



## UTICAJ TEMPERATURE NA MEHANIČKE KARAKTERISTIKE ČESTIČNIH ZA27/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> KOMPOZITA

I. Bobić<sup>1)</sup>, M. Babić<sup>2)</sup>, S. Mitrović<sup>2)</sup>, A. Vencl<sup>3)</sup>, B. Bobić<sup>4)</sup>

<sup>1)</sup> INN "Vinca", Univerzitet u Beogradu, Beograd, Srbija, ilijab@vinca.rs

<sup>2)</sup> Mašinski fakultet u Kragujevcu, Kragujevac, Srbija, babic@kg.ac.rs, boban@kg.ac.rs

<sup>3)</sup> Mašinski fakultet u Beogradu, Beograd, Srbija, avencl@mas.bg.ac.rs

<sup>4)</sup> IHIS R&D Centar, Beograd, biljanabobic@gmail.com

**Izvod:** Mehaničke karakteristike ZA27 legure pogoršavaju se sa povećanjem temperature. Da bi se ublažio ovaj problem, pristupilo se izradi kompozita sa osnovom od navedene legure. U ovom radu ispitan je uticaj povišenih temperatura (od 70°C do 170°C) na mehaničke karakteristike (izražene vrednošću pritisne granice popuštanja) kompozita sa osnovom od ZA27 legure. Kompoziti su dobijeni kompokasting postupkom, uz infiltraciju različitih udela (3, 8 i 16 mas. %, respektivno) krupnih čestica Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (veličine 250 μm) u metalnu matricu. Ispitivanje mehaničkih karakteristika dobijenih kompozitnih materijala na povišenim temperaturama izvršeno je sa ciljem da se oceni mogućnost njihove primene u takvim radnim uslovima.

**Ključne reči:** ZA27 legura, čestični kompoziti, kompokasting, pritisna granica popuštanja

### 1. UVOD

ZA27 legura na sobnoj temperaturi poseduje dobru kombinaciju mehaničkih karakteristika (čvrstoća i tvrdoća) i tehnoloških osobina (livkost, mašinska obradivost), kao i visoku otpornost prema habanju i otpornost prema koroziji [1-4]. Legura je pogodna je za termičku obradu i plastičnu preradu, tako da je moguće naknadno uticati na mehaničke osobine dobijenih proizvoda. Legura ZA27 koristi se za izradu čaura i kliznih ležaja raznih veličina (za građevinske mašine, traktore, prese, strugove) i u tom pogledu uspešno zamenjuje skuplje materijale (mesing, bronze).

Poznato je da su za komercijalne ležajne legure pritisne osobine na sobnoj i povišenim temperaturama (oko 100°C) od velikog značaja [5]. ZA27 legura pripada grupi niskotopivih legura, pa se sa povišenjem temperature njene mehaničke osobine pogoršavaju već na temperaturi od oko 80°C [6]. Da bi se ublažio taj nedostatak, sredinom 80-tih godina prošlog veka otpočeli su eksperimenti na dobijanju kompozita sa osnovom od ZA27 legure, sa ciljem da se proširi polje njene primene u uslovima povećanih radnih temperatura (iznad 100°C) [6] pod dejstvom spoljnjih opterećenja.

Za dobijanje kompozita sa osnovom od aluminijumskih legura, kao i kompozita sa osnovom od ZA legura [7-9], može se primenjuje kompokasting postupak [10], koji se zasniva na infiltraciji čestica ojačivača u metalnu matricu, koja se nalazi u poluočvrstom stanju. Razvoj kompozitnih materijala sa osnovom od ZA27 legure, uz dodatak čestica ojačivača (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiC [7-9] i ZrO<sub>2</sub> [10]), pokazao je da se, u odnosu na matičnu leguru, povećavaju modul elastičnosti, tvrdoća, otpornost prema habanju, koeficijent linearnog termalnog širenja i gustina dobijenih kompozita, dok se vrednosti izduženja i zatezne čvrstoće smanjuju.

Rezultati triboloških ispitivanja kompozitnih materijala sa osnovom od ZA27 legure, u koju su infiltrirane krupne čestice Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (veličine 250 μm) [11,12], ukazuju na poboljšanje triboloških karakteristika kompozita u odnosu na tribološke osobine osnove (matrice).

S obzirom na nedostatak konkretnih rezultata istraživanja uticaja povišenih temperatura na mehaničke osobine kompozita sa osnovom od ZA27 legure, predmet ovoga rada je ispitivanje pritisnih karakteristika kompozita sa osnovom od ZA27 legure u koju su infiltrirane krupne Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> čestice. Ispitivanje mehaničkih karakteristika

kompozita, odnosno određivanje vrednosti pritisne granice popuštanja, izvršeno je na sobnoj i povišenim temperaturama (do 170°C), sa ciljem da se oceni mogućnost primene dobijenih kompozitnih materijala na povišenim temperaturama.

## 2. EKSPERIMENTALNI RAD

### 2.1 Kompokasting postupak

Osnovna, ZA27 legura napravljena je u Laboratoriji za materijale Instituta u Vinči. Prva faza kompokasting postupka (priprema rastopa, infiltracija čestica ojačivača i promešavanje do željenog rasporeda čestica u masi osnovne legure) izvršena je primenom aparature prikazane ranije [13].

Prva faza kompokasting postupka predstavlja mešanje poluočvrstog rastopa ZA27 legure u temperaturnom intervalu između likvidus i solidus temperature. Infiltracija krupnih  $Al_2O_3$  čestica (250  $\mu m$ ) u poluočvrsti rastop legure vršena je kontinuirano, uz mešanje. U metalnu osnovu (leguru) dodato je 3, 8 i 16 mas. %  $Al_2O_3$  čestica, respektivno. Tako su dobijeni odgovarajući kompozitni materijali. Keramičke čestice su unošene u zonu neposredno uz vratilo aktivnog dela mešača. Radna temperatura na kojoj je vršena infiltracija čestica, kao i vreme unošenja čestica, prilagođeni su masenom udelu  $Al_2O_3$  čestica, što je prikazano u Tabeli 1.

**Tabela 1.** Uticaj masenog udela čestica  $Al_2O_3$  na temperaturu i vreme infiltracije

ZA27/ $Al_2O_3$ kompoziti			
$\delta$ ( $\mu m$ )	250		
G (%)	3	8	16
$t_r$ (°C)	461	464	468
$\tau_{inf}$ (min)	3	4	5
$\tau_{uk}$ (min)	30		

Gde je:

$\delta$  ( $\mu m$ ) - prosečna veličina čestica  $Al_2O_3$ , G (%) - maseni udeo čestica  $Al_2O_3$ ,  $t_r$ -radna temperatura mešanja poluočvrstih rastopa kompozita (°C),  $\tau_{inf}$ -vreme infiltracije čestica ojačivača uz mešanje (min),  $\tau_{uk}$  - ukupno vreme mešanja poluočvrstih kompozitnih masa (min).

Po završetku procesa, poluočvrsti rastop kompozita izliven je u čeličnu kokilu predgrejanu na 300°C. Tako su dobijeni odlivci-kompoziti, cilindričnog oblika, prečnika 36 mm, visine oko 120 mm.

Toplo presovanje svih kompozitnih materijala vršeno je na temperaturi od 230°C, pri radnom pritisku od 250 MPa.

## 2.2. Strukturna i mehanicka ispitivanja

Pored optičke mikroskopije ("Zeiss") i skening-elektronske mikroskopije, primenjena je i SEM/EDS analiza ("Philips") u cilju praćenja raspodele hemijskih elemenata u pojedinim mikrokonstituentima legure, odnosno kompozita.

Uzorci legure i kompozita su mašinski isečeni iz dobijenih otpresaka, a zatim brušeni i polirani. Brušenje je izvedeno pomoću brusnog papira finoće 80, 360 i 600, a poliranje primenom polir tkanine "Buehler" uz dodatak polir paste sa  $Al_2O_3$  česticama veličine 1 do 5  $\mu m$ .

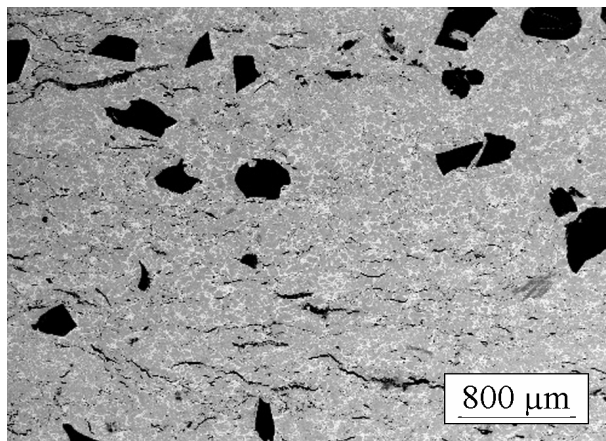
Pritisna ispitivanja osnovne legure u livenom stanju, kao i dobijenih kompozitnih materijala izvršena su na 20, 70, 120 i 170° C, respektivno. Ispitivanja su izvršena na uzorcima cilindričnog oblika, prečnika 4 mm i visine 6 mm. Za ispitivanja je korišćena kidalica ("Instron") sa toplom komorom, u kojoj je održavana radna temperatura sa tačnošću od  $\pm 1^\circ C$ . Uzorci su pre izlaganja pritiskivanju bili progrevani 20 minuta. Sva pritiskivanja izvršena su brzinom od 1 mm/min.

Merenje tvrdoće uzoraka osnovne legure i kompozita izvršeno je na sobnoj temperaturi pomoću uređaja "Karl Frank GMBH". Vrednosti tvrdoće izražene su u Vickersovim jedinicama (HV).

## 3 REZULTATI I DISKUSIJA

### 3.1 Strukturna ispitivanja

Na slici 1 prikazan je izgled površine poliranog uzorka kompozita sa osnovom od ZA27 legure u koju su infiltrirane  $Al_2O_3$  čestice (250  $\mu m$ ), u količini od 3 mas. %  $Al_2O_3$ .



**Slika 1.** Kompozit ZA27 + 3 mas. %  $Al_2O_3$  (250 $\mu m$ ), polirano, (SEM)

U strukturi kompozita vidljiva je povoljna raspodela čestica  $Al_2O_3$ . Nije primećena segregacija ovih čestica, niti njihovo međusobno

dodirivanje. Takođe, uočava se odsustvo tendencije  $\text{Al}_2\text{O}_3$  čestica ka stvaranju nakupina.

Opšte je poznato da se dobra distribucija čestica ojačivača u matrici javlja kao zahtev pri razvoju bilo kog postupka za dobijanje kompozita. Pored raspodele čestica ojačivača, na mehaničke osobine kompozita značajno utiče i veličina čestica. Pri povoljnoj distribuciji čestica, bolje mehaničke osobine postižu se sa smanjenjem veličine čestica ojačivača [14,15]. Najveći broj istraživanja strukturnih i mehaničkih osobina kompozita sa osnovom od ZA27 legure, uz dodataka tvrdih ( $\text{SiC}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{ZrO}_2$  [7,8, 16,17,]) i mekih čestica (grafit, coke dust [19,20]) rađen je sa česticama veličine od 5 do 150  $\mu\text{m}$ . Nema radova sa česticama većim od 200  $\mu\text{m}$ . U našem ranijem radu [9] vršena su poređenja strukturnih i mehaničkih osobina kompozita sa osnovom od ZA27 legure koja je ojačana sa 3 mas. %  $\text{Al}_2\text{O}_3$  čestica, veličine 12  $\mu\text{m}$  i 250  $\mu\text{m}$ , respektivno. Primećena je znatno veća tendencija ka stvaranju nakupina kod kompozita koji su ojačani manjim česticama. Sitnije čestice (12  $\mu\text{m}$ ) bile su raspoređene u obliku nakupina, koje odgovaraju nakupinama tipa B, kako ih je definisao Tszeng [20]. Krupnije čestice (250  $\mu\text{m}$ ) bile su ravnomerno raspoređene u osnovi [9].

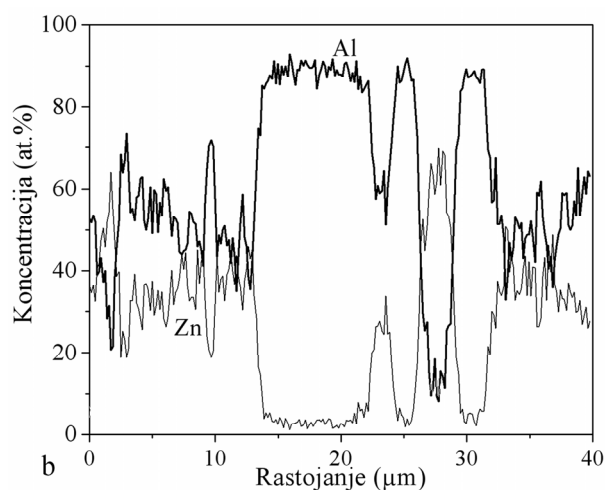
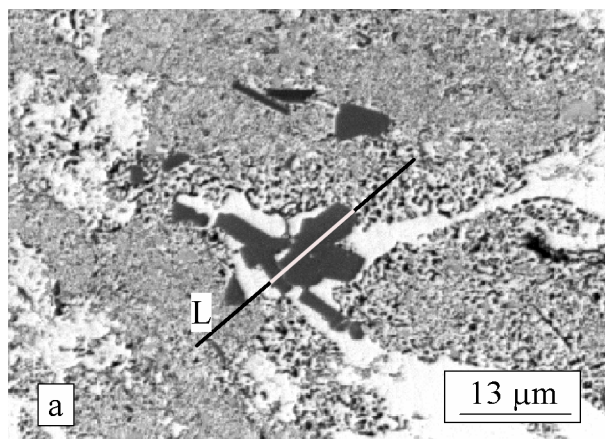
Na osnovu rezultata ranijeg rada [21], povećanjem masenog udela čestica  $\text{Al}_2\text{O}_3$  sa 3 mas.% na 8 i 16 mas. % nije se pogoršala raspodela čestica na mikro nivou. Došlo do smanjenja zapremine matrice bez čestica.

Pored rasporeda čestica ojačivača, na slici 1 (malo uvećanje) vide se i mikroprrsline u strukturi matrice i primećuju fragmenti čestica  $\text{Al}_2\text{O}_3$  znatno manji od 250  $\mu\text{m}$ . Pri većem uvećanju [21] jasnije se vidi granica čestica/matrica (osnova) i inicijalne prsline, koje polaze od čestica ojačivača ka matrici (A), kao i duž granice čestica/matrica (B). Pri ovom uvećanju ne uočava se poroznost na granici čestica/matrica. Sve zapažene mikroprrsline, koje napreduju kroz zonu matrice, nalaze se u oblasti  $\eta$  faze [21].

Uočena je i pojava čestica ojačivača manjih od 250  $\mu\text{m}$  (slika 1), koje su nastale, najverovatnije usled loma krupnijih čestica u nekoj od faza kompokasting postupka. Prema našim eksperimentalnim zapažanjima, lomljenje čestica je najviše zastupljeno kod kompozita koji sadrže 16 mas. %  $\text{Al}_2\text{O}_3$  čestica (u odnosu na kompozite sa 3 i 8 mas. % čestica). Lomljenje čestica ojačivača je nepoželjno, jer dovodi do stvaranja nakupina čestica. Ovo negativno utiče na mehaničke osobine kompozita. Naime, pod dejstvom spoljnih opterećenja takva nakupina ponaša se kao izvor inicijalnih prsline koje se dalje šire kroz matricu i mogu izazvati lom materijala pri opterećenjima koja su niža od predviđenih. Prsline u matrici i

polomljene čestice ojačivača u strukturi kompozita mogu biti izazvane prekomernom silom primenjenom za vreme toplog presovanja ili pojavom zaostalih napreznja (residual stress) u fazi hlađenja otpresaka posle presovanja.

Rezultati SEM/EDS analize, prikazani na slici 2 a i b.



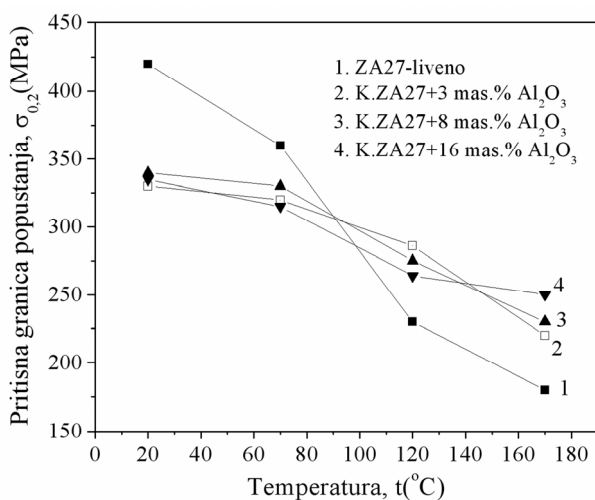
**Slika 2.** Kompozit ZA27 + 16 mas. %  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . (250  $\mu\text{m}$ ), SEM/EDS analiza. A-položaj linije L u mikrostrukturi, b- Promena hemijskog sastava duž linije L

Analiza slike 2 a i b omogućava uvid u stanje granične površine čestica/matrica (eventualna pojava neke hemijske reakcije između metalne osnove kompozita i čestica ojačivača), kao i raspodelu hemijskih elemenata po fazama (u matrici i kroz česticu  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ). Linija L, čiji je položaj u strukturi dat na slici 2a, polazi iz oblasti  $\alpha+\eta$  dvofazne smeše, ulazi u oblast  $\eta$  faze, prolazi kroz  $\text{Al}_2\text{O}_3$  česticu, zatim kroz kratku zonu  $\eta$  faze i završava u smeši  $\alpha+\eta$  faza. Po značajnom skoku koncentracije aluminijuma na prikazanom dijagramu jasno je da linija nailazi na česticu  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Nije primećeno prisustvo reakcionog sloja, koji bi ukazivao na hemijsku reakciju između čestica ojačivača i osnove. Ovo ukazuje na postojanje mehaničke veze između ojačivača i matrice.

Ovim je dokazano da su, u primenjenom radnom intervalu temperaturnom intervalu kompokasting postupka, čestice  $\text{Al}_2\text{O}_3$  hemijski i termodinamički stabilne, tj, da je moguće formirati samo mehaničku vezu ojačivač-matrica.

### 3.2 Mehanička ispitivanja

Uporedni rezultati pritisnih ispitivanja livenih uzoraka ZA27 legure, kao i uzoraka kompozita, prikazani su na dijagramu na sl. 7 Ispitivanja su izvršena na sobnoj i povišenim temperaturama, u temperaturnom intervalu od 20 do 170°C, sa korakom od 50°C. Kao pogodan pokazatelj promene pritisnih osobina sa temperaturom uzeta je vrednost pritisne granice popuštanja.



**Slika 3.** Promena pritisne granice popuštanja pri povećanju temperature livene ZA27 legure i kompozita sa njenom osnovom

Kao što se vidi sa pregledom dijagrama na sl. 3, osnovna, ZA27 legura (matrica) u livenom stanju, od sobne do temperature od 70°C, pokazuje veće vrednosti pritisne granice popuštanja, u odnosu na kompozitne materijale. Sa povećanjem temperature iznad 70°C dolazi do brzog pada vrednosti granice popuštanja livenih uzoraka, u odnosu na vrednosti granice popuštanja za kompozite. Počev od temperature od oko 90°C pa do kraja primenjenog radnog intervala (170°C), kompozitni materijali pokazuju bolje mehaničke osobine, nezavisno od veličine udela čestica ojačivača. Promene vrednosti pritisne granice popuštanja kompozita sa 3 i 8 mas. %  $\text{Al}_2\text{O}_3$  su vrlo slične. U odnosu na ove kompozite, vrednosti granice popuštanja kompozita sa 16 mas.%  $\text{Al}_2\text{O}_3$  su manje na nižim temperaturama, dok na temperaturama iznad 130°C postaju veće od vrednosti granice popuštanja kompozita sa nižim masenim udelima čestica ojačivača.

Vrednosti izmerenih tvrdoća na sobnoj temperaturi, za ZA27 leguru u livenom stanju, kao i vrednosti tvrdoće dobijenih kompozita prikazane su u Tabeli 2.

**Tabela 2.** Tvrdoća ZA27 legure i kompozita na sobnoj temperaturi

Materijal/Stanje	Tvrdoća (HV)
ZA27, liveno	115
ZA27 + 3 mas.% $\text{Al}_2\text{O}_3$	92
ZA27 + 8 mas.% $\text{Al}_2\text{O}_3$	117
ZA27 + 16 mas.% $\text{Al}_2\text{O}_3$	125

Mehaničke karakteristike kompozitnih materijala sa osnovom od legura cinka do sada nisu standardizovane, pa su rezultati mehaničkih ispitivanja sličnih materijala drugih autora bili osnovna orijentacija za ocenu rezultata naših istraživanja. Pored toga, korišćen je i standard [22].

Ako se ima u vidu Arsenolov (Arsenault) mehanizam [23] ojačanja kompozitnih materijala usled različitih koeficijenata linearnog širenja čestica ojačivača i matrice kompozita, za kompozite dobijene u ovom radu moglo bi se očekivati izvesno povećanje vrednosti pritisne granice popuštanja na sobnoj temperaturi. Naime, vrednost koeficijenta linearnog termalnog širenja ZA27 legure je  $26 \mu\text{m m}^{-1} \text{K}^{-1}$  [5], odnosno 3,7 puta veća u odnosu na vrednost tog koeficijenta za  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ( $7,6 \mu\text{m m}^{-1} \text{K}^{-1}$ ) [33]. Međutim, kod svih kompozitnih materijala koji su ispitivani u ovom radu (sa 3, 8 i 16 mas. % čestica  $\text{Al}_2\text{O}_3$  u metalnoj matrici), konstatovano je smanjenje vrednosti pritisne granice popuštanja na sobnoj temperaturi u odnosu na liveno stanje ZA27 legure.

Kada se imaju u vidu rezultati metalografskih ispitivanja, može se pretpostaviti da su mikroprrsline (nastale kao posledica postupka dobijanja kompozita) osnovni uzrok smanjenja pritisne čvrstoće kompozita, u odnosu na liveno. Opisana pojava primećena je kod različitih vrsta kompozita [24], a njeno dalje proučavanje je neophodno u cilju poboljšanja mehaničkih karakteristika kompozita sa krupnim česticama, u uslovima eksploatacije na temperaturama do 70°C.

Poređenjem rezultata merenja tvrdoće kompozita Tabela 2 vidi se da sa povećanjem masenog udela čestica ojačivača povećava tvrdoća. Dok su tvrdoće kompozita sa 3 i 8 mas.%  $\text{Al}_2\text{O}_3$  približne tvrdoćama uzoraka u livenom stanju, dotle je tvrdoća uzoraka sa 16 mas. %  $\text{Al}_2\text{O}_3$  veća. Ovo je u skladu sa rezultatima drugih autora [5].

Prema podacima Conrada [25], koji se odnose na čiste metale, pa se mogu uzeti kao orijentacioni u slučaju ZA27 legure (koju praktično čine cink i aluminijum), za vrednosti radnih temperatura  $T > 0,5 T_m$ , gde je  $T_m$  temperatura topljenja metala, pod dejstvom spoljnih opterećenja, osnovni

mehanizam kretanja dislokacija na povišenim temperaturama je uspinjanje (climb). Prema binarnom dijagramu stanja aluminijum-cink [3], temperatura početka topljenja ZA27 legure je 373°C ( $T_m = 646$  K). Za ZA27 leguru, kritična temperatura, na kojoj, pri opterećenju, dolazi do naglog pogoršanja mehaničkih osobina iznosi oko 100°C [6], odnosno 80°C [7]. Ako pretpostavimo da je uzorak od ZA27 legure opterećen pri radnoj temperaturi od 100°C ( $T_r = 373$  K), tada je  $T_r = 0,57 T_m$ . U slučaju Zn25Al3Cu legure, može se pretpostaviti da se na temperaturama preko 80°C, pod dejstvom opterećenja, odvija intenzivni transport atoma, što ima za posledicu brzo smanjenje vrednosti mehaničkih osobina kod uzoraka u livenom i tiksokasting stanju. Prema rezultatima prikazanim na sl. 7, vrednosti pritisne granice popuštanja za kompozite sporije opadaju iznad temperature od 80°C. Ovo je, najverovatnije, posledica prethodnog porasta gustine dislokacija i povećanja broja subzrna (prema Arsenolovom mehanizmu), odnosno otežanog kretanja dislokacija, čime se usporava smicanje atomskih ravni. Sa povećanjem masenog udela čestica ojačivača u kompozitu, umnožava se i gustina dislokacija, tako da su opisani efekti veći. U slučaju kompozita ZA27 + 16 mas.%  $Al_2O_3$ , ovi efekti su u punoj meri izraženi kada je temperatura viša od 130°C.

Zajednički uticaj parametara presovanja i zaostalih naprezanja, tokom hlađenja otpresaka dobijenih kompozitnih materijala, negativno se odrazio na mehaničke osobine uzoraka dobijenih kompokasting postupkom. Imajući ovo u vidu, potrebno je izvršiti modifikaciju ove faze kompokasting postupka u cilju dobijanja kompozita sa minimalnim brojem prslina

Upoređivanjem vrednosti pritisne granice popuštanja nekoliko komercijalnih legura za izradu kliznih ležaja [5] sa odgovarajućim vrednostima za kompozite koji su dobijeni u ovom radu, može se konstatovati da kompozitni materijali poseduju bolje mehaničke karakteristike. Pored toga, rezultati triboloških ispitivanja kompozita sa osnovom od ZA27 legure uz dodatak čestica  $Al_2O_3$  veličine 250  $\mu m$  [11,16], ukazuju na povećanu otpornost prema habanju kompozita u odnosu na liveno stanje ZA27 legure.

## 5. ZAKLJUČCI

1. Primenom opisanog kompokasting postupka dobijeni su kompoziti sa dobrom raspodelom krupnih čestica ojačivača ( $Al_2O_3$  čestice, veličine 250  $\mu m$ ), na makro i mikro nivou, u matrici ZA27 legure. Primenom toplog presovanja, smanjena je poroznost, ali je prisutna pojava prslina u matrici

kompozita, nezavisno od masenih udela čestica ojačivača.

3. Mehaničke osobine kompozitnih materijala, izražene vrednošću pritisne granice popuštanja, bolje su u odnosu na osobine osnovne ZA27 legure u livenom stanju, za temperature više od 80°C. Na nižim temperaturama, mehaničke osobine kompozita su lošije u odnosu na liveno i tiksokasting stanje matične legure.

4. Na osnovu izloženog, smatramo da je potrebno nastaviti istraživanja vezana za poboljšanje strukturnih i mehaničkih osobina kompozita sa osnovom od ZA27 legure u koju su infiltrirane krupne čestice ojačivača, u smeru dobijanja i primene jeftinih kompozitnih materijala sa dobrim mehaničkim osobinama na nižim temperaturama (ispod 80°C).

## LITERATURA

- [1] M Durman, Z. Metallkd. 89 (1998.),6, p.417-423,
- [2] J. Hallen-Lopez, J.I. Dickson, L. Handfield, R.J. Barnhurst, AFS Transactions 88-121, (1988), p.633-644
- [3] E. Gervais, R.J. Barnhurst, C. A. Loong, Journal of Metals, (1985), p. 43-47,
- [4] V. G. S. Mani, P. Sriram, N. Raman, S. Seshan, AFS Transactions, 88-100, (1988.), p.525-532,
- [5] A. G. Guy, Element of Physical Metallurgy, Addison-Wesley, inc, USA, July 1960, p. 360,
- [6] E. J. Kubel, Advanced materials & Processes inc. Metal Progress 7, (1987.) p. 51-57,
- [7] I. A. Cornie, R. Guerriero, L. Meregalli, I. Tangerini, Cast Reinforced Metal Composites, ASM International USA, (1988.) p. 155-165,
- [8] N. Karni, G.B. Barkay, M. Bamberger, J. Mater. Sci. Lett., 13, (1994.) p. 541-544,
- [9] I. Bobic, M. T. Jovanovic, N. Ilic, Materials Letters 57, (2003), p. 1683 – 1688,
- [10] R. Mehrabian, R. G. Riek, M. C. Flemings, Metall. Trans. vol. 5, (1974.)p. 1899-1905,
- [11] S. Mitrović, PhD, Thesis. Kragujevac 2007.
- [12] S. Mitrovic, M. Babic, I. Bobic, Tribology in Industry, vol. 29, No 3 & 4, (2007),p.35-41
- [13] I. Bobić, M. Babić, S. Mitrović, B. Bobić, M.T. Jovanović, Proceedings of the 3rd International Conference on Manufacturing Engineering (ICMEN), 1-3 October 2008, Chalkidiki, Greece, 363-373.
- [14] T. J. A. Doel, P. Brown, Composites Part A, 27 A (1996.), 655-665
- [15] R. M. Aikin, JOM, vol 49, (1997.), p. 35-39
- [16] S. C. Sharma, B. M. Girish, D.R. Someshekar, B.M. Satish, R. Kamath Wear 224, (1999.), p. 89-94
- [17] K. Seah, S. Sharma, P. R. Rao, B. Girish, Materials & Design, vol. 16, 5 (1995.), 277-281,
- [18] K. H. W. Seah, S. C. Sharma, B. M. Girish, Materials & Design, vol.16, 5 (1995.), 271-275,
- [19] A. Madronero, J. Cruz, C. Foruria, J. Coletto, JOM, vol. 49, (1997). 46-48,

- [20] T. C. Tszeng, Composites, Part B, 29 B, (1998), p. 299-308,
- [21] B. Bobić, M. Babić, S. Mitrović, N. Ilic, I. Bobić, M.T. Jovanović, Int. J. Mat. Res (formerly Z. Metallkd.) 101 (2010)12, p. 1524-1531
- [22] EN 12844 (1998), Zinc and zinc alloys. Castings. Specifications.
- [23] R. J. Arsenault, L. Wang, C. R. Feng, Acta Metall. Materialia, vol.39, No1, (1991) p. 47-57, [24]
- Fundamentals of Metal-Matrix Composites, Edited by S. Suresh, A.
- [24] Mortenson, A. Needleman, Ch.13, A. Neesleman, S. Nutt, S. Suresh, V. Tvergaard,.Butterworth-Heineman, (1993.)
- [25] H. Conrad, Journal of Metals 7,( 1964), p. 582-588,