

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 ГРАФЕНСКИХ НАНО ЧЕСТИЦА НА МИКРОСТРУКТУРУ, ФИЗИЧКА И МЕХАНИЧКА
СВОЈСТВА КОМПОЗИТА СА Sn-0,7Cu-xIn МАТРИЦОМ ДОБИЈЕНИХ МЕТАЛУРГИЈОМ ПРАХА**

НАУЧНА ОБЛАСТ: **Металуршко инжењерство**

ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ:

1. Име, име једног од родитеља и презиме кандидата: **Милан (Милоје) Недељковић**

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

Технички факултет у Бору, Металургија

3. Година завршетка претходног нивоа студија: **2004.**

4. Година уписа на докторске студије: **2018.**

5. Назив студијског програма докторских студија: **Металуршко инжењерство**

ПОДАЦИ О МЕНТОРУ:

Име и презиме ментора: **Проф. др Срба Младеновић**

Звање: **редовни професор**

Универзитет у Београду, Технички факултет у Бору

Списак радова који квалификују ментора за вођење докторске дисертације:

1. J. Petrović, **S. Mladenović**, I. Marković, S. Dimitrijević, *Characterization of hybrid aluminium composites reinforced with Al₂O₃ particles and walnut-shell ash*, Materials and Technology, 56(2) (2022) 115 - 122.
<https://doi.org/10.17222/mit.2022.365>
(ISSN 1580-2949; IF(2023) = 0.6; Metallurgy & Metallurgical Engineering 75/91)
2. J. Petrović, **S. Mladenović**, A. Ivanović, I. Marković, S. Ivanov, *Correlation of hardness of aluminum composites obtained by stir casting technology and the size and weight fraction of reinforcing Al₂O₃ particles*, Hemijska industrija, 75(4) (2021) 195 - 204.
<https://doi.org/10.2298/HEMIND210409018P>
(ISSN 0367-598X; IF(2023) = 0.8; Engineering, Chemical 142/170)
3. I. Marković, V. Grekulović, M. R. Vujasinović, **S. Mladenović**, *Influence of thermo-mechanical treatment on the electrochemical behavior of cast and sintered dilute Cu–Au alloy*, Journal of Alloys and Compounds, 831 (2020) 154726.
<https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2020.154726>
(ISSN 0925-8388; IF(2023) = 5.3; Metallurgy & Metallurgical Engineering 9/91)
4. S. P. Dimitrijević, D. Manasijević, Ž. Kamberović, S. B. Dimitrijević, M. Mitrić, M. Gorgievski, **S. Mladenović**, *Experimental Investigation of Microstructure and Phase Transitions in Ag-Cu-Zn Brazing Alloys*, Journal of Materials Engineering and Performance, 27 (2018) 1570 - 1579.
<https://doi.org/10.1007/s11665-018-3258-1>
(ISSN 1059-9495; IF(2023) = 2.2; Materials Science, Multidisciplinary 281/440)
5. D. Manasijević, D. Minić, M. Premović, Lj. Balanović, D. Živković, I. Manasijević, **S. Mladenović**, *Thermodynamic calculations and characterization of the Bi–Ga–In ternary alloys*, Journal of Alloys and Compounds, 664 (2016) 199 - 208.

<https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2015.12.233>

(ISSN 0925-8388; IF(2023) = 5.3; Metallurgy & Metallurgical Engineering 9/91)

6. I. Marković, S. Nestorović, B. Markoli, M- Premović, **S. Mladenović**, *Study of anneal hardening in cold worked Cu–Au alloy*, Journal of Alloys and Compounds, 658 (2016) 414- 421.

<https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2015.10.208>

(ISSN 0925-8388; IF(2023) = 5.3; Metallurgy & Metallurgical Engineering 9/91)

7. **S. Mladenović**, D. Manasijević, B. Maluckov, I. Marković, S. Marjanović, D. Živković, *Solidification properties and microstructure investigation of the as-cast Sn-rich alloys of the Sn-Sb-Zn ternary system*, Kovove Materialy, 54(3) (2016) 211 - 218. <https://doi.org/10.4149/km20163211>

(ISSN 0023-432X; IF(2023) = 0.9; Metallurgy & Metallurgical Engineering 64/91)

Обавештавамо вас да је НАСТАВНО-НАУЧНО ВЕЋЕ ТЕХНИЧКОГ ФАКУЛТЕТА У БОРУ на седници одржаној **25.09.2025.** 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/4-34-12
Бор, 25. 09. 2025. 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 25. 09. 2025. године, донело је

О Д Л У К У

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

II Одобрава се именованом израда докторске дисертације под називом: „**Утицај графенских нано честица на микроструктуру, физичка и механичка својства композита са Sn-0,7Cu-xIn матрицом добијених металургијом праха**“.

III За ментора се именује **др Срба Младеновић**, редовни професор на Универзитету у Београду - Техничком факултету у Бору.

IV Одлуку доставити надлежном Већу научне области Универзитета у Београду, ради давања сагласности.

Доставити:

- ВНО Универзитет у Београду
- именованом
- 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 кандидата Милана Недељковића, дипломираног инжењера металургије.

Одлуком Наставно-научног већа Универзитета у Београду – Техничког факултета у Бору број: VI/4-33-5 донетој на седници одржаној 31.07.2025. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену научне заснованости теме докторске дисертације кандидата Милана Недељковића, дипломираног инжењера металургије, студента докторских академских студија на студијском програму Металуршко инжењерство, под називом: **„Утицај графенских нано честица на микроструктуру, физичка и механичка својства композита са Sn-0,7Cu-xIn матрицом добијених металургијом праха“**. На основу достављеног материјала, приложеног уз захтев кандидата, Комисија подноси следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. Подаци о кандидату

1.1. Биографски подаци

Милан (Милоје) Недељковић рођен је у Бору, 14. августа 1977. године. Средњу машинско-електротехничку школу, смер Електротехничар аутоматике, завршио је у Бору 1996. године. Петогодишње основне студије на Одсеку за металургију на Универзитету у Београду - Техничком факултету у Бору уписао је школске 1996/97. године. Исте је завршио 2004. године са просечном оценом 8,05 и оценом 10 на дипломском раду, под називом „Зависност линеарних промена легура алуминијум-цинк од хемијског састава“, чиме је стекао академски степен дипломирани инжењер металургије. Докторске академске студије уписао је школске 2018/19. године на Универзитету у Београду - Техничком факултету у Бору на студијском програму

Металуршко инжењерство и положио је све испите предвиђене програмом са просечном оценом 9,67.

Р. бр.	Назив предмета	Оцена	ЕСПБ
1	Методологија научно истраживачког рада	10	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	9	15
6	Докторска дисертација – дефинисање теме	9	15
7	Докторска дисертација – студијски истраживачки рад 1	9	30
8	Докторска дисертација – студијски истраживачки рад 2	10	30
9	Докторска дисертација – студијски истраживачки рад 3	10	10
Средња оцена/ укупно ЕСПБ		9,67	160

Од 01. октобра 2022. године запослен 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 ангажован је на следећим предметима: Теорија ливарства, Физичка металургија 1, Физичка металургија 2 и Контактни материјали. На мастер академским студијама ангажован је на предметима: Физичка металургија 3 и Теорија синтеровања. Високо је оцењен од стране студената Универзитета у Београду - Техничког факултета у Бору у анонимним анкетама, са просечном оценом 4,94.

Милан Недељковић је аутор/коаутор 1 рада објављеног у међународном научном часопису категорије М23, аутор/коаутор је 2 рада публикована у националном часопису категорије М52, 12 саопштења са конференција међународног значаја из категорије М33, као и 18 саопштења са конференција националног значаја из категорије М60 (4 саопштења категорије М63 и 14 саопштења категорије М64).

Био је ангажован као истраживач на пројекту научноистраживачког рада НИО у периоду 2024 - 2025. године (451-03-65/2024-03/200131 и 451-03-137/2025-03/200131).

У свом досадашњем раду кандидат је био ангажован као члан организационог одбора две међународне конференције (*International October Conference of Mining and Metallurgy* – IOC2023 и IOC2025), као и две студентске конференције (*International Student Conference on Technical Sciences* - ISC2023 и ISC2025). Учествовао је у промоцији природних и техничких наука међу младима кроз манифестацију „Тимочки Научни Торнадо – ТНТ“ (2024), као и члан радне групе за промоцију Факултета међу ученицима средњих школа.

У периоду од 4. марта 2024. до 20. марта 2024. године учествовао је у размени студената, у оквиру EPASMC+ пројекта KA107, на Природно-техничком факултету

Универзитета у Љубљани (Словенија), а у периоду од 22. априла 2025. до 30. априла 2025. године, на Универзитету у Темишвару, Докторска 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 (M23):

1. U. Stamenković, I. Marković, D. Manasijević, P. Milanović, **M. Nedeljković**, *The influence of heat treatment on mechanical, thermal, and structural properties of AISI D2 steel*, *Metallic Materials / Kovové Materiály*, 62(6) (2024) 327-337. (ISSN: 1338-4252, IF(2024)=0,7; Metallurgy & Metallurgical Engineering, 81/96).
doi: <https://doi.org/10.31577/km.2024.6.327>

Зборници међународних научних скупова (M30)

Радови саопштени у целини на међународним скуповима (M33):

1. U. Stamenković, I. Marković, S. Mladenović, D. Manasijević, P. Milanović, **M. Nedeljković**, *Effect of heat treatment on the mechanical and structural properties of X155CrVmo12-1 steel*, 15th Scientific/Research Symposium with International Participation „Metallic and Nonmetallic Materials“, Zenica, Bosnia and Herzegovina, 2025, (ISBN: 2566-4344).
2. U. Stamenković, I. Marković, S. Mladenović, D. Manasijević, **M. Nedeljković**, P. Milanović, *Investigation of the thermal properties of X155CrVMo12-1 steel after quenching and tempering*, *Proceedings of XXX International scientific and technical conference Foundry 2025*, Pleven, Bulgaria, 2025, pp. 14-16. (ISSN 2535-0188).
3. **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*, *Proceedings of 55th International October Conference on Mining and Metallurgy*, Kladovo, Serbia, 2024, pp. 295-300. (ISBN: 978-86-7827-053-6).
<https://doi.org/10.5937/IOC24295N>
4. 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*, *Proceedings of 55th International October Conference on Mining and Metallurgy*, Kladovo, Serbia, 2024, pp. 317-320. (ISBN: 978-86-7827-053-6).
<https://doi.org/10.5937/IOC24317M>
5. **M. Nedeljković**, S. Mladenović, J. Petrović, M. Mitrović, *Studies of the influence of graphene nanosheets on the wettability of eco-friendly solder alloys*, *Proceedings of 31st International Conference Ecological Truth & Environmental Research EcoTER'24*, Sokobanja, Serbia, 2024, pp. 497-501. (ISBN: 978-86-6305-152-2).
6. U. Stamenković, I. Marković, S. Mladenović, D. Manasijević, L. Balanović, A. Kovačević, **M. Nedeljković**, J. Božinović, *The influence of heat treatment on microstructure and thermal properties of C45 tool steel*, 14th Scientific/Research

- Symposium with International Participation „Metallic and Nonmetallic Materials“, Zenica, Bosnia and Herzegovina, 2023, pp. 125 – 132. (ISBN: 2566-4344).
7. **M. Nedeljković**, S. Mladenović, J. Petrović, M. Mitrović, *Changes in the structure and density of copper during the refining smelting process*, Proceedings of 54th International October Conference on Mining and Metallurgy, Bor Lake, Serbia, 2023, pp. 535 – 538. (ISBN: 978-86-6305-140-9).
 8. 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*, Proceedings of 54th International October Conference on Mining and Metallurgy, Bor Lake, Serbia, 2023, pp. 543 – 546. (ISBN: 978-86-6305-140-9).
 9. J. Petrović, S. Mladenović, **M. Nedeljković**, I. Marković, M. Mitrović, *Microstructure analysis of EN AW 6061 alloy using a SEM microscope after artificial aging*, Proceedings of 54th International October Conference on Mining and Metallurgy, Bor Lake, Serbia, 2023, pp. 539 – 542. (ISBN: 978-86-6305-140-9).
 10. **M. Nedeljković**, S. Mladenović, J. Petrović, *A renewable energy sources and sustainable development equation*, Proceedings of 30th International Conference Ecological Truth & Environmental Research EcoTER'23, Stara planina, Serbia, 2023, pp. 391 - 395. (ISBN: 978-86-6305-137-9).
 11. J. Petrović, **M. Nedeljković**, I. Marković, S. Mladenović, *A challenges of using the Stir Casting metod for composite production – review*, Proceedings of 51st International October Conference on Mining and Metallurgy, Bor Lake, Serbia, 2019, pp. 109-112. (ISBN: 978-86-6305-101-0).
 12. **M. Nedeljković**, J. Petrović, D. Gusković, S. Mladenović, *Linear changes in aluminium-zink alloys regarding zink content*, Proceedings of 51th International October Conference on Mining and Metallurgy, Bor Lake, Serbia, 2019, pp. 155-1158. (ISBN: 978-86-6305-101-0).

Радови објављени у часописима националног значаја (M50)

Радови објављени у часопису националног значаја (M52):

1. **M. Nedeljković**, S. Mladenović, J. Petrović, I. Marković, U. Stamenković, A. Kovačević, *Uticaj grafenskih nanotraka na mikrostrukturu i mehanička svojstva bezolovnog lema Sn-0,7Cu*, Tehnika, 78(4) (2024) 435 - 441. (ISSN 0040-2176).
<https://doi.org/10.5937/tehnika2404435N>
2. A. Kovačević, U. Stamenković, **M. Nedeljković**, *Uticaj hladne plastične deformacije nakon starenja na mehaničke osobine i mikrostrukturu aluminijumske legure EN AW7075*, Tehnika, 78(3) (2024) 293 – 298. (ISSN 0040-2176).
<https://doi.org/10.5937/tehnika2403293K>

Радови саопштени у целини на националним скуповима (M63):

1. **M. Nedeljković**, J. Petrović, S. Mladenović, *Površinski napon kao bitan fenomen u industriji, teoretska razmatranja i metode ispitivanja*, Zbornik radova sa međunarodnog skupa Inovacije kao pokretač razvoja, Beograd, Srbija, 2020, pp. 285-295. (ISBN 978-86-84531-49-2).
2. J. Petrović, **M. Nedeljković**, S. Mladenović, *Kompoziti kao imperativ savremenih tehnologija*, Zbornik radova sa međunarodnog skupa Inovacije kao pokretač razvoja, Beograd, Srbija, 2020, pp. 225-231. (ISBN: 978-86-84531-49-2).
3. **M. Nedeljković**, J. Petrović, A. Nedeljković, *Prošlost, sadašnjost i budućnost savremenih materijala – superlegura*, Zbornik radova sa međunarodnog skupa Inovacije kao pokretač razvoja, Beograd, Srbija, 2019, pp. 334-343. (ISBN: 978-86-84531-45-4).
4. **M. Nedeljković**, J. Petrović, A. Nedeljković, *Specijalni metalni materijali – nove legure sa visokovrednim osobinama*, Zbornik radova sa međunarodnog skupa Inovacije kao pokretač razvoja, Beograd, Srbija, 2019, pp. 324-333. (ISBN: 978-86-84531-45-4).

Радови саопштени у изводу на националним скуповима (M64):

1. **M. Nedeljković**, S. Mladenović, V. Ćosović, I. Marković, J. Petrović, U. Stamenković, M. Mitrović, A. Kovačević, *Thermal properties of eutectic Sn-0.7Cu alloy reinforced with graphene nanosheets produced by powder metallurgy technique*, Dvanaesti simpozijum o termodinamici i faznim dijagramima sa međunarodnim učešćem, Kosovska Mitrovica, Srbija, 2025, pp. 19 – 20. (ISBN: 978-86-81656-84-6).
2. U. Stamenković, I. Marković, D. Manasijević, V. Ćosović, M. Gorgievski, A. Kovačević, **M. Nedeljković**, *Melting temperatures and thermal properties of Sn-Bi alloys and composites*, Dvanaesti simpozijum o termodinamici i faznim dijagramima sa međunarodnim učešćem, Kosovska Mitrovica, Srbija, 2025, pp. 25 – 26. (ISBN: 978-86-81656-84-6).
3. U. Stamenković, I. Marković, **M. Nedeljković**, K. Božinović, *Wetting behavior of Sn-Bi solder alloy and composites obtained by powder metallurgy*, Dvanaesti simpozijum o termodinamici i faznim dijagramima sa međunarodnim učešćem, Kosovska Mitrovica, Srbija, 2025, pp. 27 – 28. (ISBN: 978-86-81656-84-6).
4. I. Marković, M. Volojanović, U. Stamenković, D. Manasijević, **M. Nedeljković**, Lj. Balanović, *Microstructure of Sn-Ag-Cu composites: sintered state and post-soldering analysis*, Dvanaesti simpozijum o termodinamici i faznim dijagramima sa međunarodnim učešćem, Kosovska Mitrovica, Srbija, 2025, pp. 29 – 30. (ISBN: 978-86-81656-84-6).
5. M. Mitrović, S. Marjanović, B. Trumić, V. Krstić, **M. Nedeljković**, J. Petrović, *Influence of extrusion process on the comminution of the microalloyed Cu-Fe-P alloy structure*, Dvanaesti simpozijum o termodinamici i faznim dijagramima sa međunarodnim učešćem, Kosovska Mitrovica, Srbija, 2025, pp. 31 – 32. (ISBN: 978-86-81656-84-6).
6. J. Petrović, S. Mladenović, **M. Nedeljković**, I. Marković, U. Stamenković, M. Mitrović, *Microstructure and potential of hybrid aluminum composites based on EN AW-6061*

- reinforced with Al₂O₃ and walnut shell ash*, Dvanaesti simpozijum o termodinamici i faznim dijagramima sa međunarodnim učešćem, Kosovska Mitrovica, Srbija, 2025, pp. 33 – 34. (ISBN: 978-86-81656-84-6).
7. J. Petrović, S. Mladenović, **M. Nedeljković**, I. Marković, M. Mitrović, A. Ivanović, *Protective role of gelatin in corrosion resistance of cold-formed copper wire*, Dvanaesti simpozijum o termodinamici i faznim dijagramima sa međunarodnim učešćem, Kosovska Mitrovica, Srbija, 2025, pp. 35 – 36. (ISBN: 978-86-81656-84-6).
 8. A. Kovačević, U. Stamenković, **M. Nedeljković**, *Review of material and process parameters in the production of drawn SnPb wire*, Dvanaesti simpozijum o termodinamici i faznim dijagramima sa međunarodnim učešćem, Kosovska Mitrovica, Srbija, 2025, pp. 37 – 38. (ISBN: 978-86-81656-84-6).
 9. **M. Nedeljković**, S. Mladenović, M. Gorgievski, J. Petrović, A. Kovačević, *The effect of thermal aspects and composition on the melting process in various commercial solder alloys*, Jedanaesti simpozijum o termodinamici i faznim dijagramima sa međunarodnim učešćem, Kosovska Mitrovica, Srbija, 2023, pp. 28 - 29. (ISBN: 978-86-81656-63-1).
 10. J. Petrović, S. Mladenović, I. Marković, U. Stamenković, **M. Nedeljković**, M. Mitrović, *Analysis of the thermal properties of particle-reinforced aluminium composites*, Jedanaesti simpozijum o termodinamici i faznim dijagramima sa međunarodnim učešćem, Kosovska Mitrovica, Srbija, 2023, pp. 26-27. (ISBN: 978-86-81656-63-1).
 11. 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 microalloyed with iron and phosphorus*, Jedanaesti simpozijum o termodinamici i faznim dijagramima sa međunarodnim učešćem, Kosovska Mitrovica, Srbija, 2023, pp. 33-36. (ISBN: 978-86-81656-63-1).
 12. **M. Nedeljković**, S. Mladenović, J. Petrović, M. Mitrović, *Surface tension as a substantial phenomenon in the industry, theoretical considerations and examination methods*, Deseti simpozijum o termodinamici i faznim dijagramima sa međunarodnim učešćem, Kosovska Mitrovica, Srbija, 2021, pp. 41 - 42. (ISBN: 978-86-81656-22-8).
 13. 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*, Deseti simpozijum o termodinamici i faznim dijagramima sa međunarodnim učešćem, Kosovska Mitrovica, Srbija, 2021, pp. 35-36. (ISBN: 978-86-81656-22-8).
 14. M. Mitrović, S. Marjanović, S. Mladenović, E. Požega, U. Stamenković, J. Petrović, **M. Nedeljković**, *Quality analysis of castings obtained by easily melted models*, Deseti simpozijum o termodinamici i faznim dijagramima sa međunarodnim učešćem, Kosovska Mitrovica, Srbija, 2021, pp. 37-38. (ISBN: 978-86-81656-22-8).

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 кандидат Милан Недељковић, дипломирани инжењер металургије, испуњава потребне формалне услове за рад на изради докторске дисертације. Кандидат 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 кандидат Милан Недељковић, поседује знања и вештине, као и неопходно искуство и стручност за израду докторске дисертације под називом „*Утицај графенских нано честица на микроструктуру, физичка и механичка својства композита са Sn-0,7Cu-xIn матрицом добијених металургијом праха*“.

2. Предмет и циљ истраживања

2.1. Предмет истраживања

Последњих година, интензиван развој савремене електронске индустрије поставља све веће захтеве у погледу производње електронских уређаја. Тржиште усмерава технолошки развој ка изради мањих, бржих и економичнијих уређаја, при чему се очекују високе перформансе њиховог рада и минимална потрошња енергије. Тренд смањења електронских компоненти довео је до значајних изазова у области процеса производње, услова експлоатације и поузданости финалних производа. Цена и перформансе су постали кључни параметри за оцену квалитета уређаја.

Током претходних деценија, оловно - калајне легуре су имале широку примену у електронској индустрији захваљујући својим изузетним особинама, као што су: ниска температура топљења, добра квашливост, висока поузданост и повољан однос цене и квалитета. Међутим, изразита токсичност олова и безбедносни прописи, условили су развој и истраживање нових, еколошки прихватљивих, безоловних лемних легура. Употреба ових легура је још увек ограничена због виших температура топљења, слабије квашливости и недовољне поузданости у одређеним условима.

Еколошки прихватљива алтернатива оловним лемним легурама су легуре на бази калаја са додатком бакра, сребра, индијума, бизмута и других елемената. Ове легуре често представљају матрицу за израду композитних лемних материјала. Композитни лемни материјали представљају ојачане лемне материјале у којима се, комбинацијом две или више међусобно нерастворљивих компоненти различитих хемијских и физичких својстава, добија материјал побољшаних карактеристика. Као ојачавајуће фазе у композитима са металном матрицом најчешће се користе честице као што су: Si_3N_4 , SiC , TiC , TiB_2 , Al_2O_3 , TiO_2 , ZrO_2 , SnO_2 и ZnO . Последњих година, захваљујући својим изузетним механичким, електричним и топлотним својствима све више се користе наноматеријали, засновани на различитим алотропским модификацијама угљеника, попут: графенских нанослојева (GNS), фулерена (FN), једнослојних (SWCNT) и вишеслојних (MWCNT) угљеничних наноцеви.

Особине композитних материјала у великој мери зависе од облика, величине и масеног удела ојачавајуће фазе, као и од конкретне технологије синтезе композита. Предмет докторске дисертације биће испитивање микроструктурних карактеристика и особина композитних лемних материјала. У циљу сагледавања и објашњења механизма

који доводе до промена особина нестандартних, испитиваних композитних материјала, испитиваће се утицај садржаја индијума и графена на својства система Sn-0,7Cu-xIn/GNS. Садржај једне компоненте (In) металне матрице ових материјала ће варирати у опсегу од 0 мас.% до 5 мас.%. Удео ојачивача, графенских нано честица, ће износити од 0 мас.% до 0,1 мас.%. Биће синтетисано 24 узорака, са различитим уделом индијума и ојачавајуће фазе, поступком металургије праха.

2.2. Циљеви истраживања

Истраживања на којима се заснива предложена тема докторске дисертације обухватиће експериментална испитивања композита са металном матрицом на бази легуре Sn-0,7Cu-xIn, ојачаних графенским нанослојевима (GNS).

Главни циљеви истраживања ове дисертације биће:

- дефинисање оптималних параметара технологије металургије праха, у циљу добијања композита са металном матрицом и предвиђеним садржајем ојачавајућих честица (GNS),
- испитивање могућности добијања униформне расподеле ојачавајућих честица GNS у структури композитног лемног материјала применом технике механичког легирања,
- упоређивање особина испитиваних композитних материјала са особинама легуре Sn-0,7Cu-xIn,
- анализа микроструктуре испитиваних лемних материјала добијених металургијом праха ради утврђивања морфологије, фазног састава и расподеле ојачавајућих честица,
- експериментално одређивање физичких, механичких и електрохемијских особина испитиваних материјала,
- прикупљање и систематизација експерименталних података као основе за даља истраживања и унапређење композита.

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

Микроструктурна, физичка и механичка испитивања композита са основом на бази легуре калаја, ојачаних различитим врстама ојачавајућих честица, тема су бројних радова многих истраживача. Релевантна научна литература, која је послужила као основа за ово истраживање и дефинисање предмета рада, обухвата испитивања утицаја различитих врста и масеног удела ојачавајућих честица у композитима на бази легуре калаја, као и истраживања поступка синтезе методом металургије праха.

Коришћена стручна литература, расположива путем KoBSON–а кроз доступне базе Science Direct, Springer, Scopus, Web of Science и др., дата је у наставку:

1. O. Guler, N. Bagci, A short review on mechanical properties of graphene reinforced metal matrix composites, Journal of Materials Research and Technology, 9(3) (2020) 6808-6833.
2. A. B. M. Albartouli, A. Uzun, Mechanical and electrical properties of graphene nanosheet reinforced copper matrix composites materials produced by powder metallurgy method, Science of Sintering, 55(3) (2023) 399-411.

3. A. R. Urade, I. Lahiri, K. S. Suresh, Graphene properties, synthesis and applications: a review, *Journal of Metals*, 75(3) (2023) 614-630.
4. A. Gyenes, A. Simon, P. Lanszki, Z. Gácsi, Effects of nickel on the microstructure and the mechanical properties of Sn-0.7Cu lead-free solders, *Archives of Metallurgy and Materials*, 60(2B) (2015) 1449-1454.
5. X. Zhang, X. Hu, X. Jiang, Y. Li, Effects of germanium on the microstructural, mechanical and thermal properties of Sn-0.7Cu solder alloy, *Materials Research Express*, 6(1) (2018) 016556.
6. C. Shuai, C. He, S. Peng, F. Qi, G. Wang, A. Min, W. Wang, Mechanical alloying of immiscible metallic systems: process, microstructure, and mechanism, *Advanced Engineering Materials*, 23(4) (2021) 2001098.
7. S. Alam, P. Mishra, R. Kumar, Effect of Ag on Sn–Cu and Sn–Zn lead free solders, *Materials Science-Poland*, 33(2) (2015) 317-330.
8. A. Skwarek, B. Illés, P. Górecki, A. Pietruszka, J. Tarasiuk, T. Hurtony, Influence of SiC reinforcement on microstructural and thermal properties of SAC0307 solder joints, *Journal of Materials Research and Technology*, 22 (2023) 403-412.
9. Y. Li, S. Yu, L. Li, S. Song, W. Qin, D. Qi, Y. Zhan, A review on the development of adding graphene to Sn-based lead-free solder, *Metals*, 13(7) (2023) 1209.
10. M. Cao, D. B. Xiong, L. Yang, S. Li, Y. Xie, Q. Guo, D. Zhang, Ultrahigh electrical conductivity of graphene embedded in metals, *Advanced Functional Materials*, 29(17) (2019) 1806792.
11. M. B. K. Teja, A. Sharma, S. Das, K. Das, A review on nanodispersed lead-free solders in electronics: synthesis, microstructure and intermetallic growth characteristics, *Journal of Materials Science*, 57(19) (2022) 8597-8633.
12. Y. Huang, Z. Xiu, G. Wu, Y. Tian, P. He, Sn–3.0Ag–0.5Cu nanocomposite solders reinforced by graphene nanosheets, *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 27 (2016) 6809-6815.
13. Z. Zhao, P. Bai, W. Du, B. Liu, D. Pan, R. Das, Z. Guo, An overview of graphene and its derivatives reinforced metal matrix composites: Preparation, properties and applications, *Carbon*, 170 (2020) 302-326.
14. R. Ranjan, V. Bajpai, Graphene-based metal matrix nanocomposites: Recent development and challenges, *Journal of Composite Materials*, 55(17) (2021) 2369-2413.
15. A. Nabihah, M. S. Nurulakmal, Effect of In addition on microstructure, wettability and strength of Sn-Cu solder, *Materials Today: Proceedings*, 17 (2019) 803-809.
16. Y. Lv, W. Yang, J. Mao, Y. Li, X. Zhang, Y. Zhan, Effect of graphene nano-sheets additions on the density, hardness, conductivity, and corrosion behavior of Sn–0.7Cu solder alloy, *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 31 (2020) 202-211.
17. L. Xu, X. Chen, H. Jing, L. Wang, J. Wei, Y. Han, Design and performance of Ag nanoparticle-modified graphene/SnAgCu lead-free solders, *Materials Science and Engineering: A*, 667 (2016) 87-96.
18. M. Li, L. Zhang, N. Jiang, Materials modification of the lead-free solders incorporated with micro/nano-sized particles: A review, *Materials & Design*, 197 (2021) 109224.
19. T. E. Abioye, H. Zuhailawati, M. A. I. Azlan, A. S. Anasyida, Effects of SiC additions on the microstructure, compressive strength and wear resistance of Sn-Sb-Cu bearing alloy formed via powder metallurgy, *Journal of Materials Research and Technology*, 9(6) (2020) 13196-13205.
20. N. S. M. Zaimi, M. A. A. M. Salleh, M. M. Al Bakri Abdullah, M. I. I. Ramli, A Short Review on the influence of antimony addition to the microstructure and thermal properties of lead-free solder alloy, *Archives of Metallurgy and Materials*, 68 (2023) 981-986.

21. W. Yang, Y. Lv, X. Zhang, X. Wei, Y. Li, Y. Zhan, Influence of graphene nanosheets addition on the microstructure, wettability, and mechanical properties of Sn-0.7Cu solder alloy, *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 31 (2020) 14035-14046.
22. M. Malaki, A. Fadaei Tehrani, B. Niroumand, M. Gupta, Wettability in metal matrix composites, *Metals*, 11(7) (2021) 1034.
23. N. Rodrigues, A. C. Ferreira, S. F. Teixeira, D. Soares, J. C. Teixeira, F. Cerqueira, F. Macedo, Contact angle measurement of SAC305 solder: numerical and experimental approach, *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 27 (2016) 8941-8950.
24. K. Vidyatharran, M. Hanim, A. T. Dele, K. Matori, O. Azlina, Microstructural and shear strength properties of GNSs-reinforced Sn-1.0Ag-0.5Cu (SAC105) composite solder interconnects on plain Cu and ENIAG surface finish, *Journal of Materials Research and Technology*, 15 (2021) 2497–2506.
25. A. Yang, K. Xiao, Y. Duan, C. Li, J. Yi, M. Peng, L. Shen, Effect of indium on microstructure, mechanical properties, phase stability and atomic diffusion of Sn-0.7Cu solder: Experiments and first-principles calculations, *Materials Science and Engineering: A*, 855 (2022) 143938.
26. M. Zhao, L. Zhang, Z. Q. Liu, M. Y. Xiong, L. Sun, Structure and properties of Sn-Cu lead-free solders in electronics packaging, *Science and Technology of Advanced Materials*, 20(1) (2019) 421-444.
27. Y. Huang, Z. Xiu, G. Wu, Y. Tian, P. He, X. Gu, W. Long, Improving shear strength of Sn-3.0Ag-0.5Cu/Cu joints and suppressing intermetallic compounds layer growth by adding graphene nanosheets, *Materials Letters*, 169 (2016) 262-264.
28. L. Yin, Z. Zhang, Z. Su, C. Zuo, Z. Yao, G. Wang, Y. Zhang, Effects of graphene nanosheets on the wettability and mechanical properties of Sn-0.3Ag-0.7Cu lead-free solder, *Journal of Electronic Materials*, 49 (2020) 7394-7399.
29. D. Manasijević, Lj. Balanović, I. Marković, M. Gorgievski, U. Stamenković, A. Kovačević, Thermal properties and microstructure of Al–Sn alloys, *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, 195 (2024) 112297.
30. A. Sharma, H. R. Sohn, J. P. Jung, Effect of graphene nanoplatelets on wetting, microstructure, and tensile characteristics of Sn-3.0Ag-0.5Cu (SAC) alloy, *Metallurgical and Materials Transactions A*, 47 (2016) 494-503.
31. M. L. Li, L. L. Gao, L. Zhang, N. Jiang, S. J. Zhong, L. Zhang, Interfacial reaction and properties of Sn/Cu solder reinforced with graphene nanosheets during solid–liquid diffusion and reflowing, *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 32 (2021) 26666-26675.
32. L. F. Li, Y. K. Cheng, G. L. Xu, E. Z. Wang, Z. H. Zhang, H. Wang, Effects of indium addition on properties and wettability of Sn–0.7Cu–0.2Ni lead-free solders, *Materials & Design*, 64 (2014) 15-20.
33. S. Tian, S. Li, J. Zhou, F. Xue, Thermodynamic characteristics, microstructure and mechanical properties of Sn-0.7Cu-xIn lead-free solder alloy, *Journal of Alloys and Compounds*, 742 (2018) 835-843.
34. B. Li, S. Liu, Y. Sun, G. Sun, S. Qu, P. He, S. Zhang, The effect of indium microalloying on lead-free solders: A review, *Materials Science in Semiconductor Processing*, 185 (2025) 108956.
35. S. Tian, S. Li, J. Zhou, F. Xue, R. Cao, F. Wang, Effect of indium addition on interfacial IMC growth and bending properties of eutectic Sn–0.7Cu solder joints, *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 28 (2017) 16120-16132.

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 нових, лакших и еколошки прихватљивих композитних материјала са побољшаним механичким и топлотним својствима, који би представљали ефикасну замену постојећим технолошким решењима, у складу са захтевима савремених технолошких процеса и важећим еколошким стандардима.

Основне хипотезе будућег рада докторске дисертације су:

- Применом дефинисаних параметара поступка металургије праха могуће је добити композитне лемне материјале са матрицом на бази легуре Sn-0,7Cu-xIn , са хомогеном дистрибуцијом ојачавајућих честица GNS.
- Додатак ојачавајућих честица GNS у дефинисаној количини утицаће на промену микроструктуре и значајно унапређење механичких својстава израђених композита.
- Постизањем одговарајуће концентрације индијума у легури Sn-0,7Cu-xIn могуће је побољшати топлотне особине композита и утицати на смањење температуре топљења уз незнатну промену температурног интервала топљења. Са аспекта примене испитиваних композита као потенцијалних лемних материјала, добијени резултати имају велики значај, јер би постизање ниже температуре топљења у комбинацији са незнатном променом интервала топљења снизило вредности термичких напрезања у лемним спојевима. Ово би омогућило њихову употребу у процесима где се захтева већа стабилност и боља контрола процеса лемљења.
- Оптимална концентрација GNS у матрици може довести до значајног побољшања топлотне проводности композита, што омогућава ефикасније одвођење топлоте, смањење термичких напрезања и повећање стабилности и дуготрајности лемног споја.
- Очекује се да ће повећање садржаја ојачавајућих честица GNS, као и масеног удела индијума, допринети побољшању квашљивости, која представља једну од кључних карактеристика лемних материјала. Додавање GNS и индијума у легуру основе Sn-0,7Cu-xIn може смањити површински напон система и ограничити дифузију атома на граници између лема и бакарне подлоге, што би могло довести до споријег раста и смањења величине слоја интерметалних једињења на граници лем/подлога, чиме би се побољшала квашљивост и повећала механичка стабилност лемног споја.

4. Научне методе истраживања

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

- Микроструктурна анализа биће извршена применом оптичке микроскопије (LOM) и скенирајуће електронске микроскопије (SEM анализа).
- Рендгенска дифрактометрија (XRD) биће коришћена за одређивање фазног састава механички легираних прахова, као и синтерованих узорака. За одређивање хемијског састава узорака, као и анализу хомогености

дистрибуције ојачавајућих честица GNS у матрици, примењиваће се енергетско-дисперзивна спектрометрија (EDS анализа).

- Механичке карактеристике испитиваће се мерењем микротврдоће применом стандардизоване методе.
- Физичке особине биће испитиване мерењем електричне проводности, топлотне дифузивности, специфичног топлотног капацитета и прорачуном топлотне проводности, док ће температура топљења и фазне промене бити праћене методом термијске анализе (DSC и DTA).
- Електрохемијска испитивања обухватаће мерење потенцијала отвореног кола и поларизационе отпорности.
- Квашљивост ће се испитивати методом мерења контактнoг угла.
- Испитивање микроструктуре и дебљине лемног споја на граници лем/подлога вршиће се применом SEM-EDS анализе.

5. Очекивани научни допринос

Очекује се да ће резултати истраживања у оквиру ове докторске дисертације дати значајан научни допринос у области Металуршког инжењерства, ужој научној области Прерађивачка металургија и метални материјали, при чему се могу издвојити:

- Развој лемних материјала са побољшаним микроструктурним, физичким и механичким својствима, додавањем GNS у легуру матрице Sn-0,7Cu-xIn.
- Развој технологије добијања композитних лемних материјала металургијом праха.
- Добијање нових сазнања о утицају параметара поступка механичког легирања на синтезу сложених, композитних прахова.
- Експериментално утврђивање микроструктурних карактеристика и вредности механичких и физичких особина (микротврдоћа, електрична проводност, топлотна проводност, површински напон, температуре фазних преображаја, корозиона постојаност) испитиваних материјала са матрицом Sn-0,7Cu-xIn.
- Објашњење механизма који утичу на промену особина испитиваних композитних материјала.
- Имајући у виду да је мало информација присутно у научној литератури о композитима са матрицом Sn-0,7Cu-xIn добијених технологијом металургије праха, очекује се стицање нових сазнања о утицају GNS на поменути систем.
- Допринос развоју еколошки прихватљивих, функционалних композитних материјала, за примену у електроници и сродним технолошким областима.

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;
- Извођење експеримената;

- Припрема и карактеризација полазних прахова и ојачавајућих честица GNS,
- Мешање полазних прахова,
- Механичко легирање са честицама ојачивача,
- Пресовање (обликовање),
- Синтеровање.
- Анализа и идентификација фазног састава испитиваних узорака применом рендгенске дифрактометрије (XRD).
- SEM – EDS анализа.
- Испитивање механичких особина мерењем микротврдоће синтерованих узорака.
- Испитивање температуре топљења и фазних трансформација методом термијске анализе (DSC и DTA).
- Испитивање топлотних особина мерењем топлотне дифузивности и специфичног топлотног капацитета, као и прорачуном топлотне проводности.
- Испитивање електричне проводности.
- Електрохемијска карактеризација мерењем потенцијала отвореног кола и поларизационе отпорности, ради одређивања корозионе постојаности.
- Испитивање квашљивости.
- Испитивање микроструктуре и дебљине лемног споја на граници лем/подлога (SEM - EDS анализа).
- Анализа и дискусија резултата.
- Формулисање одговарајућих закључака.

6.2. Структура рада

Оквирна структура докторске дисертације састојаће се од следећих поглавља:

1. Уводна разматрања
2. Калај и легуре калаја
3. Графен и особине графена
4. Композитни материјали
5. Начини добијања композитних материјала
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 кандидат Милан Недељковић, дипломирани инжењер металургије, испуњава све законске услове за рад на предложеној теми докторске дисертације. Комисија, такође, закључује да је предложена тема *„Утицај графенских нано честица на микроструктуру, физичка и механичка својства композита са Sn-0,7Cu-xIn матрицом добијених металургијом праха“* 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 кандидату Милану Недељковићу, дипломираном инжењеру металургије, одобри израда докторске дисертације под називом *„Утицај графенских нано честица на микроструктуру, физичка и механичка својства композита са Sn-0,7Cu-xIn матрицом добијених металургијом праха“* и да се за ментора именује проф. др Срба Младеновић, редовни професор на Универзитету у Београду - Техничком факултету у Бору који испуњава све Законом предвиђене услове.

У Бору, август 2025. године

КОМИСИЈА:

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

др Владан Ћосовић, научни саветник
Универзитет у Београду - Институт за хемију,
технологију и металургију у Београду

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

Универзитет у Београду
ТЕХНИЧКИ ФАКУЛТЕТ У БОРУ
Број: VI/1-571/2
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

Недељковић Милану, бр. индекса 15/2018, 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:

- именованом
- студентској служби



ДЕКАН

Проф. др Дејан Таникић