

**NASTAVNO-NAUČNOM VEĆU
TEHNOLOŠKO-METALURŠKOG FAKULTETA
UNIVERZITETA U BEOGRADU**

Predmet: Referat o urađenoj doktorskoj disertaciji kandidata mr Milene M. Ćosić, dipl.ing. metalurgije, pod naslovom "**Korelacija parametara *Rheocasting* procesa – strukture i svojstava nadeutektskih aluminijum-silicijum legura**"

Odlukom Nastavno-naučnog veća Tehnološko-metalurškog fakulteta u Beogradu br. 35/287 od 01.10.2013. godine, imenovani smo za članove Komisije za ocenu i odbranu doktorske disertacije koju je podnela mr Milena M. Ćosić, sa temom "**Korelacija parametara *Rheocasting* procesa –strukture i svojstava nadeutektskih aluminijum-silicijum legura**".

Posle pregleda dostavljene Disertacije i dugih pratećih materijala i razgovora sa Kandidatom, Komisija je sačinila sledeći

REFERAT

1. UVOD

1.1. Hronologija odobravanja i izrade disertacije

-01.12.2004. –Milena M. Ćosić odbranila magistarsku tezu na Tehnološko-metalurškom fakultetu u Beogradu pod naslovom "Proučavanje procesa dobijanja podeutektskih aluminijum-silicijum legura iz sekundarnih sirovina".

-12.01.2005. –Kandidat mr Milena M. Ćosić je prijavila izradu doktorske disertacije pod naslovom "Korelacija parametara *Rheocasting* procesa –strukture i svojstava nadeutektskih aluminijum-silicijum legura "

-26.01.2005. -Na sednici Nastavno-naučnog veća Tehnološko-metalurškog fakulteta Univerziteta u Beogradu doneta je odluka o imenovanju Komisije za ocenu naučne zasnovanosti teme doktorske disertacije mr Milene M. Ćosić pod naslovom "Korelacija parametara *Rheocasting* procesa –strukture i svojstava nadeutektskih aluminijum-silicijum legura " (broj odluke 35/5 od 26.01.2005. godine)

- 24.10.2005. -Na sednici Nastavno-naučnog veća Tehnološko-metalurškog fakulteta Univerziteta u Beogradu usvojen je izveštaj Komisije za ocenu naučne zasnovanosti teme doktorske disertacije i odobrenju izrade doktorske disertacije kandidata mr Milene M. Ćosić pod naslovom:"Korelacija parametara *Rheocasting* procesa –strukture i svojstava nadeutektskih aluminijum-silicijum legura" (broj odluke 35/210 od 24.10.2005. godine). Za mentora je određena dr Zagorka Aćimović-Pavlović, vanredni profesor TMF-a.

- 09.02.2006. -Na sednici Stručnog veća za hemijsku tehnologiju, hemijsko inženjerstvo, biohemijsko inženjerstvo i metalurgiju Univerziteta u Beogradu data je saglasnost na predlog teme doktorske disertacije kandidata mr Milene M. Ćosić pod naslovom "Korelacija parametara *Rheocasting* procesa –strukture i svojstava nadeutektskih aluminijum-silicijum legura" (odluka 05 Broj: 139/25 od 09.02.2006. godine)

-01.10.2013. -Na sednici Nastavno-naučnog veća Tehnološko-metalurškog fakulteta Univerziteta u Beogradu doneta je odluka o imenovanju Komisije za ocenu i odbranu doktorske disertacije kandidata mr Milene M.Ćosić pod naslovom "Korelacija parametara *Rheocasting* procesa –strukture i svojstava nadeutektskih aluminijum-silicijum legura" (broj odluke 35/287 od 01.10.2013.godine)

1.2. Naučna oblast disertacije

Istraživanja u okviru ove disertacije pripadaju oblasti metalurgije za koju je matičan Tehnološko-metalurški fakultet Univerziteta u Beogradu. Mentor, dr Zagorka Aćimović-Pavlović, red.prof. TMF-a je do sada objavila više od 30 radova iz ove oblasti, bila mentor četiri doktorske disertacije i devet magistarskih radova, bila član komisija pet odbranih doktorskih disertacija i pet odbranih magistarskih teza. Na osnovu dosadašnjih rezultata, smatramo da je mentor bio kompetentan da rukovodi izradom ove doktorske disertacije.

1.3. Biografski podaci o kandidatu

Mr Milena M. Ćosić, dipl.ing. metalurgije je rođena 18.07.1968. godine u Užicu, gde je završila osnovnu školu i gimnaziju. Diplomirala je 1997. na Tehnološko-metalurškom fakultetu Univerziteta u Beogradu. Na istom fakultetu magistrirala je 2004. godine čime je stekla zvanje magistra tehničkih nauka. Tema magistarskog rada bila je: "Proučavanje procesa dobijanja podeutektskih aluminijum-silicijum legura iz sekundarnih sirovina". Kao student PDS TMF Beograd bila je angažovana na projektu "Istraživanje i razvoj metalurških postupaka prerade metala i legura", Tehnološki razvoj, Ev. br. 0025, MNT RS, (2001-2004), u okviru zadatka br.1.: Sekundarne sirovine aluminijumskih legura-priprema i prerada. Od 2005. godine radi na Visokoj tehničkoj školi strukovnih studija Tehnikum-Taurunum Beograd u Zemunu kao predavač na predmetima Mašinski materijali i Tehnički materijali. Godine 2006. stekla je istraživačko zvanje: Istraživač-saradnik odlukom Naučnog veću Instituta za tehnologiju nuklearnih i drugih mineralnih sirovina, Beograd, odluka br. 13/6-4. U toku dosadašnjeg rada, u svojstvu autora i koautora objavila je 3 rada u međunarodnim časopisima, 6 radova u nacionalnim časopisima, 10 naučnih saopštenja u zbornicima međunarodnih skupova.

2. OPIS DISERTACIJE

2.1. Sadržaj disertacije

Doktorska disertacija mr Milene M. Ćosić, dipl. ing. je napisana na srpskom jeziku i podeljena je na sledeća poglavlja: Uvod, Teorijski deo, Eksperimentalni deo, Rezultati i diskusija i Zaključci. Na početku disertacije dat je rezime na srpskom i engleskom jeziku, Sadržaj, dok su Literatura i Biografija autora dati na kraju disertacije.

2.2. Kratak prikaz pojedinačnih poglavlja

U Uvodu je u kratkim crtama opisana problematika grupe nadeutektskih klipnih legura (AlSi18CuMgNi), njihova struktura, svojstva i primena. S obzirom da je za ove legure karakterističan širok temperaturni interval očvršćavanja (oko 100°C), što ih čini osetljivim na pojavu mikroporoznosti pri kristalizaciji, istaknut je značaj novih procesa za

poboljšanje kvaliteta ovih legura, a pre svega procesiranje u poluočvrslom stanju (*Rheocasting* postupak) i dobijanje kompozita sa osnovom od ovih legura uz dodatak ojačivača čestica SiC pri čemu je osnova u poluočvrslom stanju (*Compocasting* proces). Predočena je potreba da se ispita uticaj kavitacionih procesa na strukturu i svojstva odlivaka ovih legura a pre svega dobijenih kompozita. Takođe definisan je i naučni cilj istraživanja.

U teorijskom delu disertacije izvršen je literaturni pregled predmetne oblasti, izložen kroz tri osnovna poglavlja: Struktura, svojstva i primena aluminijuma-silicijum legura; Dostignuća i tendencije u oblasti ispitivanja i projektovanja novih metoda livenja u poluočvrslom stanju legure; Razvoj kompocasting procesa za dobijanje kompozita sa osnovom od AlSi18CuMgNi legure ojačane česticama silicijum-karbida.

U prvom poglavlju opisana je podela aluminijum-silicijum livačkih legura, navedene su tehnologije njihovog dobijanja, primene različitih savremenih sredstava i metoda za obradu liva-rafinacija, degazacija, modifikacija, kao i metoda livenja kojima se dobijaju odlivci sa unapred zadatim svojstvima. S obzirom na povoljnu kombinaciju fizičkih, mehaničkih i tehnoloških svojstava, područje primene aluminijumskih legura ovog tipa je veoma široko, što je takođe prikazano u ovom poglavlju. Posebna pažnja posvećena je problemima kvaliteta klipnih legura, a pre svega legure AlSi18CuMgNi, kroz izučavanje fenomena kristalizacije i formiranja odlivaka. Strukture nemodificiranih nadeutektičkih legura su krupnozrne, a sastoje se od igličastog eutektikuma i nepravilno raspoređenih čestica silicijuma, oblika igličastog do sfernog, što je uzrok pogoršanja mehaničkih svojstava legura. Ovi problemi se u livačkoj praksi ublažavaju modifikiranjem natrijumom, fosforom i antimonom. U drugom poglavlju prikazana su dostignuća i tendencije u oblasti istraživanja i projektovanja novih metoda livenja u poluočvrslom stanju legure- reokasting i tiksokasting postupak, kao mogućnost da se primenom ovih postupaka kod nadeutektičkih silumina (mešanje u poluočvrslom stanju legure, uz naknadno presovanje) postigne sitnozrna struktura, eliminiše poroznost i poboljšaju mehanička i tribološka svojstva legure. Detaljno su opisani relevantni procesni parametri: radna temperatura; vreme trajanja reokasting procesa; oblik mešača i brzina smicanja; udeo čvrste faze; morfologija primarnih faza; veličina čestica i njihova raspodela i uticaj ovih parametara na strukturu i svojstva dobijenih odlivaka. Posebna pažnja posvećena je izučavanju tiksotropskih karakteristika poluočvrstih rastopa, kao preduslov za dobijanje kompozita sa osnovom od AlSi18CuMgNi legure ojačane česticama silicijum-karbida. U trećem poglavlju prikazan je pregled svojstava kompozita sa metalnom osnovom, pri čemu je posebna pažnja posvećena kompozitima koji su diskontinualno ojačani. Dat je pregled razvoja kompozita sa osnovom od legura aluminijuma u svetu, kao i aktuelno stanje istraživanja domaćih kompozita sa osnovom od ove legure. Prikazani su postupci za dobijanje diskontinualno ojačanih kompozita preradom u poluočvrslom stanju, odnosno kompocasting proces. Opisana je struktura i mehanička svojstva čestičnih kompozita sa osnovom od legura aluminijuma. U literaturi nema preciznih podataka o sastavima kompozita sa osnovom od nadeutektičkih silumina i njihovoj proizvodnji kompocasting postupkom. S obzirom da je ova oblast proizvodnje kompozita još u razvoju, koncipirani su osnovni sastavi i postupci dobijanja kompozita a istraživanjima u okviru disertacije vršena je optimizacija procesa u cilju dobijanja zadovoljavajuće strukture i svojstava kompozita i njihove primene u proizvodnji delova za automobilsku industriju, a pre svega proizvodnju klipova. U istom poglavlju detaljno

je opisana metoda ispitivanja otpornosti materijala na dejstvo kavitacije kao osnova za ocenu i predviđanje ponašanja materijala u eksploatacionim uslovima tokom dejstva kavitacije.

Eksperimentalni deo disertacije obuhvata četiri odeljka. U prvom odeljku opisano je dobijanje odlivaka nadeutektičke klipne legure (AlSi18CuMgNi), konvencionalnim postupkom, tj. gravitacionim polukokilnim livenjem. Dobijeni odlivci imaju dendritnu strukturu. U cilju dobijanja odlivaka sa nedendritnom strukturom izvršena je obrada poluočvrstle AlSi18CuMgNi legure, reokasting postupak, opisan u drugom odeljku. Prvu fazu reokasting postupka predstavlja izlaganje poluočvrstlog rastopa AlSi18CuMgNi legure silama smicanja u cilju izvođenja trajne transformacije dendritne u nedendritnu strukturu, što je ostvareno mehaničkim mešanjem poluočvrstlog rastopa legure. Za proces mešanja poluočvrstlog rastopa klipnih legura u reokasting procesu primenjeni su mešaći različitog oblika: pločasti mešać dimenzija (38x2x100) mm; valjkasti mešać prečnika $\phi 37$ mm; mešać oblika zavojnice. Ispitivanja strukture i svojstava uzoraka dobijenih u reokasting procesu (reokast uzorci) pokazalo je da se optimalna svojstva postižu primenom pločastog mešača, tako da su ponovljena istraživanja serija reokasting procesa, kao i kompokasting procesa, vršena sa pločastim mešačem. U cilju postizanja optimalnog prividnog viskoziteta poluočvrstlog rastopa, koji je dalje, u drugoj fazi reokasting procesa podvrgnut toplom presovanju (uz zadržavanje morfologije koja je ostvarena tiksoformiranjem) vršen je izbor pogodne brzine mešanja (o/min): 500; 1000; 1500; vremena mešanja (s): 80-135, koja su određena u zavisnosti od radne temperature poluočvrstlog rastopa ($^{\circ}\text{C}$): 559-570. Za potrebe eksperimentalnog rada korišćena je posebno urađena aparatura koja se sastoji iz procesnog dela, dela za merenje i regulaciju procesnih parametara, kao i dela koji služi za merenje i kontrolu parametara rada mešača. Struktura tiksoformirane AlSi18CuMgNi legure je od suštinskog značaja za strukturu osnove kompozita koji su dobijeni kompokasting postupkom, što je opisano u trećem odeljku. Odlivci čestičnih AlSi18CuMgNi/SiC kompozita dobijeni su kompokasting postupkom, odnosno infiltracijom SiC čestica prosečne veličine 25-30 μm , u količini od 10 tež.% u metalnu osnovu sa vremenom infiltracije čestica (s): 1; 2; 3, ukupnim vremenom mešanja (s): 5; 10; 12; radne temperature ($^{\circ}\text{C}$): 550; 560; 565. Realizacija kompokasting postupka, koji je primenjen u ovom radu, izvršena je kroz dve faze. U prvoj fazi, SiC čestice infiltrirane su u poluočvrstli rastop AlSi18CuMgNi legure, uz primenu mehaničkog mešanja. U drugoj fazi, izvršeno je toplo presovanje dobijenih odlivaka kompozita, u cilju ostvarivanja bolje veze između metalne matrice i infiltriranih SiC čestica, odnosno da bi se poboljšala mehanička svojstva kompozita. U četvrtom odeljku eksperimenta prikazana je karakterizacija strukture i svojstava uzoraka dobijenih klasičnim postupkom livenja, kao i reokasting i kompokasting procesom. Posebno je obrađeno ispitivanje otpornosti uzoraka svih serija na dejstvo kavitacije primenom ultrazvučne vibracione metode sa stacionarnim uzorkom prema standardu ASTM G32-92. Cilj je bio određivanje procesnih parametara: gravitacionog polukokilnog livenja, reokasting i kompokasting postupka pri kojima se dobija optimalna struktura i svojstva klipnih legura, a posebno kompozita pogodnih za primenu u rigoroznim eksploatacionim uslovima u kojima se primenjuju delovi klipa motora sa unutrašnjim sagorevanjem. Razaranje materijala pod dejstvom kavitacije primenom ultrazvučne vibracione metode sa stacionarnim uzorkom izvedeno je sa preporučenim standardnim vrednostima sledećih parametara: frekvencija mehaničkih vibracija: $20 \pm 0,2$ kHz; amplituda mehaničkih

vibracija na vrhu koncentratora: $50 \pm 2 \mu\text{m}$; zazor između probnog uzorka i koncentratora 0,5 mm; protok vode 5 - 10 ml/s; temperatura vode u kupatilu $25 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$. Gubitak mase tokom dejstva kavitacije meren je na analitičkoj vagi sa tačnosti $\pm 0,1 \text{ mg}$. Pre merenja, uzorci su sušeni do konstantne mase. Merenje je izvedeno na pojedinačnom uzorku nakon svakih 60 minuta ispitivanja kavitacije i snimanja površine uzoraka pomoću SEM-a. Rezultati su prikazani na dijagramu, tako što su na ordinatu nanese vrednosti gubitka mase, dok su na apscisu unesene vrednosti za vreme izlaganja materijala dejstvu kavitacije, gde su prave linije nacrtane metodom najmanjih kvadrata. Tačka na kojoj linearna kriva seče apscisu pokazuje inkubacioni period, tj. vreme koje protekne do nastanka oštećenja materijala. Ukupno vreme trajanje ispitivanja za sve uzorke bilo je 4 sata, što je pogodno, jer skraćuje vreme ispitivanja i prognoziranja svojstava materijala za uslove slične uslovima eksploatacije legura.

U delu disertacije koji je naslovljen kao Rezultati i diskusija izvršena je analiza dobijenih rezultata istraživanja, na osnovu koje su određeni optimalni parametri reo(kompo)kasting procesa kojima se dobijaju uzorci nadeutektičke klipne legure AlSi18CuMgNi i kompozita AlSi18CuMgNi/SiC procesiranjem u poluočvrsлом stanju sa boljim strukturnim i mehaničkim karakteristikama od AlSi18CuMgNi legura dobijenih konvencionalnim postupcima livenja. Ispitivanje strukture i svojstava dobijenih legura i kompozita, a posebno određivanje njihove otpornosti na dejstvo kavitaciju, poređenjem dobijenih rezultata istraživanja sa rezultatima istraživanja, u ovoj oblasti, drugih autora, pokazano je da je izvedenim istraživanjima reo(kompo)kasting procesa došlo do značajnog poboljšanja svojstava klipne nadeutektičke Al-Si legure i kompozita ove legure ojačane česticama SiC, a što je i bio jedan od ciljeva ove disertacije. Na osnovu razmatranja i analize svih dobijenih rezultata uobičajena je diskusija rezultata u kojoj je prikazana međusobna zavisnost mikrostrukture, mehaničkih svojstava, (posebno tvrdoće materijala) i ponašanja legura i kompozita u uslovima kavitacije.

U Zaključku je dat kratak pregled i analiza dobijenih rezultata koji odgovaraju postavljenim ciljevima disertacije. Na kraju disertacije navedena je Literatura, koja sadrži sve literaturne navode citirane u radu, Biografija kandidata, Izjava o autorstvu, Izjava o istrovetnosti štampane i elektronske verzije rada i Izjava o korišćenju.

3. OCENA DISERTACIJE

3.1. Savremenost, originalnost i značaj

Rezultati reoloških istraživanja nadeutektičkih Al-Si legura prikazanim u doktorskoj disertaciji mr Milene M. Ćosić predstavljaju značajan doprinos razvoju i primeni postupaka prerade legura u poluočvrsлом stanju, a posebno razvoja kompokasting procesa za dobijanje AlSi18CuMgNi/SiC kompozita. Kod nadeutektičkih silumina zbog širokog temperaturnog raspona očvršćavanja legura je veoma pogodna kao metalna osnova za dobijanje kompozitnih materijala primenom kompokasting procesa. Prema podacima iz literature zadnjih godina interesovanje istraživača u svetu u oblasti prerade legura u poluočvrsлом stanju veoma je poraslo, što potvrđuje aktuelnost predloženih istraživanja. Većina rezultata iz oblasti legura aluminijuma i cinka, a posebno kod primene postupka za dobijanje kompozita, primenjeni su na laboratorijskom nivou, dok su rezultati uspešno primenjeni u proizvodnji legura magnezijuma za izradu odlivaka složene konfiguracije sa nedendritnom strukturom i bez poroznosti. Na bazi

urađenih reoloških ispitivanja u okviru disertacije utvrđeno je da je optimalna brzina mešanja nadeutektičkih silumina 1000 o/min i ona je primenjena za dobijanje kompozita AlSi18CuMgNi/SiC. Definisani su parametri kompokasting procesa kod primene ojačivača čestica SiC veličine 30 μm , količine 10 tež. %: radna temperatura 565⁰C; vreme umešavanja predhodno pripremljenih čestica SiC: 3min; ukupno vreme mešanja poluočvrslog rastopa: 12 min. Pri tome je dobijena zadovoljavajuća struktura kompozita AlSi18CuMgNi/SiC sa raspodelom čestica ojačivača prilično ravnomernom što se odrazilo i na povišenje svojstava kompozita pri ispitivanju u kavitacionim uslovima. Dobijena kavitaciona brzina ovih kompozita bila 0,047 mg/min, i može se smatrati zadovoljavajućom u poređenju sa podacima iz literature za nerđajuće čelike; kompozite sa AlN disperzoidom, naprimer. To dokazuje da je izvedenim ispitivanjima dobijanja kompozita kompokasting postupkom došlo do značajnog poboljšanja svojstava nadeutektičke AlSi18CuMgNi legure, a što je i bio jedan od ciljeva ove disertacije. Od posebnog značaja je mogućnost da se na osnovu rezultata ispitivanja otpornosti materijala na dejstvo kavitacije prognozira ponašanje materijala u eksploatacionim uslovima. Takođe, kod reokasting postupka postignuta je ušteda u energiji, jer nije potrebno pregrevanje rastopa, kao kod primene konvencionalnog livenja, jer su radne temperature pri izvođenju reokasting postupka između solidus i likvidus temperature, najčešće sa 40 do 50 masenog udela čvrste faze.

3.2. Osvrt na referentnu i korišćenu literaturu

U literaturnom pregledu doktorske disertacije dato je 179 literaturna navoda, od kojih najveći broj čine najnoviji radovi iz međunarodnih časopisa sa tematikom značajnom za izradu doktorske disertacije. Navedene reference su novijeg datuma i sadrže eksperimentalne rezultate istraživanja mnogih autora, pretežno u laboratorijskim uslovima, analizu i diskusiju dobijenih rezultata, izvedene zaključke, kao i teorijske osnove primenjenih metoda livenja, obradu poluočvrslog rastopa reo i kompokasting postupcima, ispitivanja, njihove mogućnosti i ograničenja. U okviru korišćenih literaturnih navoda nalaze se i reference kandidata mr Milene Ćosić, proistekle iz rezultata istraživanja u oblasti doktorske disertacije, a koje su objavljene u časopisima međunarodnog značaja. Iz obrazloženja predložene teme disertacije i objavljenih radova koje je kandidat priložio, kao i opisa literature koja je korišćena u istraživanjima, uočava se adekvatno poznavanje oblasti istraživanja, kao i poznavanje aktuelnog stanja istraživanja u ovoj oblasti u svetu.

3.3. Analiza primenjenih naučnih metoda i njihova adekvatnost za sprovedeno istraživanje

Naučne metode korišćene u istraživanju i opisane u ovoj doktorskoj disertaciji primenjene su za ispitivanje mikrostrukture, određivanje brzine kavitacije i mehaničkih karakteristika nadeutektičke klipne legure AlSi18CuMgNi dobijene konvencionalnim postupkom livenja, matične AlSi18CuMgNi dobijene reokasting postupkom i čestičnih AlSi18CuMgNi/SiC kompozita dobijenih kompokasting postupkom. Za detaljnu karakterizaciju mikrostrukture odlivaka korišćene su sledeće metode: metalografska, (skenirajuća elektronska i optička mikroskopija) i tehnika analize slike (*Image Pro Plus* program za obradu i analizu slike); mehanička ispitivanja, prvenstveno ispitivanje tvrdoće klasičnim metodama ispitivanja; kvalitativna mineraloška analiza čestica

ojačivača SiC; ultrazvučna vibraciona metoda po ASTM G32-92 standardu za određivanje otpornosti ispitivanog materijala dejstvo kavitacije. Analiza oblika i veličine čestica SiC izvršena je pomoću softverskog programskog paketa OZARIA 2,5 (interval od 0 – 1), gde je faktor oblika: za 0 = presek odgovara obliku igle, za 1 = presek odgovara krugu, dok je veličina zrna data u mikrometrima (μm). Podela prema faktoru oblika zrna je: od 0,0-0,2 – uglast; od 0,2-0,4 – subuglast; od 0,4-0,6 – subzaobljen; od 0,6-0,8 zaobljen i od 0,8-1,0 – dobro zaobljen oblik zrna. Na osnovu primenjenih metoda za karakterizaciju strukture i svojstva dobijenih odlivaka uspešno su definisani procesni parametri reokasting i kompokasting procesa livenja.

3.4. Primenljivost ostvarenih rezultata

Na osnovu objavljenih radova iz ove oblasti, eksperimentalnih istraživanja i dobijenih rezultata iz ovog rada, ostvaren je veliki doprinos u razumevanju uticaja relevantnih parametara procesa na strukturu i svojstva odlivaka nadeutektičke klipne legure dobijene procesiranjem u poluočvrslom stanju (*reokasting* postupak) i dobijanja kompozita sa osnovom od ovih legura uz dodatak ojačivača čestica SiC pri čemu je osnova u poluočvrslom stanju (*compocasting* postupak). Definisani su procesni parametri za dobijanje AlSi18CuMgNi/SiC kompozita. Ispitivanje otpornosti na dejstvo kavitacije uzoraka reokast i kompozita pokazala su da ovi materijali mogu biti korišćeni u uslovima gde se zahteva dobra otpornost na dejstvo kavitacije. To sve stvara osnovu za primenu ovih postupaka livenja u našim livnicama klinih legura.

Rezultati su verifikovani i od strane međunarodne naučne javnosti, objavljivanjem u časopisima međunarodnog značaja iz domena ove problematike.

3.5. Ocena dostignutih sposobnosti kandidata za samostalni naučni rad

Kandidat mr Milena M. Ćosić je tokom izrade doktorske disertacije ispoljila veliku samostalnost i stručnost u pretraživanju literature, pripremi i realizaciji eksperimenta, korišćenju različitih tehnika karakterizacije materijala i analizi rezultata. Kandidat poseduje sve kvalitete koji su neophodni za samostalna naučno-istraživački rad.

4. OSTVARENI NAUČNI DOPRINOS

4.1. Prikaz ostvarenih naučnih doprinosa

Istraživanja ostvarena u okviru ove disertacije imaju značajan naučni doprinos u ocenjivanju reološkog ponašanja nadeutektičkih klipnih legura, pre svega određivanju odnosa između prividnih viskoziteta poluočvrstih rastopa, njihovih tiksotropijskih karakteristika i mikrostrukture dobijenih uzoraka.

- Definisani su procesni parametri novog postupka prerade nadeutektičkih klipnih legura tipa AlSi18CuMgNi u poluočvrslom stanju- reokasting postupak što predstavlja mogućnost da se primenom ovog postupka (mešanje u poluočvrslom stanju legure, uz naknadno presovanje) postigne sitnozrna struktura, eliminiše poroznost i poboljšaju mehanička i tribološka svojstva legure.
- Na osnovu reoloških istraživanja detaljno su opisani i definisani relevantni procesni parametri: radna temperatura; vreme trajanja reokasting procesa; oblik mešača i brzina smicanja; udeo čvrste faze; morfologija primarnih faza; veličina čestica i njihova raspodela u poluočvrslom stanju legure kao osnova za izradu kompozita.

Takođe definisani su i parametri postupka priprema ojačivača čestica SiC pre infiltracije u poluočvrslu osnovu nadeutektičke klipne legure. Na osnovu rezultata istraživanja uticaja relevantnih parametara procesa na strukturu i svojstva dobijenih AlSi18CuMgNi/SiC kompozita izvršena je optimizacija kompokasting postupka za dobijanje navedenih kompozita sa prognoziranim svojstvima.

- Definisani su postupci za ispitivanje otpornosti na dejstvo kavitacije uzoraka svih serija primenom ultrazvučne vibracione metode sa stacionarnim uzorkom prema standardu ASTM G32-92 sa ciljem da se odredi fundamentalna zavisnost strukture i svojstva uzoraka od primenjenih procesa: konvencionalnog livenja; reokasting i kompokasting postupka kao mogućnost prognoziranja ponašanja dobijenih uzoraka u uslovima sličnim eksploatacijskim. Kavitaciona brzina kompozita (0,047 mg/min) bila je tri puta manja nego kavitaciona brzina reokast uzoraka (0,139 mg/min), odnosno znatno manje od uzoraka livene legure (0,147 mg/min). Početak razaranja pod dejstvom kavitacije u reokast uzorcima odvijao se u blizini prisutnih pora u mekšoj α -Al fazi mehanizmom plastične deformacije. U slučaju kompozita, kavitaciona erozija je započinjala na granici između matrice i keramičkih čestica.
- Analiza mikrostrukture kompozitnih materijala, koji su dobijeni tokom ovog rada, pokazala je da dolazi do obrazovanja nakupina SiC čestica. Usled stvaranja nakupina ojačavajućih čestica dolazi do prekida veze osnova/čestica, što dovodi do obrazovanja pora i mikroprrslina. Izvršena analiza mikrostrukture dobijenih AlSi18CuMgNi/SiC kompozita značajna je ne samo za njihovu karakterizaciju, već ukazuje i na valjanost procesnih parametara koji su primenjeni u konkretnom tehnološkom postupku dobijanja kompozita. Ovo omogućava poboljšanje svih faza tehnologije dobijanja čestičnih AlSi18CuMgNi/SiC kompozita kompokasting postupkom, u cilju dobijanja kompozita sa ravnomernom raspodelom ojačavajućih čestica u osnovi, kao i u cilju dobijanja kompozita sa većim sadržajem ojačavajućih čestica.
- Na osnovu predhodno izloženog može se zaključiti da doktorska disertacija ima i naučni i praktični značaj.

4.2. Kritička analiza rezultata istraživanja

Istraživanja u okviru ove doktorske disertacije koncipirana su na osnovu definisanih ciljeva i detaljne analize literature iz oblasti postupaka obrade legura u poluočvrslom stanju: reo i kompokasting postupka i njihove primene u livarstvu sa posebnim akcentom na primenu za poboljšanje strukture i svojstava nadeutektičke klipne legure tipa AlSi18CuMgNi, kao i AlSiCuMgNi/SiC kompozita. S obzirom na složenost problematike primenjeno je više naučnih metoda istraživanja. U okviru ove doktorske disertacije primenjena je metodologija istraživanja zastupljena u literaturi, ali je pri razvoju postupaka karakterizacije nadeutektičke klipne legure dobijene konvencionalnim metodama livenja, klipne legure i AlSiCuMgNi/SiC kompozita dobijenih reo i kompokasting postupkom, obzirom da za njih nema standarda, korišćeno je iskustvo svetski poznatih proizvođača klipova, kao i domaćih livnica klipova, a takođe i iskustvo stečeno tokom istraživanja u okviru disertacije, posebno praćenjem procesnih parametara i njihovog uticaja na strukturu i svojstva dobijenih legura, odnosno kompozita. Uvidom u dostupnu literaturu iz ove oblasti istraživanja i rezultate istraživanja dobijene u okviru ovog rada, može se primetiti da dobijeni rezultati predstavljaju novinu u ovoj oblasti. Dobijeni rezultati postupcima obrade nadeutektičkih klipnih legura u poluočvrslom

stanju, sinteza AlSiCuMgNi/SiC kompozita primenom kompokasting procesa, kao i metode njihove karakterizacije biće iskorišćeni za dalja istraživanja postupaka povećanja kvaliteta velike grupe nadeutektskih aluminijum-silicijum klipnih legura i njihove primene za konkretne odlivke iz programa automobilske industrije u našim livnicama.

4.3. Verifikacija naučnih doprinosa

Iz rada na tezi: "Korelacija parametara *Rheocasting* procesa –strukture i svojstava nadeutektskih aluminijum-silicijum legura" koju je uradila mr Milena M. Ćosić objavljeni su sledeći radovi:

Radovi u istaknutom međunarodnom časopisu (M22)

1. M. Ćosić, M. Dojčinović, Z. Acimović Pavlović: Fabrication and behaviour of Al-Si/SiC composite in cavitation conditions, *International Journal of Cast Metals Research*, (2013), ISSN:1743-1336, (IF=0.520, 36/74, 2011), (accepted 22 August 2013), DOI10.1179/1743133613Y.0000000078

Radovi u međunarodnom časopisu (M23)

- 1. Milena Ćosić, Z. Acimović Pavlović, A. Terzić, B. Nedeljković, Lj. Pavlović:** Process parameters influence on microstructural properties of hypereutectic Al-18Wt%Si alloy obtained by rheocasting process, *Metalurgia International* vol.XVII, No.3 (2012), 88-93, (IF 0,154, 61/76), ISSN 1582 – 2214.
- 2. Milena Ćosić, M. Dojčinović, Z. Acimović Pavlović:** Characterization of microstructure and properties of hypereutectic Al18wt%Si alloys reinforced by 10wt%SiC, *Metalurgia International* vol.XVII, No.6 (2012), 102-105, (IF 0,154, 61/76), ISSN 1582 – 2214.

Saopštenja sa međunarodnog skupa štampano u celini (M33)

- 1. Milena Ćosić, Z. Acimović-Pavlović, Z. Gulišija, Z. Janjušević:** Possibility to use rheocasting process for manufacturing parts in automotive industry, 10th Anniversary International conference on accomplishments in Electrical and Mechanical Engineering and Information Technology, DEMI 2011, Banja Luka (2011), Proceedings, pp.405-408., ISSN 2067-3809.
- 2. Milena Ćosić, Z. Acimović-Pavlović, I. Bobić, Lj. Andrić:** Influence of Rheocasting process on the microstructural characteristics of piston alloys, 43 International October Conference on Mining and Metallurgy, 12-15 October 2011, Kladovo, Serbia, Proceedings p.p.97–100., ISBN 978-86-80987-87-3
- 3. Milena Ćosić, Z. Acimović-Pavlović, A. Terzić, B. Nedeljković, Lj. Pavlović:** Primena Reokasting procesa za dobijanje klipnih legura poboljšanih svojstava, IX Naučno-stručni skup sa međunarodnim učešćem, Metalni i nemetalni materijali –proizvodnja-svojstva-primena, Zenica 2012, Zbornik radova, s. 53-59., ISBN 978-9958-785-26-9
- 4. Milena Ćosić, Z. Acimović-Pavlović, A. Terzić, M. Dojčinović, Lj. Pavlović:** The possibility of obtaining composite Al18Wt%Si/SiC by compocasting process, 16th International Conference Modern Technologies, Quality and Innovation-ModTech 2012- New face of TMCR., Proceedings ModTech, pp.249-252, ISSN 2069-6736.

5. M. Dojčinović, **Milena Ćosić**, Z.Aćimović Pavlović: Analysis of the cavitation behavior of various materials, 44 International October Conference on Mining and Metallurgy, 1-3 October 2012, Bor, Serbia, Proceedings, p.p.465-468, ISSN 2069-6736.
6. **Milena Ćosić**, M. Dojčinović, Z. Aćimović-Pavlović: Behaviour of the piston alloy under cavitation conditions, 44 International October Conference on Mining and Metallurgy, 1-3 October 2012, Bor, Serbia, Proceedings, p.p.469-472, ISSN 2069-6736.
7. **Milena Ćosić**, M.Dojčinović, Z.Aćimović-Pavlović: Microstructural properties and cavitation behavior of hypereutectic Al-Si alloy obtained by rheocasting process, III International Congress "Engineering, Environment and Materials in Processing Industry, Jahorina, 04.03.– 06.03. 2013, BiH, Proceedings, p.p. 909-915.
8. **Milena Ćosić**, M.Dojčinović, Z.Aćimović-Pavlović: Characterization of the microstructure evolution in rheocast hypereutectic Al-Si alloy, 11th Anniversary International conference on accomplishments in Electrical and Mechanical Engineering and Information Technology, DEMI 2013, University of Banja Luka, Faculty of Mechanical Engineering, 30th May-1st June 2013., Proceedings, p.p.345-349.
9. **Milena Ćosić**, M. Dojčinović, Z. Aćimović-Pavlović: Cavitations behavior of of hypereutectic Al-18wt%Si alloy obtained by rheocasting process, 45 International October Conference on Mining and Metallurgy, 16-19 October 2013, Bor, Serbia, Proceedings, p.p.164-168.

Radovi objavljeni u časopisima nacionalnog značaja (M53)

1. **Milena Ćosić**, Z.Aćimović-Pavlović, I.Ilić: Korelacija parametara procesa pripreme i prerade otpadaka i kvaliteta dobijenih podeutektskih Al-Si legura, Tehnika, RGM 57 (2006) 1, 12-16.
2. **Milena Ćosić**, Z.Aćimović-Pavlović, I. Ilić: Uticaj parametara pripreme strugotine na kvalitet dobijenih podeutektskih Al-Si legura, Tehnika, RGM 56 (2005) 6, 8-12.
3. **Milena Ćosić**, Z.Acimovic Pavlovic, I.Bobic: Promena morfologije faza u strukturi nadeutektske Al18%Si legure dobijene polukokilnim gravitacionim livenjem i reokasting postupkom, Tehnika, RGM, 61 (2010) 5, 13-17.

5. ZAKLJUČAK

Kratak osvrt na disertaciju u celini

Na osnovu svega izloženog Komisija smatra da doktorska disertacija mr Milene M. Ćosić pod nazivom: "Korelacija parametara *Rheocasting* procesa–strukture i svojstava nadeutektskih aluminijum-silicijum legura" predstavlja originalno naučno delo u oblasti Metalurgije što je potvrđeno objavljenim radovima u istaknutim međunarodnim časopisima (1 rad) i međunarodnim časopisima (2 rad) kao i saopštenjima na međunarodnim skupovima.

Predlog Komisije Nastavno-naučnom veću

Komisija predlaže Nastavno-naučnom veću Tehnološko-metalurškog fakulteta Univerziteta u Beogradu da se doktorska disertacija pod nazivom: "Korelacija parametara *Rheocasting* procesa–strukture i svojstava nadeutektskih aluminijum-silicijum legura" kandidata mr Milene M. Ćosić prihvati, izloži na uvid javnosti i uputi na konačno

usvajanje Veću naučnih oblasti tehničkih nauka Univerziteta u Beogradu, te da nakon završetka ove procedure, pozove kandidata na usmenu odbranu disertacije, pred Komisijom u istom sastavu.

Beograd, 09.12.2013.

ČLANOVI KOMISIJE

dr Zagorka Aćimović-Pavlović, red.prof
Tehnološko-metalurški fakultet,
Univerziteta u Beogradu

dr Karlo Raić, red.prof.
Tehnološko-metalurški fakultet,
Univerziteta u Beogradu

dr Marina Dojčinović, docent
Tehnološko-metalurški fakultet,
Univerziteta u Beogradu

dr Anja Terzić, naučni saradnik
Institut za ispitivanje materijala RS, Beograd