

**KORELACIJA PARAMETARA KOMPOKASTING
PROCESA, STRUKTURE I SVOJSTAVA KOMPOZITA SA
OSNOVOM OD LEGURE ZnAl25Cu3**

**CORRELATION OF PARAMETERS OF COMPOCASTING
PROCESS, STRUCTURE AND PROPERTIES OF ZnAl25Cu3
BASED ALLOY COMPOSITE**

SANDRA KASTELEC-MACURA,^{*} ILIJA BOBIĆ,^{**} ZAGORKA
AĆIMOVIĆ-PAVLOVIĆ,^{***} KARLO RAIĆ^{***}

^{*}*Tehnikum Taurunum- Beograd,* ^{**}*Institut za nuklearne nauke –Vinča,*
^{***}*Tehnološko-metalurški fakultet – Beograd*

IZVOD

U radu su prezentirani rezultati istraživanja mogućnosti izrade kompozitnih materijala sa osnovom od legure ZnAl25Cu3 uz dodatak ojačivača ZrO₂ i grafita kompokasting postupkom. Legura ZnAl25Cu3 koristi se uglavnom kao legura za livenje. Osnovni nedostatak legure je pogoršanje mehaničkih svojstava na povišenim temperaturama, što ograničava njenu primenu do 100 °C. U cilju ublažavanja ovog nedostatka urađena je serija ispitivanja uslova dobijanja kompozita kompokasting metodom. Rezultati ispitivanja pokazali su da dobijeni kompozitni materijali poseduju otpornost na povišene temperature, visoku čvrstoću i modul elastičnosti, niske vrednosti koeficijent trenja u poređenju sa svojstvima livene legure ZnAl25Cu3.

Ključne reči: kompokasting proces, Zn legure, struktura, svojstva

ABSTRACT

This paper presents the results of investigation on possibility of produce composite based ZnAl25Cu3 alloy, containing ZrO₂ and graphite reinforcement particles. ZnAl25Cu3 based alloy is used mostly for casting. The basic disadvantage of the alloy is the deterioration of its mechanical properties at higher temperatures, which limits its use to temperatures up to 100 °C. In order to reduce this disadvantage, a series of experiments studying the conditions of obtaining a composite through compocasting has been done. The results of this study show that the obtained composites possess good high temperature resistance, higher ultimate tensile strength and hardness and better tribological behavior comparing with cast ZnAl25Cu3 based alloy.

Key words: compocasting process, Zn alloy, structure, properties

UVOD

Legure cinka sa povećanim sadržajem aluminijuma počele su da se razvijaju i šire primenjuju sedamdesetih godina prošlog veka. Relativno širok temperaturni interval očvršćavanja, koje imaju ove legure sa sadržajem aluminijuma preko 22%, pruža mogućnost poboljšanja njihovih svojstava optimizacijom načina očvršćavanja primenom

neko od savremenih postupaka modifikacije strukture (mehaničke i ultrazvučne vibracije, elektromagnetno i klasično mešanje). Ove legure prvenstveno se koriste kao legure za livenje, ali u novije vreme razvijaju se postupci termičke obrade i plastične prerade, a posebno za izradu limova otpornih na koroziju. Pored odlične livkosti i dobre otpornosti na koroziju, ove legure imaju i veoma povoljan odnos mehaničkih i fizičkih svojstava, pa se sve više koriste za zamenu klasičnih odlivaka od materijala kao što su neke legure aluminijuma, sivi liv i pojedine bronzne. U poslednje vreme legura ZnAl25Cu3 se nameće kao ozbiljna alternativa skupljim legurama za izradu kliznih ležajeva. Pogoršanje mehaničkih svojstava na povišenim temperaturama, koji je jedan od osnovnih nedostataka ovih legura, može se ublažiti korišćenjem kompozita sa osnovom od ovih legura uz dodatak čestica ojačivača u vidu praha ili kratkih vlakana, uglavnom od Al₂O₃, SiC, grafita. [1-3]

Za dobijanje ovakvih kompozitnih materijala uspešno se može primeniti kompokasting postupak. Ovaj postupak karakteriše infiltracija čestica ojačivača, primenom mešanja, u poluočvrsti rastop osnovne legure. S obzirom na veliku razliku (oko 100 °C) između solidus i likvidus temperature, tokom očvršćavanja viši se mešanje uz istovremeno dodavanje čestica ojačivača. Po prestanku dejstva smicajnih napona (sa prestankom mešanja), viskozitet rastopa trenutno opada i čestice ojačivača ostaju zarobljene u osnovnoj masi legure. Kompokasting postupak smatra se jednim od perspektivnih iz niza postupaka za dobijanje kompozita u oblasti ingot-metalurgije. Ovaj postupak je tehnički izvodljiv bez velikih investicija pa zadovoljava i ekonomske kriterijume. Uslovi za njegov dalji razvoj i širu primenu u praksi su nova saznanja iz oblasti hidrodinamike poluočvrstih rastopa i teorije mešanja, kao i savremeni načini kontrole i upravljanja procesima. [4-7]

EKSPERIMENTALNI DEO

Eksperimentalna istraživanja su izvedena u dve faze. U okviru prvog dela eksperimenta izvedeno je livenje kompozitnih materijala sa osnovom od ZnAl25Cu3 legure uz dodatak čestica ZrO₂ u jednoj seriji, i čestica grafita u drugoj seriji, kao ojačivača. Grafitni prah korišćen kao ojačivač u eksperimentu bio je krupnoće 35µm, proizvođača "Johnson Matthey GmbH ALFA". Cirkonski prah bio je u dve različite frakcije, krupnoće 10 i 100µm proizvođača "AstroVest" namenjen izradi kalupa za legure titana.

Livenje dobijenih kompozita izvršeno je u poluočvrstom stanju, kompokasting postupkom, u predhodno pregrejane metalne kokile, uz primenu pritiska. Uzorci su naknadno dopresovani. Čestice ojačivača različitih veličina dodavane su u različitim masenim udelima. Praćena je raspodela čestica ojačivača i njihov uticaj na mehanička svojstva polaznog materijala. Cilj tiksotropске obrade bio je da se izvrši transformacija osnovne polazne ZnAl25Cu3 legure. U tabeli 1. prikazan je hemijski sastav ispitivane legure, a u tabeli 2. prikazano je vreme infiltracije i vreme aktivnog mešanja u zavisnosti od količine i vrste čestica ojačivača.

Tabela 1. Hemijski sastav ispitivane legure

Table. 1. Chemical composition of the investigation alloy

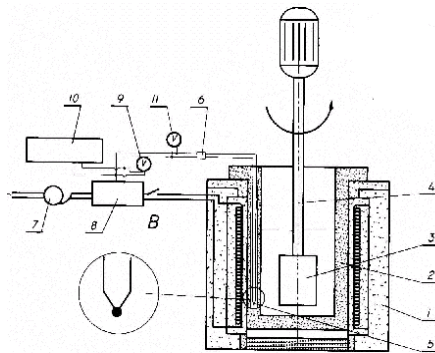
| Element | Aluminijum | Bakar | Magnezijum | Cink |
|-----------------|------------|-------|------------|---------|
| maseni udeo (%) | 22-30 | 1.5-4 | 0.008-0.03 | ostatak |

Tabela 2. Zavisnost vremena infiltracije i vremena aktivnog mešanja od količine i vrste čestica

Table 2. Dependence of infiltrate time and active mixing time on content and type of particles

| Vrsta čestica | ZrO ₂ | | Grafit |
|-----------------------------|------------------|---|--------|
| Veličina čestica (μm) | 10 | | 35 |
| Maseni udeo (%) | 1 | 3 | 3 |
| Vreme infiltracije (min) | 3 | 5 | 5 |
| Aktivno vreme mešanja (min) | 10 | | 50 |

Na sl. 1. šematski je prikazana aparatura za kompokasting proces i alat za presovanje uzoraka kompozita.



a.- Aparatura 1. Eektrotoporna peč, 2. Tigl
3. Mešač 5. Termopar 6.do11. Instrumenti
za merenje i regulaciju temperature



b. - Deo alata za presovanje
kompozita

Sl. 1. Šematski prikaz aparature za kompokasting (a) i alat za presovanje (b)

Fig. 1. Scheme of equipment for compocasting process (a) and tool for pressure (b)

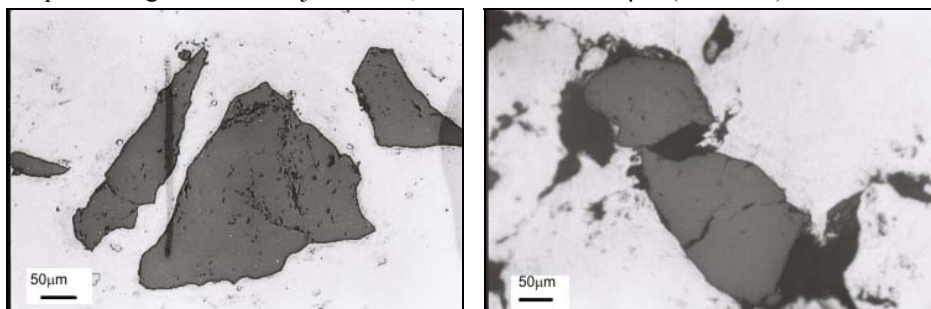
U prvoj fazi eksperimenta vršeno je preliminarno mešanje čestica ZrO₂ veličine 10μm u količini od 3%, da bi se odredilo najoptimalnije vreme mešanja. Aktivno vreme mešanja (računa se od momenta završetka infiltracije čestica) iznosilo je 10, 15 i 45 min. Posle isteka svakog vremena uzimane su male probe. Makroskopskim posmatranjem utvrđeno je da je posle 10 minuta mešanja ostvaren zadovoljavajući raspored čestica ojačivača u metalnoj osnovi, i da produženje vremena mešanja nije dovelo do poboljšanja njihove raspodele u osnovi. Iz tog razloga je aktivno vreme mešanja čestica ZrO₂, u sva tri slučaja, iznosilo 10 minuta. Postupak umešavanja grafitnih čestica izvodi se na nešto drugačiji način. Grafitne čestice imaju manju masu od cirkonskih i njihovo umešavanje u osnovu proisteklo je kao slučajnost. To govori da su postignuti rezultati početni i da su potrebna naknadna ispitivanja postupka unošenja grafita kako bi se ostvarili zadovoljavajuća svojstva kompozita.

Pri mešanju rastopa korišćen je mešač oblika ploče, za koji je korišćenjem u nizu eksperimenata utvrđeno da ostvaruje povoljnu raspodelu čestica ojačivača i izaziva značajne efekte mešanja. Temperatura na kojoj je vršeno mešanje iznosila je 468±3⁰C, sa učešćem čvrste faze od približno 30%. Jedan deo procesnih parametara neposredno je

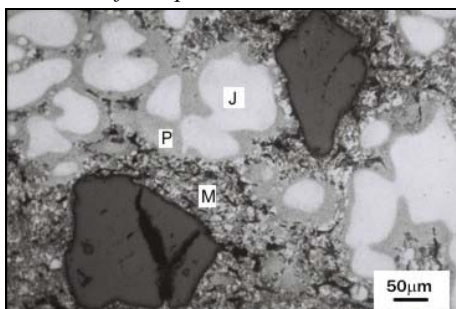
meren, dok je drugi deo proračunavan primenom električne metode. U procesnom pogledu, planirana je infiltracija čestica ojačivača uz mešanje, u izotermnom režimu, u cilju postizanja što bolje distribucije čestica. U okviru druge faze eksperimenta toplo presovanje dobijenih uzoraka vršeno je sa ciljem da se smanji eventualna prisutna poroznost odlivaka uz zadržavanje morfologije koja je dobijena po izlivanju. Svi dobijeni uzorci su ispitivani u livenom stanju.

REZULTATI I DISKUSIJA

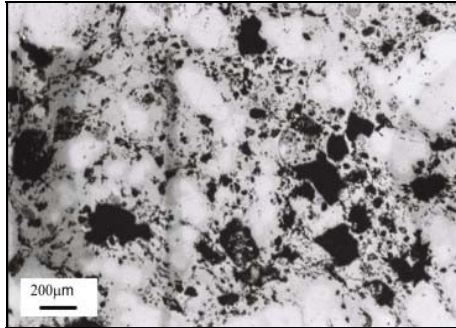
Na sl. 2-3 prikazane su mikrostrukture dobijenih kompozita sa osnovom od legure ZnAl25Cu3 i dodatkom 3% ZrO₂ veličine 100 μm (uzorak I₂). Sl. 2a. prikazuje stanje pre presovanja, a sl. 2b. stanje posle presovanja, uvećanje 200 puta. U mikrostrukтури kompozita u nagriženom stanju (sl. 3) uočavaju se primarne čestice osnove koja se sastoji od jezgra dendrita (J), bogatog aluminijumom, α-faza i periferije (P), koju predstavlja mešavina α + η faza. Između primarnih čestica statistički su raspoređene čestice ojačivača u međudenritnoj fazi (M) koju predstavlja mešavina η kristala bogata na cinku i otkinutih denritnih grana. Vidi se da su primarne čestice osnove znatno izmenjene, eliptičnog su oblika, čime je ostvarena transformacija primarne dendritne strukture. Usled kraćeg vremena mešanja nije odšlo do većeg rasta primarnih čestica. Moguće objašnjenje ove pojave leži u sekundarnoj kristalizaciji na česticama ojačivača. Pri ulasku u poluočvrstu metalnu osnovu, na česticama ojačivača stvara se tanak sloj metala koji se ne topi pri nailasku na tečne faze, već predstavlja granicu zrna i dovodi do rafinacije. Postoji i drugo objašnjenje ove pojave, a to je da otkinute dendritne grane otežavaju rast zrna krećući se kroz rastop. Na sl. 4. prikazana je mikrostruktura kompozita sa grafitom kao ojačivačem, veličina čestica 35 μm (uzorak II).



Sl. 2. Mikrostruktura kompozita ZnAl25Cu3+3%ZrO₂ (uzorak I₂)
Fig.2. Microstructure of composite ZnAl25Cu3+3%ZrO₂ (sample I₂)



Sl. 3. Mikrostruktura kompozita ZnAl25Cu3+3%ZrO₂ (uzorak I₂)
Fig.3. Microstructure of composite ZnAl25Cu3+3%ZrO₂ (sample I₂)



Sl.4. Mikrostruktura kompozita ZnAl25Cu3 +1% grafita (uzorak II)
Fig. 4. Mictrostructure of compsite ZnAl25Cu3 +1% graphite (sample II)

Rezultati ispitivanja mehaničkih svojstava dobijenih kompozita prikazani su u tabelama 3. i 4., a pokazuju da je i pored blagog rasipanja rezultata, pogotovu tvrdoće, dobijen kvalitetan kompozitni materijal. Svi rezultati poređeni su sa mehaničkim svojstvima livene legure ZnAl25Cu3 (uzorci III).

Tabela 3. Resultati ispitivanja tvrdoće

Table 3. Results of hardness measurements

| Stanje materijala | Seriya | Udeo čestica ojačivača (%) | Vrsta čestica ojačivača | Veličina čestica (μm) | Tvrdoća (HV) |
|-------------------|-----------------|----------------------------|-------------------------|-----------------------|--------------|
| Liveno | III | 0 | - | - | 115 |
| Bez presovanja | I ₁₁ | 1 | ZrO ₂ | 10 | 135 |
| | I ₁₂ | 3 | ZrO ₂ | 10 | 127 |
| | I ₂ | 3 | ZrO ₂ | 100 | 144 |
| | II | 1 | grafit | 35 | 56.5 |
| Posle presovanja | I ₁₁ | 1 | ZrO ₂ | 10 | 125 |
| | I ₁₂ | 3 | ZrO ₂ | 10 | 133 |
| | I ₂ | 3 | ZrO ₂ | 100 | 175 |
| | II | 1 | grafit | 35 | 59 |

Tabela 4. Resultati pritiskih ispitivanja

Table 4. Results of pressure investigation

| Stanje materijala | Udeo čestica ojačivača (%) | Vrsta čestica ojačivača | Veličina čestica ojačivača (μm) | Pritisna čvrstoća Rp _{0,2} (MPa) |
|-------------------|----------------------------|-------------------------|---------------------------------|---|
| Liveno | 0 | - | - | 420 |
| Presovano | 1 | ZrO ₂ | 10 | 444 |
| | 3 | ZrO ₂ | 10 | 444 |
| | 3 | ZrO ₂ | 100 | 592 |
| | 1 | grafit | 35 | 399 |

Prema vrednostima iz tabele 3. ne može se uočiti pravilnost u rasporedu tvrdoće uzoraka kompozita pri povećanju masenih udela i krupnoće pojedinih frakcija čestica ZrO_2 , kao ojačivača. Jedino što je evidentno je pad tvrdoće u slučaju grafitnih čestica kao ojačivača, što se može i očekivati jer je grafit, sam po sebi, prilično mek materijal. Međutim, poboljšanje nekih drugih svojstava, pre svega triboloških, u potpunosti opravdava i dozvoljava ovakav pad tvrdoće. Obzirom na značaj ovih svojstava kompozitnih materijala za praktične primene, ovaj fenomen je neophodno naknadno istraživati.

Što se tiče pada granice tečenja kod kompozita sa česticama grafita, (tabela 4) bilo je i za očekivati da dođe do pada u odnosu na osnovni materijal. Već se na osnovu rezultata tvrdoće mogao pretpostaviti i pad granice tečenja. Osnovni razlog su krte i meke grafitne čestice koje olakšavaju deformaciju po ravnima klizanja. Ipak, taj pad nije tako drastičan, svega 5%, tako da se može prihvatiti kao zadovoljavajuća vrednost granice tečenja. S obzirom da se grafitni kompozit pokazao kao odličan materijal za ležajeve, u slučajevima gde se ne zahteva visoka vrednost granice tečenja, ovaj materijal se može primeniti sa velikom sigurnošću. Iz tabele se vidi da je u slučaju čestica ZrO_2 kao ojačivača došlo do povećanja granice tečenja u odnosu na osnovni materijal. Ovo povećanje granice tečenja može se objasniti uticajem brojnih faktora. Neki od njih su: raspored čestica u osnovi, mehanička svojstva i osnove i dodatih čestica, veza između osnove i čestica ojačivača i drugo. Prema navedenim literaturnim podacima jedan od mehanizama za objašnjenje porasta granice tečenja kod kompozita ojačanim keramičkim česticama, odnosi se na prenos napona kroz meku osnovu i nailazak na tvrde i krte ZrO_2 čestice. Jedan od razloga je i različiti koeficijent termalnog širenja krtih čestica ZrO_2 i meke osnove koji dovodi do pojave napona i ojačavanja materijala čime se otežava njihovo plastično tečenje. Takođe, iz rezultata se vidi da je i veličina čestica uticajan faktor na $R_{p0.2}$. Sa porastom veličine čestica raste i granica tečenja. Najčešće objašnjenje porasta granice tečenja kompozita u odnosu na osnovni materijal je to da tvrde i krte čestice sprečavaju kretanje dislokacija kroz meku osnovu, dovode do deformacionog ojačavanja i otežavaju plastično tečenje materijala što prouzrokuje porast $R_{p0.2}$. Ovo sve ukazuje da, obzirom na povećanje granice tečenja, treba proširiti oblast primene ovih kompozitnih materijala.

ZAKLJUČAK

Rezultati ispitivanja strukture i svojstava dobijenih kompozita sa osnovom od legure $ZnAl_{25}Cu_3$ uz dodatak čestica ojačivača kao što su ZrO_2 i grafit, pokazali su, da su parametri primenjenog kompokasting procesa dobro izabrani, a to se, pre svega odnosi na radnu temperaturu, vreme i brzinu mešanja, oblik mešača, vrstu i količinu čestica ojačivača. Ovo su početni rezultati, a dalja istraživanja treba usmeriti na postizanje kontrolisanog izvođenja kompokasting procesa, uz strogu kontrolu procesnih parametara uvođenjem automatskog regulisanja i upravljanja procesom. Usavršavanju kompokasting procesa doprinela bi mogućnost izvođenja procesa u zaštitnoj, neutralnoj atmosferi, čime bi se eliminisao konstantni dodir poluočvrstlog rastopa sa vazduhom u fazi mešanja. Usavršavanje procesa doprinelo bi ostvarivanju kontrole strukture i svojstava kompozita, zapravo imajući u vidu trijadu: tehnologija-struktura-svojstva, ostvarilo bi se dobijanje materijala unapred zadatih svojstava sa širokim dijapazonom upotrebe.

LITERATURA

- [1] I. Bobić, Z. Mišković, Z. Aćimović, D. Krstić: "Uticaj predgrevanja kalupa i termičke obrade na mikrostrukturu i zatezne osobine odlivaka legura ZnAl25Cu3", Metalurgija 3, vol.3 (1997), 193-200.
- [2] S. Kastelec-Macura: "Uticaj parametara mešanja na kvalitet kompozita sa osnovom od legure ZnAl25Cu3 dobijenih kompokasting postupkom", TMF Beograd, magistarski rad (2007).
- [3] K. H. W. Seah, S. C. Sharma: Mechanical properties of cast ZA-27 / graphite particulate composites, Materials and Design, vol. 16, No 5, (1995)
- [4] I. Bobić: "Razvoj postupka prerade u poluočvrslom stanju (Rheo i Compocasting procesa) i uticaj načina upravljanja procesima na kvalitet proizvoda na bazi legura Zn25Cu3", Doktorska disertacija, TMF Beograd (2002).
- [5] S. C. Sharma, M. B. Girish: Mechanical properties and fractography of zinc – particle-reinforced ZA-27 alloy composite materials, Composite Sciences and Technology 59 (1999), 1805-1812.
- [6] I. Bobić, M. Jovanović, N. Ilić: "Uticaj termičke obrade i reokasting postupka na strukturu i zatezne osobine ZA27 legura", Metalurgija 2, vol. 5 (1999).
- [7] Y. H. Zhu: Journal of material research, 8, 3034, (1993).
- [8] S. Tomović, M. Tomović, Z. Aćimović, Z. Gulišija: "Principi procesa prečišćavanja tečnog metala filtriranjem", Metalurgija, No 2, vol. 1, (1995), s. 211-219.
- [9] I. Bobić, Z. Mišković, M. Jovanović, B. Lukić, S. Marković, Z. Aćimović, D. Krstić: "Uticaj predgrevanja kalupa i termičke obrade na mikrostrukturu i zatezne osobine odlivaka legura ZnAl25Cu3", Metalurgija, br. 3, vol. 3, (1997), s. 193-200.