



## UTICAJ TERMIČKE OBRADJE NA TRIBOLOŠKO PONAŠANJE Zn-Al LEGURA

M. Babić <sup>1)</sup>, R. Ninković <sup>2)</sup>, S. Mitrović <sup>3)</sup>, I. Bobić <sup>4)</sup>

**Rezime:** Istraživanje se odnosi na uticaj termičkog tretmana na mikrostrukturne, mehaničke i tribološke karakteristike ZA-27 legure. Termički tretman se odvijao kao rastvarajuće žarenje tokom određenog vremena i naknadnog kaljenja u vodi. Termički tretirani uzorci imaju nižu zateznu čvrstoću i tvrdoću, ali veće izduženje u odnosu na livene. Steopen habanja i koeficijent trenja opadaju sa povećanjem trajanja procesa žarenja.

**Ključne reči:** Zn-Al legura, termički tretman, tribološko ponašanje

### INFLUENCE OF HEAT TREATMENT ON TRIBOLOGICAL BEHAVIOR OF Zn-Al ALLOYS

**Abstrac:** The effect of heat treatment on the microstructure, hardness, tensile properties and tribological behavior of ZA-27 alloy s was examined. The heat treatment of casts comprised of solutionizing during certain time, and quenching in water. The temperature selected for solutionizing were 370 °C.

The heat-treated samples attained less strength and hardness but more elongation over the as-cast one. The wear rate and coefficient of friction decreased with increasing ageing duration.

**Key words:** Zn-Al alloy, Heat treatment, Wear behaviour

#### 1. UVOD

Zahvaljujući dobroj livkosti, relativno visokoj otpornosti na habanje i pogodnim fizičko-mehaničkim svojstvima Zn-Al legure se komercijalno primenjuju već duži niz godina [1-6, 8, 9, 17]. To se pre svega odnosi na familiju legura sa povećanim sadržajem aluminijuma, koju čine ZA-8, ZA-12 i ZA-27 legure. Numerički deo odgovara procentualnom sadržaju aluminijuma u leguri. Ovako označavanje prihvaćeno je i od strane ASTM standarda B 669-89, u kome se pored ostalog definiše i hemijski sastav ovih legura. Prema evropskoj normi EN 1774-98 koriste se oznake ZL8, ZL12 i ZL27.

<sup>1)</sup> Miroslav Babić, Mašinski fakultet, Kragujevac, Srbija, babic@kg.ac.yu

<sup>2)</sup> Rato Ninković, RAR, Batajnica, Srbija, rato@eunet.net

<sup>3)</sup> Slobodan Mitrović, Mašinski fakultet, Kragujevac, Srbija, boban@kg.ac.yu

<sup>4)</sup> Ilija Bobić, Institut za nuklearne nauke "Vinča", Srbija, ilijab@vin.bg.ac.yu

Na bazi obimnih istraživanja, podržanih od strane Ministarstva za nauku i zaštitu životne sredine, u našoj zemlji su razvijene domaće RAR legure sa povećanim sadržajem aluminijuma. Sumirajući dosadašnja iskustva može se zaključiti da Zn-Al legure, posebno legura ZA-27, imaju, u poredjenju sa klasičnim ležišnim materijalima, bolja anti-frikciona svojstva, bolje podnose kritična stanja u radu, pokazuju bolju sposobnost apsorbovanja stranih materija, daju duži radni vek i po pravilu imaju nižu cenu [1–4, 8, 9, 13, 14]. Njihova svojstva dolaze posebno do izražaja, pri graničnom podmazivanju, u uslovima malih brzina klizanja i relativno velikim opterećenjima. Osim kao ležišni, RAR legure se uspešno mogu primenjivati i kao konstrukcijski materijali šire namene.

Pored osobina kvalitetnog tribomaterijala ove legure imaju i određene nedostatke, kao što su limitirana radna temperatura i dimenziona nestabilnost zbog prisustva bakra [11]. Prateći aktuelne trendove unapređenja Zn-Al legura [17], kod nas su u toku istraživanja koja se odnose na tribološke efekte termičkog tretmana RAR 27 legure i razvoj kompozita sa RAR 27 osnovom.

U radu se iznosi deo originalnih rezultata dobijenih u okviru pomenutog projekta koji ukazuju na mogućnost upravljanja strukturnim, mehničkim i tribološkim karakteristikama legure RAR 27 primenom kontrolisanih procedura termičkog tretmana.

## 2. EKSPERIMENTALNA PROCEDURA

### 2.1 Priprema legrura za ispitivanje

Programom ispitivanja obuhvaćeno je pet ZnAl legura, koje prema hemijskom sastavu pripadaju standardnoj klasi ZA-27 sa komercijalnom oznakom RAR 27: ZA-27 legura livena u čeličnoj kokili, ZA-27 legura livena u čeličnoj kokili, žareno 3 sata i kaljeno u vodi i ZA-27 legura livena u čeličnoj kokili, žareno 5 sata i kaljeno u vodi

U čeličnoj kokili su liveni prizmatični oblici sa poprečnim presekom uzoraka 30 x 20, dužine 100 mm. Kao šarža za livenje u kokili korišćena je master ZA-27 legura u obliku šipki prečnika 50 mm. Topljenje je vršeno u laboratorijskoj elektrootpornoj peći snage 2 kW. Posle pregrevanja do 570°C očišćena je šljaka, promešan rastop i na 560°C izvršeno je livenje u čeličnu kokilu čija šupljina odgovara gore navedenom poprečnom preseku odlivka. Čelična kokila bila je prethodno predgrejana na 100 °C, da se izbegnu bočne usahline. Po završenom livenju odlivci predviđeni za termičku obradu stavljeni su u laboratorijsku peć za termičku obradu koja ima regulaciju temperature. Odlivci su grejani do 370°C i na toj temperaturi držani 3, odnosno 5 sati. Po izvršenoj termičkoj obradi odlivci su zakaljeni u vodi.

### 2.2 Hemijski sastav uzoraka, mehničke i mikrostrukturne karakteristike

Hemijski sastav ispitivanih materijala utvrđen hemijskom apsorpcijom prikazan je u tabeli 1. Sadržaj elemenata kreće se u granicama predviđenim za leguru. On je veoma ujednačen za tri vrste uzoraka, kod kojih se sadržaj aluminijuma nešto preko 28%.

Osrednjeni rezultati 5 ponavljanja merenja osnovnih mehničkih karakteristika prikazani su u tabeli 2. Ispitivanja zateznih karakteristika vršena su prema standardu JUS C.A4.002 na okruglim kratkim proporcionalnim epruvetama prečnika 4 mm i okruglim dugim epruvetama prečnika 10 mm na univerzalnoj elektromehaničkoj kidalici u uslovima sobne temperature od 22°C.

Tabela 1. Hemijski sastav ispitivanih materijala

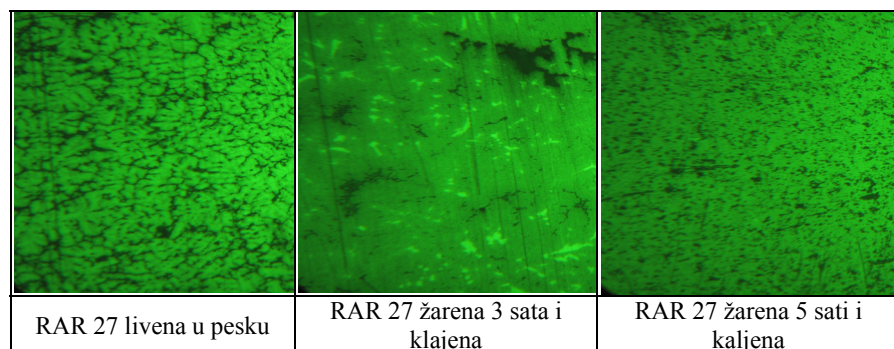
| Uzorci                                 | Elementi, % |       |      |       |       |
|--|-------------|-------|------|-------|-------|
|  | Al          | Zn    | Cu   | Fe    | Mg    |
| Z A-27 liveno u čeličnoj kokili        | 28.47       | 67.77 | 2.51 | 0.145 | 0.011 |
| Z A-27 žareno 3 sata i kaljeno u vodi  | 28.63       | 68.66 | 2.46 | 0.117 | 0.012 |
| Z A-27, žareno 5 sata i kaljeno u vodi | 28.42       | 68.81 | 2.49 | 0.139 | 0.010 |

Tabela 2. Mehaničke karakteristike ispitivanih legura

| Legure                                | Zatezna<br>čvrstoća<br>$R_m$ , MPa | Izduženje, %                              |                  | Tvrdoća<br>$HB_{10/1000}$ |
|---------------------------------------|------------------------------------|---|------------------|---------------------------|
|                                       |                                    | Brzina kretanja mosta<br>kidalice, mm/min |                  |                           |
|                                       |                                    | 1.0 <sup>1</sup>                          | 100 <sup>2</sup> |                           |
| Z A-27 liveno u čeličnoj kokili       | 318                                | 2.4                                       | 0.4              | 138                       |
| Z A-27 žareno 3 sata i kaljeno u vodi | 301                                | 5.2                                       | 0.7              | 121                       |
| Z A-27 žareno 5 sata i kaljeno u vodi | 283                                | 6.4                                       | 0.85             | 121                       |

<sup>1</sup>Prečnik epruveta za istezanje 4 mm, <sup>2</sup>Prečnik epruveta za istezanje 10 mm

Rezultati pokazuju da termički tretman legure nakon livenja u kokili doprinosi smanjenju zatezne čvrstoće i da to smanjenje raste sa vremenom držanja legure na temperaturi od 370°. Termički tretman se manifestuje i kroz smanjenje tvrdoće. Rezultati merenja izduženja pokazuju da termički tretman doprinosi znatnom povećanju izduženja. Pri tome produženje vremena žarenja doprinosi povećanju procentualnog izduženja. Takav uticaj utvrđen je pri obe brzine kretanja mosta kidalice: 1 m/min – koja obezbeđuje brzine deformacije normalne za ispitivanje ZA legura ispitivanja i 100 mm/min – veoma velikoj za ovakva ispitivanja.



Slika 1: Mikrostrukture RAR 27 legura (X50)

Na slici 1 prikazane su mikrostrukture ispitivanih legura. Leguri livenoj u kokili odgovara tipična dendritna struktura, usitnjena zbog brzog hlađenja u čeličnoj kokili. Mikroskopska struktura je homogena i sastoji se od jezgra svetle boje bogatih aluminijumom ( $\alpha$ -faza). Između njih je izlučen eutektikum, sive boje, koji se sastoji od  $\alpha$  faze i  $\eta$  faze bogate cinkom. CuZnAl  $\epsilon$  kristali bogati bakrom na slici se uočavaju kao beličasta područja.

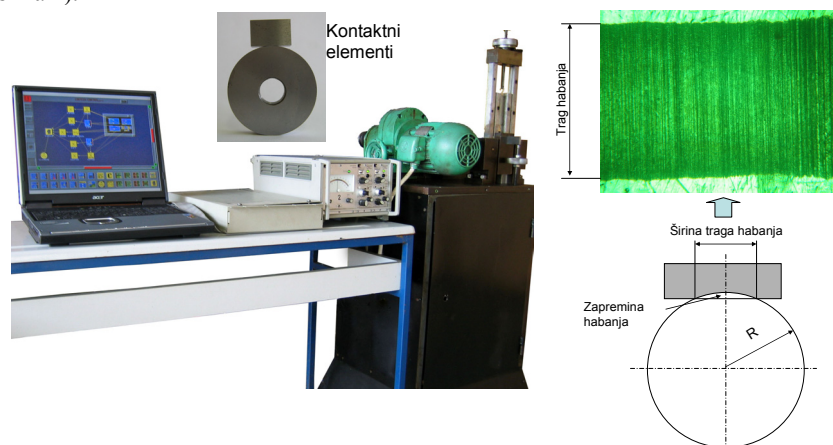
Na fotografiji mikrostrukture ZA 27 legure koja je žarena 3 sata na 370°C, pa po tome kaljena u vodi jasno se razlikuju mikrokonstituenti nastali usled termičke obrade,

tj, zaostala jezgra dendrita (bela), zaostala ostrvca međudendritne  $\eta$  faze (tamna) i veoma fina  $\alpha+\eta$  smeša koja obuhvata najveći deo strukture.

Snimak mikrostrukture legure žarene 5 sati sa naknadnim kaljenjem u vodi pokazuje da je došlo do potpune razgradnje dendritne strukture. Pored toga primetno je koagulisanje međudendritne  $\eta$  faze za vreme zagrevanja pa je kaljenjem takva struktura zadržana na sobnoj temperaturi, dok se jezgra dendrita više ne mogu uočiti. Struktura izgleda kao ravnotežna, što je neočekivano, jer je reč o relativno kratkom vremenu zagrevanja u oblasti  $\beta$  faze (morfološki slične, ali nešto finije, strukture dobijali su istraživači posle znatno dužeg vremena žarenja sa prethodnom plastičnom preradom valjanjem na toplo).

### 2.3 Tribološki testovi

Ispitivanje triboloških karakteristika ZA odlivaka bila su modelskog tipa i obavljena su na unapređenom i kompjuterski podržanom tribometru TR-95 sa block-on-disc kontaktnom geometrijom u Centru za tribologiju Mašinskog fakulteta u Kragujevcu (slika 2).



Slika 2: Tribometar i kontaktna geometrija

Opitni kontaktni par odgovara zahtevima odgovarajućeg ASTM G 77 standarda. Sačinjava ga rotacioni disk prečnika 35 mm i širine 6,35 mm i stacionarni blok širine 6,35 mm, dužine 15,75 mm i visine 10,16 mm.

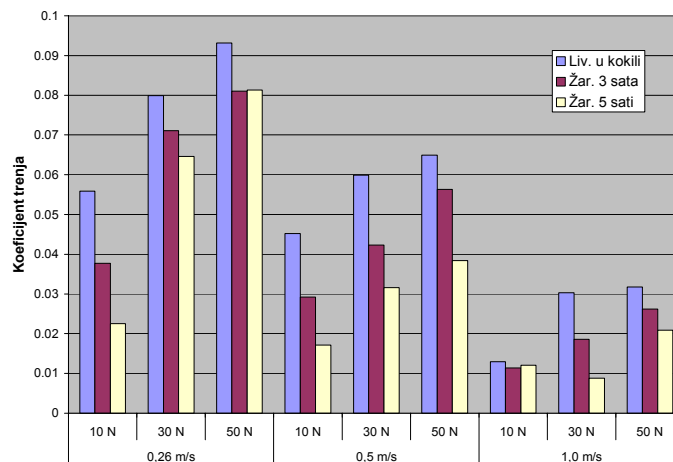
Diskovi su izrađivani od čelika Č.5432 tvrdoće 55 HRC sa brušenim površinama, hrapavosti  $R_a = 0,4 \mu\text{m}$ , a blokovi od ispitivanih ZA-27 legura, sa brušenim kontaktnim površinama, hrapavosti  $R_a = 0,32 \mu\text{m}$ .

Testovi su vršeni uz variranje tri nivoa brzine klizanja - 0,26 m/s, 0,50 m/s i 1,00 m/s i tri nivoa normalnog kontaktnog opterećenja - 10 N, 30 N i 50 N, sa podmazivanjem u trajanju od 10 min. Podmazivanje kontaktnog para realizuje se tako što je disk donjim krajem uronjen do dubine od 3 mm u rezervoar sa uljem zapremine 30 ml i pri rotaciji kontinualno donosi ulje u zonu kontakta. U svim testovima korišćeno je isto hidraulično ulje koje po standardu JUS ISO 11158:2003 odgovara tipu HL i kategoriji HM (ulje tipa HL sa poboljšanim karakteristikama protiv habanja, gradacije viskoznosti VG 46 (ISO 3448)).

### 3. REZULTATI TRIBOLOŠKIH TESTOVA

Za kontinualno praćenje procesa trenja i merenje parametara trenja tribometar je opremljen odgovarajućim mernim sistemom podržanim PC računarom. Tokom trajanja testova mereni su normalna sila i sila trenja i automatski je generisan računski signal koeficijenta trenja. Kao osnovni parametar habanja korišćena je širina traga habanja na kontaktnoj površini bloka, kako je to prikazano realnom fotografijom na slici 2. Porast pohabanosti prati širenje traga habanja, koja s obzirom na oblik habanja nije linerano proporcionalna promeni zapremine habanja. Do zapremine habanja kao izvedenog parametra habanja dolazi se računskim putem na osnovu površine kružnog otsečka i širine diska (slika 2).

Srednje vrednosti vremenskih serija koeficijenata trenja, i to na bazi tri ponavljanja prikazane su dijagramski na slici 3 u funkciji brzine klizanja i kontaktnog opterećenja. Lako je uočljivo postojanje jednoznačnog uticaja normalne sile kontaktnog pritiska na koeficijent trenja kod svih ispitivanih materijala. Generalno koeficijent trenja raste sa porastom normalne sile. Pri tome, stepen uticaja normalne sile na koeficijent trenja pada idući od najniže brzine klizanja  $v=0,26$  m/s prema najvišoj  $v=1,0$  m/s.



Slika 3: Koeficijent trenja ispitivanih legura u funkciji kontaktnih uslova

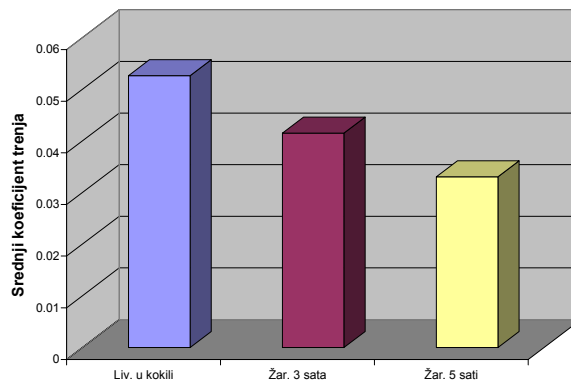
Na nivo srednjeg nivoa koeficijenta trenja kod svih ispitivanih legura veoma izražen uticaj pokazuje i brzina klizanja. Priroda tog uticaja se ogleda u smanjenju koeficijenta trenja sa porastom brzine klizanja dominantno po polinomnoj zavisnosti trećeg stepena, a u nekoliko slučajeva po eksponencijalnoj, odnosno linearnoj zavisnosti. Najveći uticaj brzine klizanja iskazuje se u oblasti nižih vrednosti brzina klizanja i pri najvećoj vrednosti normalne sile  $F_n=50$  N. U svim slučajevima, gradijent pada koeficijenta trenja sa porastom brzine klizanja se smanjenjem sile normalnog opterećenja. Jasnije rečeno, stepen uticaja brzine klizanja na koeficijent trenja pada sa smanjenjem normalne sile, i to posebno u zoni većih brzina klizanja.

Pri korišćenju nominalnoj kontaktnoj geometriji koja se usled habanja menja na već objašnjeni način i uz obilato prisustvo ulja za podmazivanje, variranje normalne sile kontaktnog pritiska i brzine klizanja u obavljenim testovima usloveli su da se režim

menja od graničnog do tipično mešovito. To veoma ubedljivo objašnjava prirodu dobijenih rezultata, odnosno utvrđeni uticaj promene kontaktnih uslova na frikciono ponašanje ispitivanih ZA legura.

U svim kombinacijama kontaktnih uslova jednoznačno se iskazuju razlike u frikcionom ponašanju ispitivane tri legure. Niži koeficijenti trenja odgovaraju termički obrađenim legurama u odnosu na osnovnu, samo livenu leguru. Pri tome produženje vremena tretmana od 3 na 5 sati doprinosi pojačanom smanjenju koeficijenta trenja.

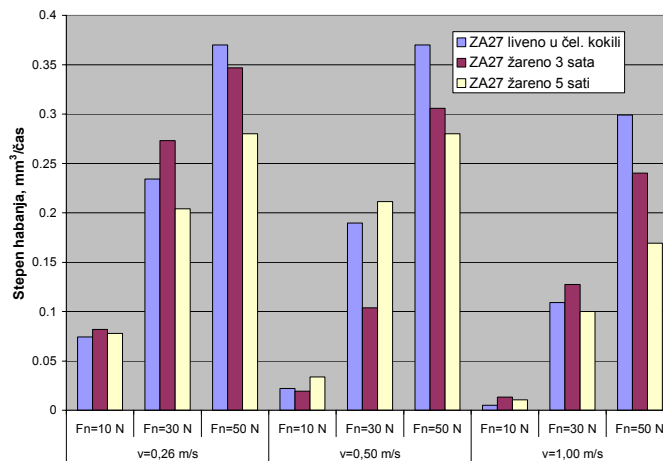
Da bi se došlo do jednog podatka na osnovu koga je moguće porediti frikciono ponašanje ispitivanih legura izračunate su srednje vrednosti koeficijenta trenja na osnovu svih srednjih vrednosti koje odgovaraju pojedinim kombinacijama parametara kontaktnih uslova. To u fizičkom smislu nije ispravno, jer, kako je opisano, variranje kontaktnih uslova uslovljava promenu režima podmazivanja, pa i izračunata jedinstvena srednja vrednost obuhvata frikciono ponašanje iz domena graničnog i domena mešovito podmazivanja. Ipak, na bazi ovakvog parametra moguće je napraviti jednostavnu rang listu, koja je dijagramski iskazana na slici 4. Na osnovu nje jasno je da respektujući najbolje frikционе karakteristike ima legura žarena 5 sati, a najgore legura livena u čeličnoj kokili.



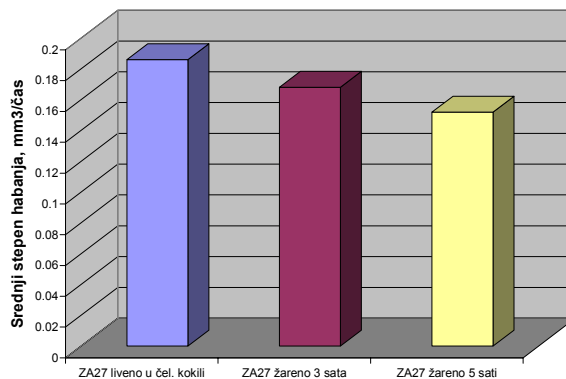
Slika 4: Srednji koeficijenti trenja

Srednje vrednosti zapreminskog stepena habanja na bazi tri ponavljanja testa prikazane su dijagramski na slici 5 u funkciji brzine klizanja i kontaktnog opterećenja. Rezultati pokazuju da se stepen habanja povećava sa rastom normalne sile kontaktnog opterećenja. Takođe, generalno je utvrđeno smanjenje stepena habanja sa povećanjem brzine klizanja. Intenzitet te promene veći je u oblasti manjih brzina klizanja i manjih normalnih opterećenja.

Za razliku u odnosu na koeficijent trenja razlike parametra habanja između ispitivanih legura nisu sasvim jednoznačne za sve kombinacije kontaktnih uslova. Na osnovu rezultata dobijenih za sve kontaktne uslove određene su srednje vrednosti širine traga habanja i stepena habanja. Tako se došlo do jedne vrednosti za izabrani parametar habanja koji odgovara ispitivanoj leguri (slika 6). Iako je ovo poređenje uslovnog karaktera, jer predstavlja osrednjavanje koje zanemaruje različite uslove u kojima su vršeni testovi, moguće je napraviti jasnu rang listu ispitivanih legura s aspekta habanja. Jasno je da najmanji stepen habanja, odnosno najveću otpornost na habanje, ima legura žarena 5 sati, a najgore presovana legura bez termičke obrade.



Slika 5: Stepen habanja ispitivanih legura u funkciji kontaktnih uslova



Slika 6: Srednji stepeni habanja

Izneti rezultati pokazuju veoma velike razlike u nivou parametara tribološkog ponašanja i s aspekta trenja i s aspekta habanja koje nastaju kao rezultat termičke obrade ZA-27 legure.

#### 4. ZAKLJUČAK

Rezultati istraživanja pokazuju da termička obrada ZA-27 legure koja se odvija rastvarajućim žarenjem na 370°C tokom određenog vremena i naknadnog kaljenja u vodi pokazuje izrazit uticaj na mikrostrukturne, mehaničke i tribološke karakteristike legure. Termički tretirani uzorci imaju nižu zateznu čvrstoću i tvrdoću, ali veće izduženje u odnosu na livene. Termički tretman se manifestuje značajnim poboljšanjem parametara tribološkog ponašanja i s aspekta trenja i s aspekta habanja. Stepen habanja i koeficijent trenja opadaju sa povećanjem trajanja procesa žarenja.

Generalno se može zaključiti da termička obrada predstavlja značajnu šansu za dalje unapređenje ZA legura kao materijala namenjenog za izradu triboelemenata koji obavljaju svoju funkciju u uslovima relativno nižih brzina klizanja i visokih kontaktnih opterećenja.

## LITERATURA

- [1] *Babić M., Ninković R., Rac, A.*, Zn-Al legura RAR 27 – iskustva iz istraživanja iz održavanja, Zbornik radova, YUMO 2002, Novi Sad, 22-24. maj, 267 -276
- [2] *Babić M., Ninković R., Rac, A.*, Tribološki aspekt primene Zn-Allegura za izradu mašinskih elemenata, Zbornik radova, IRMES 2002, Jahorina, 19-20 septembar, 307 – 312.
- [3] *Babic M., Ninkovic R.*, Zn-Al Alloys as Tribomaterials, Tribology in industry, Vol. 26, No 1 & 2, 2004., 3-7
- [4] *Babic M., Ninkovic R., Rac A.*, Sliding wear behavior of Zn-Al alloys in conditions of boundary lubrication
- [5] *Calayag T. S.*, The practicality of using the Zinc-Aluminum alloys for friction-type bearings, 25<sup>th</sup> Annual Conference of Metallurgists, 1986., 305-313
- [6] *Delneville, Ph.*, Tribological Behaviour of ZnAl Alloys (ZA27) Compared with Bronze when Used as a Bearing Material with High Load and at Very Low Speed, Wear, 105, 1985, 283-292
- [7] *Geng Haoran, Tian Xianfa, Cui Hongwei, Li Chengdong, Zhao Peng*, Atifriction and wear behaviour of ZAS35 zinc alloy: influence of heat treatment and melting technique, Materials Science and Engineering A316, 2001, 109 – 114
- [8] *Goodwin F., Ponikvar A.*, Engineering properties of zinc alloys, Third edition, ILZRO, 1989.
- [9] *Ninković R.*, Magistarska teza, Mašinski fakultet u Kragujevcu, 2000.
- [10] *Ninkovic R., Babic M., Rac A.*, Yugoslav Zn-Al Alloys as Bearing Material, Tribology in Industry, No 1 & 2, 2000., 14-18
- [11] *Prasad B.K.*, Influence of heat treatment parameters on the lubricated sliding wear behaviour of a zinc-based alloy, Wear, 257, 2004, 1137–1144
- [12] *Rac, A., Babić, M., Ninković R.*, Theory and Practice of Zn - Al Sliding Bearings, Proceedings Vol. II, 3rd International Conference of Tribology “BALKANTRIB’99”, Sinaia (Romania), June 1999, 127 – 133
- [13] *Rac, A., Babić, M. and Ninković, R.*, Theory and Practice of Zn-Al Sliding Bearings, Journal of the Balkan Tribological Association, 7, 3-4, 2001, 234-240
- [14] *Risdon, T.J., Barnhurst, R.J. and Mihaichuk, W.M.*, Comparative Wear Rate Evaluation of Zinc Aluminum (ZA) and Bronze Alloys through Block on Ring testing and Field Applications, SAE 860064
- [15] *Savaskan, T. and Murphy, S.*, Mechanical Properties and Lubricated Wear of Zn-25Al Based Alloys, Wear, 116, 1987, 211-224
- [16] *Savaskan T., Murphy S.*, Comparative wear behavior of Zn-Al based alloys in an automotive engine application, Wear, 98, 1984, 151-161
- [17] *Sharma S. C., Girish B.M., Kamath R., Satish B. M.*, Graphite particles reinforced ZA-27 alloy composite materials for journal bearing applications, Wear 219, 1998, 162 – 168