

ФА
4. 03 2019
07 490

**НАСТАВНО - НАУЧНОМ ВЕЋУ
ФАКУЛТЕТА ТЕХНИЧКИХ НАУКА У ЧАЧКУ**

Предмет: Извештај Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата мр Братислава Чукића, дипл. инж. металургије

Одлуком Већа за техничко - технолошке науке Универзитета у Крагујевцу број IV-04-103/6 од 20. фебруара 2019. године, на предлог Наставно-научног већа Факултета техничких наука у Чачку (одлука бр. 3-177/9 од 30. јануара 2019. године), именовани смо за чланове Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата **мр Братислава Чукића**, дипл. инж. металургије под насловом:

**"УТИЦАЈ ТЕРМИЧКИХ ТРЕТМАНА НА ФУНКЦИОНАЛНА СВОЈСТВА
АМОРФНЕ МАСИВНЕ МЕТАЛНЕ ЛЕГУРЕ $Fe_{65,5}Cr_4Mo_4Ga_4P_{12}C_5B_{5,5}$ "**

На основу увида у приложени докторску дисертацију и Извештаја комисије за оцену подобности кандидата и научне заснованости теме докторске дисертације, која је одобрена за израду одлуком Наставно-научног већа Факултета техничких наука у Чачку бр. 44-644/4 од 22. априла 2015. године и одлуком Стручног већа за техничко-технолошке науке Универзитета у Крагујевцу бр. IV-04-250/12 од 13. маја 2015. године, на основу Правилника о пријави, изради и одбрани докторске дисертације 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 Братислава Чукића дипл. инж. металургије под називом "УТИЦАЈ ТЕРМИЧКИХ ТРЕТМАНА НА ФУНКЦИОНАЛНА СВОЈСТВА АМОРФНЕ МАСИВНЕ МЕТАЛНЕ ЛЕГУРЕ $Fe_{65,5}Cr_4Mo_4Ga_4P_{12}C_5B_{5,5}$ ", представља резултат оригиналног научноистраживачког рада у области савремених аморфних материјала.

Основа научно-технолошког развоја је истраживање нових материјала и технологија, а значајно место међу тим материјалима заузимају аморфни материјали. У оквиру групе аморфних материјала највећу пажњу привлаче аморфне металне легуре (АМЛ), које представљају једну од класа нових материјала са изузетним својствима те су стога нашле примену у готово свим областима технике, а посебно у електротехници.

Аморфне масивне металне легуре (АММЛ) на бази Fe предмет су значајног научног интересовања због својих изузетних структурних, механичких и магнетних својстава. У односу на остале класе АММЛ (на бази Zr и на бази Pd), њих је релативно тешко добити ливењем, јер критична брзина хлађења од око 10^2 K/s до 10^3 K/s

ограничава максималне димензије узорака на неколико милиметара.

АММЛ на бази Fe углавном припадају класи магнетно - меких материјала, одликују се ниским вредностима коерцитивног поља ($H_c < 100$ A/m), великом максималном релативном магнетном пермеабилношћу ($\mu_{rm} > 10^4$), малом површином хистерезисне петље тј. малим магнетним губицима и релативно високом тврдоћом. Њихова употреба је значајна у уређајима као што су трансформатори, магнетни сензори, пригушнице, вентили, линије кашњења и др., а последица су јединствене комбинације магнетних и електричних својстава.

Најновија истраживања АММЛ односе се како на нове системе и методе добијања, тако и на накнадне третмане (термичке, магнетне и механичке) са циљем оптимизације њихових експлоатационих карактеристика. Нарочита пажња се посвећује методама одгревања с обзиром да метастабилна легура накнадним термичким третманом значајно мења низ физичких својстава (коерцитивну силу, магнетну индукцију засићења, пермеабилност, Curie-еву температуру, специфичну електричну отпорност, тврдоћу, микротврдоћу, коефицијент линеарног ширења, ...).

Систем АММЛ Fe-Cr-Mo-Ga-P-C-B се проучава због комбинације одличних магнетно меких карактеристика и побољшаних механичких и корозионих својстава у односу на друге системе на бази гвожђа. С обзиром да легура $Fe_{65,5}Cr_4Mo_4Ga_4P_{12}C_5B_{5,5}$ показује и инвар ефекат, који се задњих година интензивно изучава и код других АММЛ на бази гвожђа, проширене су могућности њене примене не само као магнетно меког феромагнетика, већ и као конструкционог материјала за специфичне примене у техници.

Циљ дисертације је био да се испита термичка стабилност АММЛ $Fe_{65,5}Cr_4Mo_4Ga_4P_{12}C_5B_{5,5}$ одгревањем у температурним интервалима испод и изнад температуре кристализације и одреди утицај термичких третмана на структурна, механичка и магнетна својства легуре. Очекује се да ће резултати истраживања у оквиру ове докторске дисертације допринети бољем разумевању утицаја топлотног дејства на функционална својства АММЛ на бази гвожђа, ради побољшања њихових карактеристика и успешне примене у разним областима технике.

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

На основу позитивног Извештаја о провери на плагијаризам докторске дисертације кандидата мр Братислава Чукића, дипл. инж. металургије, под називом "УТИЦАЈ ТЕРМИЧКИХ ТРЕТМАНА НА ФУНКЦИОНАЛНА СВОЈСТВА АМОРФНЕ МАСИВНЕ МЕТАЛНЕ ЛЕГУРЕ $Fe_{65,5}Cr_4Mo_4Ga_4P_{12}C_5B_{5,5}$ " (Извештај Универзитета у Крагујевцу бр. IV-04-31/2 од 25. јануара 2019. године) потврђено је да је докторска дисертација резултат оригиналног научног рада кандидата.

Комисија сматра да је тема докторске дисертације изузетно актуелна с обзиром да структурна, механичка и магнетна својства АММЛ значајно зависе од термичког или комбинованог термомагнетног третмана чијом применом се могу добити материјали побољшаних карактеристика, а као последица трансформације полазне аморфне структуре.

Кандидат је детаљно приказао резултате истраживања извршених на аморфној масивној металној легури састава $\text{Fe}_{65,5}\text{Cr}_4\text{Mo}_4\text{Ga}_4\text{P}_{12}\text{C}_5\text{B}_{5,5}$. Технологијом хлађења растопа у бакарним калупима у заштитној атмосфери аргона добијени су одливци пречника 1,5 mm и 1,8 mm и дужине од око 70 mm. На добијеним узорцима испитиван је утицај топлотног дејства на термичку стабилност легуре поступком вишеструких термичких третмана, на температурама испод и изнад температуре кристализације, при брзинама загревања од 5 K/min, 10 K/min и 20 K/min.

Сprovedеним научним истраживањима током израде дисертације дошло се до следећих резултата:

- Рендгенограми полазних узорака пречника 1,5 mm и 1,8 mm су без формираних дифракционих пикова карактеристичних за кристалну легуру, чиме је показано да имају претежно аморфну структуру. Поступком вишеструких термичких третмана дошло је до стварања кристалне структуре чиме су дефинисани температурни прелази аморфно - кристално стање.
- Сprovedеном ДТА анализом одређене су: температурна област термичке стабилности аморфне структуре и температурна област процеса кристализације за различите брзине загревања (5 K/min, 10 K/min и 20 K/min). При том су одређене температуре остакљивања (T_g), температуре почетка кристализације (T_x), ширине температурне области суперпотхлађене течности (ΔT_x) и Curie-еве температуре (T_c). Прорачун кинетичких параметара процеса кристализације узорака пречника 1,5 mm и 1,8 mm спроведен је неизотермском методом Kissinger-а.
- Детаљно су праћене промене магнетних својстава одређивањем нормализоване магнетне пермеабилности, Curie-еве температуре и коерцитивног поља пре и након вишеструких одгревања с циљем достизања што бољих вредности.
- Ефекти дилатације узорака оба испитивана пречника 1,5 mm и 1,8 mm су праћени током два узастопна загревања користећи различите брзине загревања (5 K/min и 20 K/min), на основу којих су израчунате вредности термичког коефицијента линеарног ширења у аморфном и кристалном стању. Анализом добијених резултата закључено је да су вредности термичког коефицијента линеарног ширења у аморфном стању истог реда величине као и код пар других *инвар* АММЛ на бази гвожђа, тако да се и испитивана легура може сврстати међу легуре са *инвар* ефектом, што до сада за систем Fe-Cr-Mo-Ga-P-C-B није евидентирано експерименталним истраживањима у научној литератури.
- Утицај брзине и температуре загревања и одгревања на трансформације аморфне у кристалну структуру спроведен је методом SEM и оптичком микроскопијом уз паралелно праћење промена механичких својстава (тврдоће и микротврдоће (HV_1 и $HV_{0,2}$)).
- На основу резултата свеобухватних анализа (микроструктуре, коерцитивне силе, магнетне пермеабилности, Curie-еве температуре, дилатације, тврдоће) током процеса структурне релаксације и процеса кристализације АММЛ $\text{Fe}_{65,5}\text{Cr}_4\text{Mo}_4\text{Ga}_4\text{P}_{12}\text{C}_5\text{B}_{5,5}$ могуће је проценити оптималне термичке третмане за добијање материјала побољшаних функционалних својстава.

3. Преглед остварених резултата кандидата у одређеној научној области

Мр Братислав Чукић, дипломирао је на Рударско - металуршком факултету у Косовској Митровици (металуршки одсек - општи смер) 1988. године. Магистарску тезу под називом "Допринос синтези и карактеризацији аморфних масивних металних легура" одбранио је 2007. године на Техничком факултету у Чачку.

У периоду од 1988. год. до 2003. год., ради најпре у Фабрици резног алата у Чачку, а затим у Фабрици аутомобилских делова у Горњом Милановцу, где је као дипломирани металург обављао послове технолога у одељењима за термичку обраду. Од 2003. год. до 2014. год. радио је на месту инспектора у Министарству рада запошљавања и социјалне политике. Од новембра 2014. године ради на Високој школи техничких струковних студија у Чачку као предавач за област Материјали и технологије, и истовремено уписује докторске академске студије на Факултету техничких наука у Чачку.

У досадашњем раду, као аутор и коаутор објавио је 12 радова, од чега 2 рада у међународним часописима, 2 рада саопштена на међународном скупу штампана у целини, 3 рада саопштена на међународним скуповима штампана у изводу и 5 радова саопштених на скуповима националног значаја штампаних у целини.

Објављени радови

Радови штампани у међународним часописима:

1. N. Mitrović, **B. Čukić**, B. Jordović, S. Roth, and M. Stoica, "Microstructure and microhardness in current annealed $Fe_{65,5}Cr_4Mo_4Ga_4P_{12}C_5B_{5,5}$ bulk metallic glass", Materials Science Forum, Vol. 555, (2007), pp. 521-526, ISSN 0255-5476. (M23)
2. **B. Čukić**, N. Mitrović, A. Maričić, "Effect of heat treatment on structure and magnetic properties of $Fe_{65,5}Cr_4Mo_4Ga_4P_{12}C_5B_{5,5}$ bulk amorphous alloy", China Foundry, vol. 14, (2017), pp. 59-63, ISSN 1672-6421. (M23)

Радови саопштени на међународном скупу штампани у целини:

1. S. Marković, R. Ćirić, D. Josifović, **B. Čukić**, "Comparative indicators of tribological characteristics of the regenerated gears reparatorily hardfaced by various procedures", Balkantrib'05, 5th International Conference on Tribology, June 15-18, 2005 Kragujevac, Serbia and Montenegro, p. 427-434, ISBN 86-80581-78-X. (M33)
2. N. Mitrović, **B. Čukić**, B. Jordović, A. Maričić, B. Nedeljković, "Thermal and microstructure characterization of metastable ZrTiCuNiAl alloy prepared by copper - mold casting", Proceedings of the 9th International Research/Expert Conference TMT 2005, Antalya, Turkey, 26-30 September, 2005, p. 849-852, ISBN 9958-617-28-5. (M33)

Радови саопштени на међународном скупу штампани у изводу:

1. A. Maričić, **B. Čukić**, N. Mitrović, B. Jordović, "The influence of the heating on the changes of free electron density of metastable $Zr_{88}Co_{12}$ alloy prepared by copper - mould casting", VI Scientific Meeting Physics and Technology of Materials FITEM 05, July 31. - August 3., Čačak 2005, p.7, COBBIS.SR-ID 512153758. (M34)

2. N. Mitrović, **B. Čukić**, N. Obradović, B. Nedeljković, "Thermal stability and kinetics of crystallization proces of metastable $Zr_{50,56}Ti_{5,14}Cu_{18,86}Ni_{11,14}Al_{14,3}$ alloy prepared by copper-mould casting", VI Scientific Meeting Physics and Technology of Materials FITEM 05, July 31. - August 3., Čačak 2005, p.25, COBBIS.SR-ID 512153758. (M34)
3. N. Mitrović, **B. Čukić**, N. Obradović, M. Kićanović, M. Stoica, "Kinetics of crystalization process of bulk metallic glass FeCrMoGaPCB prepared by copper-mould casting", The 14th Annual Conference YUCOMAT 2012, Herceg Novi, September 3-7, 2012, p. 81, COBBIS.SR-ID 1538256618. (M34)

Радови саопштени на скупу националног значаја штампани у целини:

1. Р. Ђирић, С. Љ. Марковић, **Б. Чукић**, В. Радоњић, "Карактеризација домаћих ножева за сечење папира израђених од двослојних челика (биметала)", 30. Јубиларно саветовање производног машинства Србије и Црне Горе са међународним учешћем, Врњачка Бања, 01-03. септембар, 2005, стр. 529-534. ISBN 86-7776-009-1. (M63)
2. Н. Митровић, Б. Јордовић, **Б. Чукић**, Б. Недељковић, С. Рот, М. Стојка "Оптимизација функционалних својстава аморфне масивне металне легуре $Fe_{65,5}Cr_4Mo_4Ga_4P_{12}C_5V_{5,5}$ ", Зборник радова 51. Конференције за ЕТРАН 2007, Игало, 4-8 јун, 2007, рад НМ 1.6, стр 1-4, ISBN 978-86-80509-62-4. (M63)
3. **Б. Чукић**, Б. Недељковић, Н. Митровић, М. Поповић, С. Рот, М. Стојка "Механичка и магнетна својства термички третирани аморфне масивне металне легуре $Fe_{65,5}Cr_4Mo_4Ga_4P_{12}C_5V_{5,5}$ ", Зборник радова 56. Конференције ЕТРАН 2012, Златибор, 11-14 јун, 2012., рад НМ 1.4, стр 1-4, ISBN 978-86-80509-67-9. (M63)
4. **Б. Чукић**, Н. Митровић, А. Маричић, Б. Недељковић, М. Поповић, М. Стојка, "Утицај одгревања на магнетну пермеабилност, микроструктуру и тврдоћу аморфне легуре FeCrMoGaPCB" Зборник радова 57. Конференције ЕТРАН 2013, Златибор, 3-6 јун, 2013., рад НМ 1.5, стр. 1-5, ISBN 978-86-80509-68-6. (M63)
5. **Б. Чукић**, Н. Митровић, Н. Лабус, Б. Недељковић, М. Поповић, М. Луковић, М. Стојка, "Корелација процеса кристализације и термичког ширења аморфне масивне металне легуре FeCrMoGaPCB" Зборник радова 58. Конференције ЕТРАН 2014, Врњачка Бања, 2-5 јун, 2014., рад НМ 1.4, стр. 1-6, ISBN 978-86-80509-70-9. (M63)

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

Докторска дисертација кандидата мр Братислава Чукића под називом "УТИЦАЈ ТЕРМИЧКИХ ТРЕТМАНА НА ФУНКЦИОНАЛНА СВОЈСТВА АМОРФНЕ МАСИВНЕ МЕТАЛНЕ ЛЕГУРЕ $Fe_{65,5}Cr_4Mo_4Ga_4P_{12}C_5V_{5,5}$ " одговара по садржају прихваћеној теми од стране Наставно - научног већа Факултета техничких наука у Чачку и Стручног већа за техничко - технолошке науке Универзитета у Крагујевцу. По квалитету и обиму истраживања у потпуности задовољава све научне, стручне и законске услове за докторску дисертацију.

Докторска дисертација је написана на 124 стране, садржи 106 слика, 9 табела и цитирана су 132 библиографска наслова.

Докторска дисертација је подељена у шест поглавља и то:

1. УВОД
2. ТЕОРИЈСКИ ДЕО
3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ ДЕО
4. РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА
5. ЗАКЉУЧАК
6. ЛИТЕРАТУРА

У **Уводном делу** истакнут је значај и развој аморфних металних легура са посебним освртом на аморфне масивне металне легуре на бази гвожђа. Указано је на најновија истраживања у овој области, главне циљеве и постигнуте резултате до којих се дошло током израде ове докторске дисертације.

У **Теоријском делу** приказане су основне карактеристике кристалног и аморфног стања, као и експерименталне методе за добијање аморфних металних легура. За феромагнетне аморфне масивне металне легуре на бази Fe, Co и Ni (заједно са АММЛ на бази Zr и Pd) приказан је однос између критичне брзине хлађења, максималних дебљина узорака и редуковане температуре остакљавања / ширине области суперпотхлађене течности. Табеларно је приказан хронолошки развој аморфних масивних металних легура, као и шема механизма за повећање стабилности потхлађене течности код АММЛ. На крају поглавља описана су магнетна својства, термичка стабилност и могуће примене АММЛ.

У **Експерименталном делу** описан је поступак добијања АММЛ састава $Fe_{65,5}Cr_4Mo_4Ga_4P_{12}C_5V_{5,5}$ ливењем предлегура у бакарне калупе, као и експерименталне методе испитивања. Структура полазних узорака као и структурне трансформације настале током загревања испитане су XRD анализом, а термичка стабилност DTA анализом. Магнетна својства испитана су мерењем магнетне пермеабилности модификованом Faraday-евом методом и мерењем коерцитивног поља (H_c). Утицај загревања на дилатацију праћен је променом релативне дужине узорака и одговарајућег коефицијента термичког ширења. Структурне промене настале током термичких третмана праћене су скенирајућом електронском микроскопијом и оптичком микроскопијом, а механичка својства мерењем тврдоће и микротврдоће.

У делу **Резултати и дискусија** најпре су дата испитивања термичке стабилности узорака легуре пречника 1,5 mm и 1,8 mm при различитим брзинама загревања у температурном интервалу од 293 K до 873 K. DTA анализом одређен је утицај пречника легуре и брзине загревања на температурну област релаксације аморфне структуре, област суперпотхлађене течности и област процеса кристализације. Методом Kissinger-а одређени су кинетички параметри процеса кристализације. Структуре полазних узорака и структурне трансформације које су се одиграле током термичких третмана испитане су XRD анализом. Упоредном анализом експерименталних резултата добијених различитим методама испитивања, утврђена је изразита корелација између структурних промена у легури и одговарајућих промена функционалних својстава (магнетна пермеабилност, коерцитивно поље, дилатација, тврдоћа и микротврдоћа).

У **Закључку** су сумирани резултати докторске дисертације, утврђен је механизам за побољшање функционалних својстава са становишта утицаја термичких третмана на процесе структурне релаксације и кристализације као и промене магнетних својстава и коефицијента термичког ширења. На основу добијених резултата (DTA и XRD анализе,

испитивања микроструктуре, корецитивне силе, магнетне пермеабилности, Curie-еве температуре, тврдоће, дилатације) приказан је утицај пречника узорака легуре и температуре загревања на процес структурне релаксације и кристализације.

5. Научни резултати докторске дисертације

Темељним теоријским и експериментално - истраживачким радом на докторској дисертацији, кандидат мр Братислав Чукић је дошао до низа значајних резултата.

DTA анализом је потврђено да температура остакљивања (T_g), температура почетка кристализације (T_x), ширина температурне области суперпотхлађене течности (ΔT_x), Curie-ева температура (T_c) и положај кристалizacionог пика, не зависе само од брзине загревања, већ и од пречника узорка. При истој брзини загревања код узорака мањег пречника (при чијем ливењу је остварена већа брзина хлађења растопа и проценат аморфне фазе је већи) напред наведени параметри су померени ка нижим температурама.

Прорачуном кинетичких параметара неизотермском методом Kissinger-a, добијене су вредности енергија активације процеса кристализације $E_{a(1,5\text{ mm})} = 418,03\text{ kJ/mol}$, и $E_{a(1,8\text{ mm})} = 375,48\text{ kJ/mol}$.

XRD анализом полазних узорака легуре пречника 1,5 mm и 1,8 mm добијени су дифрактограми без формираних оштрих дифракционих пикова карактеристичних за кристалну легуру, што потврђује да изливени узорци имају претежно аморфну структуру. Установљено је да током загревања услед кристализације аморфне фазе долази до истовременог формирања више кристалних једињења Fe_3B , $\text{Fe}_2\text{Mo}_4\text{C}$ и $\text{B}_{48}\text{V}_2\text{C}_2$, а при температурама изнад 900 K и до формирања кристалне фазе $\alpha\text{-Fe}$ карактеристичне за нанокристалне легуре на бази гвожђа.

Термомагнетним мерењима испитан је утицај термичких третмана на промене нормализоване магнетне пермеабилности током вишеструких одгревања узорака пречника 1,5 mm и 1,8 mm у интервалу од собне температуре (293 K) до унапред одређене температуре при брзини загревања од 20 K/min., са одгревањем на достигнутој максималној жељеној температури у трајању од $\tau = 10\text{ min}$.

Код узорака пречника 1,5 mm процес релаксације аморфне структуре завршава се при $T_{\text{ann}} = 873\text{ K}$ при чему је максимална магнетна пермеабилност увећана за око 5 % (у односу на почетну вредност $\mu_{293\text{K}}$). Интензиван процес кристализације након одгревања узорка на $T_{\text{ann}} = 973\text{ K}$ довео је до очекиваног смањења пермеабилности од око 20 %. Код узорка пречника 1,8 mm релаксација аморфне структуре при $T_{\text{ann}} = 673\text{ K}$ довела је до увећања магнетне пермеабилности за око 23 %, док је прелазак аморфне фазе у кристалну након одгревања на $T_{\text{ann}} = 873\text{ K}$ узроковао смањење пермеабилности од око 23 %. Резултати термомагнетних мерења су у сагласности са резултатима XRD и DTA анализе.

Анализом зависности Curie-еве температуре од температуре одгревања за узорке пречника 1,5 mm и 1,8 mm утврђено је да процес структурне релаксације значајно утиче на померање Curie-еве температуре. Процес кристализације са формирањем феромагнетних једињења Fe_3B , Fe_3C , $\text{Fe}_2\text{Mo}_4\text{C}$ и $\alpha\text{-Fe}$ фазе утиче не само на померање Curie-еве температуре ка вишим вредностима, већ и на појаву Curie-еве температуре аморфне aT_c и Curie-еве температуре кристалне фазе cT_c .

Резултати мерења коерцитивне силе H_c за узорке оба испитивана пречника су у међусобној корелацији. Након загревања до температуре $T_{\max} = 673 \text{ K}$, код оба узорка регистровано је побољшање коерцитивности, тј. $H_{c, \text{пор}} \approx 0.6$. Загревањем узорка на температурама изнад 773 K уочен је знатан пораст коерцитивности услед кристализације код оба узорка што је у корелацији са резултатима DTA и XRD анализе, као и мерењима магнетне пермеабилности.

Анализом топлотног ширења легуре уочава се да је током првог загревања у температурном интервалу у коме се одвија процес структурне релаксације коефицијент термичког ширења нешто већи код узорка пречника $1,5 \text{ mm}$ ($\alpha_2 = 9,92 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$) у односу на узорак пречника $1,8 \text{ mm}$ ($\alpha_2 = 8,38 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$) услед веће густине дефеката и микронапрезања због остварене веће брзине хлађења при ливењу. Ови резултати су у одличној корелацији са мерењима магнетне пермеабилности.

Показано је да прелазак аморфне фазе у кристалну узрокује негативан коефицијент термичког ширења који је већи код узорка пречника $1,5 \text{ mm}$ и износи $\alpha_4 = -5,57 \cdot 10^{-4} \text{ K}^{-1}$ у односу на узорак пречника $1,8 \text{ mm}$ где је измерена вредност коефицијента термичког ширења $\alpha_4 = -8,02 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$. Након првог загревања до 1045 K , обављено је и друго загревање и као резултат завршеног процеса кристализације регистрован је позитиван коефицијент термичког ширења у целом температурном интервалу код узорка оба испитивана пречника.

Код узорка пречника $1,5 \text{ mm}$ приметно је интензивније скупљање током процеса кристализације. Израчунате вредности термичког коефицијента линеарног ширења за узорке оба испитивана пречника су истог реда величине ($\sim 10^{-6} \text{ K}^{-1}$) као и код пар недавно испитиваних АММ **инвар легура** на бази гвожђа, тако да се испитивана легура $\text{Fe}_{65,5}\text{Cr}_4\text{Mo}_4\text{Ga}_4\text{P}_{12}\text{C}_5\text{V}_{5,5}$ може сврстати међу легуре са **инвар ефектом**.

Резултати SEM анализе показују да након загревања узорка до 873 K (при 10 K/min) узорак пречника $1,5 \text{ mm}$ има мањи број зрна са већом величином за разлику од узорка пречника $1,8 \text{ mm}$, који показује интензивнију кристализацију са већим бројем мањих зрна.

Микроструктурном анализом утврђено је да полазни узорак пречника $1,5 \text{ mm}$ има већи степен аморфности у односу на узорак пречника $1,8 \text{ mm}$, код којег се уочава и појава кристалне фазе. Са повећањем температуре загревања повећавао се и удео кристалне фазе. Узорци код којих је мерена магнетна пермеабилност вишеструким одгревањем до температура изнад температуре кристализације имају формирану кристалну микроструктуру за разлику од узорка код којих је мерена дилатација (загревани само два пута) код којих је формирана наноструктура.

Експериментално је потврђено да структурне промене у легури под утицајем топлотног дејства узрокују трајне промене механичких својстава охлађеног узорка. Анализом тврдоће и микротврдоће утврђено је да одливени узорци пречника $1,5 \text{ mm}$ и $1,8 \text{ mm}$ имају скоро исту тврдоћу $\sim 713 \text{ HV}_1$. Са повећањем температуре одгревања услед кристализације код оба узорка тврдоћа расте (вишеструко одгревани узорци имају тврдоћу за око 57% већу у односу на неодгревани узорак).

6. Применљивост резултата у теорији и пракси

Докторска дисертација кандидата мр Братислава Чукића под називом "УТИЦАЈ ТЕРМИЧКИХ ТРЕТМАНА НА ФУНКЦИОНАЛНА СВОЈСТВА АМОРФНЕ МАСИВНЕ МЕТАЛНЕ ЛЕГУРЕ $Fe_{65,5}Cr_4Mo_4Ga_4P_{12}C_5B_{5,5}$ " даје као резултат материјал са побољшаним структурним, магнетним и механичким својствима.

С обзиром да су аморфне металне легуре структурно и термодинамички нестабилне и подложне процесу делимичне или потпуне кристализације током термичке обраде, неопходно је познавање стабилности легуре при различитим радним температурама и оствареним брзинама загревања. Кандидат је систематски испитао параметре којим се утврђује опсег термичке стабилности испитиване аморфне масивне металне легуре на бази гвожђа. На узорцима различитих пречника је извршио анализу структурних промена које воде ка добијању материјала побољшаних карактеристика процесом релаксације полазне аморфне структуре.

Као последица нехомогене брзине хлађења при очвршћавању растопа непосредно после добијања одливака, у аморфној структури постоје заостала напрезања. Загревањем на температурама испод температуре кристализације одвија се процес релаксације аморфне структуре и отклањање унутрашњих напрезања, а самим тим и побољшање свих функционалних својстава легуре. Са отпочињањем процеса кристализације наведена својства се знатно мењају па је неопходно познавање оптималних параметара термичких третмана, а то је циљ који је кандидат током истраживања успешно остварио.

7. Начин презентовања резултата научној јавности

Истраживања у оквиру докторске дисертације представљају логичан наставак научног рада кандидата након одбране магистарске тезе са тематиком такође из области АММЛ. У области проучавања АММЛ на бази гвожђа кандидат је до сада публикувао: 2 рада у научним часописима међународног значаја категорије М23, 1 рад саопштен на међународном скупу штампан у изводу категорије М34 и 4 рада саопштена на скуповима националног значаја штампана у целини категорије М63. Први рад категорије М23 је цитиран у истакнутом научном часопису међународног значаја-М21 (2016/*Scientific Reports*/IF > 4).

ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ КОМИСИЈЕ

Докторска дисертација кандидата мр Братислава Чукића дипл. инж. металургије, под називом "УТИЦАЈ ТЕРМИЧКИХ ТРЕТМАНА НА ФУНКЦИОНАЛНА СВОЈСТВА АМОРФНЕ МАСИВНЕ МЕТАЛНЕ ЛЕГУРЕ $Fe_{65,5}Cr_4Mo_4Ga_4P_{12}C_5B_{5,5}$ " одговара прихваћеној теми од стране Наставно - научног већа Факултета техничких наука у Чачку, односно Стручног већа за техничко-технолошке науке Универзитета у Крагујевцу.

У оквиру докторске дисертације кандидат је детаљним теоријско - експерименталним радом дошао до низа оригиналних научних резултата, који се односе на утицај загревања у температурном интервалу пре и након процеса кристализације на структурна, механичка и магнетна својства одливака испитиване легуре пречника 1,5 mm и 1,8 mm. Докторска дисертација је резултат самосталног рада и по квалитету,

обиму и приказаним резултатима истраживања у потпуности задовољава законске услове и универзитетске норме прописане за израду докторске дисертације.

Сprovedена истраживања и резултати докторске дисертације садрже материјал за даљу презентацију на међународним и националним научним скуповима и публиковање у референтним научним часописима из области развоја савремених феромагнетних материјала. Кандидат је ради добијања конкретних и применљивих резултата овладао методологијом научноистраживачког рада и стекао способност систематског приступа решавању научних проблема уз адекватно коришћење савремене светске литературе из области аморфних масивних металних легура.

С обзиром на актуелност проблематике која је обрађена и остварене резултате, чланови Комисије сматрају да кандидат мр Братислав Чукић дипл. инж. металургије, и поднета докторска дисертација, испуњавају све услове, који се у поступку оцене писаног дела докторске дисертације захтевају Законом о високом образовању, Статутом Универзитета у Крагујевцу и Статутом Факултета техничких наука у Чачку.

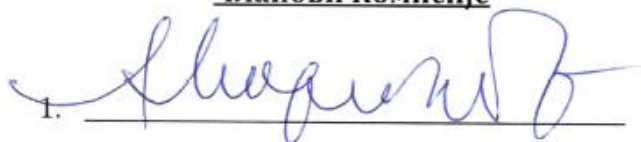
На основу претходно наведеног, Комисија за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата мр Братислава Чукића предлаже Наставно – научном већу Факултета техничких наука у Чачку и Већу за техничко - технолошке науке Универзитета у Крагујевцу да докторску дисертацију кандидата под називом:

**"УТИЦАЈ ТЕРМИЧКИХ ТРЕТМАНА НА ФУНКЦИОНАЛНА СВОЈСТВА
АМОРФНЕ МАСИВНЕ МЕТАЛНЕ ЛЕГУРЕ $Fe_{65,5}Cr_4Mo_4Ga_4P_{12}C_5B_{5,5}$ "**

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

У Чачку и Београду, фебруара 2019. године.

Чланови Комисије

1. 

Др Алекса Маричић, професор емеритус, председник Комисије
Факултет техничких наука у Чачку, Универзитет у Крагујевцу
Ужа научна област: Примењена физика

2. 

Др Небојша Лабус, виши научни сарадник, члан
Институт техничких наука САНУ у Београду
Ужа научна област: Материјали

3. 

Др Александра Калезић - Глишовић, доцент, члан
Факултет техничких наука у Чачку, Универзитет у Крагујевцу
Ужа научна област: Примењена физика



ИЗВЕШТАЈ О ПРОВЕРИ НА ПЛАГИЈАРИЗАМ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

НАЗИВ ДИСЕРТАЦИЈЕ	УТИЦАЈ ТЕРМИЧКИХ ТРЕТМАНА НА ФУНКЦИОНАЛНА СВОЈСТВА АМОРФНЕ МАСИВНЕ МЕТАЛНЕ ЛЕГУРЕ Fe65,5Cr4Mo4Ga4P12C5B5,5	
Кандидат	мр Братислав Чукић	
Ментор	др Небојша Митровић, редовни професор	
Датум приспећа дисертације на проверу	18.01.2019.	

РЕЗУЛТАТ ПРОВЕРЕ:

<input checked="" type="checkbox"/>	УПУЋУЈЕ СЕ У ДАЉУ ПРОЦЕДУРУ
<input type="checkbox"/>	ВРАЋА СЕ НА ДОРАДУ

ОБРАЗЛОЖЕЊЕ:

Докторска дисертација колегинице мр Братислава Чукића, под називом „Утицај термичких третмана на функционална својства аморфне масивне металне легуре Fe65,5Cr4Mo4Ga4P12C5B5,5“, према софтверу за детекцију плагијаризма iThenticate, пронађено је укупно 21% идентичног текста. Детаљним прегледом докторске дисертације уочено је да су пронађена преклапања текста настала услед коришћења широко усвојених појмова и ознака у области којој припада докторска дисертација. Такође, највећи проценат преклапања је настао уносом текста из извештаја комисије за оцену подобности кандидата и теме докторске дисертације.

ПРИЛОЗИ:

iThenticate_izvestaj_doktorska_disertacija_Bratislav_Cukic.pdf

Датум формирања извештаја	25.01.2019.
Име и презиме, функција	Доц. др Марко Ђапан, члан Комисије за претходна питања за област техничко технолошких наука Универзитета у Крагујевцу
Потпис	

ИЗВЕШТАЈ ЈЕ ИЗРАЂЕН У ДВА ПРИМЕРКА.