

ТЕХНИЧКИ ФАКУЛТЕТ У БОРУ

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
Веће научних области техничких наука

(Број захтева)

(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:

УТИЦАЈ ТЕРМОМЕХАНИЧКОГ РЕЖИМА ПРЕРАДЕ НА КАРАКТЕРИСТИКЕ ЛИВЕНЕ МИКРОЛЕГИРАНЕ Cu-Fe-P ЛЕГУРЕ

НАУЧНА ОБЛАСТ: **Металуршко инжењерство**

ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ:

1. Име, име једног од родитеља и презиме кандидата: **Миљана (Нада) Митровић**
2. Претходно образовање (назив и седиште факултета, студијски програм):

Технички факултет у Бору, Металургија

3. Година завршетка претходног нивоа студија: **2008.**
4. Година уписа на докторске студије: **2018.**
5. Назив студијског програма докторских студија: **Металуршко инжењерство**

ПОДАЦИ О МЕНТОРУ:

1. Име и презиме ментора: **Проф. др Саша Марјановић**

Звање: **редовни професор**

Универзитет у Београду, Технички факултет у Бору

Списак радова који квалификују ментора за вођење докторске дисертације:

1. M. Mitrović, B. Trumić, **S. Marjanović**, M. Steharnik, V. Krstić, *Influence of Microalloying and the Thermomechanical Method of Processing on the Comminution of the Copper Structure*, *Materiali in Tehnologije*, 59(1) (2025) 11-20.
<https://doi.org/10.17222/mit.2024.1171>
(ISSN 1580-2949; IF(2024) = 0.7; M23; Metallurgy & Metallurgical Engineering 76/94)
2. V. Cvetkovic-Stamenkovic, D. Manasijevic, **S. Marjanovic**, A. Ivanovic, B. Trumic, V. Marjanovic, M. Jovanovic, *Influence of Thermomechanical Processing Regime on the Mechanical Properties and Electrical Conductivity of PdNi5 Alloy*, *Hemijska Industrija*, 71(5)(2017), 419-428.
<https://doi.org/10.2298/HEMIND151126004C>
(ISSN 0367-598X; IF(2024) = 0.8; M23; Engineering, Chemical 149/174)
3. B. Trumić, L. Gomidželović, **S. Marjanović**, A. Ivanović, V. Krstić, *Platinum-Based Alloys: Investigation of the Effect of Impurities Content on Creep Rate, Rupture Time and Relative Elongation at High Temperatures*, *Materials Research*, 20(1)(2017), 191 – 199.
<http://dx.doi.org/10.1590/1980-5373-MR-2016-0240>
(ISSN 1516-1439; IF(2024) = 1.6; M23; Materials Science, Multidisciplinary 361/453)
4. A. Ivanovic, B. Trumic, S. Ivanov, **S. Marjanovic**, M. Zrilic, T. Volkov-Husovic, B. Petkovic, *Optimisation of the Recrystallisation Annealing Regime of Pd-5Ni Alloy Using experimental design and statistical analysis to understand the metallurgical properties of palladium alloy for ammonia oxidation catchment gauze applications*, *JOHNSON MATTHEY TECHNOLOGY REVIEW*, 60(1)(2016), 31-38
<https://doi.org/10.1595/205651315X689964>
(ISSN 2056-5135; IF(2024) = 2.5; M23; Chemistry, Physical 132/185)

5. B. Trumić, L. Gomidželović, **S. Marjanović**, A. Ivanović, V. Krstić, S. Dimitrijević, *Pt-Pd system: Investigation of mechanical properties*, *Kovove Mater*, 54(2)(2016) 139-145.
https://doi.org/10.4149/km_2016_2_139
(ISSN 0023-432X; IF(2024) = 0.7; M23; Metallurgy & Metallurgical Engineering 76/94)

2. Име и презиме ментора: **др Бисерка Трумић**

Звање: **научни саветник**

Институт за рударство и металургију у Бору

1. M. Mitrović, **B. Trumić**, S. Marjanović, M. Steharnik, V. Krstić, *Influence of Microalloying and the Thermomechanical Method of Processing on the Comminution of the Copper Structure*, *Materiali in Tehnologije*, 59(1) (2025) 11-20.
<https://doi.org/10.17222/mit.2024.1171>
(ISSN 1580-2949; IF(2024) = 0.7; M23; Metallurgy & Metallurgical Engineering 76/94)
2. V. Cvetkovic-Stamenkovic, D. Manasijevic, S. Marjanovic, A. Ivanovic, **B. Trumic**, V. Marjanovic, M. Jovanovic, *Influence of Thermomechanical Processing Regime on the Mechanical Properties and Electrical Conductivity of PdNi5 Alloy*, *Hemijska Industrija*, 71(5) (2017), 419-428.
<https://doi.org/10.2298/HEMIND151126004C>
(ISSN 0367-598X; IF(2024) = 0.8; M23; Engineering, Chemical 149/174)
3. **B. Trumić**, L. Gomidželović, S. Marjanović, A. Ivanović, V. Krstić, *Platinum-Based Alloys: Investigation of the Effect of Impurities Content on Creep Rate, Rupture Time and Relative Elongation at High Temperatures*, *Materials Research*, 20(1) (2017), 191 – 199.
<http://dx.doi.org/10.1590/1980-5373-MR-2016-0240>
(ISSN 1516-1439; IF(2024) = 1.6; M22; Materials Science, Multidisciplinary 361/453)
4. A. Ivanovic, **B. Trumic**, S. Ivanov, S. Marjanovic, M. Zrilic, T. Volkov-Husovic, B. Petkovic, *Optimisation of the Recrystallisation Annealing Regime of Pd-5Ni Alloy Using experimental design and statistical analysis to understand the metallurgical properties of palladium alloy for ammonia oxidation catchment gauze applications*, *Johnson Matthey Technology Review*, 60(1) (2016), 31-38

<https://doi.org/10.1595/205651315X689964>

(ISSN 2056-5135; IF(2024) = 2.5; M23; Chemistry, Physical132/185)

5. **B. Trumić**, L. Gomidželović, S. Marjanović, A. Ivanović, V. Krstić, S. Dimitrijević, *Pt-Pd system: Investigation of mechanical properties*, *Kovove Mater*, 54(2) (2016) 139-145.

https://doi.org/10.4149/km_2016_2_139

(ISSN 0023-432X; IF(2024) = 0.7; M23; Metallurgy & Metallurgical Engineering 76/94)

Обавештавамо вас да је НАСТАВНО-НАУЧНО ВЕЋЕ ТЕХНИЧКОГ ФАКУЛТЕТА У БОРУ на седници одржаној **26.03.2026.** размотрило предложену тему и закључило да је тема подобна за израду докторске дисертације јер садржи оригиналну идеју и да је од значаја за развој науке, примену њених резултата, односно развој научне мисли уопште.

ДЕКАН ФАКУЛТЕТА

Проф. др Дејан Таникић

- 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

Универзитет у Београду
Технички факултет у Бору
Број: VI/4-8-7
Бор, 26. 03. 2026. године

На основу чл. 49. Статута Техничког факултета у Бору и чл. 35. Правилника о докторским студијама на Техничком факултету у Бору, Наставно научно веће Факултета на седници одржаној 26. 03. 2026. године, донело је

О Д Л У К У

I Прихвата се предлог о испуњености услова и научној заснованости теме докторске дисертације кандидаткиње **Милијане Митровић**, дипл. инж. металургије, студента докторских академских студија студијског програма Металуршко инжењерство.

II Одобрава се именованој израда докторске дисертације под називом: „**Утицај термомеханичког режима прераде на карактеристике ливене микролегиране Cu-Fe-P легуре**“

III За ментора се именују др Саша Марјановић, редовни професор Универзитета у Београду - Техничког факултета у Бору и др Бисерка Трумић, научни саветник Института за рударство и металургију Бор.

IV Одлуку доставити надлежном Већу научне области Универзитета у Београду, ради давања сагласности на одлуку о прихватању теме и оређивању ментора.

Доставити:

- ВНО Универзитет у Београду
- именованој
- студентској служби
- архиви

ПРЕДСЕДНИК
НАСТАВНО-НАУЧНОГ ВЕЋА

декан

Проф. др Дејан Таникић

Универзитет у Београду
Технички факултет у Бору

НАСТАВНО - НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Извештај Комисије за оцену научне заснованости теме докторске дисертације кандидаткиње Милијане Митровић, дипл. инж. металургије.

Одлуком Наставно-научног већа Универзитета у Београду – Техничког факултета у Бору број: VI/4-7-10 донетој на седници одржаној 19. фебруара 2026. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену научне заснованости теме докторске дисертације кандидаткиње Милијане Митровић, дипл. инж. металургије, студенткиње докторских академских студија на студијском програму Металуршко инжењерство, под називом **„Утицај термомеханичког режима прераде на карактеристике ливене микролегиране Cu-Fe-P легуре“**. На основу достављеног материјала, приложеног уз захтев кандидата, Комисија подноси следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. Подаци о кандидату

1.1. Биографски подаци

Милијана (Нада) Митровић рођена је у Неготину, 31. јануара 1976. године. Основну школу „Вук Караџић“ и гимназију „Предраг Костић“ природно-математички смер завршила је завршила у Неготину са одличним успехом. Дипломирала је на Универзитету у Београду - Техничком факултету у Бору 2008. године са просечном оценом 8,50 током студија и оценом 10 на дипломском раду, и тиме стекла звање дипломирани инжењер металургије. Докторске академске студије уписала је школске 2018/19. године на Универзитету у Београду - Техничком факултету у Бору на студијском програму Металуршко инжењерство и положила је све испите предвиђене програмом са просечном оценом 9,78.

Р. бр.	Назив предмета	Оцена	ЕСПБ
1	Методологија научно истраживачког рада	9	15
2	Физичка металургија 4	10	15
3	Физика чврстоће и пластичности метала	10	15
4	Савремени метални материјали	10	15
5	Савремени поступци ливења и моделирање у ливарству	10	15
6	Докторска дисертација – дефинисање теме	9	15
7	Докторска дисертација – студијски истраживачки рад 1	10	30
8	Докторска дисертација – студијски истраживачки рад 2	10	30
9	Докторска дисертација – студијски истраживачки рад 3	10	10
Средња оцена/ укупно ЕСПБ		9,78	160

Од 24. децембра 2018. године запослена је на Универзитету у Београду - Техничком факултету у Бору у звању асистента за ужу научну област Прерађивачка металургија и метални материјали. На основним академским студијама ангажована је на следећим предметима: Теорија прераде метала у пластичном стању, Прерада метала у пластичном стању 1, Прерада метала у пластичном стању 2 и Пројектовање у металургији. На мастер академским студијама ангажована је на предметима: Структура и својства племенитих метала, Конти поступци за добијање жица и профила и Прерада ретких и племенитих метала. Високо је оцењена од стране студената Универзитета у Београду - Техничког факултета у Бору у анонимним анкетама, са просечном оценом 4,97.

Милијана Митровић је аутор/коаутор два рада објављена у међународном научном часопису категорије М22, аутор/коаутор је два рада објављена у међународном научном часопису категорије М23, 23 саопштења са конференција међународног значаја из категорије М33, као и 14 саопштења са конференција националног значаја из категорије М60 (1 саопштење категорије М63 и 13 саопштења категорије М64).

Била је ангажована као истраживач на пројекту научноистраживачког рада НИО у периоду 2024 - 2026. године (451-03-65/2024-03/200131, 451-03-137/2025-03/200131 и 451-03-34/2026-03/200131).

У свом досадашњем раду кандидаткиња је била члан организационог одбора две међународне конференције (*International October Conference of Mining and Metallurgy – IOC2023* и *IOC2025*), једне студентске конференције (*International Student Conference on Technical Sciences - ISC2025*), као и националног симпозијума са међународним учешћем о термодинамици и фазним дијаграмима (*TDPD2021* и *TDPD2023*). Учествовала је као члан радне групе за промоцију Факултета међу ученицима средњих школа. Члан је *Српског хемијског друштва* и *Савеза инжењера и техничара Србије*.

1.2. Списак објављених и саопштених радова

Радови објављени у научним часописима међународног значаја (M20)

Радови објављени у међународном часопису категорије M22:

1. E. Požega, N. Vuković, L. Gomidželović, M. Janošević, M. Jovanović, S. Marjanović, **M. Mitrović**, *Improving thermoelectric properties of p-type (BiSb)₂(TeSe)₃ single crystal by Zr doping*, Science of Sintering, ISSN 0350-820X, Vol. 55, No. 1, pp. 57-70, 2023, [Impact factor (IF) 1,4/2023]. DOI: [10.2298/SOS2301057P](https://doi.org/10.2298/SOS2301057P)
2. E. Požega, S. Marjanović, N. Vuković, L. Gomidželović, **M. Mitrović**, M. Janošević, D. Adamović, *The Bridgman method of (BiAs)₂(TeSe)₃ bulk single crystal growth by spontaneous nucleation*, Science of Sintering, ISSN 0350-820X, Vol. 55, No. 3, pp. 331-338, 2023, [Impact factor (IF) 1,4/2023]. DOI: [10.2298/SOS220619012P](https://doi.org/10.2298/SOS220619012P)

Радови објављени у међународном часопису категорије M23:

1. I. Nikolić, A. Stojanović, **M. Mitrović**, *A novel hybrid decision-making model: fuzzy AHP-TOPSIS approach for prioritising copper smelting processes*, Materiali in Tehnologije, ISSN 1580-2949, Vol. 58, No. 2, pp. 147-157, 2024, [Impact factor (IF) 0,8/2024]. DOI: [10.17222/mit.2023.1037](https://doi.org/10.17222/mit.2023.1037)
2. **M. Mitrović**, B. Trumić, S. Marjanović, M. Šteharnek, V. Krstić, *Influence of microalloying and the thermomechanical method of processing on the comminution of the copper structure*, Materiali in Tehnologije, ISSN 1580-2949, Vol. 59, No. 1, pp. 11-20, 2025, [Impact factor (IF) 0,8/2024]. DOI: [10.17222/mit.2024.1171](https://doi.org/10.17222/mit.2024.1171)

Зборници међународних научних скупова (M30)

Саопштења са међународних скупова штампана у целини (M33):

1. D. Gusković, S. Marjanović, U. Stamenković, **M. Mitrović**, T. Momirović, *Influence of thermal treatment on hardness and microstructure of cast AlMg3 shell tubes*, 51st International October Conference on Mining and Metallurgy, Bor Lake, Serbia, 16.10.2019 - 19.10.2019, pp. 159 - 162. (ISBN: 978-86-6305-101-0)
2. S. Marjanović, E. Požega, D. Gusković, D. Simonović, Z. Stanojević Šimšić, S. Miletić, **M. Mitrović**, *Synthesis and investigation of BiTeSe single crystal doped with As obtained using Bridgman method*, 17th International Congress Machines, Technologies, Materials, Borovets, Bulgaria, 11.03.2020 - 14.03.2020, pp. 106 – 108. (ISSN 2535-003X)
3. S. Marjanović, D. Gusković, **M. Mitrović**, E. Požega, B. Trumić, U. Stamenković, *Influence of cold rolling and annealing on hardness of bimetallic strip Cu – Al*, 52nd International October Conference on Mining and Metallurgy, Bor, Serbia, 29.11.2021-30.11.2021, pp. 229 – 232. (ISBN: 978-86-6305-119-5)
4. **M. Mitrović**, D. Gusković, S. Marjanović, B. Trumić, E. Požega, U. Stamenković, J. Petrović, *Obtaining multilayer copper strips by ARB (accumulative roll bonding) rolling process*, 52nd International October Conference on Mining and Metallurgy, Bor, Serbia, 29.11.2021-30.11.2021, pp. 141 – 144. (ISBN: 978-86-6305-119-5)

5. E. Požega, D. Simonović, S. Marjanović, M. Jovanović, L. Gomidželović, **M. Mitrović**, S. Miletić, *Part II: What makes a good thermoelectric*, 52nd International October Conference on Mining and Metallurgy, Bor, Serbia, 29.11.2021-30.11.2021, pp. 27–30. (ISBN: 978-86-6305-119-5)
6. E. Požega, D. Simonović, S. Marjanović, M. Jovanović, L. Gomidželović, **M. Mitrović**, Z. Stanojević Šimšić, *Part I: What makes a good thermoelectric*, 52nd International October Conference on Mining and Metallurgy, Bor, Serbia, 29.11.2021-30.11.2021, pp. 23-26. (ISBN: 978-86-6305-119-5)
7. **M. Mitrović**, S. Marjanović, B. Trumić, J. Petrović, E. Požega, M. Janošević, *Influence of thermo-mechanical processing parameters on the tensile strength of copper wire produced by the „up cast“ process*, 53rd International October Conference on Mining and Metallurgy, Bor, Serbia, 3.10.2022-5.10.2022, pp 155-160. (ISBN: 978-86-7827-052-9)
8. **M. Mitrović**, S. Marjanović, J. Petrović, E. Požega, M. Janošević, *Influence of chemical composition on the quality of casting obtained by the easy melting models*, 53rd International October Conference on Mining and Metallurgy, Bor, Serbia, 3.10.2022-5.10.2022, pp 165-168. (ISBN: 978-86-7827-052-9)
9. E. Požega, S. Marjanović, **M. Mitrović**, M. Jovanović, A. Petrović, R. Rajković, S. Miletić, *Electronic transport properties of the Bi_{0.5}As_{1.5}Te_{2.98}Se_{0.02} single crystal: Part I*, 53rd International October Conference on Mining and Metallurgy, Bor, Serbia, 3.10.2022-5.10.2022, pp. 123 – 126. (ISBN: 978-86-7827-052-9)
10. S. Marjanović, **M. Mitrović**, E. Požega, B. Trumić, M. Janošević, *Hardness of bimetallic strip Cu-Č.4571 after the cold rolling and annealing*, 53rd International October Conference on Mining and Metallurgy, Bor, Serbia, 3.10.2022-5.10.2022, pp. 161–164. (ISBN: 978-86-7827-052-9)
11. U. Stamenković, I. Marković, S. Mladenović, S. Marjanović, A. Kovačević, **M. Mitrović**, F. Basarabić, *The influence of quenching media on different properties of C45 carbon steel*, 54th International October Conference on Mining and Metallurgy, Borsko jezero, Serbia, 18.10.2023-21.10.2023, pp. 407 – 413. (ISBN: 978-86-6305-140-9)
12. J. Petrović, S. Mladenović, M. Nedeljković, I. Marković, **M. Mitrović**, *Microstructure analysis of EN AW 6061 alloy using a SEM microscope after artificial aging*, 54th International October Conference on Mining and Metallurgy, Bor, Serbia, 18.10.2023-21.10.2023, pp. 539 – 542. (ISBN: 978-86-6305-140-9)
13. M. Nedeljković, S. Mladenović, J. Petrović, **M. Mitrović**, *Changes in the structure and density of copper during the refining smelting process*, 54th International October Conference on Mining and Metallurgy, Bor, Serbia, 18.10.2023-21.10.2023, pp. 535 – 538. (ISBN: 978-86-6305-140-9)
14. **M. Mitrović**, S. Marjanović, B. Trumić, J. Petrović, M. Nedeljković, *Effects of cold rolling and annealing processes on the microstructure and properties of micro-alloyed copper*, 54th International October Conference on Mining and Metallurgy, Bor Lake, Serbia, 18.10.2023-21.10.2023, pp. 543 – 546. (ISBN: 978-86-6305-140-9)
15. I. Marković, D. Manasijević, Lj. Balanović, **M. Mitrović**, U. Stamenković, S. Trujić, *The effect of particle shape and size of copper powders on the properties of sintered parts*, 14th Scientific/Research Symposium with International Participation „Metallic and Nonmetallic Materials“, Zenica, B&H, 27.04.2023-28.04.2023, pp. 64-72. (ISSN 2566-4344)

16. M. Nedeljković, S. Mladenović, J. Petrović, **M. Mitrović**, *Studies of the influence of graphene nanosheets on the wettability of eco-friendly solder alloys*, 31st International Conference Ecological Truth & Environmental Research – EcoTER'24, Sokobanja, Serbia, 18.06.2024-21.06.2024, pp. 497-501. (ISBN: 978-86-6305-152-2)
17. V. Krstić, B. Trumić, **M. Mitrović**, N. Latas, M. Novaković, *Physico-chemical characteristics of the Cu-Fe-P alloy with emphasis on the diffraction analysis*, 55th International October Conference on Mining and Metallurgy, Kladovo, Serbia, 15.10.2024-17.10.2024, pp. 269-274. (ISBN: 978-86-7827-053-6)
18. M. Nedeljković, S. Mladenović, J. Petrović, U. Stamenković, **M. Mitrović**, *Impact of the GNS particles on microstructure and thermal properties of the Sn-0.7Cu solder alloys*, 55th International October Conference on Mining and Metallurgy, Kladovo, Serbia, 15.10.2024-17.10.2024, pp. 295-300. (ISBN: 978-86-7827-053-6)
19. **M. Mitrović**, S. Marjanović, B. Trumić, M. Nedeljković, J. Petrović, V. Krstić, *Influence of the extrusion process on the grain size of copper micro-alloyed with iron and phosphorus*, 55th International October Conference on Mining and Metallurgy, Kladovo, Serbia, 15.10.2024-17.10.2024, pp. 317-320. (ISBN: 978-86-7827-053-6)
20. **M. Mitrović**, S. Marjanović, B. Trumić, M. Nedeljković, J. Petrović, U. Stamenković, *Influence of temperature and annealing time on changes of the mechanical properties of the CuFe1 alloy*, 56th International October Conference on Mining and Metallurgy, Bor, Serbia, 22.10.2025-25.10.2025, pp. 538-541. (ISBN: 978-86-6305-164-5)
21. M. Nedeljković, S. Mladenović, V. Ćosović, I. Marković, J. Petrović, U. Stamenković, **M. Mitrović**, A. Kovačević, *Microstructures and wettability behavior of Sn-0.7Cu solder doped with graphene nanosheets*, 56th International October Conference on Mining and Metallurgy, Bor, Serbia, 22.10.2025-25.10.2025, pp. 430-433. (ISBN: 978-86-6305-164-5)
22. S. Marjanović, **M. Mitrović**, E. Požega, D. Božić, *Influence of cold rolling and annealing on the hardness of Cu-Al bimetallic strip*, 56th International October Conference on Mining and Metallurgy, Bor, Serbia, 22.10.2025-25.10.2025, pp. 498-501. (ISBN: 978-86-6305-164-5)
23. J. Petrović, S. Mladenović, U. Stamenković, M. Nedeljković, **M. Mitrović**, *Effect of oxy-cutting on the microstructure and hardness of high-carbon steel*, 56th International October Conference on Mining and Metallurgy, Bor, Serbia, 22.10.2025-25.10.2025, pp. 522-525. (ISBN: 978-86-6305-164-5)

Зборници националних научних скупова - M60

Саопштења са скупова националног значаја штампана у целини (M63):

1. E. Požega, N. Vuković, D. Simonović, **M. Mitrović**, S. Miletić, M. Janošević, M. Mikić, *Karakterizacija uzorka Holovim efektom i Van Der Pauvovom metodom*, 13. simpozijum sa međunarodnim učešćem - Održivi razvoj u rudarstvu i energetici, Vrnjačka Banja, 2022, pp. 74 – 78. (ISBN: 978-86-80420-25-7)

Саопштења са скупова националног значаја штампана у изводу (M64):

1. U. Stamenković, S. Ivanov, I. Marković, **M. Mitrović**, *The influence of thermomechanical treatment on the properties of the EN AW-6082 aluminium alloy*, 9. simpozijum o termodinamici i faznim dijagramima sa međunarodnim učešćem, Kosovska Mitrovica, Serbia, 21.06.2019-22.06.2019, pp. 30-31. (ISBN: 978-86-80893-96-9)
2. J. Petrović, S. Mladenović, I. Marković, U. Stamenković, M. Nedeljković, **M. Mitrović**, *Hardness and distribution of reinforcing particles of aluminum composites obtained by stir casting method*, 10. simpozijum o termodinamici i faznim dijagramima sa međunarodnim učešćem, Kosovska Mitrovica, Serbia, 25.06.2021-26.06.2021, pp. 35-36. (ISBN: 978-86-81656-22-8)
3. I. Marković, Lj. Balanović, D. Manasijević, U. Stamenković, J. Petrović, **M. Mitrović**, *Microstructure of AlSi7Cu3Mg alloy for automotive cylinder heads*, 10. simpozijum o termodinamici i faznim dijagramima sa međunarodnim učešćem, Kosovska Mitrovica, Serbia, 25.06.2021-26.06.2021, pp. 23-24. (ISBN: 978-86-81656-22-8)
4. M. Nedeljković, S. Mladenović, J. Petrović, **M. Mitrović**, *Surface tension as a substantial phenomenon in the industry, theoretical considerations and examination methods*, 10. simpozijum o termodinamici i faznim dijagramima sa međunarodnim učešćem, Kosovska Mitrovica, Serbia, 25.06.2021-26.06.2021, pp. 41-42. (ISBN: 978-86-81656-22-8)
5. **M. Mitrović**, S. Marjanović, S. Mladenović, E. Požega, U. Stamenković, J. Petrović, M. Nedeljković, *Quality analysis of castings obtained by easily melted models*, 10. simpozijum o termodinamici i faznim dijagramima sa međunarodnim učešćem, Kosovska Mitrovica, Serbia, 25.06.2021-26.06.2021, pp. 37-38. (ISBN: 978-86-81656-22-8)
6. **M. Mitrović**, D. Gusković, S. Marjanović, I. Marković, B. Trumić, E. Požega, J. Petrović, *Influence of thermomechanical processing parameters on tensile strength of cast copper wire*, 10. simpozijum o termodinamici i faznim dijagramima sa međunarodnim učešćem, Kosovska Mitrovica, Serbia, 25.06.2021-26.06.2021, pp. 39-40. (ISBN: 978-86-81656-22-8)
7. J. Petrović, S. Mladenović, I. Marković, U. Stamenković, M. Nedeljković, **M. Mitrović**, *Analysis of the thermal properties of particle-reinforced aluminium composites*, 11. simpozijum o termodinamici i faznim dijagramima sa međunarodnim učešćem, Kosovska Mitrovica, Serbia, 23.06.2023-24.06.2023, pp. 26-27. (ISBN: 978-86-81656-63-1)
8. **M. Mitrović**, S. Marjanović, B. Trumić, J. Petrović, M. Nedeljković, *The influence of the obtaining procedure and thermomechanical treatment on the grain size of copper micro-alloyed with iron and phosphorus*, 11. simpozijum o termodinamici i faznim dijagramima sa međunarodnim učešćem, Kosovska Mitrovica, Serbia, 23.06.2023-24.06.2023, pp. 33-36. (ISBN: 978-86-81656-63-1)
9. **M. Mitrović**, S. Marjanović, B. Trumić, *The use of copper and copper alloys for making rondels*, 11. simpozijum o termodinamici i faznim dijagramima sa međunarodnim učešćem, Kosovska Mitrovica, Serbia, 23.06.2023-24.06.2023, pp. 37-38. (ISBN: 978-86-81656-63-1)
10. **M. Mitrović**, S. Marjanović, B. Trumić, V. Krstić, J. Petrović, M. Nedeljković, *Influence of extrusion process on the comminution of the microalloyed Cu-Fe-P alloy structure*,

12. simpozijum o termodinamici i faznim dijagramima sa međunarodnim učešćem, Kosovska Mitrovica, Serbia, 20.06.2025-21.06.2025, pp. 29-31. (ISBN: 978-86-81656-84-6)
11. J. Petrović, S. Mladenović, I. Marković, U. Stamenković, M. Nedeljković, **M. Mitrović**, *Microstructure and potential of hybrid aluminium composites based on EN AW-6061 reinforced with Al_2O_3 and walnut shell ash*, 12. simpozijum o termodinamici i faznim dijagramima sa međunarodnim učešćem, Kosovska Mitrovica, Serbia, 20.06.2025-21.06.2025, pp. 31-33. (ISBN: 978-86-81656-84-6)
12. J. Petrović, S. Mladenović, I. Marković, U. Stamenković, M. Nedeljković, Aleksandra Ivanović, **M. Mitrović**, *Protective role of gelatine in corrosion resistance of cold-formed copper wire*, 12. simpozijum o termodinamici i faznim dijagramima sa međunarodnim učešćem, Kosovska Mitrovica, Serbia, 20.06.2025-21.06.2025, pp. 33-35. (ISBN: 978-86-81656-84-6)
13. M. Nedeljković, S. Mladenović, V. Ćosović, I. Marković, J. Petrović, U. Stamenković, A. Kovačević, **M. Mitrović**, *Thermal properties of eutectic Sn-0,7Cu alloy reinforced with graphene nanosheets produced by powder metallurgy technique*, 12. simpozijum o termodinamici i faznim dijagramima sa međunarodnim učešćem, Kosovska Mitrovica, Serbia, 20.06.2025-21.06.2025, pp. 17-19. (ISBN: 978-86-81656-84-6)

1.3. Оцена подобности кандидата за рад на предложеној теми

Увидом у остварене резултате, ангажовање и искуства стечена током докторских студија и научно-истраживачког рада, Комисија констатује да кандидаткиња Милијана Митровић, дипл. инж. металургије, испуњава потребне формалне услове за рад на изради докторске дисертације. Кандидаткиња има одговарајућу научно-стручну усмереност у области којој припада предложена тема дисертације (научна област: Металуршко инжењерство), те се оцењује подобним за рад на предложеној теми.

Сматрамо да кандидаткиња Милијана Митровић поседује знања и вештине, као и неопходно искуство и стручност за израду докторске дисертације под називом „Утицај термомеханичког режима прераде на карактеристике ливене микрولةгиране Си-Fe-P легуре“.

2. Предмет и циљ истраживања

2.1. Предмет истраживања

Развој технике за производњу материјала специфичних карактеристика мора бити праћен новим технологијама прераде које, поред високе продуктивности, треба да обезбеде и висок квалитет. Стога је много теже одабрати прави термомеханички режим прераде оваквих материјала од којих се унапред захтевају одређена механичка и структурна својства.

Бакар припада групи најкомерцијалнијих метала због своје добре електричне и топлотне проводности, добре пластичности и корозионе постојаности. Главни недостатак бакра су му нешто лошије механичке особине тј. нижа тврдоћа, затезна чврстоћа и отпорност на хабање, а поред тога и ватросталност. Бакар рекристалише на

релативно ниским температурама, па ово представља додатни проблем за произвођаче делова који раде на повишеним радним температурама.

Механичке особине бакра се могу значајно побољшати легирањем и неким видовима термомеханичке обраде. Имајући ово у виду задатак многих истраживача био је да се добије бакар високе чистоће, а затим да се тако добијени бакар легира појединачно или истовремено јасно дефинисаним количинама одређених елемената, како би се што тачније дефинисао њихов утицај на микроструктуру и својства легура. Легуре на бази бакра, посебно легуре система Cu-Fe-P, последњих година привукле су значајну пажњу због своје јединствене комбинације механичких и физичких својстава. Бројна истраживања су показала да само мала концентрација железа додата чистом бакру, знатно мења његове карактеристике и шири дијапазон примене.

Поред легирања познато је да и примена пластичне деформације битно утиче на механичке и структурне карактеристике бакарних легура. Истраживања су показала да екструзија као метода интензивне пластичне деформације има значајну улогу у постизању јединствене комбинације високе чврстоће и издужења, као и у добијању ултрафине равноосне структуре. У процесу екструзије, због високих притисних напрезања и смичуће деформације, материјал се загрева те долази до динамичке рекристализације. Стога се зрна значајно рафинишу, односно уситњавају и услед тога долази побољшања појединих механичких особина.

Предмет докторске дисертације биће проучавање различитих режима термомеханичке обраде код микролегиране Cu-Fe-P легуре добијене ливењем, а у циљу добијања претходно тачно дефинисаних вредности механичких особина (тврдоће, затезне чврстоће и релативног издужења) као и микроструктурних параметара са акцентом на број и величину зрна. Као полазни материјал користиће се високочисти бакар, који ће се микролегирати са максималним садржајем 0,003 мас.% Fe и 0,014 мас.% P. Након топљења полазних сировина и хомогенизације легуре уследиће ливење по „*up-cast*“ поступку, а затим екструдирање и хладно ваљање различитим степенима деформације. Рекристализационо жарење ће бити спроведено на различитим температурама, у заштитној атмосфери азота и водоника, уз промену времена трајања жарења. Анализом добијених резултата објасниће се механизми који доводе до промена особина испитиваног материјала и утврдити оптимални параметри термомеханичке обраде за постизање захтеваних механичких и структурних карактеристика. Испитивања ће се најпре вршити у лабораторијским условима, а затим ће бити настављена у полуиндустријским условима.

2.2. Циљеви истраживања

Основни циљ истраживања у оквиру предложене теме докторске дисертације је детаљно испитивање и научно објашњење утицаја различитих режима термомеханичке прераде на развој микроструктуре и коначна својства микролегиране ливене Cu-Fe-P легуре.

Главни циљеви истраживања ове дисертације биће:

- применом „*up-cast*“ континуалног поступка ливења обезбедити хомогену дистрибуцију микролегирајућих елемената у одливку,
- екструдирањем обезбедити трансформацију крупнозрне ливене структуре у хомогену, ситнозрну структуру погодну за даљу пластичну прераду,
- применом хладне пластичне прераде (ваљањем) различитим степенима

деформације, додатно утицати на побољшање механичких својстава и контролу микроструктуре,

- одредити оптималне параметре рекристализационог жарења, при којима ће се рекристализација одвијати ефикасно и формирати ситнозрна микроструктура са балансираним својствима чврстоће и дуктилности,
- добити материјал захтеваних структурних и механичких карактеристика, који ће поред научног аспекта имати практичну примену у наменској индустрији,
- експериментално добити податке о механичким и структурним карактеристикама на крају сваке фазе темомеханичке прераде са јасно дефинисаним параметрима и редоследом испитивања,

Резултати који буду добијени у току израде ове докторске дисертације биће публиковани у форми научних радова у међународним часописима са SCI листе, домаћим часописима и саопштени на домаћим и међународним скуповима.

2.3. Списак научне и стручне литературе која ће се користити

У циљу сагледавања досадашњих сазнања о структурним и механичким особинама легура бакра, извршен је преглед релевантне научне и стручне литературе. Анализирана су истраживања која се односе на различите типове легура бакра, као и примењене методе испитивања њихове микроструктуре и механичких карактеристика. Овакав преглед омогућава уочавање кључних трендова и праваца даљег истраживања у овој области.

Коришћена литература, расположива кроз доступне базе Science Direct, Springer, Scopus, Web of Science и друге, представљена је у наставку:

1. Y. Zhou, J. Yang, K. Song, S. Yang, Q. Zhu, X. Peng, Y. Liu, Y. Du, S. He, Effect of annealing temperature on dual-structure coexisting precipitates in Cu–2.18Fe–0.03P alloy and softening mechanism at high temperature, *Journal of Materials Science*, 57 (2022) 20815–20832. <https://doi.org/10.1007/s10853-022-07910-5>
2. J. Zou, D. P. Lu, K. M. Liu, Z. Zhou, Q. F. Fu, Q. J. Zhai, Effect of alternating magnetic field on the microstructure and solute distribution of Cu-14Fe composites, *Materials Transactions*, 56 (2015) 2058–2062. <https://doi.org/10.2320/matertrans.M2015244>
3. M. Wang, R. Zhang, Z. Xiao, S. Gong, Y. B. Jiang, Z. Li, Microstructure and properties of Cu-10 wt%Fe alloy produced by double melt mixed casting and multi-stage thermomechanical treatment, *Journal of Alloys and Compounds*, 820 (2020) 153323. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2019.153323>
4. F. Yang, L. M. Dong, L. C. Zhou, N. Zhang, X. F. Zhou, X. D. Zhang, F. Fang, Excellent strength and electrical conductivity achieved by optimizing the dual-phase structure in Cu–Fe wires, *Materials Science and Engineering A*, 849 (2022) 143484. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2022.143484>
5. Y. J. Ding, Z. Xiao, M. Fang, S. Gong, J. Dai, Microstructure and mechanical properties of multi-scale α -Fe reinforced Cu–Fe composite produced by vacuum suction casting, *Materials Science and Engineering A*, 864 (2023) 144603. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2023.144603>

6. Y. Z. Tian, S. Y. Peng, Y. Yang, X. Y. Pang, S. Li, M. Jiang, H. X. Li, J. W. Wang, G. W. Qin, Attaining exceptional electrical conductivity in Cu-Fe composite by powder rolling strategy, *Scripta Materialia*, 227 (2023) 115302. <https://doi.org/10.1016/j.scriptamat.2023.115302>
7. Y. D. Li, X. B. Yuan, B. B. Yang, X. J. Ye, P. Zhang, H. Y. Lang, Q. Lei, J. T. Liu, Y. P. Li, Hierarchical microstructure and strengthening mechanism of Cu-36.8Fe alloy manufactured by selective laser melting, *Journal of Alloys and Compounds*, 895 (2021) 162701. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2021.162701>
8. G. A. Jerman, I. E. Anderson, J. D. Verhoeven, Strength and electrical conductivity of deformation-processed Cu-15 vol pct Fe alloys produced by powder metallurgy techniques, *Metallurgical Transactions A*, 24 (1993) 35–42. <https://doi.org/10.1007/BF02669600>
9. C. Z. Zhang, C. G. Chen, P. Li, M. J. Yan, Q. Qin, F. Yang, W. W. Wang, Z. M. Guo, A. A. Volinsky, Microstructure and properties evolution of rolled powder metallurgy Cu-30Fe alloy, *Journal of Alloys and Compounds*, 909 (2022) 164761. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2022.164761>
10. S. F. Abbas, K. T. Park, T. S. Kim, Effect of composition and powder size on magnetic properties of rapidly solidified copper-iron alloys, *Journal of Alloys and Compounds*, 741 (2018) 1188–1195. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2018.01.245>
11. H. Wei, Y. Cui, H. Cui, C. Zhou, L. Hou, Y. H. Wei, Evolution of grain refinement mechanism in Cu-4 wt.%Ti alloy during surface mechanical attrition treatment, *Journal of Alloys and Compounds*, 763 (2018) 835–843. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2018.06.043>
12. Z. L. Li, H. Tian, H. J. Dong, X. J. Guo, X. G. Song, H. Y. Zhao, J. C. Feng, The nucleation-controlled intermetallic grain refinement of Cu-Sn solid-liquid interdiffusion wafer bonding joints induced by addition of Ni particles, *Scripta Materialia*, 156 (2018) 1–5. <https://doi.org/10.1016/j.scriptamat.2018.07.006>
13. X. H. Feng, Y. J. Li, T. J. Luo, L. H. Li, Y. Wu, M. Zhong, Y. S. Yang, Influence of temperature conditions on grain refinement of pure Cu solidified with low-voltage pulsed magnetic field, *International Journal of Cast Metals Research*, 30 (2017) 1–5. <https://doi.org/10.1080/13640461.2016.1158963>
14. G. Zaher, I. Lomakin, N. Enikeev, S. Jouen, A. Saiter, X. Sauvage, Influence of strain rate and Sn in solid solution on the grain refinement and crystalline defect density in severely deformed Cu, *Materials Today Communications*, 26 (2021) 101746. <https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2020.101746>
15. G. Chen, K. D. Liss, C. Chen, Y. He, X. Qu, P. Cao, Porous FeAl alloys via powder sintering: Phase transformation, microstructure and aqueous corrosion behavior, *Journal of Materials Science and Technology*, 86 (2021) 64–69. <https://doi.org/10.1016/j.jmst.2021.01.029>
16. L. L. Fang, B. L. Zhang, J. C. Deng, N. Yao, Influence of current density on the characteristics of diamond grains-nickel super-thin cutting blade fabricated by electrotyping, *International Journal of Abrasive Technology*, 1 (2007) 231–238. <https://doi.org/10.1504/IJAT.2007.015386>

17. C. Zhang, C. Chen, R. Ma, M. Yan, H. Zhang, F. Liu, F. Yang, Z. Guo, X. Liu, Simultaneous enhancement of the mechanical and electrical properties of Cu–20Fe alloys by introducing phosphorus, *Materials Characterization*, 209 (2024) 113711. <https://doi.org/10.1016/j.matchar.2024.113711>
18. M. Wang, Y. Jiang, Z. Li, Z. Xiao, S. Gong, W. Qiu, Q. Lei, Microstructure evolution and deformation behaviour of Cu-10 wt%Fe alloy during cold rolling, *Materials Science and Engineering A*, 801 (2021) 140379. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2020.140379>
19. M. Wang, R. Zhang, Z. Xiao, S. Gong, Y. B. Jiang, Z. Li, Microstructure and properties of Cu-10 wt%Fe alloy produced by double melt mixed casting and multi-stage thermomechanical treatment, *Journal of Alloys and Compounds*, 820 (2020) 153323. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2019.153323>
20. C. P. Wang, X. J. Liu, Y. Takaku, I. Ohnuma, R. Kainuma, K. Ishida, Formation of core-type macroscopic morphologies in Cu-Fe base alloys with liquid miscibility gap, *Metallurgical and Materials Transactions A*, 35 (2004) 1243–1253. <https://doi.org/10.1007/s11661-004-0298-y>
21. M. Wang, Y. Jiang, Z. Li, Z. Xiao, S. Gong, W. Qiu, Q. Lei, Microstructure evolution and deformation behaviour of Cu-10 wt%Fe alloy during cold rolling, *Materials Science and Engineering A*, 801 (2021) 140379. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2020.140379>
22. B. Kočovski, Bakar i bakarne legure, Institut za bakar Bor, Bor (1991).
23. J. Wang, M. Enomoto, C. Shang, First-principles study on the P-induced embrittlement and de-embrittling effect of B and C in ferritic steels, *Acta Materialia*, 219 (2021) 117260. <https://doi.org/10.1016/j.actamat.2021.117260>
24. Y. H. Zhao, Y. Z. Guo, Q. Wei, A. M. Dangelewicz, Y. T. Zhu, T. G. Langdon, E. J. Lavernia, Y. Z. Zhou, C. Xu, Influence of specimen dimensions on the tensile behavior of ultrafine-grained Cu, *Scripta Materialia*, 59 (2008) 627–630. <https://doi.org/10.1016/j.scriptamat.2008.05.031>
25. ASTM International, ASTM E112-10: Standard Test Methods for Determining Average Grain Size, ASTM International, West Conshohocken (2010).
26. C. Wen, Y. Qiu, Z. Zhang, K. Li, C. Deng, L. Hu, D. Chen, Y. Lu, S. Zhou, Deformation behavior of heterogeneous lamellar Cu-Fe-P immiscible alloys with enhanced strength and ductility produced by laser powder bed fusion, *Journal of Alloys and Compounds*, 971 (2024) 172675. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2023.172675>
27. M. Zhou, X. Yun, H. Fu, Y. Zhang, Y. Liu, A comparative study on flat and U-shaped copper strips produced by continuous extrusion, *Materials*, 15 (2022) 4405. <https://doi.org/10.3390/ma15134405>
28. S. Qu, X. H. An, H. J. Yang, C. X. Huang, G. Yang, Q. S. Zang, Z. G. Wang, S. D. Wu, Z. F. Zhang, Microstructural evolution and mechanical properties of Cu-Al alloys subjected to equal channel angular pressing, *Acta Materialia*, 57 (2009) 1586–1601. <https://doi.org/10.1016/j.actamat.2008.12.002>
29. B. Rouxel, C. Cayron, J. Bornand, P. Sanders, E. R. Logé, Micro-addition of Fe in highly alloyed Cu-Ti alloys to improve both formability and strength, *Materials and Design*, 213 (2022) 110340. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2021.110340>

30. H. Yu, Y. Zeng, R. Hong, Influence of Fe addition on the microstructure and mechanical properties of Cu alloys, *Material Science*, 3 (2021) 10.
<https://doi.org/10.35702/msci.10010>
31. R. Markandeya, S. Nagarjuna, D. Sarma, Effect of prior cold work on age hardening of Cu-3Ti-1Cr alloy, *Materials Characterization*, 57 (2006) 4–5.
<https://doi.org/10.1016/j.matchar.2006.02.017>
32. H. Y. Chao, H. F. Sun, E. D. Wang, Working hardening behaviors of severely cold deformed and fine-grained AZ31 Mg alloys at room temperature, *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 21 (2011).
[https://doi.org/10.1016/S1003-6326\(11\)61584-7](https://doi.org/10.1016/S1003-6326(11)61584-7)
33. W. Horizon, S. K. Nisa, B. T. Sofyan, Effect of cold rolling and annealing temperature on the characteristics of Cu-28Zn-3.2Mn alloy, *Materials Science and Engineering*, 517 (2019) 012002.
<https://doi.org/10.1088/1757-899X/517/1/012002>
34. Q. Dong, L. Shen, M. Wang, Y. Jia, Z. Li, F. Cao, C. Chen, Microstructure and properties of Cu-2.3Fe-0.03P alloy during thermomechanical treatments, *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 25 (2015) 1551–1558.
[https://doi.org/10.1016/S1003-6326\(15\)63757-8](https://doi.org/10.1016/S1003-6326(15)63757-8)
35. S. Sun, T. Li, Effect of cold rolling process on microstructure and properties of T1 copper sheet, *Journal of Physics: Conference Series*, 1605 (2020) 012132.
<https://doi.org/10.1088/1742-6596/1605/1/012132>
36. H. Peregrina-Barreto, I. R. Terol-Villalobos, J. J. Rangel-Magdaleno, A. M. Herrera-Navarro, L. A. Morales-Hernández, F. Manríquez-Guerrero, Automatic grain size determination in microstructures using image processing, *Measurement*, 46 (2013) 249–258.
<https://doi.org/10.1016/j.measurement.2012.06.012>
37. X. Yuna, M. Zhou, T. Tian, Y. Zhao, Continuous extrusion and rolling forming technology of copper strip manufacture, *MATEC Web of Conferences*, 21 (2015) 03004.
<https://doi.org/10.1051/matecconf/20152103004>

У доступној литератури не постоје свеобухватна истраживања која се односе на комплексну процесну шему од „up-cast“ ливења, преко екструдирања и високих степена деформације остварених ваљањем, до контролисаног рекристализационог жарења. Посебно недостају подаци о понашању бакра са изузетно ниским садржајем Fe и P. Истраживања у оквиру ове докторске дисертације управо у том сегменту дају научни допринос, јер интегришу фундаменталне принципе физике метала са циљано дефинисаним индустријским захтевима.

3. Основне хипотезе

Полазне хипотезе, на којима се заснива предмет истраживања ове докторске дисертације, постављене су на основу анализе релевантне литературе и усклађене су са стварним потребама савремене металуршке праксе. Циљ истраживања је развој материјала са побољшаним механичким и структурним својствима, који би представљали основу за добијање производа за потребе наменске индустрије.

Основне хипотезе докторске дисертације су:

- У савременој производњи бакарних легура намењених за специјалне примене од пресудног значаја је контрола микроструктуре још у почетној фази производње. Основна хипотеза истраживања полази од претпоставке да „ur-cast“ поступак омогућава формирање хомогене ливене микроструктуре са равномерном расподелом легирајућих елемената Fe и P у Cu-Fe-P легури. Хомогена полазна микроструктура омогућава равномерну деформацију током екструдирања и хладног ваљања чиме се повећава ефикасност накнадне термомеханичке обраде.

Експериментална потврда ове хипотезе огледа се кроз континуалну анализу садржаја Fe и P оптичким емисионим спектрометром са варницом (OES), микроструктурну анализу оптичким и скенирајуће-електронским микроскопом, као и одређивање средње величине и статистичке расподеле зрна.

- У микролегираним легурама на бази бакра са веома малим садржајем легирајућих елемената, чак и трагови појединих елемената могу имати значајан утицај на микроструктуру и механичке особине. Присуство мањих удела Fe у легури Cu-Fe-P доводи до формирања финих дисперзних честица у бакарној матрици које утичу на кретање дислокација током деформације и на стабилност границе зрна током рекристализације. Тиме се омогућава контрола величине зрна и постизање оптималне комбинације чврстоће, тврдоће и дуктилности након термомеханичке обраде.

Експериментална потврда ове хипотезе подразумева анализу расподеле железа у микроструктури као и испитивање евентуалних сегрегација на границама зрна применом трансмисионо-електронске микроскопије.

- Током процеса топљења и ливења, фосфор делује као ефикасно дезоксидационо средство. Уклањањем раствореног кисеоника из растопа бакра, фосфор доприноси смањењу формирања оксидних инклузија и порозности. На овај начин се побољшава чистоћа и хомогеност микроструктуре, што представља важан предуслов за даљу термомеханичку обраду. Фосфор утиче и на понашање легуре током пластичне деформације. Када је део фосфора растворен у бакарној матрици долази до ојачавања чврстог раствора, што представља један од основних механизма повећања чврстоће легуре. Ефекат додатка фосфора не делује изоловано, већ у комбинацији са осталим елементима и процесима обраде.

Експериментална потврда ове хипотезе подразумева анализу расподеле фосфора у микроструктури као и испитивање његове сегрегације на границама зрна применом трансмисионо-електронске микроскопије.

- У технолошком процесу израде полупроизвода од бакарних легура, процес екструдирања представља једну од кључних фаза термомеханичке обраде која значајно утиче на стање структуре након топљења и ливења. Екструдирање се примењује након процеса ливења како би се добила компактна и хомогена структура са повољним распоредом зрна, која би дала побољшана механичка својства. У случају легуре Cu-Fe-P добијене „ur-cast“ поступком, екструдирање има посебно важну улогу у трансформацији ливене структуре у знатно хомогенију и рекристалисану структуру погодну за даљу обраду хладним ваљањем.

Експериментална потврда ове хипотезе захтева детаљну анализу микроструктуре и механичких особина пре и после екструдирања.

- Током хладног ваљања материјал је изложен интензивној пластичној деформацији услед чега долази до значајног повећања густине дислокација

унутар кристалне решетке бакра. Степен хладне деформације значајно утиче на густину дислокација, развој деформационе текстуре и акумулацију деформационе енергије у материјалу. Што је већи степен деформације, већа је количина акумулиране енергије, која је покретачка сила за процес рекристализације током накнадног жарења. Поред утицаја на рекристализацију, степен хладне деформације утиче и на расподелу дисперзних честица на бази Fe и P. Током интензивне деформације долази до њихове прерасподеле у бакарној матрици, чиме се може побољшати њихова способност да стабилизују границе зрна током жарења. На тај начин хладно ваљање индиректно утиче и на контролу раста зрна током рекристализације.

Експериментална потврда ове хипотезе подразумева анализу микроструктуре при различитим степенима деформације, одређивање величине и броја зрна, као и везу између степена деформације, режима жарења и добијених механичких особина.

- У процесу производње бакарних легура које су претходно подвргнуте интензивној пластичној деформацији, термичка обрада у виду жарења представља кључну фазу за стабилизацију микроструктуре и постизање оптималне комбинације механичких особина. Прекратко време или прениска температура жарења могу довести до непотпуне рекристализације, што резултује већом тврдоћом и мањом дуктилношћу. Насупрот томе, предуго жарење или превисока температура могу изазвати прекомеран раст зрна и смањење чврстоће материјала. Због тога је оптимизација параметара жарења кључна за постизање жељене микроструктуре и механичких особина.

Експериментална потврда ове хипотезе подразумева детаљну анализу микроструктурних промена при различитим температурама и временима рекристализационог жарења, одређивање величине и статистичке расподеле зрна, као и везу између параметара термичке обраде и механичких особина материјала.

4. Научне методе истраживања

За успешну реализацију циљева истраживања и потврду постављених хипотеза у докторској дисертацији користиће се следеће експерименталне методе:

- Рендгенском дифрактометријом (XRD) вршиће се фазна анализа. За одређивање хемијског састава узорака, као и за анализу дистрибуције железа и фосфора у бакру, примењиваће се енергетско-дисперзивна спектрометрија (EDS анализа).
- Испитивање механичких карактеристика обухватаће мерење тврдоће, затезне чврстоће и релативног издужења применом стандардизованих метода мерења.
- Микроструктурна анализа вршиће се применом оптичке микроскопије (LOM) и скенирајуће електронске микроскопије са енергетско-дисперзивном спектрометријом (SEM-EDS анализа). За анализу микроструктуре на нано нивоу примениће се трансмисиона електронска микроскопија (TEM), заједно са EDS анализом појединих подручја узорака.
- Број зрна по mm^2 и просечна величина зрна одређиваће се:

- Помоћу софтвера за анализу слике према планиметријској методи из стандарда ASTM E112-10.
- Методом поређења са стандардним картама величине зрна коришћењем стандарда SRPS EN ISO 2624:2011.
- Методом линеарних одсецака (поступак пресека зрна) из стандарда SRPS EN ISO 2624:2011.
- Развој математичких модела коришћењем методе одзивне површине за предвиђање механичких особина и броја зрна по mm^2 у функцији степена деформације, времена и температуре жарења.

5. Очекивани научни допринос

Очекује се да ће истраживања планирана у оквиру ове докторске дисертације дати вишеструко значајан научни допринос у области Металуршког инжењерства, при чему се могу издвојити следећи резултати:

- Проширење постојећих сазнања о понашању микролегираних бакарних легура које садрже врло мале количине Fe и P. У литератури се чешће проучавају бакарне легуре са већим садржајем легирајућих елемената или са додатком других легирајућих елемената, док су систематска истраживања легура микролегираних са Fe и P знатно ређа. Због тога резултати добијени у дисертацији могу представљати значајан извор нових експерименталних података о утицају микролегирања на промене микроструктуре и механичких својстава током процеса деформације и термичке обраде.
- Детаљна анализа утицаја комбинованих технолошких поступака на развијање микроструктуре. У многим истраживањима процеси деформације и термичке обраде посматрају се одвојено, док се у овој дисертацији испитује њихов међусобни утицај кроз континуирани технолошки ланац који укључује „up-cast“ ливење, екструдирање, хладно ваљање и рекристализационо жарење. Такав приступ омогућава боље разумевање процеса формирања структуре.
- Експериментално добијање података о механичким и структурним својствима након различитих стадијума термомеханичке обраде. На основу великог броја анализираних узорака могуће је формирати дијаграме или моделе који показују како промене технолошких параметара утичу на тврдоћу, затезну чврстоћу, релативно издужење и величину зрна. Такви резултати могу имати значајну вредност за даље моделовање и предвиђање понашања бакарних легура током термомеханичке обраде.
- Успостављање корелације између микроструктуре и механичких својстава материјала, чиме се доприноси бољем разумевању утицаја микроструктурних параметара на чврстоћу и дуктилност микролегираних бакарних легура.
- Истраживање бакарних легура произведених „up-cast“ поступком у комбинацији са високим степенима хладне деформације и контролисаном рекристализацијом нису бројна у научној литератури. Због тога резултати ове дисертације могу попунити одређену празнину у постојећим истраживањима и послужити као референтна основа за будуће студије које се баве оптимизацијом структуре и својстава бакарних легура намењених захтевним индустријским применама.
- Посебан значај овог истраживања огледа се у чињеници да су

експериментална испитивања усмерена ка оптимизацији својстава испитиване легуре са циљем испуњавања строгих захтева у погледу механичких и структурних карактеристика неопходних за њену поуздану примену у наменској индустрији. Дефинисање оптималних режима деформације и термичке обраде који омогућавају истовремено постизање одговарајуће тврдоће, затезне чврстоће, релативног издужења и повољне микроструктуре представља значајан научни и технолошки допринос, јер омогућава директно повезивање резултата лабораторијских испитивања са условима практичне примене материјала.

6. План истраживања и структура рада

6.1. План истраживања

План истраживања, који одређује ток рада на дисертацији, предвиђа следеће фазе:

- Преглед одговарајуће научне литературе и сакупљање релевантних података;
- Дефинисање предмета и циља истраживања;
- Производња легуре „ur-cast“ поступком:
 - Припрема микролегиране Cu-Fe-P легуре са садржајем 0,003 мас.% Fe и 0,014 мас.% P
 - Топљење легуре у контролисаним условима како би се осигурала хомогеност растопа
 - Ливење легуре „ur-cast“ технологијом
 - Враћање на поновно претапање ради боље хомогенизације;
- Пластична прерада:
 - Спровођење екструдирања легуре
 - Међуфазно жарење на температури 550 °C у трајању од 30 min
 - Предзавршно ваљање на срачунате предзавршне висине
 - Међуфазно жарење на температури 550 °C у трајању од 30 min
 - Завршно ваљање степенима деформације 10 %, 20 %, 30 %, 50 %, 75 % и 80 %, при чему се сви узорци свде на исту завршну висину од 4 mm
 - Обликовање стандардизованих узорака за механичка и микроструктурна испитивања;
- Термичка обрада (рекристализационо жарење):
 - Жарење хладно деформисаних узорака на контролисаним температурама 450 °C, 470 °C и 520 °C
 - Примена различитих времена задржавања у пећи од 10 min до 150 min
 - Обликовање стандардизованих узорака за механичка и микроструктурна испитивања
- Металографска и микроструктурна анализа:
 - Припрема узорака стандардним металографским поступком који обухвата брушење, полирање и хемијско нагризање
 - Оптичка микроскопија за процену величине и облика зрна, као и хомогености структуре

- Анализа SEM и TEM микроскопијом за детаљну микроструктурну карактеризацију
- Квантитативна и квалитативна анализа структуре: број зрна по mm^2 и просечна величина зрна, расподела легирајућих елемената и хомогеност структуре
- Механичка испитивања:
 - Одређивање вредности тврдоће, затезне чврстоће и релативног издужења након сваког стадијума термомеханичке обраде.
- Анализа и дискусија резултата.
- Формулисање одговарајућих закључака.

6.2. Структура рада

Оквирна структура докторске дисертације састојаће се од следећих поглавља:

1. Уводна разматрања
2. Бакар и легуре бакра
3. Специфичности микролегиране Cu-Fe-P легуре
4. „Up-cast“ поступак топљења и ливења
5. Теоријске основе деформације и рекристализације
6. Литературни преглед досадашњих истраживања
7. Циљ рада
8. План експеримента
9. Резултати и дискусија добијених резултата
10. Закључак
11. Литература

7. Закључак и предлог

На основу анализе пријаве кандидата и образложења теме докторске дисертације, Комисија за оцену научне заснованости теме докторске дисертације закључује да кандидаткиња Милијана Митровић, дипл. инж. металургије, испуњава све законске услове за рад на предложеној теми докторске дисертације. Комисија, такође, закључује да је предложена тема *„Утицај термомеханичког режима прераде на карактеристике ливене микрولةгиране Си-Fe-P легуре“* научно заснована по предмету истраживања, циљевима, садржају и очекиваном научном доприносу и представља значајно подручје истраживања и као таква може бити предмет изучавања докторске дисертације.

Комисија предлаже Наставно-научном већу Универзитета у Београду - Техничког факултета у Бору да се кандидаткињи Милијани Митровић одобри израда докторске дисертације под називом *„Утицај термомеханичког режима прераде на карактеристике ливене микрولةгиране Си-Fe-P легуре“* и да се за менторе именују проф. др Саша Марјановић, редовни професор на Универзитету у Београду - Техничком факултету у Бору и др Бисерка Трумић, научни саветник на Институту за рударство и металургију Бор, који испуњавају све Законом предвиђене услове.

У Бору, март 2026. године

КОМИСИЈА:

др Ивана Марковић, редовни професор
Универзитет у Београду - Технички факултет у Бору

др Урош Стаменковић, ванредни професор
Универзитет у Београду - Технички факултет у Бору

др Весна Крстић, научни саветник
Институт за рударство и металургију Бор

Универзитет у Београду
ТЕХНИЧКИ ФАКУЛТЕТ У БОРУ
Број: VI/1-571/1
Бор, 01.10.2024.

На основу члана 109. Закона о високом образовању и члана 101. Статута
Универзитета у Београду, доносим

Р Е Ш Е Њ Е

Митровић Милијани, бр. индекса 12/2018, студенту на докторским академским студијама, студијски програм: **Металуршко инжењерство**, продужује се рок за завршетак студија до истека рока у троструком броју школских година потребних за реализацију студијског програма, односно до краја школске 2026/27. године.

Доставити:

- именованој
- студентској служби



ДЕКАН

Проф. др Дејан Таникић