

Факултет ТЕХНОЛОШКО-
МЕТАЛУРШКИ

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

35/227

Веће научних области техничких наука

(Број захтева)

(Назив већа научне области коме се захтев
упућује)

3.10.2022.

(Датум)

ЗАХТЕВ

за давање сагласности на одлуку о прихватању теме докторске дисертације
и о одређивању ментора

Молимо да, сходно члану 47. ст. 5. тач. 3. Статута Универзитета у Београду ("Гласник Универзитета", број 186/15-пречишћени текст и 189/16), дате сагласност на одлуку о прихватању теме докторске дисертације:

Развој композитних материјала са основом бакра

(пун назив предложене теме докторске дисертације)

НАУЧНА ОБЛАСТ МЕТАЛУРГИЈА

ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ:

1. Име, име једног од родитеља и презиме кандидата:

Марко (Слободан) Симић

2. Претходно образовање (назив и седиште факултета, студијски програм):

Универзитет у Београду,

Технолошко-металуршки факултет, Мастер студије, Мастер инжењер металургије

3. Година завршетка
претходног нивоа студија: 2018.

4. Година уписа на докторске студије: 2019.

5. Назив студијског програма
докторских студија:

Металуршко инжењерство

ПОДАЦИ О МЕНТОРУ :

Име и презиме ментора: др Татјана Волков- Хусовић

Звање: редовни професор

Списак радова који квалификују ментора за вођење докторске дисертације:

1. **Tatjana Volkov-Husović**, Ivana Ivanić, Stjepan Kožuh, Sanja Stevanović, Milica Vlahović, Sanja Martinović, Srećko Stopić, and Mirko Gojić, Microstructural and Cavitation Erosion Behavior of the CuAlNi Shape Memory Alloy, *Metals*, 2021, 11, 997. DOI: 10.3390/met11070997, ISSN: 2075-4701, IF =2.659 (M22)
2. Sanja Martinović, Milica Vlahović, Maja Gajić-Kvasčev, Marija Vuksanović, Dragomir Glišić, **Tatjana Volkov-Husović**, Principal component analysis of morphological descriptors for monitoring surface defects induced by thermal shock, *Journal of the European Ceramic Society*, 41 (2021) 423-429., IF =6.364 DOI: 10.1016/j.jeurceramsoc.2021.08.058, ISSN: 0955-2219 (M21 a)
3. Marija Vuksanovic Maja M, Gajic-Kvascev, Marina D Dojcinovic, Tatjana D Volkov-Husovic, Radmila Jancic-Heinemann, New surface characterization tools for alumina based refractory material exposed to cavitation - Image analysis and pattern recognition approach, *MATERIALS CHARACTERIZATION*, (2018), vol. 144 br. , str. 113-119, <https://doi.org/10.1016/j.matchar.2018.07.003> , IF=3.64 (M21)
4. Marija Vuksanovic , Maja Gajic-Kvascev, **Tatjana Volkov-Husovic**, Radmila Jancic Heinemann, Advanced damage resistance monitoring procedure on the composite materials? surface-exposed to cavitation testing, *WEAR*, (2021), vol. 474 ,<https://doi.org/10.1016/j.wear.2021.203877>, IF =4.695 (M21)
5. Marios Kazasidis, Shuo Yin, Jonathan Cassidy, **Tatjana Volkov-Husović**, Milica Vlahović, Sanja Martinović, Elena Kyriakopoulou, Rocco Lupoi, Microstructure and cavitation erosion performance of nickel-Inconel 718 composite coatings produced with cold spray, *Surface & Coatings Technology*, 382 (2020) 125-195. DOI: 10.1016/j.surfcoat.2019.125195, IF: 4,158 (M21)
6. Vuksanovic Marija, Natasa Tomic, Maja Gajic-Kvascev, Veljko Djokic, Marina Dojcinovic, **Tatjana Volkov-Husović**, Jancic-Heinemann Radmila M, The influence of alumina crystal structures on the morphology and surface erosion of PMMA composite materials exposed to cavitation testing , *WEAR*, Volumes 436–437, 15 October 2019, 203033 (2019), <https://doi.org/10.1016/j.wear.2019.203033>, IF=4.169 (M21)

ПОДАЦИ О МЕНТОРУ 2:

Име и презиме ментора: др Јована Ружић

Звање: виши научни сарадник

Списак радова који квалификују ментора за вођење докторске дисертације:

1. J. Ružić, K. Goto, I. Watanabe, T. Osada, L. Wu, T. Ohmura, Temperature-dependent deformation behavior of γ and γ' single-phase nickel-based superalloys, *Materials Science and Engineering: A*, 2021, 818, 141439. DOI: 10.1016/j.msea.2021.141439, ISSN: 0921-5093 IF: 5.234 (M21a)
2. J. Ružić, I. Watanabe, K. Goto, T. Ohmura: Nano-Indentation Measurement for Heat Resistant Alloys at Elevated Temperatures in Inert Atmosphere, *Materials Transactions, Special Issue on Recent Advances in Indentation Technique 2019*, The Japan Institute of Metals and Materials, 2019, 60, 8, str. 1411-1415 DOI: <https://doi.org/10.2320/matertrans.MD201909>, ISSN: 1345-9678. IF: 0.764 (M23)
3. J. Stašić, M. Trtica, V. Rajković, J. Ružić, D. Božić: Laser sintering of Cu–Zr–ZrB₂ composite, *Applied Surface Science*, 2014, 321, str. 353–357, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2014.10.021>, ISSN: 0169-4332, IF: 2.711 (2014), (M21)
4. J. Ružić, J. Stašić, V. Rajković, D. Božić: Strengthening effects in precipitation and dispersion hardened powder metallurgy copper alloys, *Materials and Design*, 2013, 49 str. 746 – 754, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2013.02.030>, ISSN: 0264-1275, IF: 3.914 (2013) (M21)
5. J. Ružić, J. Stašić, V. Rajković, D. Božić: Synthesis, microstructure and mechanical properties of ZrB₂ nano and microparticle reinforced copper matrix composite by in situ processings, *Materials and Design*, 2014, 62, str. 409 - 415, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2014.05.036>, ISSN: 0264-1275, IF: 4.33 (2014) (M21)
6. J. Ružić, J. Stašić, V. Rajković, K. Raić, D. Božić: Microstructural and mechanical properties of Cu-7vol.%ZrB₂ alloy produced by metallurgy processing techniques, *Science and Engineering of Composite Materials*, 2015, 22, 6 str. 665-671, DOI: <https://doi.org/10.1515/secm-2013-0178>, ISSN: 0792-1233 IF: 0.362

ДЕКАН ФАКУЛТЕТА

Проф.дрПетарУскоковћ

- Прилог 1. Одлука Наставно-научног већа о прихватању теме и одређивању ментора
2. Извештај Комисије о оцени научне заснованости теме докторске дисертације

Напомена: Факултет доставља Универзитету захтев са прилозима у електронској форми и у једном писаном примерку за архиву Универзитета

На основу чл. 40. став 3. Закона о високом образовању, чл. 112. став 3. Статута Универзитета у Београду, чл. 88. став 3. Статута ТМФ-а и чл.43. Правилника о докторским студијама ТМФ-а на седници Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета од 20.09.2022. године, донета је

О Д Л У К А

о прихватању Реферата Комисије за оцену подобности теме и кандидата
за израду докторске дисертације

Прихвата се Реферат Комисије за оцену подобности теме и кандидата и одобрава израда докторске дисертације **Марка Симића**, број индекса 4002/2019, под називом: **„Развој композитних материјала са основом бакра“**.

Одлуку о давању сагласности на предлог теме докторске дисертације доноси Универзитет у Београду.

За менторе се одређују др Татјана Волков-Хусовић, редовни професор Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет и др Јована Ружић, виши научни саветник Универзитета у Београду, Институт за нуклеарне науке „Винча“, Институт од националног значаја за Републику Србију.

Одлуку доставити: Универзитету у Београду, кандидату, менторима, Служби за наставно студентске послове и архиви Факултета.

Д Е К А Н

Проф. др Петар Ускоковић

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Подобност теме и кандидата Марка Симића за израду докторске дисертације

Одлуком бр. **35/205** од 25.8.2022. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену подобности теме и кандидата Марка Симића, мастер инж. за израду докторске дисертације и научне заснованости теме:

Развој композитних материјала са основом бакра

На основу материјала приложеног уз Захтев кандидата, Комисија подноси следећи

РЕФЕРАТ

1. Подаци о кандидату

1.1. Биографски подаци

Марко Симић, мастер инжењер металургије, рођен је 16.08.1994. године у Београду. Основну и средњу школу завршио је у Београду. Школске 2013/2014. Године уписао је основне академске студије на Технолошко-металуршком факултету Универзитета у Београду, на студијском програму Металуршко инжењерство. Дипломирао је у септембру 2017. године на катедри за Металуршко инжењерство, сазавршеним радом на тему „Рециклажа групе платинских метала из нежелезних шљака пирометалуршким поступком таложења”, под менторством професора др Карла Раића, са оценом 10,00. Средња оцена током основних студија била је 8,45.

У октобру исте године, уписао је мастер академске студије на студијском програму Металуршко инжењерство, на Технолошко-металуршком факултету. Завршни мастер рад на тему „Добијање Скандијума (Sc) лужењем црвеног муља”, одбранио је у септембру 2018. године на катедри за Металуршко инжењерство, под менторством професора др Карла Раића, са оценом 10,00. Просечна оцена током мастер студија била је 8.88. Докторске академске студије уписао је школске 2019/2020. године на Технолошко-металуршком факултету, студијски програм Металуршко инжењерство, под менторством професорке др

Татјане Волков Хусовић, редовног професора Технолошко металуршког факултета. У оквиру докторских студија положио је све испите предвиђене студијским програмом, са просечном оценом 9,36. Одбранио је завршни испит на тему: „Карактеризација композитних материјала са основом бакра“, под менторством др Карла Раића, редовног професора Технолошко металуршког факултета.

1.2. Стечено научноистраживачко искуство

Од јуна 2020. године стално је запослен у Институту нуклеарних наука „Винча“, институту од националног значаја за Републику Србију у Лабораторији за материјале. Ангажован је на истраживачкој теми: „In situ образовање нано и микрочестица ојачивача код металних композита добијених ласерским топљењем и техникама металургије праха“, коју финансира Министарство просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије (број теме 1702204).

Научно истраживачки рад Марка Симића одвија се у области наноматеријала, где је укључен у истраживања која су у вези са синтезом и карактеризацијом ових материјала, са посебним занимањем за композитне материјале са основом бакра. У свом досадашњем научно-истраживачком раду аутор и коаутор је 4 рада у истакнутом међународном часопису (2 M24, M23, M22).

Списак положених испита у оквиру докторских студија

Редни бр.	Назив предмета	Оцена	ESPB
1	Кинетика фазних трансформација	7	5
2	Одабрана поглавља нумеричке анализе	10	5
3	Структура и својства металних материјала	10	5
4	Заварљивост и сигурност заварених спојева	8	5
5	Феномени преноса у инжењерству материјала	10	5
6	Материјали за високотемпературне намене	10	5
7	Инжењерство површина	10	5
8	Пећи и реактори у металургији	10	5
9	Физичка металургија	8	5
10	Квантификација визуелних информација	10	5
11	Енглески језик	10	
12	Завршни испит	10	30
Средња оцена/укупно		9,36	80

Објављени научни радови и саопштења

Рад у истакнутом међународном часопису, M22

1. **M. Simić**, J. Ružić, D. Božić, N. Stoymenov, S. Goshev, D. Karastoyanov, J. Stašić, The influence of boron addition on properties of copper-zirconium alloys, Science of sintering, 2023. Рад је прихваћен и добијена је потписана потврда од часописа да ће рад бити објављен 2023. године. Потврда се налази у прилогу.

Рад у истакнутом међународном часопису, M23

2. **M. Simić**, A. Alil, S. Martinović, M. Vlahović, A. Savić, T. Volkov-Husović, High temperature materials: properties, demands and applications, Hemijska industrija, 74 (4), 273-284 2020, DOI: <https://doi.org/10.2298/HEMIND200421019S>, ISSN: 0367598X, IF 2020: 0.774

Рад у истакнутом међународном часопису, M24

3. **M. Simić**, N. Radović, M. Gordić, J. Ružić, Effect of process parameters on the phase transformation kinetics in copper-based alloys and composites, Metallurgical and Materials Engineering, 26 (4), 365-373, 2020, DOI: <https://doi.org/10.30544/571>, ISSN: 2217-8961, IF 2020: 0.43

4. J. Ružić, **M. Simić**, N. Stoimenov, D. Božić, J. Stašić, Innovative processing routes in manufacturing of metal matrix composite materials, Metallurgical and Materials Engineering, 27 (1), 1-13, 2021, DOI: 10.30544/629, ISSN: 2217-8961, IF 2021: 0,69.

Саопштење са међународног скупа штампано у изводу, M34

1. **M. Simić**, J. Majstorović-Necković, T. Volkov – Husović, Cavitation of refractory samples based on talc and domestic zeolite from Igros, 7th conference of the young chemists of Serbia, Faculty of Chemistry, Belgrade, Serbia, 2nd November 2019.

2. **M. Simić**, S. Martinović, M. Vlahović, T. Volkov Husović, Implementation of image analysis for cavitation erosion determination of refractory samples based on talc and domestic zeolite from Igros, 19th Young Researchers' Conference, 1-3 December, 2021.

3. **M. Simić**, J. Ružić, J. Luković, D. Božić, A. Alil, T. Volkov-Husović, J. Stašić, X-Ray analysis by Williamson-Hall and stereological analysis of mechanically alloyed Cu-Zr-B alloys, Young Researchers Conference, Belgrade Fair, 25. May, 2022.

1.3. Оцена подобности кандидата за рад на предложеној теми

На основу претходно приказаних резултата досадашњег рада и оствареног искуства током докторских студија и у оквиру научноистраживачког рада, мастер инжењер металургије Симић Марко је показао изузетну способност за бављење

научноистраживачким радом. На основу свега до сада изложеног Комисија закључује да кандидат испуњава све потребне услове за рад на предложеној теми докторске дисертације.

2. Предмет и циљ истраживања

Предмет овог рада, у најширем смислу обухватиће синтезу и карактеризацију композита са основом бакра ојачаног нано- и микро честицама ZrB_2 .

Већина студија које се односе на честично ојачавање матрице бакра објављено је последњих 15-20 година. Проучавања карактеристика композитних материјала на основи бакра од великог су значаја како фундаменталног тако и применљивог. Ови материјали представљају један од најперспективнијих материјала за многе инжењерске намене. Нашли су примену у многим гранама индустрије а као најинтересантније свакако је могуће навести оне који су примену нашли у авио индустрији и ракетној техници.

Познато је да коморе за сагоревање горива код ракета функционишу на екстремно високом топлотном флуксу. Неопходно је активно хлађење коморе како би се спречило топљење материјала њених зидова. Избор материјала за израду зидова коморе је ограничен само на оне са екстремно високом топлотном проводљивошћу, који се не би топили и који би задржали потребна структурна својства. Бакар и легуре бакра са ниским садржајем легирајућих елемената нуде највећу могућу топлотну проводљивост, док са друге стране имају довољно добре механичке особине да издрже статичка и циклична оптерећења. Постоје три групе система на основи бакра који се данас интензивно проучавају управо за ове намене: материјали код којих се формирају талози из чврстих раствора бакра; материјали код којих се основа бакра ојачава помоћу металних борида и они код којих се стварају талози или дисперзоиди из стабилних интерметалних једињења без бакра.

Метални борида се преферирају због њихове високе тачке топљења, ниске растворљивости у бакру и незнатног утицаја на топлотну проводљивост основног метала. Један од материјала који би потенцијално могао наћи примену у већ наведеним индустријама а захтева додатно истраживање је легура $Cu-ZrB_2$.

Бакар ојачан додавањем елемената Zr и B (где ови легирајући елементи могу, зависно од услова, *insitu*, формирати ZrB_2) показује одличну топлотну проводљивост, отпорност на хабање и варничење, при чему задржава високу чврстоћу на предвиђеним радним температурама.

Најновијим истраживањима ове легуре установљено је да се поменуте особине могу постићи применом одређених техника металургије праха, које решавају проблеме везане првенствено за микроструктурне параметре.

Најважнији литературни подаци који се односе на дату тему:

1. K. K. Chawla, Composite Materials: Science and Engineering, Fourth edition, Springer International Publishing, 2019.
2. D. Hull, T. W. Clyne, An Introduction to Composite Materials, Second edition, University of Cambridge, 2019.
3. S. Pan, T. Wang, K. Jin, X. Cai, Understanding and designing metal matrix nanocomposites with high electrical conductivity: a review, Journal of Materials Science, 57, 6487–6523 2022.

4. G. Yao, S. Pan, J. Yuan, Z. Guan, X. Li, A Novel Process for Manufacturing Copper with Size-controlled In-situ Tungsten Nanoparticles by Casting, *Journal of Materials Processing Technology*, 296, 2021.
5. S. Zhang, H. Kang, R. Li, C. Zou, E. Guo, Z. Chen, T. Wang, Microstructure evolution, electrical conductivity and mechanical properties of dual-scale Cu5Zr/ZrB2 particulate reinforced copper matrix composites, *Materials Science and Engineering: A*, 762, 2019.
6. J. Ružić, J. Stašić, V. Rajković, K. Raić, D. Božić: Microstructural and mechanical properties of Cu-7vol.%ZrB2 alloy produced by metallurgy processing techniques, *Science and Engineering of Composite Materials*, Vol. 22, 6, 665-671, 2015.
7. S. Pan, T. Zheng, G. Yao, Y. Chi, I. D. De Rosa, X. Li, High-strength and high-conductivity in situ Cu-TiB2 nanocomposites, *Materials Science and Engineering: A*, 831, 2022.
8. J. Ružić, J. Stašić, V. Rajković, D. Božić, Strengthening effects in precipitation and dispersion hardened powder metallurgy copper alloys, *Materials and Design*, 49, 746 – 754, 2013.
9. T. Srivatsan, M. Gupta, *Nanocomposites VI: Nanoscience and Nanotechnology in Advanced Composites*, The Minerals, Metals & Materials Series, 2019.
10. J. Stašić, V. Rajković, J. Ružić, D. Božić An investigation on synthesis development of high hardened, high conductivity Cu-Zr and Cu-Zr-ZrB2 alloys through green compact laser sintering, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 80, 1049-1057, 2015.
11. Y. K. Gautam, N. Somani, M. Kumar, A review on fabrication and characterization of copper metal matrix composite (CMMC), *AIP Conference Proceedings*, 2018.
12. X. Fan, X. Huang, Q. Liu, H. Ding, H. Wang, C. Hao, The microstructures and properties of in-situ ZrB2 reinforced Cu matrix composites, *Results in Physics*, 14, 2019.
13. E. Broitman, Indentation Hardness Measurements at Macro-, Micro-, and Nanoscale: A Critical Overview, *Tribol Lett* 65, 23, 2017.
14. J.O.Cross, R.L. Opila, I.W. Boyd, E.N. Kaufmann, Materials characterization and the evolution of materials *MRS Bulletin* Vol. 40. 1019-1031, 2015.
15. S.N. Monteiro, S. Paciornik, From Historical Backgrounds to Recent Advances in 3D Characterization of Materials: An Overview. *JOM* 69, 84–92, 2017.
16. X. Y. Wang, S. Feng, L. Qi, W. Gao, S. Zhang, Mechanical properties of Cu50Zr50 amorphous/B2-CuZr crystalline composites studied by molecular dynamic method, *Journal of Non-crystalline Solids*, 568, 2021.
17. C. Wang, H. Lin, Z. Zhang, W. Li, Fabrication, interfacial characteristics and strengthening mechanisms of ZrB2 microparticles reinforced Cu composites prepared by hot-pressed sintering, *Journal of Alloys and Compounds*, 748, 546-552, 2018.
18. Z. Zhang, Y. Sheng, X. Xu, W. Li, Microstructural Features and Mechanical Properties of In Situ Formed ZrB2/Cu Composites, *Advanced Engineering Materials*, 17 (9), 1338–1343, 2015.
19. S. Bhattacharya, R. Sahara, D. Božić, J. Ružić, Data analytics approach to predict the hardness of copper matrix composites, *Metallurgical and Materials Engineering* 26 (4), 357-364, 2020.
20. N. Beronská, A. Opálek, Š. Nagy, T. Dvůrák, T. Švantner, P. Švec, P. Štefánik, K. Iždinský, Microstructure and thermal stability of ZrB2 powder infiltrated by molten Cu and CuCr1Zr alloy, *Kovove Materialy*, 57, 95–103, 2019.
21. D. Božić, J. Stašić, J. Ružić, M. Vilotijević, V. Rajković, Synthesis and properties of a Cu-Ti-TiB(2) composite hardened by multiple mechanisms, *Materials Science and Engineering A*, 528, 8139-8144, 2011.

22. P. K. Prajapati, D. Chaira, Fabrication and Characterization of Cu–B₄C Metal Matrix Composite by Powder Metallurgy: Effect of B₄C on Microstructure, Mechanical Properties and Electrical Conductivity, Transactions of the Indian Institute of Metals, 72(3):673–684, 2018.
23. M. Li, S. J. Zinkle, Physical and Mechanical Properties of Copper and Copper Alloys. In: Konings R.J.M., (ed.) Comprehensive Nuclear Materials, 4, 667-690, 2012.
24. M. Darabi, M. Rajabi, B. Junipour, M.T. Noghani, The effect of sintering temperature on Cu-CNTs nano composites properties Produced by PM Method, Science of Sintering, 50, 477-486, 2018.

3. Полазне хипотезе

На основу детаљног прегледа литературе, закључено је да композитни материјали са основом бакра показују одличну топлотну и електричну проводљивост, побољшане механичке карактеристике, као и отпорност на хабање. Познато је да се бакар ојачава применом металургије праха, и то додатком легирајућих елемената (Zr и B) који при одговарајућим условима *in situ* формирају ZrB₂. Због тога, као предмет докторске дисертације намеће се развој композитних материјала са основом бакра. Поред тога, као ојачивачи ће се користити нано честице ZrB₂, и TiB₂.

Део истраживања биће посвећен одређивању односа компонената у оквиру ових композитних материјала. Пошто је познато да приликом процеса механичког легирања, однос куглица и праха игра значајну улогу у добијању одговарајуће структуре, користиће се различити уређаји и различити односи куглица-прах за добијање оптималних резултата.

Оптимални параметри механичког легирања композитних материјала са основом бакра нису потпуно истражени и у литератури се могу пронаћи различити наводи, те ће с тога, они у оквиру ове докторске дисертације бити детаљно испитани. Процес синтеровања је неизоставан и биће анализиран како у теоријском тако и у експерименталном делу рада. Идеја је да се за одређивање механичких и физичких карактеристика користе различите методе: индентације (одређивање макро, микро и нано тврдоће), компресије (одређивање чврстоће и модула еластичности), кавитације (одређивање отпорности на ерозију), испитивање електричне проводности, отпорности на корозију, и др.

4. Научне методе истраживања

Поступак синтезе ће се састојати од припреме и хомогенизације полазних прахова. Користиће се бакар 99,5% чистоће са средњом величином честица 15 μm , цирконијум 99,5% чистоће са средњом величином честица 1 μm , и аморфни бор 97% чистоће са средњом величином честица 0,083 μm . Карактеризација елементарних прахова обухватиће гранулометријску, микроструктурну и рендгеноструктурну анализу. Након синтезе биће примењене технике механичког легирања и хладног пресовања. За поступак механичког легирања биће коришћена два различита уређаја за мешање и то мешач-миксер марке Турбула и Netzsch атритор. У оба уређаја користиће се челичне кугле различите величине док ће брзине мешања бити приближне ради добијања упоредивих резултата. Прахови ће бити механички легирани за времена: 2, 4, 6, 8, 10, 20, 30 и 40 сати, у инертној атмосфери аргона. Однос кугли и праха ће такође бити различит, наиме 1:10 и 1:15 у оба случаја, како би се што адекватније извршило поређење и одредили оптимални параметри. Механички

легирани прахови биће хладно пресовани помоћу пресе марке Vulher под оптерећењем од 1 до 4 тона.

Анализом рендгенских дифрактограма праха одређене ће бити структурне и микроструктурне карактеристике механички легираних прахова. Испитивани ће бити фазни састави, димензије и микронапрезања јединичне ћелије и величина кристалита уз горе напоменуте анализе које су исте као код анализе полазних прахова. Карактеризација прахова и испресака биће извршена применом ренденске дифракционе анализе (XRD) и скенирајуће електронске микроскопије (SEM). Испресовани узорци ће затим бити синтеровани на температури од 950°C у лабораторијској цевној пећи у заштитној атмосфери (аргон). Брзина загревања која се очекује је 12 °C/мин. Промене структурних и механичких својстава испресака у зависности од времена механичког легирања биће испитиване различитим методама. Испитивања ће бити извршена на металографски обрађеним узорцима. Металографска припрема ће обухватити брушење и полирање површине испресака, брусним папирима и филцом различите финоће.

Биће одређена механичка својства композита и то: микротврдоћа прахова, макротврдоћа и компресиона чврстоћа испресака, као и њихова електрична својства. Биће одређена густина испресака као и стереолошка анализа. Морфолошке карактеристике ојачавајуће фазе (честица ZrB_2) у микроструктури бакарног испресака дефинишу се одређивањем стереолошких параметара. Пречник, број и расподела честица ZrB_2 у бакарној основи биће одређене помоћу компјутерског програма ImageJ. Морфолошке карактеристике честица ZrB_2 одређене су линеарном методом.

5. Очекивани научни допринос

Циљ испитивања композита бакра са одређеним садржајем ZrB_2 јесте пре свега утврђивање да ли се металургијом праха може успешно добити материјал који може постати потенцијални кандидат за примену у нуклеарној и ракетној техници. У оквиру овог рада биће спроведено низ различитих истраживања са циљем одређивања оптималних процесних параметара металургије праха за добијање композита са основом бакра. Управљањем и оптимизацијом процесних параметара утиче се на микроструктурне карактеристике добијених материјала и добијање жељених физичких и механичких својстава.

Очекивани резултати и доприноси овог истраживања су следећи:

- синтеза и карактеризација полазних прахова за добијање композитних материјала са основом бакра ојачаног нано- и микро честицама ZrB_2 са потенцијалном применом у ракетној и нуклеарној техници;
- проучавање и оптимизација процесних параметара механичког легирања и хладног пресовања добијених композитних материјала;
- проучавање и оптимизација процесних параметара синтеровања пресованих композитних материјала;
- анализа и оптимизација микроструктурних карактеристика добијених материјала у циљу добијања жељених физичких и механичких својстава.

6. План истраживања и структура рада

Рада ће обухватити теоријски и експериментални приступ синтези и карактеризацији композитних материјала са основом бакра и могућност њихове примене.

Планирана структура рада се може описати и преко наведених поглавља:

Теоријски део

1. Композитни материјали са основом бакра
2. Ојачане легуре бакра
3. Технике синтезе композитних материјала

Експериментални део

1. Карактеризација полазних прахова
2. Хомогенизација полазних прахова
3. Механичко легирање полазних прахова
4. Карактеризација механички легираних прахова
5. Топло пресовање механички легираних прахова
6. Карактеризација испресака
4. Добијени резултати и дискусија
5. Закључак

Литература

У уводном делу рада ће бити дефинисани предмет рада, циљ, допринос и актуелност истраживања.

У оквиру теоријског дела биће дат преглед композитних материјала - њихових карактеристике и примена, са посебним освртом на композитне материјале са основом бакра. Даље ће бити приказани различити механизми ојачавања композитних материјала са основом бакра. Као посебан део теоријског дела даће се детаљнији увид у коришћене технике синтезе композитних материјала са основом бакра. Биће описане метода синтезе, синтеровања и карактеризације добијених узорака.

Експериментални део биће одређен приказом карактеризације полазних материјала, а затим и описом синтеза узорака композитних материјала са основом бакра. Након тога, биће описана метода синтеровања материјала, као и опис метода и опреме коришћене при карактеризацији и тестирању добијених узорака.

Као посебан део биће приказана оптимизација услова синтезе ради добијања узорака захтеваних карактеристика.

Добијени резултати и њихова дискусија ће дати комплетан преглед за добијене узорке испитане претходно описаним методама.

У закључку ће бити сумирани добијени резултати приказаних истраживања и представљене могуће примене добијених композитних материјала са основом бакра.

Литература ће садржати све наводе цитиране у дисертацији као и радове проистекле истраживањем у оквиру ове дисертације.

1. Закључак и предлог

На основу изложеног Комисија сматра да кандидат Марко Симић испуњава све потребне услове за рад на предложеној теми докторске дисертације. На основу изнетих података Комисија сматра да је тема предложене докторске дисертације под насловом: „**Развој композитних материјала са основом бакра**“ научно утемељена и да ће резултати овог рада представљати значајан научни допринос научној области металуршког инжењерства. Комисија предлаже Научно-наставном већу Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду да кандидату Марку Симићу одобри израду докторске дисертације под наведеним насловом.

За ментора се предлаже др Татјана Волков-Хусовић, редовни професор Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду и за коментора др Јована Ружић, виши научни саветник Института за нуклеарне науке „Винча“.

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

др Татјана Волков-Хусовић, редовни професор
Технолошко-металуршки факултет, Универзитет у Београду

др Јована Ружић, виши научни саветник
Институт за нуклеарне науке „Винча“, Универзитет у Београду

др Васо Манојловић, доцент
Технолошко-металуршки факултет, Универзитет у Београду

07.09.2022.
Београд