

ФАКУЛТЕТ ТЕХНИЧКИХ НАУКА У ЧАЧКУ

Број	22.2.2016
Број	
316	

УНИВЕРЗИТЕТ У КРАГУЈЕВЦУ
ФАКУЛТЕТ ТЕХНИЧКИХ НАУКА У ЧАЧКУ

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

ПРЕДМЕТ: *Извештај комисије за оцену писаног дела рада и усмену одбрану докторске дисертације кандидата мр Александре Патарић, дипл. инж. металургије.*

Одлуком Наставно-научног већа Факултета техничких наука у Чачку, бр. 2-2607/12 од 23.12.2015. год., именовани смо за чланове Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата мр Александре Патарић, дипл. инж. металургије, под насловом:

„УТИЦАЈ ЕЛЕКТРОМАГНЕТНОГ ПОЉА ТОКОМ ЛИВЕЊА НА КАРАКТЕРИСТИКЕ ОДЛИВАКА АЛУМИНИЈУМСКИХ ЛЕГУРА“

На основу увида у приложену докторску дисертацију, Извештаја о подобности кандидата и теме за докторску дисертацију, која је одобрена за израду Одлуком Техничког факултета у Чачку бр. 108-1539/10 од 17.10.2012. и Одлуке Стручног већа за техничко технолошке науке Универзитета у Крагујевцу, бр. 658/1 од 14.11.2012., а на основу Правилника о пријави, изради и одбрани докторских дисертација Универзитета у Крагујевцу, Комисија подноси Наставно-научном већу следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. Значај и допринос докторске дисертације са становишта актуелног стања у одређеној научној области

Докторска дисертација кандидата мр Александре Патарић, дипл. инж. металургије, под насловом „УТИЦАЈ ЕЛЕКТРОМАГНЕТНОГ ПОЉА ТОКОМ ЛИВЕЊА НА КАРАКТЕРИСТИКЕ ОДЛИВАКА АЛУМИНИЈУМСКИХ ЛЕГУРА“ представља резултат научно истраживачког рада у тематској области примене нових технологија у инжењерству материјала, која се односи на познавање дејства ниско фреквентног електромагнетног поља приликом полуконтинуираног процеса ливења алуминијумске легуре EN AW 7075, у циљу добијања квалитетнијих производа уз уштеду енергије и смањење трајања технолошког процеса производње и прераде легуре. Експериментални део рада је обављен у реалним производним условима.

Кандидат је извршио детаљну анализу и систематизацију постојећих знања и научних резултата релевантних светских истраживача који се односе на област истраживања ове докторске дисертације.

Иновативност докторске дисертације огледа се у чињеници да су примењена најновија научна истраживања са циљем да се конвенционални процеси ливења замене приказаном технологијом, која у потпуности задовољава све релевантне светске норме како са еколошког тако и са становишта уштеде постојећих ресурса енергије и сировина.

Интерес за производњом алуминијумске легуре EN AW 7075 посебно је изражен због специфичности њених својстава, пре свега односом чврстоће и масе. Њена добра механичка својства сврстала су је у ред једне од најкоришћенијих легура алуминијума и обезбедила су јој бесконкурентну примену у скоро свим гранама индустрије, међу којима се посебно истичу авио, војна и аутомобилска.

Електромагнетни поступак ливења алуминијумских легура, утиче на побољшање квалитета ингота у ливеном стању као најранијој фази производње, што недвосмислено води до великих уштеда у енергији и времену. Примена електромагнетног поља доводи до стварања електромагнетне силе која изазива већи проток флуида, принудну конвекцију, равномерно температурно поље и слабији утицај гравитације. На овај начин се мењају услови очвршћавања легуре што утиче на добијену структуру, а самим тим и на њена механичка својства. Структура је финија и униформнија по пресеку са смањењем сегрегација легирајућих елемената и порозности. Осим тога због смањеног контактеног притиска, што је такође последица деловања електромагнетне силе, између калупа и метала, квалитет површине је побољшан чиме су остварени услови за елиминацију или минималну примену додатне машинске обраде.

Постоје одређена истраживања у овој области која су углавном усмерена на анализу добијених механичких својстава али се мали број радова бави проучавањем структурних промена у току процеса очвршћавања, величине и облика зрна. Посебно недостају радови који се баве применом квантитативне микроструктурне анализе, односно мерењем микроструктурних параметара који су мера дисперзности структуре. То су пре свега, ширина секундарних дендритних грана (DAS), ширина међудендритног простора (L_{IMF}), у коме су излучене интерметалне фазе и њихов количински удео (V_{VIMF}), који су контролни фактор између технологије ливења и добијених својстава одливака.

Покушаји одређивања зависности радних параметара електромагнетног поља примењеног у процесу ливења и добијених карактеристика одливака су већ неко време присутни. Посебан допринос ове дисертације огледа се у примени математичких модела, тзв. хеометрије, при решавању овог проблема, што представља потпуно нову праксу у области ливења алуминијумских легура. Математичким моделима могуће је одредити најутичајније факторе који омогућавају добијање захтеваних карактеристика одливака, чиме се може постићи рационализација технолошког процеса производње алуминијумских легура.

Пратећи савремене светске трендове, кроз поступак нумеричке симулације процеса ковања, применом апликативних софтвера, испитана је могућност даље прераде алуминијумске легуре EN AW 7075 која је добијена електромагнетним поступком ливења. Коришћењем поступака нумеричких симулација омогућава се виртуелна провера и успешан одабир радних параметара процеса.

Истраживања у оквиру ове дисертације била су усмерена на утврђивању промена у микроструктури, које су изазване применом електромагнетног поља приликом полуконтинуираног процеса ливења алуминијумске легуре EN AW 7075. Ради праћења утицаја електромагнетног поља примењен је конвенционални поступак ливења као и поступак ливења у присуству електромагнетног поља са различитим ниским вредностима фреквенција 10, 15, 20 и 30 Hz. Поред тога урађен је и поступак хомогенизационог жарења ради процене могућности његовог скраћења или елиминације.

Квантификација промена изазваних применом електромагнетног поља обухватила је микроструктурну карактеризацију и испитивање механичких својстава одређивањем макротврдоће, затезне чврстоће, границе течења и издужења при разарању.

При карактеризацији микроструктуре, узорака у ливеном стању и узорака који су хомогенизационо жарени, примењена је савремена метода скенирајуће електронске микроскопије (SEM) са енергодисперзионом анализом x-зрака (EDX), као и оптичка микроскопија за квалитативну и квантитативну микроструктурну анализу.

Такође је, ради утврђивања фазних трансформација, урађена диференцијална термијска анализа (DTA). Одређивано је и евентуално присуство хемијске сегрегације по попречном пресеку узорака у ливеном стању за три главна легирајућа елемента цинк, магнезијум и бакар.

Добијени резултати како са фундаменталног, тако и са практичног становишта, представљају велики допринос познавању специфичности утицаја електромагнетног поља ниских фреквенција на процес очвршћавања алуминијумске легуре EN AW 7075, односно на морфологију, величину, количину и расподелу образованих фаза. Овим је омогућено успостављање корелације са механичким својствима легуре, која у крајњем случају и одређују њену употребу. Посебан допринос представља чињеница о могућности скраћења процеса хомогенизационог жарења као незаобилазне, дуготрајне и скупе фазе у процесу производње алуминијумских легура.

Значајан допринос представљају примењени математички модели SOP (полином другог реда) и ANN (вештачке неуронске мреже), у обради производних параметара при електромагнетном поступку ливењу ради прогнозирања својстава

легуре. Висока корелација примењених модела са експерименталним резултатима указује на могућност њихове практичне примене, чиме би се недвосмислено оствариле велике уштеде енергије и скраћење технолошког процеса производње алуминијумских легура.

2. Оцена да је урађена докторска дисертација резултат оригиналног научног рада кандидата у одговарајућој научној области

Комисија сматра да докторска дисертација кандидата мр Александре Патарић, дипл. инж. металургије под насловом „УТИЦАЈ ЕЛЕКТРОМАГНЕТНОГ ПОЉА ТОКОМ ЛИВЕЊА НА КАРАКТЕРИСТИКЕ ОДЛИВАКА АЛУМИНИЈУМСКИХ ЛЕГУРА“ представља резултат оригиналног научног рада. Обрађена тема је актуелна и значајна за развој науке у области примене нових технологија у инжењерству материјала, односно одређивања утицаја електромагнетног поља приликом поступка ливења алуминијумских легура на структуру и механичка својства

Кандидат је детаљно, према научним принципима, реализовао обимна експериментална испитивања.

Оригиналност научног рада, истраживања и резултата остварених у оквиру ове дисертације огледа се, између осталог, у следећим елементима:

-Утврђене су и описане разлике у микроструктури које настају као последица примене електромагнетног поља, различитих вредности ниских фреквенција (10, 15, 20 и 30 Hz), приликом полуконтинуираног процеса ливења алуминијумске легуре EN AW 7075. Констатовано је да су разлике последица промене услова очвршћавања услед принудне конвекције, смањења температурног градијента и смањеног утицаја гравитације до којих долази применом електромагнетног поља, а које изостају приликом конвенционалног полуконтинуираног процеса ливења. Одређена је вредност фреквенције поља од 30 Hz каја даје најоптималније карактеристике одливака. Такође је, показано да нема смисла примена електромагнетног поља фреквенција испод 20 Hz.

-У оквиру докторске дисертације примењени су математички модели у обради производних параметара приликом процеса ливења под дејством електромагнетног поља, ради прогнозирања својстава легуре. Ово је први покушај примене хеометрије у области ливарства, односно у процесу ливења под дејством електромагнетног поља, у циљу предвиђања својстава легуре и рационализације технолошког процеса производње алуминијумских легура. Закључено је да су резултати мерења у сагласности са примењеним математичким моделима.

3. Преглед остварених резултата рада кандидата у одређеној научној области

Александра Патарић дипломирала је 4.12.1996. године на Технолошко металуршком факултету у Београду на Катедри за металургију одсек Ливарство. Магистарску тезу под називом „ Утицај ниско фреквентног електромагнетног поља на механичка својства и могућност скраћења технолошке прераде легуре AlCu4Mg1Mn“ одбранила је на Технолошко металуршком факултету у Београду 26.12.2007. године.

Од јануара 1998. године мр Александра Патарић, дипл. инж. металургије запослена је у Институту за технологију нуклеарних и других минералних сировина, ради као истраживач сарадник у Центру за металуршке технологије.

Као члан истраживачког тима ангажована је на пројектима које финансира Министарство просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије: „ Развој технолошких поступака ливења под утицајем електромагнетног поља и технологија пластичне прераде у топлом стању четворокомпонентних легура Al-Zn за специјалне намене“ (ТР 34002) и „ Развој технолошких процеса прераде нестандартних концентрата бакра у циљу оптимизације загађујућих материја“ (ТР 34023).

Истраживачки рад мр Александре Патарић дипл. инж. металургије обухвата: Ливење алуминијумских легура у присуству електромагнетног поља, међуфазне феномене на споју метала и керамике, биокомпатибилне превлаке на суперлегурама за имплантате као и прераду секундарних сировина Cu и Ni. Као аутор или коаутор објавила је 23 научна и стручна рада у међународним часописима, 35 на међународним конференцијама, 10 у часописима националног значаја, 5 техничких решења. Овде ће бити наведени само радови који су релевантни за област докторске дисертације.

1. **Aleksandra Patarić**, Zvonko Gulišija, Branka Jordović, Lato Pezo, Marija Mihailović, Milentije Stefanović, *Chemometric Approach for Mechanical Properties Prediction During the Electromagnetic Casting Process*, Mater. Trans. JIM / Japan Institute of Metals Vol. 56, No 6 (2015), p. 835-839., ISSN: 1345-9678 **(M22)**
2. Z. Gulišija, **A. Patarić**, M. Mihailović, *The use of electromagnetic field in designing the high quality Al-alloys for hot forging process*, Metallurgical & Materials Engineering, Vol 20, No 4 (2014), p. 247-253, ISSN 2217-8961 **(M24)**
3. Zvonko Gulišija, **Aleksandra Patarić**, Marija Mihailović, Zoran Janjušević, *Mehanička svojstva otkovaka od legure EN AW 7075 dobijene elektromagnetnim livenjem*, Zaštita materijala, Vol 54, No 3 (2013), st. 255-258., ISSN 0351-9465 **(M24)**
4. **Aleksandra Patarić**, Marija Mihailović, Zvonko Gulišija, *Quantitative Metallographic Assessment of the Electromagnetic Casting Influence on the Microstructure of 7075 Al Alloy*, Journal of Materials Science, J Mater Sci Vol 47, No 2 (2012), p. 793-796., ISSN: 0022-2461 **(M21)**
5. Z. Gulišija, **A. Patarić**, M. Mihailović, *The Possibility of Increasing Production Efficiency of Al Alloys Applying Electromagnetic Field*, Metalurgija (Hr), Vol 50, No 4 (2011), p. 253-256. ISSN 0543-5846 **(M23)**

6. **A. Patarić**, Z. Gulišija, B. Jordović, *Microstructure and Characteruzation of Electromagnetic Casting Al 2024 alloy Ingots*, Metalurgija (Hr), Vol. 47, No 4 (2008), p. 343-346., ISSN 05435846 **(M23)**
7. **A. Patarić**, Z. Gulišija, S. Marković, *Microstructure Examination of Electromagnetic Casting 2024 Aluminum Alloy Ingots*, Practical Metallography, Vol 44, No 6. (2007), p. 290-298 ISSN 0032 678 **(M23)**
8. **Aleksandra Patarić**, Zvonko Gulišija, Marija Mihailović, *The Possibility for Application the New Production Process for Casting Aluminium Alloys*, Machine Design 2009, ISSN 1821-1259, Edited by Siniša Kuzmanović, University of Novi Sad, Faculty of Technical Sciences, May 2009, p.431-434., ISSN 1821-1259 **(M14)**
9. **Aleksandra Patarić**, Marija Mihailović, Zvonko Gulišija, *Increasing production efficiency of heat treatable Al-alloys*, Machine Design 2010, ISSN 1821-1259, Edited by Siniša Kuzmanović, University of Novi Sad, Faculty of Technical Sciences, May 2010, p.345-348. ISSN 1821-1259 **(M14)**
10. M.Mihailović, **A. Patarić**, Z.Gulišija, M.Sokić: *Inceasing production efficiency through casting quality improving by electromagnetic field* X Međunarodna konferencija o dostignućima elektrotehnike, mašinstva i informatike, DEMI-2011, Banja Luka, 26-28 maj (2011), Zbornik radova, 343-347, ISBN 978-99938-39-36-1 **(M33)**
11. Z.Gulišija, M.Mihailović, **A. Patarić**, Z.Janjušević: *Properties of the wrought Al alloy 7075 obtained by electromagnetic casting process* X Međunarodna konferencija o dostignućima elektrotehnike, mašinstva i informatike, DEMI-2011, Banja Luka, 26-28 maj (2011), Zbornik radova, 409-412, ISBN 978-99938-39-36-1 **(M33)**
12. Marija Mihailović, Aleksandra Patarić, Zvonko Gulišija, Milentije Stefanović, *Numerical simulation as a tool for design the high quality Al alloys hot forging parts*, IOC 2014, 1-4 octobar, Bor, Proceed. p. 245-248, ISBN 978-86-6305-026-6 **(M33)**
13. Z. Gulišija, **A. Patarić**, B. Jordović, S. Marković, B. Nedeljković: *Characterization of Electromagnetic Casting 2024 Al Alloy Ingots*, 4th Balkan Conference on Metallurgy, September 27-29, 2006, Zlatibor, Proceed.p. 681-686. **(M33)**
14. **A. Patarić**, Z. Gulišija, B. Jordović, B. Nedeljković: *Possibility for application of new production process for casting aluminium alloys*, 4th Balkan Conference on Metallurgy, September 27-29, 2006, Zlatibor, Proceed.p. 712-716. **(M33)**
15. **A. Patarić**, Z. Gulišija, B. Jordović, B. Nedeljković: *Effect of Electromagnetic Field on the Microstructure of Continual Casting Al 2024 Alloy Ingots*, 3rd International Conference Deformation Processing and Structure of Materials, Septembre 20-22, 2007, Belgrade, Proceed.p. 141-149. **(M33)**
16. **A. Patarić**, Z. Gulišija, B. Jordović, M. Stojanović, Z. Janjušević: *Microstructure Analyses of Electromagnetic Casting 2024 Aluminium Alloy Ingots*, XXXIX IOCM 2007, Sokobanja, 7-10 October 2007., Proceed.p. 285-289. **(M33)**
17. **A. Patarić**, Z. Gulišija, M Stefanović: *Uticao elektromagnetnog polja na mehanička svojstva aluminijumske legure 2024 dobijene kontinualnim postupkom livenja*, DEMI 2007 Banjaluka, 25-26 maj 2007., Zbornik radova, 277-282. **(M33)**
18. Z. Gulišija, **A. Patarić**, M. Mihailović, Z.Janjušević, M. Stefanović, V.Mandić, S. Aleksandrović: *Kontinuirano livenje legure aluminijuma ENAW 2024 u elektromagnetnom polju* M84, br. 1-31 od 29.04.2010. Verifikovao MNO za materijale. **(M84)**

19. Z. Gulišija, M. Stefanović, V.Mandić, S. Aleksandrović, Z.Janjušević, M. Mihailović, **A.Patarić**, M. Đorđević: *Unapređenje projektovanja tehnologije plastične prerade u toplom stanju delova od Al-legurakorišćenjem savremenih postupaka numeričkog modeliranja*, M84, ITNMS, TR 34002, br 1-55 od 24.12.2013. Verifikovao MNO za materijale. **(M84)**

4. Оцена о испуњености обима и квалитета у односу на пријављену тему

Докторска дисертација кандидата мр Александре Патарић дипл. инж. металургије под насловом „УТИЦАЈ ЕЛЕКТРОМАГНЕТНОГ ПОЉА ТОКОМ ЛИВЕЊА НА КАРАКТЕРИСТИКЕ ОДЛИВАКА АЛУМИНИЈУМСКИХ ЛЕГУРА“ одговара по садржају и обиму прихваћеној теми од стране Факултета техничких наука у Чачку и Стручног већа Универзитета у Крагујевцу. По квалитету, обиму и резултатима истраживања приложена дисертација у потпуности задовољава све научне, стручне и законске услове за израду докторских дисертација. Дисертација је написана на 160 страна у 10 поглавља, а садржи 74 слике и 21 табелу. Цитирано је 89 библиографских наслова. Резултати истраживања изнети су у 10 поглавља:

1. Увод
2. Алуминијум и алуминијумске легуре
3. Технолошки поступак производње и прераде алуминијумских легура
4. Литературни преглед
5. Експериментални део
6. Методе испитивања
7. Резултати
8. Дискусија
9. Закључак
10. Литература

У **Уводу** рада и поглављу **Алуминијум и алуминијумске легуре** истакнут је значај и потреба истраживања алуминијумских легура, због специфичности њихових својстава и њихове све веће примене у скоро свим гранама индустрије. Садашња производња и прерада алуминијумских легура је дуготрајна и скупа јер се састоји од низа технолошких операција. У те операције спадају модификација, полуконтинуирано ливење, хомогенизација, пресовање, пластична прерада и термичка обрада. Конвенционалним поступцима ливења, услед неравнотежних услова очвршћавања долази до појаве сегрегација по границама зрна, стварања порозности, топлих пукотина и неуједначености у величини зрна. Ове металуршке грешке утичу на погоршање механичких својстава, пре свега чврстоће и издужења, те је поступак хомогенизационог жарења незаобилазна технолошка операција. Њом се само делимично могу отклонити металуршке грешке које су добијене у поступку ливења. Сам процес хомогенизационог жарења траје преко дванаест сати и прати је велика потрошња енергије и времена. Врло често се дешава да алуминијумски одливци немају задовољавајући квалитет површине па се мора применити и додатна механичка обрада. Зато је истакнута потреба за изучавањем и освајањем технолошких поступака који ће омогућити добијање задовољавајуће микроструктуре уз смањење или елиминисање металуршких грешака у најранијој фази производње, односно у самом поступку ливења.

У поглављу **Технолошки поступак производње и прераде алуминијумских легура** детаљно су описане све фазе технолошког поступка и указано је на њихову појединачну улогу и значај у овој сложеној технологији. Такође је описан систем Al-Zn-Mg-Cu коме припада легура EN AW 7075 која је коришћена за експериментални део рада. Дате су и теоријске основе електромагнетне обраде метала односно њихових растопа. Она се базира на теорији металуршких процеса и магнетохидродинамици која обухвата електромагнетизам и механику флуида. То је поље науке које изучава интеракцију електромагнетног поља и феномена струјања флуида. Електромагнетна обрада метала је заснована, у највећем броју случајева на коришћењу електромагнетне силе. Важно је напоменути да ова појава нема никакве везе са магнетним привлачењем, сви растопи метала су практично немагнетични, него је за коришћење електромагнетне силе важно само да је средина електропроводна. Фундаментална поставка електромагнетне обраде растопа метала првенствено води рачуна о универзалним својствима електромагнетног поља и специфичним последицама које оно изазива у зависности од начина његове примене и техничко технолошких карактеристика примењених уређаја.

Поглавље **Литературни преглед** обухвата светска искуства у примени електромагнетног поља у поступку ливења алуминијумских легура, кроз литературни преглед у коме су изложена постојећа знања везана за ову проблематику. Указано је да се применом електромагнетног поља приликом полуконтинуираног процеса ливења може у великој мери утицати на побољшање квалитета ингота у ливеном стању, што недвосмислено води до великих уштеда у енергији и времену. Одабиром одговарајућих радних параметара, пре свега фреквенције електромагнетног поља, мењају се услови очвршћавања који проузрокују промене у микроструктури, а самим тим и промене вредности механичких својстава.

У поглављу **Експериментални део** дати су подаци о алуминијумској легури EN AW 7075, (AlZn5.5MgCu), која је коришћена у раду, као и радни параметри примењеног електромагнетног поља током процеса ливења које је изведено у производним условима у фабрици „11 март“ из Сребренице. Ова истраживања су део пројекта, TR 34002, које финансира Министарство просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије. Ово поглавље садржи радне параметре примењеног поступка полуконтинуираног ливења под дејством електромагнетног поља, који су строго контролисани и дефинисани вредностима јачине струје, јачине електромагнетног поља и фреквенције. Примењена су четири режима ливења у производним условима, при којима је варирана фреквенција поља, 10, 15, 20 и 30 Hz, уз константне остале параметре. Ради поређења резултата и утврђивања утицаја примењеног електромагнетног поља, спроведен је и конвенционални поступак полуконтинуираног ливења без дејства електромагнетног поља. У овом поглављу такође је дат и режим примењеног поступка хомогенизационог жарења (480 °C, 8 h), којим су третирани одређени узорци.

У оквиру поглавља **Методe испитивања** описане су све примењене методе. Оне обухватају: квалитативну и квантитативну микроструктурну анализу (оптичка микроскопија и SEM/EDX анализа), одређивање хемијске сегрегације по попречном пресеку узорака, диференцијално термијску анализу, мерење

електропроводљивости, испитивање механичких својстава затезањем (затезна чврстоћа, R_m , граница течења, R_p , и издужење при разарању, A), мерење тврдоће Бринеловом методом, примену математичких модела у обради производних параметара при ливењу и нумеричку симулацију процеса топлог ковања.

У односу на планиране методе истраживања направљен је искорак јер су у раду, први пут у области металуршког инжењерства, примењени математички модели SOP (полином другог реда) и ANN (вештачке неуронске мреже) у обради производних параметара при ливењу ради прогнозирања својстава легуре. Поред приказаних примењених математичких метода, описан је и поступак нумеричке симулације топлог ковања испитиване легуре, којим је могуће добити поуздану напонско деформациону анализу овог процеса.

У поглављу **Резултати** приказани су резултати који су добијени у току истраживања у оквиру ове дисертације, а односе се на утицај нискофреквентног електромагнетног поља приликом полуконтинуираног процеса ливења на карактеристике одливака алуминијумске легуре EN AW 7075. Резултати су систематизовани према примењеним технолошким процесима, ливење и хомогенизационо жарење и према испитаним параметрима (структурни параметри, механичка и физичка својства). Ради праћења утицаја електромагнетног поља резултати су упоређивани између узорака добијених при различитим вредностима фреквенције и узорка који је одливан без дејства поља. Изглед карактеристичних микроструктура и фаза добијених оптичком микроскопијом и скенинг електронском микроскопијом је приказан на микрофотографијама. Резултати квантитативне микроструктурне анализе (геометријски параметри DAS, L_{IMF} и V_{VIMF}) приказани су табеларно, хистограмима и кумулативним кривама расподеле у функцији радних параметара електромагнетног поља, појединачно или упоредно, ради боље прегледности.

Резултати испитивања механичких својстава и електропроводљивости приказани су табеларно према изведеним технолошким процесима, односно за узорке у ливеном стању и за узорке у хомогенизованом стању. Добијени резултати математичког моделовања дати су табеларно и графички. Нумеричком симулацијом процеса топлог ковања добијена је поуздана напонско деформациона анализа.

Добијени резултати су детаљно анализирани у поглављу **Дискусија**. Анализа прати редослед приказаних резултата. На основу квалитативне и квантитативне микроструктурне анализе свих узорака утврђено је да узорак који је одливан под дејством електромагнетног поља фреквенције 30 Hz има најситнију и најхомогенију структуру што је у потпуној сагласности са добијеним вредностима механичких својстава. Са научног аспекта ово има велики значај јер мењањем услова очвршћавања под дејством електромагнетног поља одговарајуће фреквенције, могуће је добити задовољавајућу микроструктуру већ у ливеном стању што би свакако утицало на скраћење процеса хомогенизационог жарења или његову елиминацију. Са аспекта практичне примене овим би се остварили значајни комерцијални ефекти. Наведени математички модели, који су први пут примењени у раду везано за ову проблематику, показали су добро слагање са експерименталним резултатима, што указује да они могу бити корисни алати у

контроли процеса ливења под дејством електромагнетног поља алуминијумских легура.

У поглављу **Закључак** изнети су врло конкретни закључци који одговарају постигнутим резултатима и циљевима дисертације.

Поглавље **Литература** обухвата 89 литературних навода, укључујући и радове аутора, који су приказали актуелност проблематике проучаване у овој дисертацији. Наведени научни радови, који су од тематског и суштинског значаја за израду докторске дисертације, послужили су као добра теоријска основа али и база за формулисање циљева ове дисертације.

5. Научни резултати докторске дисертације

Кандидат је кроз ову докторску дисертацију извршила систематизацију постојећих теоријских и експерименталних знања и искуства у области ливења алуминијумских легура под дејством електромагнетног поља. У разматрања су узети утицаји који се јављају при различитим вредностима радних параметара пре свега фреквенције (10, 15, 20 и 30 Hz). На тај начин је утврђена зависност технологија ливења - микроструктура- механичка својства.

Реализацијом истраживачког рада у овој дисертацији кандидат је дошла до резултата који имају своје место, како у научном, тако и у практичном смислу:

- Утврђене су последице примене електромагнетног поља ниских фреквенција приликом полуконтинуираног процеса ливења алуминијумске легуре EN AW 7075 у производним условима.

- Утврђено је да примена електромагнетног поља приликом процеса ливења доводи до измењених услова очвршћавања легуре, што доводи до промена у структури легуре и вредности механичких својстава.

- Утврђено је да примењено електромагнетно поље изузетно ниских фреквенција од 10 и 15 Hz није значајније утицало на побољшање микроструктуре, а самим тим и на повећање вредности механичких својстава.

- Утврђено је да примена електромагнетног поља фреквенције 20 Hz, а посебно фреквенције 30 Hz, показује позитиван утицај на добијену микроструктуру и механичка својства.

- Одређивањем вредности геометријских параметара микроструктуре, DAS и L_{IMF} , утврђено је да применом електромагнетног поља као и повећањем његове фреквенције на 30 Hz долази до пада вредности ових параметара, односно микроструктура постаје све финија уз већу количину образованих интерметалних фаза, V_{VIMF} .

- Утврђено је да увођењем поља и повећањем његове фреквенције интерметалне фазе постају све финије и да се распоређују у све ужем међудендритном простору.

- На основу предходних истраживања и истраживања у овом раду утврђено је да примена електромагнетног поља исте фреквенције, код различитих алуминијумских легура различито утиче на промену вредности истих геометријских параметара микроструктуре.

- Утврђено је да електромагнетно поље није утицало на промену фазног састава легуре већ само на облик и финоћу излучених интерметалних фаза.

- Утврђено је да расподела легирајућих елемената Zn, Mg и Cu постаје много уједначенија по пресеку узорка који је одливан под дејством поља фреквенције 30 Hz него код узорка који је одливан без дејства поља.

- Утврђено је да је примењено електромагнетно поље фреквенције 30 Hz имало већи утицај на побољшање микроструктуре и механичких својстава него што је хомогенизационо жарење утицало код узорака који су имали лошију ливену структуру (10 и 15 Hz). Овим је потврђена могућност скраћења процеса хомогенизационог жарења (уобичајено време је преко 12h) или његова евентуална елиминација.

- Математичком обрадом производних параметара, која је први пут примењена у области ливарства, утврђено је да SOP и ANN модели дају добро слагање са експерименталним подацима, што указује на могућност њихове практичне примене у циљу прогнозирања својстава легуре.

- Процесом нумеричке симулације процеса топлог ковања потврђена је могућност пластичне прераде легуре EN AW 7075 која је добијена поступком полуконтинуираног ливења под дејством електромагнетног поља.

6. Применљивост и корисност резултата у теорији и пракси

У научно теоријском смислу докторска дисертација кандидата мр Александре Патарић, дипл. инж. металургије, под насловом „УТИЦАЈ ЕЛЕКТРОМАГНЕТНОГ ПОЉА ТОКОМ ЛИВЕЊА НА КАРАКТЕРИСТИКЕ ОДЛИВАКА АЛУМИНИЈУМСКИХ ЛЕГУРА“ даје низ значајних резултата који представљају нова сазнања у вези са применом електромагнетног поља ниских фреквенција приликом полуконтинуираног процеса ливења алуминијумских легура и служе за тумачење уочених последица његове примене, а које нису биле јасно објашњене у литератури.

Податак да производња алуминијумских легура све више расте, услед убрзаног развоја авио, војне и аутомобилске индустрије, говори о повећању интереса истраживања нових и усавршавања постојећих технологија ливења. Резултати истраживања у дисертацији добијени су у производним условима што јасно указује на њихову применљивост у пракси.

Кроз научно истраживачки рад приказан у овој дисертацији, установљене су вредности фреквенције електромагнетног поља при којима се постижу позитивни ефекти на микроструктуру, а самим тим и на механичка својства. Дефинисани су оптимални радни параметри поступка ливења под дејством електромагнетног поља легуре EN AW 7075 што је веома значајно са аспекта практичне примене.

Посебан допринос представља констатација да примена електромагнетног поља одговарајућих радних параметара има повољнији утицај на микроструктуру него примењен поступак хомогенизационог жарења код узорака са лошом ливеном структуром. Овим се могу остварити врло корисни комерцијални ефекти јер постоје услови за скраћење или елиминацију поступка хомогенизационог жарења. На тај начин би се оствариле велике уштеде у енергији и скраћење технолошког процеса производње алуминијумских легура.

У решавању ове проблематике први пут су примењени математички модели. Добијени резултати су показали добро слагање са експерименталним вредностима, што говори у прилог њихове практичне примене у циљу прогнозирања унапред задатих својстава легуре EN AW 7075. Сама методологија се може применити и на друге алуминијумске легуре.

Све коришћене методе су детаљно описане тако да се истраживачки резултати који су добијени у производним условима могу репродуковати, односно верификовати.

7. Начин презентирања резултата научној јавности

Део резултата из ове дисертације је већ публикован и верификован објављивањем резултата у итакнутим међународним часописима и међународним конференцијама.

Комисија сматра да истраживања и резултати докторске дисертације пружају обиман и користан материјал за даљу презентацију на научним конференцијама и научним часописима који се баве развојем материјала и технологија.

На основу увида у резултате истраживања презентоване у докторској дисертацији Комисија доноси следећи

ЗАКЉУЧАК

1. Докторска дисертација кандидата мр Александре Патарић, дипл. инж. металургије под насловом „УТИЦАЈ ЕЛЕКТРОМАГНЕТНОГ ПОЉА ТОКОМ ЛИВЕЊА НА КАРАКТЕРИСТИКЕ ОДЛИВАКА АЛУМИНИЈУМСКИХ ЛЕГУРА“ одговара теми прихваћеној од стране Наставно-научног већа Факултета техничких наука у Чачку.
2. Докторска дисертација представља значајан и оригиналан научни допринос у области примене нових технологија у инжењерству материјала, што је потврђено објављивањем радова у часописима од међународног значаја.
3. Теоријско- експерименталним радом на истраживању утицајних параметара на карактеристике алуминијумске легуре EN AW 7075, кандидат је показала систематски приступ у планирању, организовању и реализацији истраживања.
4. У овој дисертацији кандидат је, кроз обимна истраживања, дошла до оригиналних научних резултата потребних за дефинисање оптималних

процесних параметара при полуконтинуираном поступку ливења алуминијумске легуре EN AW 7075 под дејством електромагнетног поља.

5. Докторска дисертација је оригинални научни и самостални рад кандидата који је резултат вишегодишњег истраживања, коришћења савремених метода и поступака, као и коришћења савремене теоријске, научне и стручне литературе. Добијени резултати значајано доприносе знањима везаним за познавање утицаја електромагнетног поља на карактеристике одливака алуминијумских легура.
6. Презентовани рад кандидата по квалитету, обиму и резултатима истраживања у потпуности задовољава законске услове и универзитетске норме прописане за израду докторске дисертације.

На основу предходно изнетог предлажемо Наставно-научном већу Факултета техничких наука у Чачку и Већу за техничко технолошке науке Универзитета у Крагујевцу да прихвати докторску дисертацију кандидата мр Александре Патарић дипл. инж. металургије под насловом

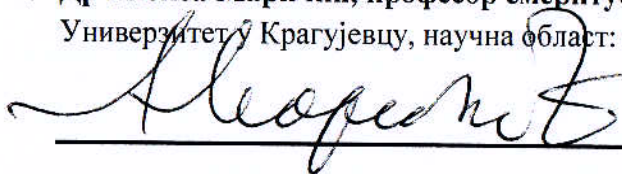
„УТИЦАЈ ЕЛЕКТРОМАГНЕТНОГ ПОЉА ТОКОМ ЛИВЕЊА НА КАРАКТЕРИСТИКЕ ОДЛИВАКА АЛУМИНИЈУМСКИХ ЛЕГУРА“

као успешно урађену и да кандидата позове на усмену јавну одбрану дисертације.

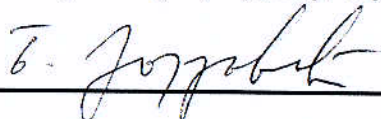
Чачак, фебруар 2016. год.

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

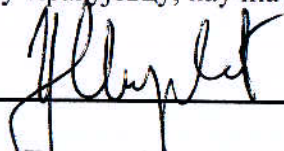
1. **Др Алекса Маричић, професор емеритус,** Факултет техничких наука, Чачак, Универзитет у Крагујевцу, научна област: Физика, председник



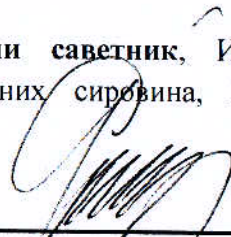
2. **Др Бранка Јордовић, ред. проф., у пензији,** Факултет техничких наука, Чачак, Универзитет у Крагујевцу, научна област: Материјали, ментор



3. **Др Небојша Митровић, ред. проф.,** Факултет техничких наука, Чачак, Универзитет у Крагујевцу, научна област: Физика, члан



4. **Др Звонко Гулишија, научни саветник,** Институт за технологију нуклеарних и других минералних сировина, Београд, научна област: Ливарство, члан



5. **Др Милентије Стефановић, ред. проф.,** Факултет инжењерских наука, Крагујевац, Универзитет у Крагујевцу, научна област: Производно машинство, члан

