrN and ZrN. Investigations were conducted as a function of the machining conditions and measured were the cutting forces, cutting temperatures, quality of the machined surface and tool wear. In this investigations work pieces and machining conditions were identical to machining conditions in factory "Zastava - trucks". Obtained results served for the choice of the adequate coating on the cutting plate for performing the analyzed operation.

Трибологические характеристики режущего инструмента с покрытием из TiN, TiZrN, TiAlN и ZrN

Авторами настоящей работы изложена часть результатов, полученных при исследовании в лабораторных условиях инструментов из твердого сплава с покрытиями из указанных выше материалов и без них. Исследования проводились согласно условиям обработки. При этом проверяли свойственное резанию, качество обработанной поверхности и изнашивание инструмента. Исследования проводились в условиях, соответствующих конкретным производственным условиям на Заводах "ЗАСТАВА - ГРУЗОВЫЕ АВТОМОБИЛИ". Полученные результаты должны облегчить выбор соответствующего покрытия на режущей пластинке при конкретной производственной операции.



Uticaj triboloških procesa na pouzdanost hidrauličnih sistema kod alatnih mašina*

1. UVOD

Razvoj tribologije za vreme proteklih dvadesetpet godina bio je zaista impresivan, kako uopšte, tako i u naučnom i tehnološkom području [1].

Razvoj hidrauličnih sistema zbog potrebe povećanja efikasnosti i ekonomičnosti rada modernih mašina alatki, osetljivih kontrolnih numeričkih uređaja, regulacionih ventila, građevinskih i poljoprivrednih mašina, medicinsko tehničkih aparata i vazduhoplovne tehnike, dovelo je do zahteva za kontrolom triboloških procesa i razvoja vrlo kvalitetnih hidrauličnih ulja.

Cilj istraživanja u ovom radu je:

- utvrđivanje karaktera triboloških procesa i uzroka zastoja tribomehaničkih sistema,
- smanjenje broja zastoja tribomehaničkih sistema i
- povećanje pouzdanosti tribomehaničkih sistema hidraulike kod mašina alatki.

Eksperimentalna istraživanja uticaja triboloških procesa na pouzdanost hidrauličnih sistema kod mašina alatki izvršena su u jednoj metaloprerađivačkoj industriji.

2. HIDRAULIČNI SISTEMI KOD MAŠINA ALATKI

Hidraulični sistemi na mašinama alatkama naročito su pogodni za automatizaciju ciklusa i kretanja, jer je sa hidraulikom jednostavno upravljati, a upravljanje se obavlja kontinualno. Hidraulika se često u praksi kombinuje sa pneumatikom i elektronikom, tako da se može ostvariti veoma mnogo kvalitetnih kombinacija.

Principijelna shema hidrauličnih sistema, uprkos različitim vrstama konstrukcije, praktično je jednaka. Kao

primer, na sl. 1 prikazan je jedan hidraulični sistem mašine alatke sa pripadajućim podsklopovima.

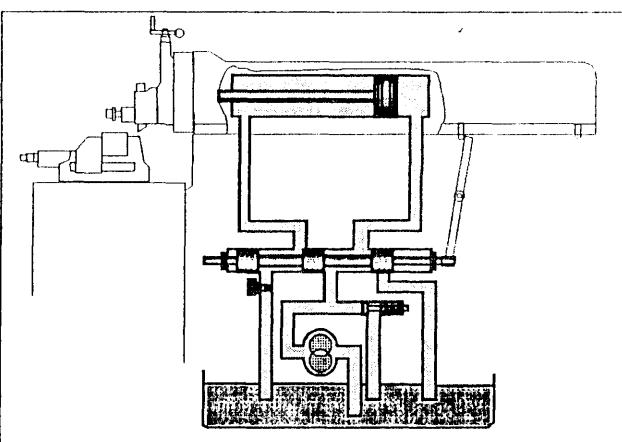
Osnovni elementi, odnosno podskloovi hidrauličnog podsistema (prikazani na slici 1.) su:

- a) rezervoar (1),
- b) pumpa za proizvodnju pritiska (2),
- v) upravljački razvodnici i ventili, među kojima su najvažniji: prigušni ventil, sigurnosni ventil, ventil za hod unazad, itd. (3),
- g) radni cilindar i klip. (4)

3. HIDRAULIČNA ULJA

Osnovni zadaci hidrauličnog ulja u hidrauličnom sistemu su:

- da dobro prenosi pritisak i snagu,
- da podmazuje pokretne delove radi smanjenja prisutnih triboloških procesa,
- da štiti sve elemente od rde i korozije,
- da zaptiva sistem prema unutra i prema spolja i
- da odvodi višak razvijene toplosti.



Sl. 1 Hidraulični sistem maštine alatke:

Hydraulic system of the machine tool

Гидравлическая система металорежущего станка

Dr Radoslav Rakić, dipl. ing, NIS-Nastagas promet,
Novi Sad,

Dugogodišnjim praćenjem dokazano je da obzirom na uslove rada, najkritičniji hidraulični sistemi su u mašinama alatkama a naročito oni sa numeričkim upravljanjem i kontrolom procesa. Naime, kod mašina alatki velika je mogućnost prodora tečnosti za obradu metala bilo emulzije, čistih ulja za obradu ili sintetskih tečnosti sa raznim kontaminantima u hidraulični sistem. Ovo dalje izaziva emulgovanje hidrauličnog ulja koje tokom vremena ubrzava tribološke procese. Postoji mogućnost reakcije aditiva, raznih kontaminata sa realnim posledicama stvaranja nerastvorivih taloga, začepljenja filtera ili slepljivanja razvodnih ventila.

Shodno ISO klasifikaciji, za hidraulična ulja [2], ISO tehničkim izveštajem u vezi preporuka za izbor maziva za mašine alatke [3] i autorovih istraživanja [4] u tabeli 1 date su preporuke za izbor hidrauličnog ulja za mašine alatke.

Najvažnije radne karakteristike hidrauličnog ulja su:

- viskoznost
- indeks viskoznosti,
- nestišljivost,
- otpornost na oksidaciju,
- zaštita od korozije,
- kompatibilnost sa ugrađenim materijalima,
- otpornost na tribološke procese i prekomerno habanje.

Viskoznost ulja je najbitnija karakteristika, kako za funkciju prenosa pritiska i snage, tako i za funkciju podmazivanja pokretnih elemenata. Prema ovoj karakteristici izvršena je klasifikacija tečnih industrijskih maziva. Brojčane oznake, pored slovnih oznaka HM, HV i HG u tabeli 1, upravo su preporučene viskozitetne gradacije za hidraulične sisteme mašina alatki.

Tabela 1.

Slovna oznaka	Oznaka kategorije ISO-L	Primeri primene
H	HM22 HM 32 HM 46 HM 68	Opšti hidraulični sistemi koji sadrže vrlo opterećene elemente
	HV 22 HV 32 HV 46	Primjenjuje se u mašinama alatkama sa numeričkim upravljanjem
	HG 32 HG 46 HG 68	Hidraulični sistemi kombinovani sa podmazivanjem kliznih vodica

4. KARAKTERISTIKE TRIBOLOŠKIH PROCESA

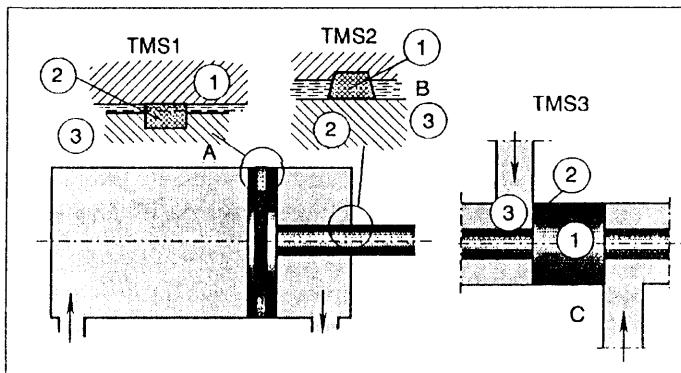
Kod hidrauličnih sistema pojavljuju se više vrsta tribomehaničkih sistema kod kojih se javljaju tribološki procesi. Među njima najkritičniji prikazani su na sl. 2, gde spadaju:

- tribomehanički sistem: klipni prsten-radni cilindar (A),

- tribomehanički sistem: zaptivač radnog cilindra-klipnjača (B),

- tribomehanički sistem: klip-upravljački cilindar (C).

Tribološki procesi se razvijaju na svim elementima tribomehaničkih sistema, ali je habanje znatno sporije na cilindrima i klipnjači nego na klipu, klipnom prstenu i prstenovima za zaptivanje [5]. Kontakt se kod tribomehaničkog sistema A i tribomehaničkog sistema C ostvaruje između dva metalna materijala različite otpornosti na habanje, a kod tribomehaničkog sistema B, između metala i nemetala. Intenzitet habanja nemetalnih materijala, kao i metalnih materijala sa manjom otpornosti na habanje je veći, tako da se na ovim elementima i dešava kritična pohabanost, koja dalje dovodi do zastoja tribomehaničkog sistema, odnosno hidrauličnog sistema i na kraju mašine alatke. Znači, tribološke karakteristike elemenata 1, 2 i 3 tribomehaničkog sistema su, u ovom slučaju razmatranja, definisane preko vremena rada do pojave zastoja identifikovanog tribomehaničkog sistema.



Sl. 2. Shematski prikaz identifikovanih tribomehaničkih sistema
Schematic presentation of identified tribomechanic systems
Схема уситнизованих тириболовајческих система

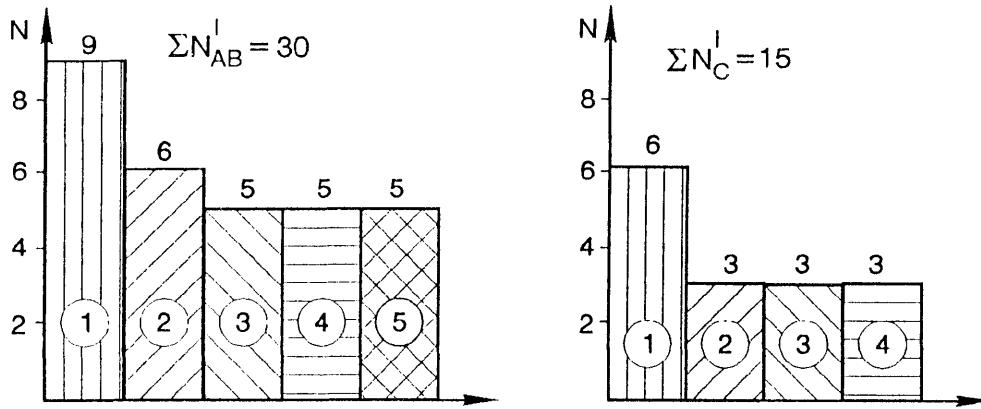
5. REZULTATI EKSPERIMENTALNIH ISTRAŽIVANJA

Eksperimentalna istraživanja uticaja triboloških procesa na pouzdanost hidrauličnih sistema kod mašina alatki izvršena su u jednoj metaloprerađivačkoj industriji.

U ovom radu izneti su rezultati istraživanja izvršeni kod 28 brusilica, statistički obrađeni za vreme dva puta po 2100 radnih časova (I i II period istraživanja). Obzirom na višegodišnje praćenje hidrauličnih sistema kod mašina alatki i dobijenih rezultata [6, 7], u ovom radu su statistički praćeni radni cilindar i upravljački razvodnik, gde su identifikovana tri kritična tribomehanička sistema:

- TMS 1 - klipni prsten-radni cilindar,
- TMS 2 - zaptivač radnog cilindra-klipnjača i
- TMS 3 - klip-upravljački cilindar.

Na sl. 3 prikazani su uzroci zastoja u I periodu istraživanja kod radnog cilindra i upravljačkog razvodnika, a koji su vezani za hidraulično ulje i tribološke procese na elementima tribomehaničkih sistema i to:: 1-neravnome-



Sl. 3. Shematski prikaz uzroka zastoja radnog cilindra (AB) i upravljačkog razvodnika (C)
Schematic presentation of cause for working cylinder stopping (AB) and of controlling distributor (C)
Схема првичног отказа радобечеџа цилиндра (AB) и управоодноћа распределитеља (C)

ran pritisak usled prodora tečnosti za obradu, 2-neravnomeran hod usled kontaminacije sa ostalim mazivima, 3-zaribao klip usled mehaničkih kontaminata, 4-neravnomeran hod usled procesa habanja klipa/klipnog prstena, 5-curenje ulja usled procesa habanja na zaptivaču klipnjače, N-broj zastoja. Na osnovu sl. 3, može se konstatovati da najveći problem kod hidrauličnih sistema alatnih mašina, izaziva prodor sredstava za obradu u sistem.

Na sl. 4 dat je prikaz identifikovanih zastoja (1-radni cilindar, 2-upravljački razvodnik, 3-ukupno, N-broj zastoja), čiji je uzrok hidraulično ulje i tribološki procesi kod radnog cilindra, upravljačkog razvodnika i ukupno, u dva perioda eksperimentalnog istraživanja (I i II period). U oba perioda istraživanja uslovi rada hidrauličnih sistema i mašina alatki bili su praktično isti. Jedino je izmenjeno hidraulično ulje, i to u I periodu istraživanja, koje je trajalo oko 2100 radnih časova, a korišćeno je kod svih 28 brusilica hidraulično ulje oznake HM odgovarajućeg preporučenog viskoziteta. U II periodu istraživanja, koje je isto trajalo oko 2100 radnih časova u većini slučajeva korišćeno je hidraulično ulje oznake HG odgovarajućeg preporučenog viskoziteta. Praktično, u svim slučajevima gde je hidraulični sistem kombinovan sa podmazivanjem kliznih vođica. Kada to nije bio slučaj, korišćeno je hidraulično ulje oznake HV odgovarajućeg preporučenog viskoziteta. Na osnovu sl. 4 može se konstatovati da je u datim uslovima rada u II periodu istraživanja identifikovano oko 8. 9% manje zastoja, nego u I periodu istraživanja. Odavde se može konstatovati da hidraulično ulje oznake HG, odnosno HV ima bolja tribološka svojstva nego hidraulično ulje oznake HM.

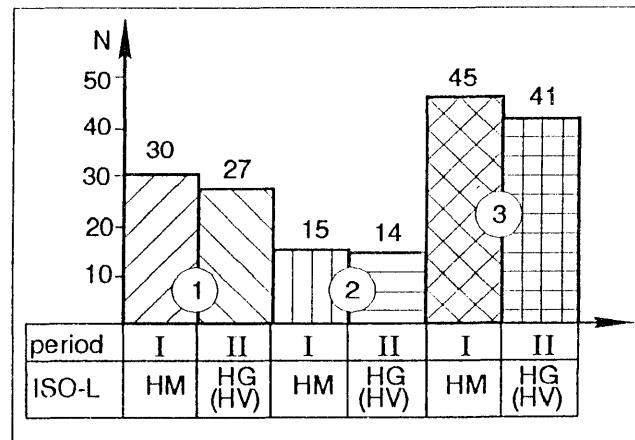
Ukazujući na tehničku istinu da zastoj na bilo kom tribomehaničkom sistemu izaziva zastoj celog hidrauličnog sistema. Na sl. 5 dat je prikaz krive pouzdanosti hidrauličnih sistema ($R(t)$ -funkcija pouzdanosti, t-vreme (h),

λ -intenzitet zastoja (br. zastoja/h), I, II-periodi istraživanja, t_{sr} -prosečno vreme rada kritičnog elementa (h)) posmatranih brusilica, za I i II period istraživanja. Testiranjem λ^2 testom, dokazano je da se pojava događaja zastoja tribome-haničkih sistema pokorava Poasonovoj raspodeli. Verovatnoće razmaka vremena između zastoja pokoravaju se eksponencijalnoj raspodeli. Na osnovu ovih utvrđenih zakonitosti, funkcija pouzdanosti se izračunava iz:

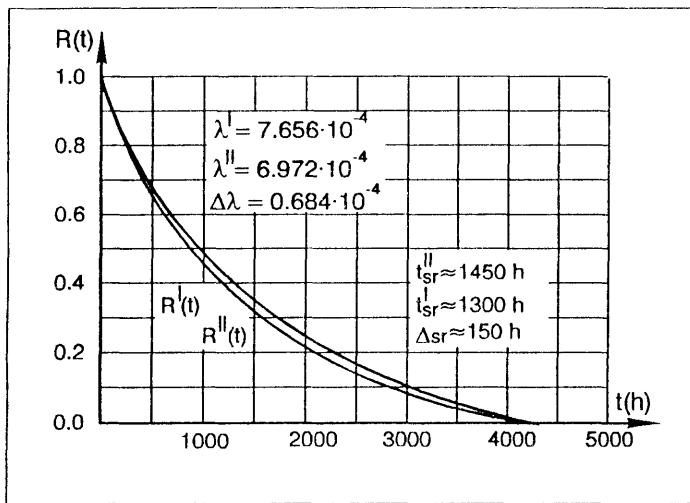
$$R(t) = e^{\int_0^t \lambda(t) \cdot dt} = e^{-\lambda t}$$

gde je $\lambda(t) = \lambda$ - intenzitet zastoja.

Na osnovu predstavljenih kriva pouzdanosti može se zaključiti da su u II periodu istraživanja tribološki procesi bili manji, kao i intenzitet zastoja a da je u tom periodu povećano prosečno vreme rada hidrauličnog sistema do pojave zastoja, kao i pouzdanost hidrauličnih sistema posmatranih mašina alatki u datim uslovima rada.



Sl. 4. Shematski prikaz broja identifikovanih zastoja
Schematic presentation of number of identified stops
Число установленных отказов



Sl. 5. Krive pouzdanosti hidrauličnih sistema
Reliability curves of hydraulic systems
Кривые надёжности гидравлических систем

6. ZAKLJUČAK

Najčešći uzroci zastoja hidrauličnih sistema kod mašina alatki su kontaminacije tečnostima za obradu, drugim mazivima i mehaničkim nečistoćama.

Hidraulična ulja oznake HG, odnosno HV omogućavaju duži vek rada do pojave zastoja, a time i veću pouzdanost hidrauličnih sistema mašina alatki u odnosu na hidraulična ulja oznake HM u datim uslovima rada.

LITERATURA

- [1.] H. P. JOST, Tribology: The First 25 Years and Beyond-Achievements, Shortcomings and Future Tasks, 8th International Colloquium Tribology 2000, Ostfildern, FR Germany, 1992, Proceedings Vol. I, pp. 5. 3. 1-5. 3. 6.
- [2.] ISO 6743, Lubricants, industrial oils and related products (class L)-Classification - Part 4: Family H (Hydraulic Systems), 1982 .
- [3.] ISO Technical Report 3498, Lubricants, industrial oils and related products (class L) - Recommendations for the choice of lubricants for machine tools, 1986.
- [4.] R. RAKIĆ, Pouzdanost hidrauličnih sistema alatnih mašina u funkciji triboloških svojstava maživa, XVIII Simpozijum Jugoma'84, Zadar, 1984.
- [5.] B. Ivković, Osnovi tribologije u industriji prerađe metaala, Gradevinska knjiga, Beograd, 1983.
- [6.] R. RAKIĆ, Uticaj maziva na zastoje kod mašinskih sklopova, 2. jugoslovenska konferencija o tribologiji, YUTRIB'91, Kragujevac, 1991, Zbornik s. 71-74.
- [7.] R. RAKIĆ, The Influence of Tribological Processes on the Reliability of Machine Tools, 11th International Conference on Production Research IC-PR'91, Hefei, China, 1991, Proceedings pp. 749-752.

* Rad je izložen na Trećoj jugoslovenskoj konferenciji o tribologiji YUTRIB'93, Kragujevac, 24.-25. juna 1993. god.

The Influence of Tribological Processes on The Reliability of Hydraulic Systems of Machine Tools

The use of hydraulic systems for the setting, operation and control of machine tools has increased rapidly in recent years. Hydraulic mechanisms are nowadays often linked to electronic controls or to feedback control systems. In machine tools, hydraulic systems have the advantage of providing stepless and vibrationless transfer of power.

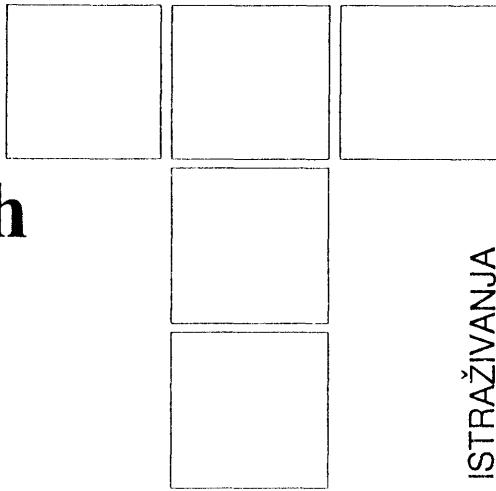
The aim of investigation consists of:

- reducing the intensity of development of tribological processes,
- decreasing the frequency of failures and
- increasing the reliability of hydraulic systems.

Влияние трибологических процессов на производительность гидравлических систем в металлообрабатывающих станках

В настороящее время в металлообрабатывающих станках всё большее используются гидравлические системы. Их преимущество над другими типами систем проявляется в меньшей вибрационной активности при передаче энергии.

Описанные в настоящей работе исследования проводили с целью понижения интенсивности трибологических процессов и частоты отказов в работе и повышения производительности гидравлических систем.

M. DUMOVIĆ, R. ŠOFRANAC, M. ZINDOVIĆ

Istraživanje triboloških karakteristika sivog liva sa povećanim sadržajem fosfora

ISTRAŽIVANJA

1. UVOD

Poznat je podatak da se sivi liv legiran sa fosforom koristi kao materijal za kočione papuče kod vozova. Ovaj materijal je i standardizovan JUS. P. G3. 901. Prema ovom standardu sadržaj fosfora se treba kretati u granicama 0.4 do 0.8%. Zajednica jugoslovenskih željeznica je 1968. god. donijela Privremeni uslov JŽS.V2.028 prema kome sadržaj fosfora treba varirati u granicama od 1.35 do 1.55% [1].

Cilj ovog istraživanja je da se ispita uticaj sadržaja fosfora u granicama 0.059 do 1.6% na otpornost ka suvom habanju sivog liva.

2. EKSPERIMENT

U ovom radu je korišteno pet kvaliteta sivog liva sa različitim sadržajem fosfora čiji je hemijski sastav prikazan u tabeli 1.

Tabela 1. Hemijski sastav sivog liva

Uzorak	%C	%S	%Si	%Mn	%P
M1	3.45	0.091	2.02	0.65	0.059
M2	3.34	0.089	1.06	0.65	0.64
M3	3.31	0.086	2.03	0.60	1.08
M4	3.26	0.073	2.05	0.58	1.45
M5	3.20	0.050	2.03	0.58	1.60

Odlivci dimenzija $R=55\text{ mm}$ i dužine 300 mm su odliveni kao polaz za izradu uzoraka za habanje.

Milo Dumović dipl. ing.,
Mr Rajko Šo Franac, dipl. ing.,
Milojica Zindović, dipl. ing., III "Radoje Dakić", Podgorica

Ispitivanje otpornosti na habanje je vršeno na tribometru SMC2 (SSSR), koja je rađena prema Amslerovoj licenci (slika 1).

Kao parni materijal u kombinaciji sa sivim livo je korišten Č.3134 u poboljšanom stanju (kaljen sa 840°C u vodi i otpuštan na 650°C) tvrdoće 315 HB [3]. Hemijski sastav epruveta od Č.3134 je bio sljedeći: C=0.5%; Si=0.38%; Mn=1.7%; P=0.0337%; S=0.032%. Uzorci za habanje su urađeni kao prstenasti i bili su spareni u kotrljajnoj kombinaciji (sl. 2.) čije su dimenzije $R = 50\text{ mm}$ i širine 10 mm .

Tri različite sile 510 N, 1050 N i 1500 N su bile primijenjene uz konstantnu brzinu klizanja i pređeni put. Rezultati su radi jednostavnosti prikazani u odnosu na prosječnu silu opterećenja prilikom habanja od 1013 N uz konstantnu brzinu okretanja od 0.4 m/s i konstantan pređeni put od 31400 m. Prikazani rezultati predstavljaju srednje rezultate mjerena (dva mjerena).

Ispitivanje površine habanja kao i mikrostrukture je vršeno na optičkom mikroskopu REICHART MF-2 dok su težinski gubici habanja mjereni na analitičkoj vagi sa tačnošću na četvrtu decimalu.

Rezultati ispitivanja sklonosti ka habanju različitih kvaliteta sivog liva (tabela 1) su prikazani putem:

$$V = \frac{K \cdot l \cdot W}{p} \quad (1)$$

gde su: V - zapreminske gubice u mm^3 , [4]

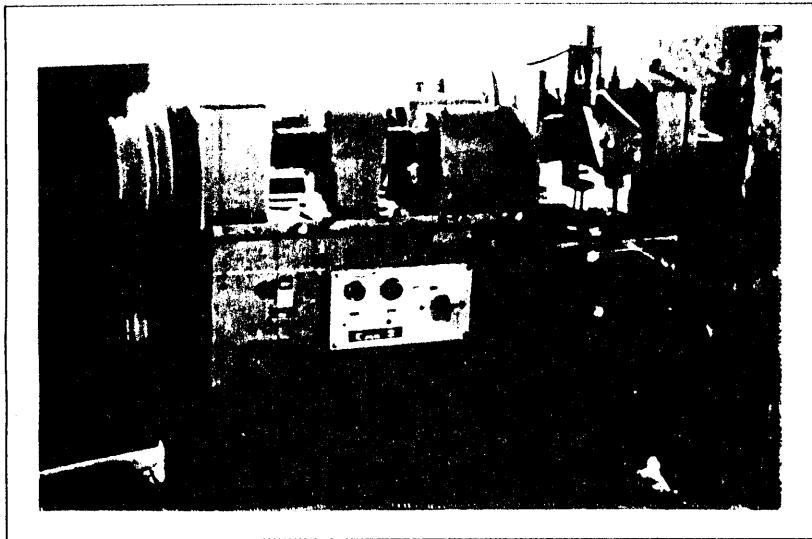
K - koeficijent habanja,

l - dužina klizanja,

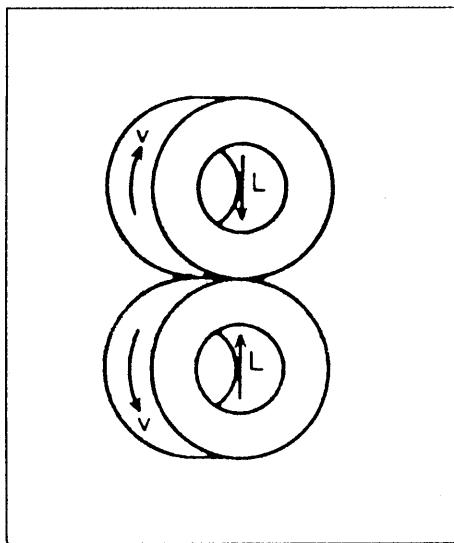
W - normalno opterećenje u kg,

p - tvrdoća u kg/mm^2

odnosno nakon izmjerenih vrijednosti V, l, W i p putem K - koeficijenta habanja koji je definisan kao mjera vjerovatnoće da se prilikom kontakta dva metalna materijala u uslovima adhezivnog habanja bez podmazivanja može formirati čestica (opiljak) habanja.



*Sl. 1. Tribometar SMC-2
Tribometer SMC-2
Трибометр СМЦ-2*

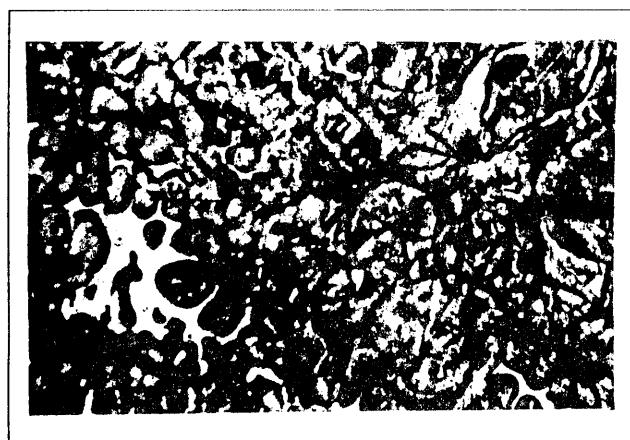


*Sl. 2. Prikaz položaja epruveta pri habanju
Presentation of the specimen position
during wearing
Изображение положения образца
при изнашивании*

3. REZULTATI ISPITIVANJA

Povećan sadržaj fosfora u sivom livu dovodi do formiranja fosfidnog eutektikuma (steadita) koji ima tvrdoću 500 ± 100 HB [2]. Na slici 3 prikazana je struktura M2 sa 0.64% P koja se satoji od 4% fosfidnog eutektikuma (svijetla faza), perlita (siva osnova) i lamelarnog grafita (crne trake). Slika 4 prikazuje fosfidni eutektikum (bijela faza) na većem radnom uvećanju mikroskopa. Zapreminski udio fosfidnog eutektikuma je određen kvantitativno putem metode sistematskog brojanja tačaka.

Slika 5 prikazuje strukturu epruvete za habanje koja ide u paru sa sivim livom a koja predstavlja adekvatnu zamjenu osovinskog točka na lokomotivi. Materijal je Č.3134 u poboljšanom stanju, čija je struktura karakterisana smješom bejnita (tamna faza) i ferita (bijela faza). Tvrdoća epruveta je bila konstantna i iznosila je 315 HB.



*Sl. 3. Mikrostruktura sivog liva M2 sa 0.64% fosfora.
Uvećanje 100x
Micro structure of grey cast iron M2
with 0.64% of phosphor. Magnification 100 X
Микроструктура серого чугуна M2
с 0.64% фосфора. Увеличение 100 раз*

U tabeli 2 su zbirno prikazani rezultati ispitivanja koji se odnose na sivi liv legiran sa fosforom.

4. DISKUSIJA REZULTATA

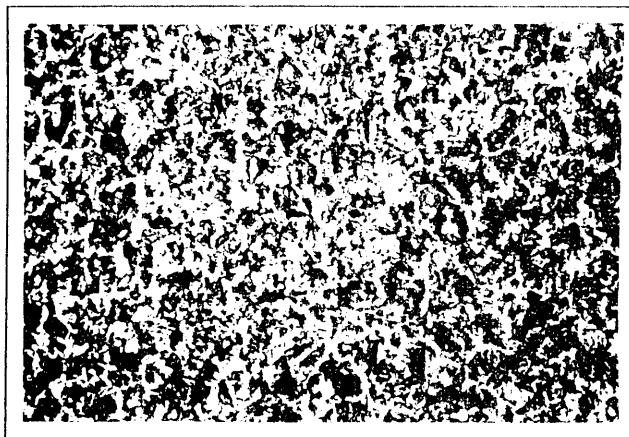
Poznato je da povećan sadržaj fosfora utiče na povećanje sadržaja fosfidnog eutektikuma (stedita) Fe_3P (slika 7) odnosno na povećanje tvrdoće sivog liva [6].

Slike 8, 9 i 10 prikazuju rezultate habanja sivih livova sa različitim sadržajem fosfora pri različitom opterećenju.

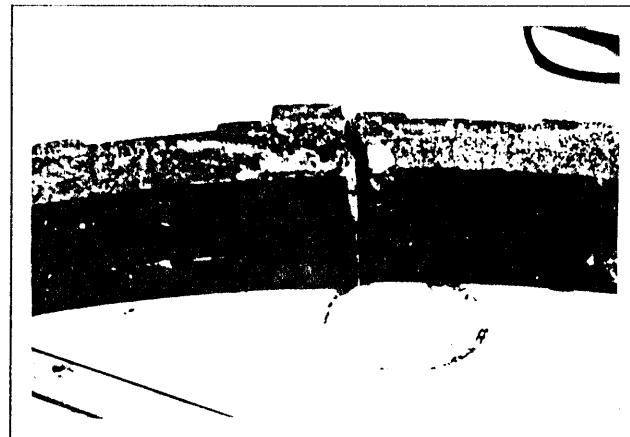
Sa manjim odstupanjima kod različitih opterećenja uočljivo je da su najveće gubitke habanja imali kvaliteti M1, M2 i M5 dok su M4 i M5 imali najmanje gubitke habanja.



*Sl. 4. Fosfidni eutektikum (svijetla faza).
Perliti tamna faza. Uvećanje 500x
Fosfide eutectic (bright phase). Perlite (dark phase)
Magnification 500 X
Фосфидная эвтектика (яркая фаза).
Перлит (тёмная фаза). Увеличение 500 раз*



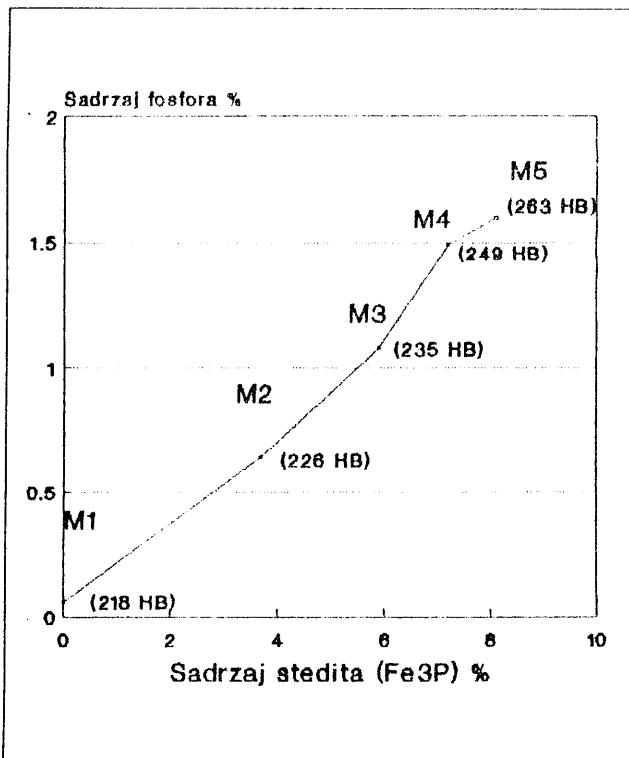
Sl. 5 Struktura poboljšanog Č3134. Uvećanje 200x
Structure of bettered steel C.3134. Magnification 200 X
Структура улучшенного стаљија Č.3134.
Увећање 200 раз



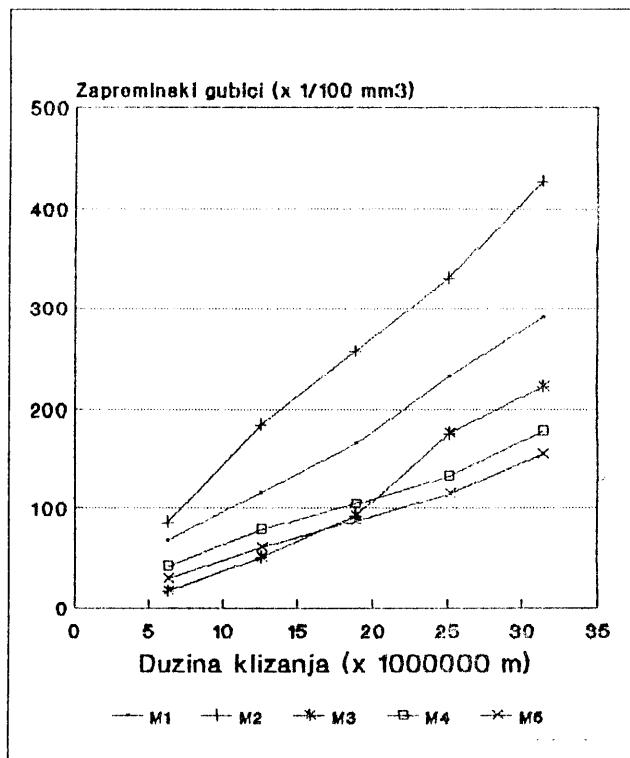
Sl. 6 Izgled kočionog papuče nakon ispitivanja na lom.
Appearance of the braking pedal after the fracture test
Тормозная колодка после испытания на разрыв

Tabela 2

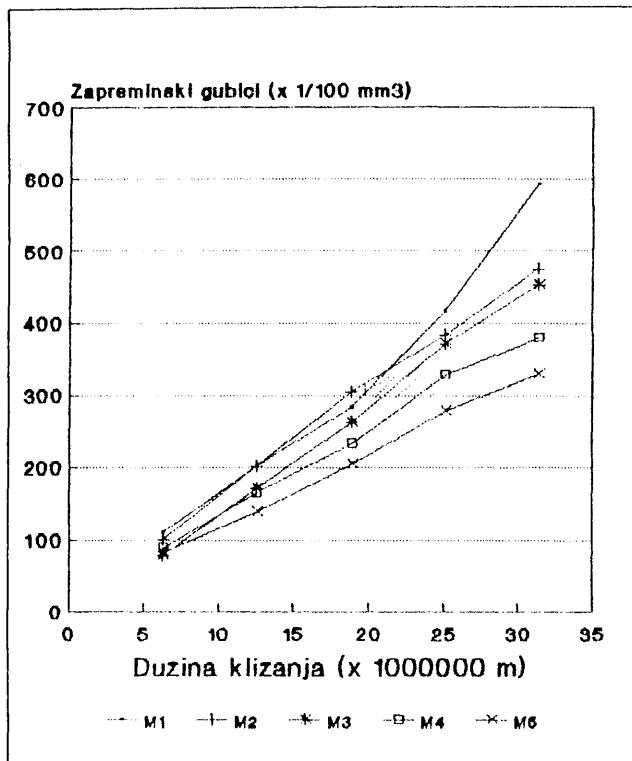
Kvalitet	P %	Fe ₃ P %	HB kp/mm ²	Opterećenje N	Težinski gubici x10 ² g	Zapremlinski gubici x10 ² mm ³	Koeficijent habanja x10 ⁹ g
M1	0,059	0.0	218	1013	4.30	591.3	399
M2	0,640	3.7	228	1013	3.45	475.8	335
M3	1.080	5.9	235	1013	3.29	453.7	329
M4	1.490	7.2	249	1013	2.76	380.6	293
M5	1.600	8.1	263	1013	2.39	329.6	263



Sl. 7. Uticaj sadržaja fosfora na procenat stedita i tvrdociju sivih livova
Influence of phosphor content on the percentage of stelite and grey cast irons hardness
Влияние содержания фосфора на процент стелита и твёрдость серых чугунов



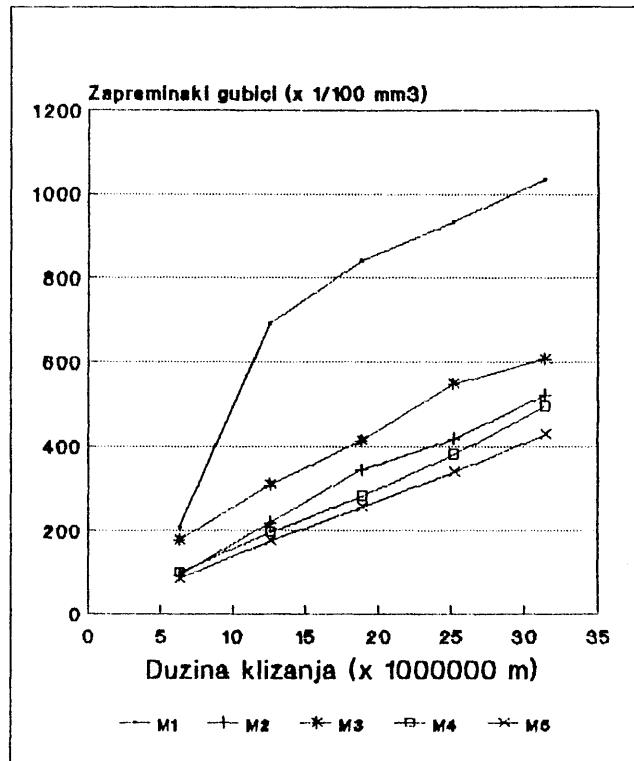
Sl. 8. Zbiran prikaz zapremlinskih gubitaka habanja različitih kvaliteta sivog liva
Summary representation of volume wear losses for different quality grey cast irons
Суммарный график объемных убытей при изнашивании серых чугунов разного качества



Sl. 9 Zbiran prikaz zapreminskih gubitaka habanja različitih kvaliteta sivog liva

Summary representation of volume wear losses for different quality grey cast irons

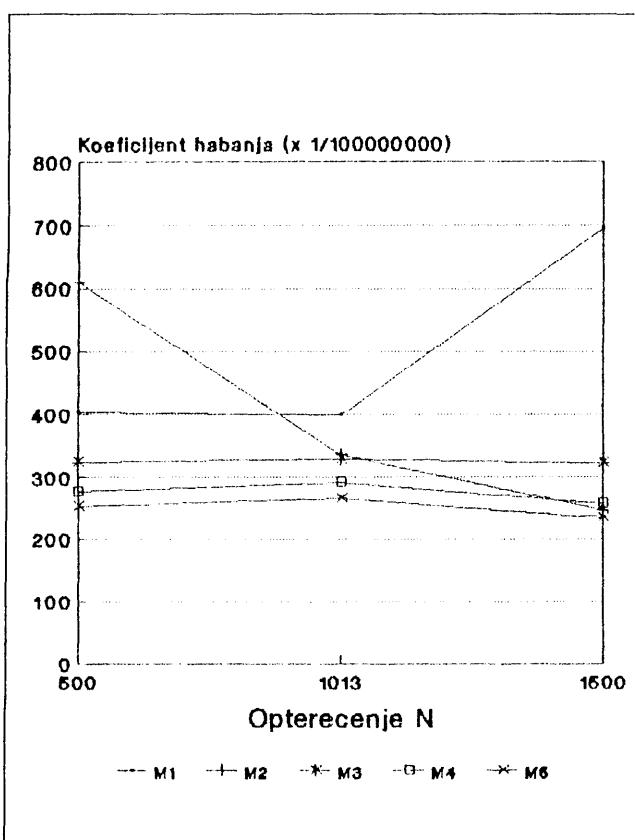
Суммарное изображение объемных убытей при изнашивании серых чугунов разного качества



Sl. 10 Zbiran prikaz zapreminskih gubitaka habanja različitih kvaliteta sivog liva

Summary representation of volume wear losses for different quality grey cast irons

Объёмные убыли при изнашивании различных серых чугунов



Sl. 11 Zavisnost koeficijenta habanja od opterećenja
Wear coefficient as a function of loading
Зависимость коэффициента изнашивания
от нагрузки

Isto se uočava iz dijagrama sa slike 11., gdje se sa manjim aproksimacijama može zaključiti da je vjerovatnoća habanja veća kod kvaliteta M1, M2 i M3 dok je kod kvaliteta M4 i M5 koeficijent habanja manji samim tim i vjerovatnoća habanja manja (sklonost ka habanju manja).

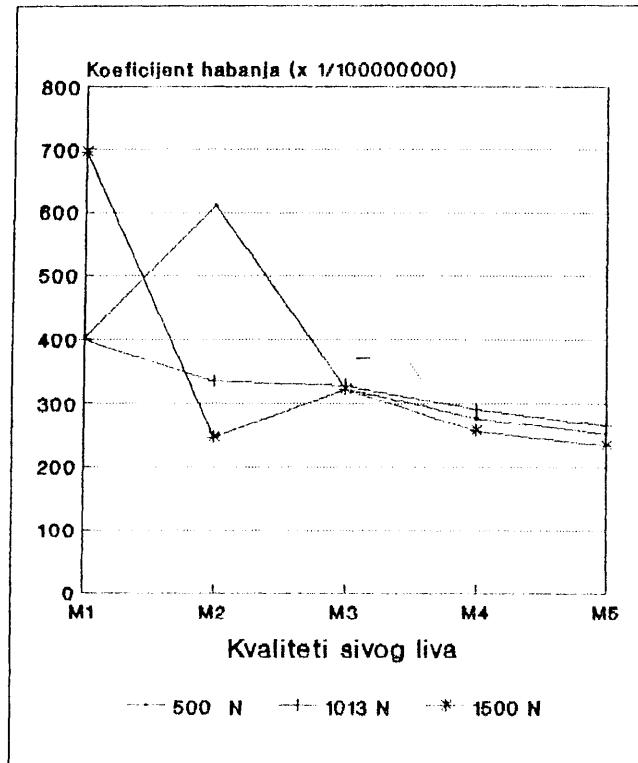
Slika 12. ukazuje na činjenicu da kod opterećenja 500, 1013 i 1500 N kvaliteti M4 i M5 imaju najbolju otpornost na habanje. Kvalitet M3 se po karakteristikama habanja svrstava između kvaliteta M4 i M5 i kvaliteta M2 i M1 koji imaju najveću sklonost ka habanju.

Ista karakterizacija se može dati na osnovu slike 13 koja ukazuje na činjenicu da je brzina habanja najveća kod M1 a najmanja kod M5.

5. ZAKLJUČAK

Rezultati ispitivanja ukazuju na činjenicu da je bolje koristiti sugestije proizvodnje kočionih papuča koje su date privremenim uslovom JŽS.V2.028 koji preporučuje sadržaj fosfora u sivom livu od 1.35 do 1.55%. I u tom smislu kada je u pitanju sklonost ka habanju razmotriti mogućnost dopune (izmjene) standarda JUS.P.G3.901.

Naravno ove rezultate habanja treba dopuniti sa ispitivanjima kočionih papuča na lom koja su sugerisana od strane JUS.P.G3.001.



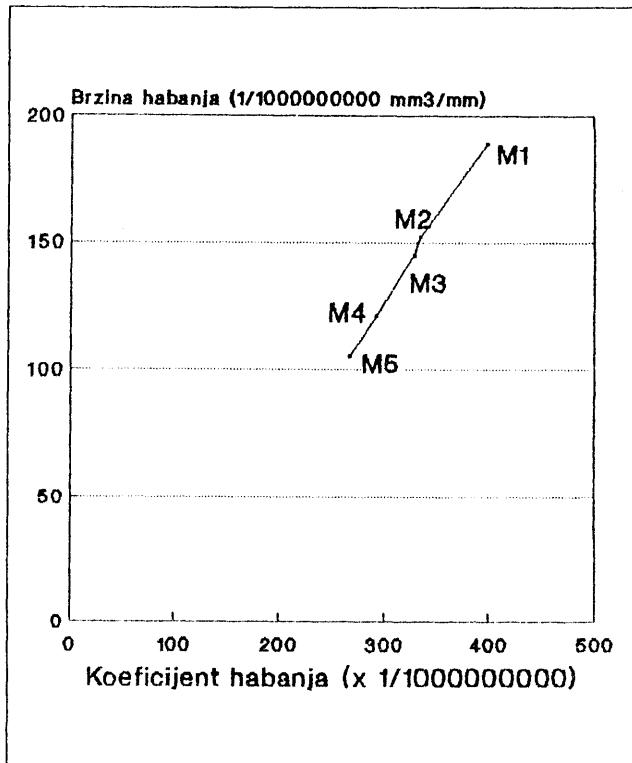
Sl. 12 Zavisnost koeficijenta habanja od kvaliteta sivog liva opterećenja
Wear coefficient as a function of grey cast iron quality and loading
Зависимость коэффициента изнашивания от качества серого чугуна и нагрузки

U cilju izbora optimalnog sadržaja fosfora u sivom livu za kočione papuče treba sagledati i ponašanje materijala koji se koristi za točkove vozova. U tom smislu bi se sugerisao dalji istraživački rad.

Sa tehnološkog stanovišta proizvodnje kočionih papuča sa povećanim sadržajem fosfora sigurno je poželjnije raditi sa manjim procentima zbog troškova proizvodnje i zbog sklonosti ovih materijala ka poroznosti. U ovom kontekstu a i na osnovu rezultata ispitivanja odgovor na optimalan sadržaj fosfora bi se trebao tražiti u granicama od $1.1 \pm 0.2\%$.

U kontekstu sadržaja fosfora u sivom livu i njegovom uticaju na habanje kočionih papuča treba u daljem istraživanju ispitati uticaj sadržaja fosfora na specifičnu težinu sivog liva što svakako treba imati u vidu kada se radi o ukupnoj težini voza odnosno samoj ekonomičnosti.

Obzirom da se do danas jako daleko otišlo u razvoju novih materijala to bi svakako trebalo ispitati i druge materijale koji se preporučuju za kočione papuče i u tom smislu modifikovati sam JUS.P.G3.901 koji se u tom smislu samo vezao za sivi liv legiran fosforom. Ove druge materijale bi trebalo ispitati pod istim uslovima u ovom eksperimentu i naći odgovor za pravi izbor materijala.



Sl. 13 Zavisnost koeficijenta habanja od brzine habanja
Wear coefficient as a function of wear speed
Обусловленность коэффициента износа скоростью изнашивания

Konkretno mislimo na legure na bazi nodularnog liva i sl. Te u tom smislu ovaj rad smatramo samo kao polaz za dalja istraživanja na ovom polju.

LITERATURA

- [1] ŠKARIĆ M., Istraživanje osobina sivog liva za kočione papuče sa povećanim sadržajem fosfara, VI Kongres livaca Jugoslavije, Budva, oktobar 1982 god.
- [2] Машини для испытания материалов на трение и износ модели СМЦ-2
- [3] JUS P.F2.050
- [4] ASM, Metals Handbook, Eight Edition, Volume 8 str. 138.
- [5] The Institute of British Foundryman, Typical Microstructures of Cast Metals, str.94 i 95.
- [6] VON EBERHARD PAHL in Hannover-Herrenhausen, Einfluss von Phosphor und Schwefel in Bremsklötzen aus Gueisen auf die Rillenbildung der Räder von Schienenfahrzeugen, Giesserei-Forschung, 26.Jahrgang 1974 Helf 3.

Investigation of tribological characteristics of grey cast irons with increased content of phosphor

In the paper are presented results of investigation of influence of the phosphor content on the wear resistance of the grey cast iron which is used for manufacturing of the braking pedals of the railroad cars. Tests were conducted with loading of 510, 1050, and 1500 N, at constant sliding speeds. Used was the tribometer SMC2 made by the Amsler license. Test results show that the optimal content of phosphor in the grey cast iron is within range 1.35 - 1.55 %. It is proposed to correct the existing YUS standard according to which the content of phosphor should be between 0.4 and 0.8 %.

Исследование трибологических характеристик серого чугуна с повышенным содержанием фосфора

В работе изложены результаты исследований влияния содержания фосфора на износостойкость серого чугуна, используемого для изготавления тормозных колодок железнодорожных вагонов. Исследования проводились при постоянной скорости скольжения, с нагрузкой 510, 1050 и 1500 Н. При этом исследования проводились прибором СМЦ2, изготовленным по лицензии АМСЛЕК-а. Проведенные исследования показывают, что оптимальное содержание фосфора в сером чугуне находится в пределах 1.35 - 1.55 %. На основании этого авторами предлагается исправление ЮС-стандартов согласно которому содержание фосфора должно быть в границах 0.4 - 0.8 %.