

Образац 3.

Факултет ТЕХНОЛОШКО-
МЕТАЛУРШКИ

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

35/214

Веће научних области техничких наука

(Број захтева)

(Назив већа научне области коме се захтев
упућује)

29. 8. 2025.

(Датум)

ЗАХТЕВ

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

Молимо да, сходно чл. 48 ст. 5 тач. 3) Статута Универзитета у Београду („Гласник Универзитета“ бр. 201/2018, 207/2019, 213/2020, 214/2020, 217/2020, 230/21, 232/22, 233/22 и 236/22), дате сагласност на одлуку о прихватању теме докторске дисертације:

**Утицај параметара термомеханичке прераде на развој микроструктуре, процесе
рекристализације и текстуре, у циљу побољшања механичких својстава и корозионе
отпорности алуминијум-магнезијум легура**

(пун назив предложене теме докторске дисертације)

НАУЧНА ОБЛАСТ Металуршко инжењерство

ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ:

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

Александар (Анета) Ћитић

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

Универзитет у Београду,

Технолошко-металуршки факултет, Металуршко инжењерство, Мастер инжењер металургије

3. Година завршетка претходног нивоа студија: 2019.

4. Година уписа на докторске студије: 2020.
-

5. Назив студијског програма докторских студија:

Металуршко инжењерство

6. Датум подношења пријаве теме докторске дисертације:

26. 6. 2025.

ПОДАЦИ О МЕНТОРУ:

за кандидата **Александар Ћитић**

Име и презиме ментора: **др Миљана Поповић**

Звање: редовни професор Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет

Списак радова који квалификују ментора за вођење докторске дисертације:

1. Radetić, T., **Popović, M.**, Alil, A., Markoli, B., Naglič, I., Romhanji, E. (2022) Effect of homogenization temperature on microstructure and mechanical properties of Al-Mg-Si alloy containing low-melting point elements, *Journal of Alloys and Compounds*, 902, 163719; ISSN 0925-8388; IF=6.2 (2022: 8/91, M21a); <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2022.163719>
2. Khan, M.G.I., Rajković, F., **Popović, M.**, Prelević, D., Zaky, A., Markoli, B., Radetić, T. (2025) Development of Grain Microstructure and Formation of Abnormal Grain Bands in AA5182 Al–Mg Alloy: Role of Thermo-mechanical Processing, Texture, and Dispersoids, *Metallurgical and Materials Transactions. A*, 56, 2933-2956; ISSN 1073-5623; IF=2.5 (2024: 31/96, M21); <https://doi.org/10.1007/s11661-025-07836-y>
3. Alil, A., **Popović, M.**, Bajat, J., Romhanji, E. (2018) Mechanical and corrosion properties of AA5083 alloy sheets produced by accumulative roll bonding (ARB) and conventional cold rolling (CR), *Materials and Corrosion*, 69(7), 858-869; ISSN 0947-5117; IF=1.458 (2018: 34/76, M22); <https://doi.org/10.1002/maco.201709915>
4. Radetić, T., **Popović, M.**, Jegdić, B., Romhanji, E. (2016) Influence of annealing temperature on sensitization behaviour and corrosion properties of an Al-6.8 wt% Mg alloy, *Materials and Corrosion*, 67(8), 867-875; ISSN 0947-5117; IF=1.26 (2016: 27/74, M22); <https://doi.org/10.1002/maco.201508709>
5. Radetić, T., **Popović, M.**, Romhanji, E. (2020) The Influence of Cold Rolling Deformation and Annealing Temperature on Grain Growth in Al-4%Mg-Mn Alloy, *Materiali in Tehnologije/ Materials and Technology*, 54 (1), 85-90; ISSN 1580-2949; IF= 0.638 (2020: 72/80, M23); <https://doi.org/10.17222/mit.2019.134>

ДЕКАНКА ФАКУЛТЕТА

Проф. др Мирјана Кијевчанин

ПОДАЦИ О МЕНТОРУ 2:

за кандидата **Александар Ћитић**

Име и презиме ментора: **др Тамара Радетић**

Звање: научни саветник Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет

Списак радова који квалификују ментора за вођење докторске дисертације:

1. **Radetić, T.**, Johnson, E., Olmsted, D.L., Yang, Y., Laird, B.B., Asta, M., Dahmen, U. (2017) Step-controlled Brownian motion of nanosized liquid Pb inclusions in a solid Al matrix, *Acta Materialia* 141, 427-433; ISSN 1359-6454; IF=6.036 (2017: 1/75, M21a+); <https://doi.org/10.1016/j.actamat.2017.09.040>
2. **Radetić, T.**, Popović, M., Alil, A., Markoli, B., Naglič, I., Romhanji, E. (2022) Effect of homogenization temperature on microstructure and mechanical properties of Al-Mg-Si alloy containing low-melting point elements, *Journal of Alloys and Compounds*, 902, 163719; ISSN 0925-8388; IF=6.2 (2022: 8/91, M21a); <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2022.163719>
3. Khan, M.G.I., Rajković, F., Popović, M., Prelević, D., Zaky, A., Markoli, B., **Radetić, T.** (2025) Development of Grain Microstructure and Formation of Abnormal Grain Bands in AA5182 Al-Mg Alloy: Role of Thermo-mechanical Processing, Texture, and Dispersoids, *Metallurgical and Materials Transactions. A*, 56, 2933-2956; ISSN 1073-5623; IF=2.5 (2024: 31/96, M21); <https://doi.org/10.1007/s11661-025-07836-y>
4. Nešović, K., Janković, A., **Radetić, T.**, Vukašinović-Sekulić, M., Kojić, V., Živković, Lj., Perić-Grujić, A., Rheed, K.Y., Mišković-Stanković, V. (2019) Chitosan-based hydrogel wound dressings with electrochemically incorporated silver nanoparticles – In vitro study, *European Polymer Journal*, 121, 109257; ISSN 0014-3057; IF= 3.862 (2019: 14/88, M21); <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2019.10925>
5. **Radetić, T.**, Popović, M., Novaković, M., Rajić, V., Romhanji, E. (2023) Identification of Fe-bearing phases in the as-cast microstructure of AA6026 alloy and their evolution during homogenization treatment, *Journal of Mining and Metallurgy B: Metallurgy*, 59(2), 327-338; ISSN 1450-5339; IF= 0.9 (2023: 65/90, M22); <https://doi.org/10.2298/JMMB 230611028R>

ДЕКАНКА ФАКУЛТЕТА

Проф. др Мирјана Кијевчанин

Обавештавамо вас да је Наставно-научно веће

(назив надлежног тела факултета)

на седници одржаној 28. 8. 2025. године 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.

- 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**

ДП

На основу чл. 40. став 3. Закона о високом образовању, чл. 112. став 3. Статута Универзитета у Београду, чл. 88. став 3. Статута ТМФ-а и чл. 33. Правилника о докторским студијама ТМФ-а на седници Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета од 28. 8. 2025. године, донета је

О Д Л У К А

о прихватању Извештаја Комисије за оцену научне заснованости теме
докторске дисертације

Прихвата се Извештај Комисије о научној заснованости теме за израду докторске дисертације кандидата **Александра Ћитића**, број индекса 2020/4018, под називом:
„Утицај параметара термомеханичке прераде на развој микроструктуре, процесе рекристализације и текстуре, у циљу побољшања механичких својстава и корозионе отпорности алуминијум-магнезијум легура”.

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

За менторе се одређују др Миљана Поповић, редовни професор Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет и др Тамара Радетић, научни саветник Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет.

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

Д Е К А Н К А

Проф. др Мирјана Кијевчанин

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Извештај о оцени научне заснованости теме докторске дисертације кандидата Александра Ћитића

Одлуком Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета бр. 2025-35/160 од 26. јуна 2025. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену научне заснованости теме докторске дисертације кандидата Александра Ћитића, мастер инжењера металургије, под насловом "Утицај параметара термомеханичке прераде на развој микроструктуре, процесе рекристализације и текстуре, у циљу побољшања механичких својстава и корозионе отпорности алуминијум-магнезијум легура."

На основу материјала приложеног уз пријаву теме кандидата, Комисија подноси следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. Подаци о кандидату

1.1. Биографски подаци

Александар (Анета) Ћитић, мастер инжењер металургије, рођен је 2. децембра 1995. године у Ужицу. Основну школу је завршио у Чајетини, а средњу Техничку школу у Ужицу 2014. године као носилац Вукове дипломе. Основне академске студије на Технолошко-металуршком факултету, студијски програм Металуршко инжењерство, уписао је школске 2014/15. године, и дипломирао 2018. године са просечном оценом положених испита 9,02. Завршни рад под називом "Ојачавање алуминијум-магнезијум-силицијум легура поступцима вештачког и прекинутог старења" одбранио је са просечном оценом 10, под менторством професорке др Миљане Поповић. Школске 2018/19. године уписао је мастер академске студије на студијском програму Металуршко инжењерство, и стекао звање мастер инжењер металургије 2019. године, са просечном оценом положених испита 9,88. Мастер завршни рад под називом "Употреба синтетичке троске у производњи челика" одбранио је са просечном оценом 10, под менторством професора др Ненада Радовића. Докторске академске студије уписао је школске 2020/21. године на студијском програму Металуршко инжењерство.

По завршетку мастер академских студија, Александар Ћитић стиче радно искуство у HBIS Group Serbia Iron and Steel-Смедерево у периоду од новембра 2018. до јуна 2019. године, на позицији технолога за производњу челика, Техничкој школи у Ужицу у периоду од новембра 2019. до фебруара 2020. године, на позицији наставника на замени, Elit Inox у Чачку на позицији контролора квалитета, у периоду од марта до јуна 2020. године, и у Металопластици у Чајетини од новембра 2020. до децембра 2021. године, као сарадник за интегрисани систем квалитета.

У Војнотехничком институту у Београду запослио се у децембру 2021. године, на формацијском месту истраживач у Одељењу за металне материјале, и бави се истраживањем и развојем у области металних материјала (челици и обојени метали). Одлуком Научног већа Војнотехничког института, 21. септембра 2022. године изабран је у звање истраживач приправник. У јуну 2025. године напредовао је на формацијско место самостални истраживач у Одељењу за металне материјале.

Током јуна 2022. године, учествовао је на радионици "Принципи и примена адитивне производње", а у фебруару 2023. године учествовао је на зимској школи "Trends in additive manufacturing for engineering applications", одржаној у Београду. У децембру 2023. године завршио је курс за радиографско испитивање материјала.

На предлог Научног одбора конференције OTEX 2024, похваљен је за научни рад под називом "Failure analysis of welded joint between rocket motor case and fins". Поводом Дана Војнотехничког института 2024. године, похваљен је за нарочито залагање, успех у служби и резултате постигнуте у раду, од стране Директора института.

1.2. Стечено научноистраживачко искуство

Докторске академске студије уписао је школске 2020/21. године на Технолошко-металуршком факултету, на студијском програму Металуршко инжењерство, где је положио све испите предвиђене студијским програмом, и одбранио завршни испит под називом "Утицај хомогенизације на развој микроструктуре, процесе рекристализације и корозиону отпорност Al-Mg легура са високим садржајем Mg." Списак положених испита са оценама и ЕСПБ бодовима приказан је у следећој табели:

Назив предмета	Оцена	ЕСПБ
Структура и својства металних материјала	10	5
Математичка обрада експерименталних података	8	5
Термодинамика чврстог стања	10	5
Физичка металургија	9	5
Кинетика фазних трансформација	10	5
Наноструктурни метални материјали	10	5
Механичко понашање материјала	10	5
Деформационо процесирање метала-виши курс	10	5
Карактеризација структуре материјала	10	5
Корозија	10	5
Завршни испит	10	30
Просечна оцена	9,70	
Збир ЕСПБ бодова	80	

У звање истраживач-приправник изабран је у септембру 2022. године на Војнотехничком институту, у Београду, а од јануара 2025. године ангажован је као сарадник, кроз програм финансирања истраживања од стране Министарства науке, технолошког развоја и иновација Републике Србије (уговор број 451-03-137/2025-03/200325).

Област научноистраживачког рада Александра Ћитића, обухвата истраживање у области термомеханичке прераде, карактеризације микроструктуре, испитивања механичких и корозионих својстава алуминијум-магнезијум легура, затим истраживање и карактеризација металних материјала добијених поступцима адитивне производње, као и анализа отказа материјала и истраживање у области механике лома металних материјала.

Као аутор и коаутор, резултате свог досадашњег научноистраживачког рада објавио је у укупно 12 публикација, од тога 7 саопштења са међународних скупова штампаних у целини (М33), 4 саопштења са међународних скупова штампаних у изводу (М34) и једно саопштење са домаћег скупа штампано у изводу (М64).

Списак објављених радова и саопштења:

Саопштење са међународног скупа штампано у целини (М33)

1. Pejović V., Marinković J., **Ćitić A.**, Perković S. (2025), Characterisation of the 316L steel produced by laser wire additive manufacturing. In Congress Proceedings/6th Metallurgical and Materials Engineering Congress of South-East Europe, MME SEE 2025, Trebinje, Bosnia and Herzegovina, June 04-06 (pp. 205-212), (ISBN 978-86-87183-34-6)
2. Košević M., Bajić D., Čekerevac D., Pavić M., Fidanovski B., **Ćitić A.**, Baltić M. (2025), EPOXY/PVB hybrid composites reinforced with nano-boron carbide: structure, thermal stability, and mechanical resistance. In In Congress Proceedings/6th Metallurgical and Materials Engineering Congress of South-East Europe, MME SEE 2025, Trebinje, Bosnia and Herzegovina, June 04-06 (pp. 149-156), (ISBN 978-86-87183-34-6)

3. Krstović, M., Petković-Cvetković, J., Dimitrijević, I., **Ćitić, A.**, Bajić, D. (2025): Calorimetric bomb test as a method for the selection of optimal boron powder for pyrotechnic applications. In Proceedings of the 27th Seminar on New Trends in Research of Energetic Materials, NTREM2025, Pardubice, Czech Republic, April 02-04. 2025 (pp. 403-411) (ISBN 978-80-7560-545-0)
4. **Ćitić, A.**, Radetić, T., Popović, M. (2024): The effect of homogenization and annealing on IGC susceptibility of hot-rolled AA5182 aluminum alloy. In Proceedings/55th International October Conference on Mining and Metallurgy, IOC 2024, Kladovo, Serbia, October 15-17 (pp. 355-358) (ISBN 978-86-7827-053-6)
5. **Ćitić, A.**, Ilić, N., Mladenović, M., Pejović, V. (2024): Failure analysis of welded joint between rocket motor case and fins. In Proceedings/11th International Scientific Conference on Defensive Technologies, OTEH 2024, Tara, Serbia, October 9-11 (pp. 567-571) (ISBN 978-86-81123-94-2)
6. Mladenović, M., Mandić, J., **Ćitić, A.**, Pejović, V., Grubić, A., Živković, S. (2024): Influence of process parameters in additive manufacturing on the quality of produced metal parts, In Proceedings/11th International Scientific Conference on Defensive Technologies, OTEH 2024, Tara, Serbia, October 9-11 (pp. 560-566) (ISBN 978-86-81123-94-2)
7. Ghulam Isaq Khan, M., Rajković, F., Popović, M., Prelević, D., **Ćitić, A.**, Radetić, T. (2023): Initiation of abnormal grain growth in cold-rolled sheet of AA5182 Al-Mg alloy: role of texture. In Proceedings/54th International October Conference on Mining and Metallurgy, IOC 2023, Bor Lake, Serbia, October 18-21 2023 (pp. 481-484) (ISBN 978-86-6305-140-9)

Саопштење са међународног скупа штампано у изводу (M34)

1. Ljubojević, P., Dojčinović, M., **Ćitić, A.**, Ćirić-Kostić, S., Bogojević, N., Lazović, T. (2024): Cavitation Rate of Laser-Sintered MS1 Steel. In Book of Abstracts/International Conference of Experimental and Numerical Investigations and New Technologies, CNN TECH, Belgrade, Serbia, June 24-27 (pp. 17) (ISBN 978-86-6060-191-1)
2. **Ćitić, A.**, Popović, M., Radetić, T., Ghulam Isaq Khan, M.(2023): The effect of homogenization conditions on microstructure and recrystallization behavior of AA5182 alloy, Program and the Book of abstracts/Twenty-first Young Researchers' Conference Materials Science and Engineering, 21 YRC 2023, Belgrade, Serbia November 29 – December 1, 2023 (pp. 77) (ISBN 978-86-80321-38-7)
3. Ghulam Isaq Khan, M., Rajković, F., Popović, M., Prelević, D., **Ćitić, A.**, Radetić, T.: Study of abnormal grain growth in cold-rolled AA5182 Al-Mg alloy, Program and the Book of abstracts/Twenty-first Young Researchers' Conference Materials Science and Engineering, 21 YRC 2023 , Belgrade, Serbia November 29 – December 1, 2023 (pp. 61) (ISBN 978-86-80321-38-7)
4. **Ćitić, A.**, Popović, M., Vitomir, J., Filipović, M., Radetić, T., Romhanji, E.: Strengthening of Al-Mg-Si AA6082 Type Alloy by Artificial and Interrupted Aging Processes, Abstract Proceedings/Young Researches Conference 2019, YOURS 2019, Belgrade, Serbia, March 26-27 (pp. 8) (ISBN 978-86-84231-48-4)

Саопштење са домаћег скупа штампано у изводу (M64)

1. Лазаревић, М., Недић, Б., Бајић, Д., Алил, А., Илић, Н., **Ћитић, А.** (2023): Могућност примене експлозива атопех у заваривању разнородних челичних плоча и утицај количине експлозива на квалитет завареног споја, Зборник апстраката/Научна конференција војних наука, ВојНа 2023, Београд, Србија, Мај 16–17 (стр. 266) (ISBN 978-86-335-0827-8)

1.3. Оцена оспособљености кандидата за рад на предложеној теми

На основу досадашњег научноистраживачког рада и постигнутих резултата током докторских академских студија, комисија сматра да је Александар Ћитић, мастер инжењер металургије, показао способност и опредељеност ка научноистраживачком раду и стручном усавршавању. У току рада показао је велику одговорност, педантност и самосталност у реализацији истраживања и анализи добијених резултата. У области истраживања предложене теме докторске дисертације, досадашњи резултати се огледају у усменим саопштењима на скуповима међународног карактера (два саопштења штампана у целини и три саопштења штампана у изводу). Комисија, из свега наведеног, сматра да кандидат Александар Ћитић испуњава услове за рад на предложеној теми докторске дисертације.

2. Предмет и циљ истраживања

Предмет истраживања ове докторске дисертације је усмерен на термомеханичку прераду (ТМП) легуре AA5182, и других легура алуминијума из серије 5xxx (Al-Mg-X легура), са високим садржајем магнезијума ($Mg \geq 4 \text{ mas\%}$).

Заједно са легурама серије 6xxx (Al-Mg-Si легуре), легуре 5xxx серије су од посебног интереса у производњи средстава за транспорт, посебно у ауто-индустрији [1]. Комбинација мале специфичне густине алуминијума од $2,7 \text{ g/cm}^3$, што представља трећину густине легура железа, и ефекта легирајућих елемената на побољшање механичких својстава, даје одличан однос специфичне густине и чврстоће, омогућавајући редукцију тежине возила. На тај начин се смањује потрошња горива, односно компензује тежина батерија у електричним возилима, у складу са захтевима за редукцију емисије CO_2 и енергетску ефикасност. Својства, као што су добра способност обликовања, заварљивост и корозиона отпорност [1-5], допринеле су да ове легуре алуминијума имају све већи удео у производњи структурних компоненти у ауто-индустрији. Мада легуре 6xxx серије имају приоритет, услед нешто више чврстоће и одсуства Lüders-ових трака након пластичног обликовања, предност легура серије 5xxx се огледа у једноставнијем и економичнијем процесирању. За разлику од легура серије 6xxx, легуре 5xxx не ојачавају термичким таложењем, чиме се елиминишу термички третмани везани за старење, што не само да доприноси исплативости, већ и значајно повећава енергетску ефикасност. Додатни фактор при избору легура серије 5xxx за предмет предложене докторске дисертације, је да у Републици Србији постоји развијена индустријска производња 5xxx легура (Impol Seval, Ваљаоница алуминијума у Сеојну), па је самим тим присутна могућност примене резултата ове тезе у привреди.

Осим све шире примене у индустрији за производњу транспортних средстава (ауто-, друмска и железничка превозна средства, бродоградња), и све строжији захтеви за оптималном комбинацијом чврстоће, способности за пластично обликовање, корозионе отпорности и економичности производње, допринели су да значајан број истраживања у области алуминијумских легура буде посвећен проучавању могућности побољшања и оптимизације својстава легура серије 5xxx. Модификација хемијског састава легура, додатком неконвенционалних легирајућих елемената, као што су Zr и ретке земље (Er, Sc) [6-7], са циљем побољшања чврстоће, односно цинка (Zn) и стронцијума (Sr), ради побољшања корозионе отпорности [8], један је од приступа оптимизацији особина. Међутим, у примарној производњи Al-Mg легура, велики удео има топлење секундарних сировина, тј. рециклажа. Са аспекта заштите животне средине, значајна уштеда енергије и природних ресурса рециклажом, представља предност ових легура. Међутим, истовремено се повећава садржај нежељених елемената у легури, односно контрола хемијског састава легура у индустријској производњи постаје ограничена. Како традиционални процес термомеханичке прераде Al-Mg легура обухвата низ фаза: хомогенизационо жарење, топло ваљање, са или без међуфазног жарења, хладно ваљање и финално (завршно) жарење, алтернативни приступ је оптимизација услова и модификација појединачних фаза процесирања.

Досадашња истраживања у области термомеханичке прераде Al-Mg легура већином су се односила на легуре са ниским садржајем нечистоћа, као што су Fe и Si. Истраживања у оквиру ове докторске дисертације ће, пак, бити усмерена на процесирање легура са повећаним садржајем Fe, али и Mn, и других легирајућих елемената попут Zn и Sr, као и систематична испитивања утицаја различитих сегмената термомеханичке прераде на развој микроструктуре и текстуре Al-Mg легура у лабораторијским условима.

Хомогенизација, прва операција у низу, у процесу термомеханичке прераде, је од посебног интереса за Al-Mg легуре, које поред магнезијума, садрже прелазне метале, као легирајуће елементе и нечистоће. У зависности од хемијског састава легуре, као и услова очвршћавања, ливено стање карактерише α -чврсти раствор алуминијумске основе, који може бити различитог степена пресићености и нехомогености, као и спектар метастабилних и стабилних интерметалних фаза (Mg_2Si , $\text{Al}_3(\text{Fe}, \text{Mn})$, Al_mFe , $\text{Al}_{19}(\text{Fe}, \text{Mn})_4$, $\text{Al}_6(\text{Fe}, \text{Mn})$, $\alpha\text{-Al}(\text{Mn}, \text{Fe})\text{Si}$) у виду микроконституената [1-5]. Хомогенизација се изводи на температурама у опсегу од 430°C до 560°C , при којима се дифузиони процеси интензивирају, чак и за елементе са изузетно ниским коефицијентом дифузије, као што су Fe и Mn, омогућавајући уклањање микросегрегација. У погледу микроконституената, преглед литературе је указао на знатне варијације у понашању у току хомогенизације. Промене у микрохемији и морфолошким карактеристикама, као и фазне трансформације микроконституената, условљене су у великој мери условима хомогенизационог жарења, температуром и временом жарења, који варирају у широком

опсегу [1-5, 9]. Како морфолошке карактеристике и врста микроконституената контролишу способност деформације и појаву дефеката при топлом ваљању, а фазни састав утиче на корозиона својства легура [10], један од циљева ове докторске дисертације је систематична студија утицаја температуре и времена на еволуцију микроконституената у току хомогенизације.

Поред уклањања микросегрегација и промена у микроконституентима, током хомогенизације долази до разлагање пресићеног α -чврстог раствора алуминијумске основе и издвајања дисперзоида на бази прелазних метала, пре свега мангана ($\text{Al}_6(\text{Mn})$, $\alpha\text{-Al-MnSi}$) [1-5]. Дисперзоиди немају значајан допринос у ојачавању Al-Mg легура, али како интеракција дисперзоида са дислокацијама и границама зрна утиче на деформационо понашање и рекристализационе процесе, они имају кључан утицај на даље процесирање топлим ваљањем, као и на финална својства материјала [11-12]. У зависности од величине и густине расподеле, дисперзоиди имају двојаку улогу у процесима рекристализације и раста зрна. Крупне честице секундарних фаза ($\geq 1 \mu\text{m}$), дисперзоида и микроконституената, су потенцијални центри за нуклеацију нових рекристалисаних зрна PSN механизмом (PSN – Particle Stimulated Nucleation), који поспешује рандомизацију тј. насумичност оријентација зрна, смањујући анизотропију ваљаних производа и побољшавајући способност за обликовање. Интеракција финих дисперзоида велике густине расподеле са границама зрна, смањује њихову мобилност, ограничавајући раст зрна Зенеровим механизмом [11, 13]. Како тип/врста, величина, густина и дистрибуција честица дисперзоида зависи, поред хемијског састава и степена пресићености чврстог раствора, и од параметара хомогенизације, могуће је контролисати микроструктуру легуре. Применом нискотемпературне, односно високотемпературне хомогенизације могуће је добити два типа микроструктуре - једну са финим дисперзоидима велике густине расподеле, и другу, са крупнијим дисперзоидима.

Наредна фаза термомеханичке прераде, први сегмент деформационог процесирања – топло ваљање, представља процес од суштинског значаја у процесу прераде са економског аспекта. Неадекватно пројектовање процеса топлог ваљања (избор степена деформације по провлаку, број провлака, присуство/одсуство пауза између провлака, као и неадекватна полазна микроструктура, тј. микроструктура развијена у току хомогенизације), могу имати фаталне последице на целокупан процес прераде. Са микроструктурног аспекта, присуство микроконституената неповољне морфологије и фазног састава, који карактерише ниска кохезивност на међуповршини алуминијумска основа/микроконституенти, често је узрочник појаве дефеката у материјалу, чак и хаварија, што негативно утиче на економичност производње.

Топло ваљање је динамичан процес у току кога се, поред процеса везаних за деформацију (пораст густине дислокација, ротације и сегментације зрна), одвијају рекристализациони процеси. Степен рекристализације који се постиже у топло ваљаном материјалу, дефинише потребу за међуфазним жарењем, као припремном фазом за хладну деформацију, утичући тако и на енергетску економичност. Како рекристализациони процеси у току топлог ваљања одређују способност легуре за даљу деформацију, они добијају још више на значају са трендом модификације технологије прераде Al-Mg легура, која подразумева да се процесом топлог ваљања добијају производи мањих дебљина, од 4-5 mm, односно захтева се знатно виши степен топле деформације него у традиционалном процесирању. Опорављање и рекристализација су комплексни процеси који зависе од великог броја фактора. Један од циљева ове докторске дисертације је да испита у којој мери примена различитих услова хомогенизационог жарења, односно генерисања микроструктура са различитом морфологијом (величином, густином и расподелом) дисперзоида, утиче на рекристализационе процесе у току топлог ваљања испитиваних Al-Mg легура. Поред одређивања степена рекристализације и карактеризације микроструктурних параметара, као што су величина и облик зрна, са све већом применом топлог ваљања као финалне операције термомеханичке прераде, од интереса је испитивање утицаја услова хомогенизације на развој текстуре, која одређује способноста за обликовање, механичке особине, као и корозиона својства топло ваљаног материјала.

Мада је генерално ефекат хладне деформације ваљањем и финалног жарења на микроструктуру и механичка својства Al-Mg легура познат, утицај секундарних фаза је предмет интензивних истраживања у циљу истовремене оптимизације механичких особина, способности за пластично обликовање и отпорности према корозији. Део комплексности процеса настаје због истовременог присуства финијих дисперзоида, као и микроконституената и крупних дисперзоида, што доводи до интеракције Зенеровог ефекта и PSN механизма у току рекристализације, и на тај начин утиче на микроструктурни аспект, тј. величину и облик зрна, али и на развој текстуре, односно има утицај на оријентацију зрна и карактер граница зрна.

Присуство изражене текстуре, посебно кубне компоненте, која је типична текстура рекристалисаних

алуминијумских легура, повећава анизотропију механичких особина, и има негативан ефекат на способност за пластично обликовање. Рекристалисана текстура Al-Mg легура може бити модификована присуством примарних и секундарних честица, кроз PSN механизам рекристализације и кроз Зенеров ефекат. PSN механизам има тенденцију да рандомизује оријентацију зрна, мада постоје извештаји о фаворизовању Р и ротираних кубних компоненти. У случају Зенеровог ефекта, ситне честице, уколико су густо распоређене, блокирају кретање граница зрна, потискујући формирање кубне компоненте, док је за малу густину честица, кретање граница нових зрна олакшано и јавља се изражена кубна текстура рекристализације [13].

Склоност ка интегрануларној корозији легура са вишим садржајем Mg (≥ 3.5 мас%) је узрокована издвајањем β -фазе (Al_3Mg_2). Ова фаза анодног карактера (електронегативнија од алуминијумске основе), издваја се као континуирани или дисконтинуирани филм дуж граница зрна приликом излагања температурама од 65°C до 200°C , у процесу познатом под називом сензитизација, и преферентно се раствара у односу на околну алуминијумску основу [14-17]. На склоност према интергрануларној корозији утичу величина и морфолошке карактеристике зрна, али и карактер граница зрна, као и присуство честица секундарних фаза. Претходна истраживања су указала да је издвајање β -фазе израженије на високоугаоним границама, док је таложење на нискоугаоним и специјалним границама зрна мање вероватно. Ти резултати сугеришу да се, имајући у виду да накупине кубно оријентисаних зрна карактеришу нискоугаоне границе, присуством изражене кубне текстуре може побољшати отпорност према интергрануларној корозији. Преферентна места за издвајање β -фазе су и Al_6Mn дисперзоиди. Издвајање β - Al_3Mg_2 фазе на дисперзоидима унутар зрна, има повољан ефекат на корозиону отпорност, јер се смањује заступљеност β - Al_3Mg_2 фазе на границама зрна [18]. Међутим, ефекат Al_6Mn дисперзоида издвојених на границама зрна није јасан. Истраживања су, такође, показала да додатак цинка и издвајање $\tau(\text{Mg}_{32}(\text{Al},\text{Zn})_{49})$ фазе на границама зрна спречава континуирано издвајање β - фазе (Al_3Mg_2) на границама зрна, побољшавајући отпорност према интергрануларној корозији [8]. Поред склоности ка интегрануларној корозији, присуство секундарних фаза, превасходно микроконституената, доприноси осетљивости према тачкастој корозији. Као и β -(Al_3Mg_2) фаза, друге фаза на бази магнезијума, Mg_2Si је анодног карактера у поређењу са алуминијумском основом. За разлику од β -(Al_3Mg_2) фазе, Mg_2Si фаза се не раствара у потпуности у корозионој средини, већ долази до парцијалног губитка магнезијума. Са друге стране, честице интерметалних фаза на бази железа и мангана, су катодног карактера у односу на алуминијумску основу, услед чега долази до растварања алуминијумске основе у околини ових честица [19].

Последњи део предложене докторске дисертације биће усмерен на праћење утицаја различитих сегмената термомеханичке прераде и добијене микроструктуре (честице интерметалних фаза, дисперзоиди, облик и величина зрна, текстура) на корозиона својства испитиваних Al-Mg легура у циљу оптимизације корозионе отпорности у комбинацији са одговарајућим механичким особинама и способношћу за пластично обликовање.

Списак литературе:

- [1] Grasserbauer, J., Weißensteiner, I., Falkinger, G., Kremmer, T., Uggowitz, P., Pogatscher, S. (2021): Influence of Fe and Mn on the Microstructure Formation in 5xxx Alloys—Part I: Evolution of Primary and Secondary Phases. *Materials*, Volume 14 (12), pp. 3204.
- [2] Engler, O., Kuhnke, K., Hasenclever, J. (2017): Development of intermetallic particles during solidification and homogenization of two AA 5xxx series Al-Mg alloys with different Mg contents. *Journal of Alloys and Compounds*, Volume 728, pp. 669-681.
- [3] Engler, O., Kuhnke, K., Westphal, K., Hasenclever, J. (2018): Impact of chromium on the microchemistry evolution during solidification and homogenization of the Al-Mg alloy AA 5052. *Journal of Alloys and Compounds*, Volume 744, pp. 561-573.
- [4] Engler, O., Miller-Jupp, S. (2016): Control of second-phase particles in the Al-Mg-Mn alloy AA 5083. *Journal of Alloys and Compounds*, Volume 689, pp. 998-1010.
- [5] Tian, N., Zhang, Y., He, Z., Liu, H., Zhang, Z., Liu, J., Zhao, G., Qin, G. (2024) The formation of three phases containing Fe and Mn in 5182 aluminium alloy. *Materials Characterization*, Volume 207, pp. 113497.
- [6] Shen, S., Yao, S., Yang, X., Xu, C., Ma, Z., Zhang, H., Wu, R., Hou, L., Cong, F., Ma, X. (2024): Effect of Homogenization on Microstructure and Mechanical Properties of Al-Mg-Mn-Er Alloy. *Advanced Engineering Materials*, Volume 26 (8), pp. 2302038
- [7] Li, M., Liu, S., Wang, X., Shi, Y., Pan, Q., Zhou, X., Zhang, R., Birbils, N. (2022) Improved intergranular corrosion resistance of Al-Mg-Mn alloys with Sc and Zr additions. *Micron*, Volume 154, pp. 103202

- [8] Pan, Y., Xu, Y., Zhang, D., Zhang, J., Zhou, G., Lang Y. (2023): Mechanical properties, corrosion behavior and microstructure evolution of zinc and scandium co-strengthened 5xxx alloy. *Journal of Rare Earths*, Volume 41, pp. 1819-1826
- [9] Li, Y. J., Arnberg, L. (2004): Solidification structures and phase selection of iron-bearing eutectic particles in a DC-cast AA5182 alloy. *Acta Materialia*, Volume 52, pp. 2673-2681.
- [10] Tan, L., Allen, T. R. (2010): Effect of thermomechanical treatment on the corrosion of AA5083. *Corrosion Science*, Volume 52, pp. 548-554
- [11] Aryshenskii, V., Grechnikov, F., Aryshenskii, E., Erisov, Y., Kononov, S., Tepterev, M., Kuzin, A. (2022): Alloying Elements Effect on the Recrystallization Process in Magnesium-Rich Aluminum Alloy. *Materials*, Volume 15, pp. 7062
- [12] Mofarreh, M., Javidani, M., Chen, X. G. (2024): Effect of Mn on Hot Workability and Processing Maps of Al-Mg-Mn 5xxx Alloys. *Journal of Materials Engineering and Performance*, Volume 33 (20), pp. 11265-11277
- [13] Grasserbauer, J., Weißensteiner, I., Falkinger, G., Kremmer, T., Uggowitzer, P., Pogatscher, S. (2021): Influence of Fe and Mn on the Microstructure Formation in 5xxx Alloys—Part II: Evolution of Grain Size and Texture. *Materials*, 14 (12), pp. 3312.
- [14] Choundraj, J. D., Kacher, J. (2022): Influence of misorientation angle and local dislocation density on β -phase distribution in Al 5xxx alloys. *Scientific Reports*, Volume 12, pp. 1817
- [15] Faraji, M., Shabestari, S. G., Razavi, S. H. (2023): The Effects of Cold Rolling and Stabilization Treatment on the Improvement of Microstructure, Mechanical Properties, and Corrosion Behavior of AA5083 Sheet. *Journal of Materials Engineering and Performance*, Volume 32 (5), pp. 2097-2108
- [16] In-Kyu, C., Soo-Ho, C., Sung-Joon, K., Yoo-Shin, J., Sang-Ho, K. (2018): Improved Corrosion Resistance of 5XXX Aluminum Alloy by Homogenization Heat Treatment. *Coatings*, Volume 8 (1), 39
- [17] Li, Y., Hung, Y., Du, Z., Xiao, Z., Jia, G. (2018): The Effect of Homogenization on the Corrosion Behavior of Al–Mg Alloy. *Physics of Metals and Metallography*, Volume 119 (4), pp. 339-346
- [18] Yan, J., Hodge, A. M. (2017): Study of β precipitation and layer structure formation in Al 5083: The role of dispersoids and grain boundaries. *Journal of Alloys and Compounds*, Volume 703, pp. 242-250
- [19] Zhu, Y., Sun, K., Frankel, G. S. (2018) Intermetallic Phases in Aluminum Alloys and Their Roles in Localized Corrosion. *Journal of The Electrochemical Society*, Volume 165 (11), pp. 807-820

3. Полазне хипотезе

Преглед литературе, која се односи на Al-Mg-X легуре (серија 5xxx), указује да су новија истраживања претежно усмерена на проучавање процеса који се одвијају у току хомогенизационог жарења. Иако Al-Mg-X легуре припадају класи легура алуминијума, у којима честице секундарних фаза директно не доприносе ојачавању, промене у фазном саставу које се одигравају у току хомогенизације имају кључни ефекат на развој микроструктуре легура у току даље термомеханичке прераде (ТМП). Публиковани радови, као и прелиминарни резултати наших испитивања, указују на значај избора параметара хомогенизационог жарења (брзине загревања, температуре и времена жарења) за даљу ТМП, као и за оптимизацију финалних својстава материјала. Стога, основне хипотезе које се могу издвојити за научно-истраживачки рад у оквиру ове дисертације су следеће:

- Ливено стање Al-Mg-X легура је мултифазни систем изграђен од пресићеног чврстог раствора алуминијумске основе и микроконституената, који су метастабилна и стабилна интерметална једињења типа Mg_2Si , $Al_3(Fe,Mn)$, $Al_m(Fe,Mn)$, $Al_6(Fe,Mn)$, $\alpha-Al(Fe,Mn)Si$, итд.
- На температурама хомогенизације (430-550°C) дифузивност већине легирајућих елемената је довољно висока, да омогући процесе растварања и таложења, као и фазне трансформације метастабилних секундарних фаза. Избором температуре и времена хомогенизације може се контролисати удео, врста и морфологија секундарних фаза.
- Промене у хемијском саставу и уделу секундарних фаза, утичу на садржај легирајућих елемената у чврстом раствору, мењајући потенцијал за ојачавање раствореним атомима, као и на таложење секундарних фаза при нискотемпературном жарењу, односно сензитизацији ($\beta - Al_3Mg_2$ фаза).
- Микроконституенти, секундарне фазе присутне у ливеном стању могу се растварати, као у случају Mg_2Si ($T_h \geq 500^\circ C$), док се конституенти на бази Fe и Mn, услед незнатне растворљивости Fe у Al (0.05 mas%), не растварају у току хомогенизације, али могу бити изложени фазним трансформацијама, као и променама у морфологији и хемијском саставу.

Оптимизацијом фазног састава и морфологије микроконституената може се побољшати способност за деформацију топлим и хладним ваљањем.

- Дисперзоиди (Al_6Mn и $\alpha\text{-AlMnSi}$), тј. честице секундарних фаза које се издвајају у току хомогенизације, утичу на процесе динамичке и статичке рекристализације служећи као центри нуклеације рекристалисаних зрна PSN механизмом, када су честице веће од 1 μm , односно ограничавајући раст зрна Зенеровим механизмом, у присуству финих дисперзоида високе густине расподеле. Услови хомогенизације контролишу величину, густину и дистрибуцију дисперзоида, па је могуће произвести различите типове микроструктуре зрна у току топлог ваљања, са варијабилним уделом опорављених и рекристалисаних зрна. Кроз утицај на механизме нуклеације и раста зрна, дисперзоиди утичу на развој текстуре.
- Микроструктура зрна (величина зрна, карактер, оријентација и енергија граница зрна), густина дислокација, као и присуство секундарних фаза у структури, утиче на издвајање β -фазе (Al_3Mg_2), која је одговорна за склоност према интергрануларној корозији Al-Mg-X легура. β -фаза се преферентно издваја на одређеним границама зрна и/или на честицама секундарних фаза. Облик, дистрибуција и локација издвајања β -фазе, као и вредност потенцијала растварања секундарних фаза, утичу на степен осетљивости према корозији. Стога, побољшање корозионе отпорности може се постићи селекцијом одговарајућих услова хомогенизације, као и оптимизацијом даље ТМП (комбинацијом степена хладне деформације и температуре завршног жарења).
- Степен рекристализације, величина зрна, као и садржај легирајућих елемената, пре свега Mg у чврстом раствору алуминијума, контролишу чврстоћу и потенцијал за ојачавање, и такође утичу на појаву изражене границе попуштања, и вредност Лидерсовог издужења. Дистрибуција и морфологија секундарних фаза имају доминантан утицај на дуктилност, односно издужење при једноосном затезању. Присуство текстуре утиче на варијацију механичких својстава у функцији оријентације, у односу на правац ваљања.

4. Научне методе истраживања

Материјал који ће се користити у овом истраживању су индустријски DC ливене Al-Mg-X легуре, произведене у Ваљаоници Алуминијума Impol Seval у Севојну. Реализација истраживања састојаће се из следећих сегмената:

- Процесирање легура

Процесирање легура ће обухватити хомогенизационо жарење, лабораторијско топло и хладно ваљање, као и различите варијанте међуфазног и завршног жарења. Како хомогенизационо жарење има кључну улогу у развоју микроструктуре, тј. фазном саставу и морфологији микроконституената и дисперзоида, систематично ће бити испитан утицај параметара хомогенизације. Утицај температуре биће испитиван под изохроналним условима, и обухватиће температурни опсег од 430°C до 550°C. Ефекат времена хомогенизационог жарења биће испитиван изотермално на температури од 550°C у опсегу времена од 0-96 h.

За одабрана стања, блокови хомогенизованих легура ће бити изложени пластичној деформацији топлим и хладним ваљањем. У циљу симулирања индустријских услова топлог ваљања, испитаће се различите комбинације појединачних редукција и краткотрајног прогревања између провлака у току топлог ваљања. Развијена микроструктура зрна, најсличнија индустријски топло ваљаној легури, и присуство ивичних дефеката, ће бити критеријум за избор оптималног режима, који ће обезбедити наставак деформације хладним ваљањем. Хладно ваљање ће обухватити деформацију материјала са различитим редукцијама, да би се испитао утицај степена деформације на механичка својства и корозионе карактеристике.

Деформисане легуре (топло и хладно ваљане) биће жарене под различитим условима, да би се утврдио ефекат хомогенизације и деформације на процесе опорављања и рекристализације, као и на развој текстуре, односно ефекат микроструктуре зрна на механичка и корозиона својства.

Сва стања за испитивање корозионих својстава, биће изложена нискотемпературном жарењу (сензитизацији), ради издвајања β – Al_3Mg_2 фазе.

- Микроструктурна карактеризација

Легуре у ливеном стању, и у различитим фазама термомеханичке прераде, биће карактерисане оптичком микроскопијом (ОМ), скенирајућом (SEM) и трансмисионом електронском микроскопијом (ТЕМ). Величина и морфологија зрна ће бити карактерисана оптичком микроскопијом у

поларизованом светлу, док ће се светло и тамно поље користити за карактеризацију расподеле β - Al_3Mg_2 фазе.

За одређивање фазног састава и морфолошких карактеристика микроконституената и крупнијих дисперзоида, биће коришћен SEM – комбинација модалитета одбијених електрона (BSE) и енерго-дисперзиона спектроскопија (EDS). За идентификацију фазног састава и морфологије дисперзоида биће примењена карактеризација на TEM-у.

Развој текстуре и микротекстуре након топлог и хладног ваљања, као и након различитих режима жарења, биће испитан методом дифракције одбијених електрона (EBSD - Electron Back Scattered Diffraction) на SEM-у.

Процеси растварања и таложења у микроструктури узорака, у различитим фазама термомеханичке обраде, биће праћени мерењем електричне проводљивости.

- *Испитивања механичких својстава*

Испитивање механичких својстава укључиће мерење тврдоће, микро тврдоће и одређивање затезних карактеристика материјала. Мерење тврдоће (у комбинацији са мерењем електричне проводљивости), у свим фазама ТМП, обезбедиће систематично праћење промена у материјалу. За мерење тврдоће примениће се метода по Роквелу, а за микро тврдоћу метода по Викерсу.

Изабрана хладно ваљана и жарена стања ће бити испитивана једноосним затезањем на собној температури, са циљем одређивања механичких својстава (чврстоћа и дуктилност) и карактеризације деформационог понашања (појава изражене границе попуштања, дисконтинуирано попуштање, брзина деформационог ојачавања, индекс деформационог ојачавања, фитовање кривих ојачавања). Од интереса је да се утврди у којој мери услови хомогенизације, као почетне фазе процесирања, утичу на финална механичка својства материјала који је био изложен вишеструкој ТМП (топло и хладно ваљање, и жарење).

- *Испитивања корозионе отпорности*

Испитивање склоности према интергрануларној корозији (IGC) биће спроведено према ASTM стандарду G67. Овај стандард је развијен специфично за тестирање Al-Mg легура (серија 5xxx) и заснива се на мерењу губитка масе након излагања узорка у концентрованој азотној киселини (NAML тест). Електрохемијска испитивања укључиће одређивање корозионог потенцијала и брзине корозије. Од интереса за испитивање корозионих својстава су узорци у топло и хладно ваљаном стању, као и након жарења. Узорци који су намењени за корозиона испитивања, ће бити у несензитизованом (референтном) и сензитизованом стању.

5. Очекивани научни допринос

Очекује се да ће резултати истраживања у оквиру ове докторске дисертације дати научни допринос који се огледа у следећем:

- Детаљна карактеризација и анализа утицаја услова хомогенизације на фазне трансформације микроконституената и њихову кинетику
- Утврђивање утицаја услова хомогенизације на степен рекристализације и карактеристике микроструктуре зрна (величина, облик и текстура), након топлог и хладног ваљања
- Нове увиде у корозиона својства топло ваљаних Al-Mg-X легура (утицај хомогенизације и развијене микроструктуре, као и ефекат допунског жарења)
- Проширење знања о утицају морфологије и оријентације (текстуре) зрна на издвајање β – Al_3Mg_2 фазе у току сензитизације, и на отпорност према интергрануларној корозији
- Утврђивање утицаја параметара, и оптимизација режима термомеханичке прераде, на механичке и корозионе карактеристике испитиваних Al-Mg-X легура ($\text{Mg} \geq 4\%$).

На овај начин ће бити омогућено постизање одговарајуће микроструктуре и својстава Al-Mg-X легура за примену у индустрији транспортних средстава. Као исход научно-истраживачких резултата може се очекивати примена у реалним производним условима у сарадњи са привредом.

6. План истраживања и структура рада

Истраживања у овој докторској дисертацији су планирана по следећим фазама:

- Преглед литературе
- Индустијски ливена легура: карактеризација микроструктуре на OM и SEM/EDS, мерење електричне проводљивости, тврдоће и микротврдоће
- Хомогенизација: изотермално и изохронално жарење (430-550°C, време 0-96 h); карактеризација и квантитативна анализа микроструктуре на OM, SEM/EDS, TEM; мерење електричне проводљивости, тврдоће и микро тврдоће и корелација са микроструктуром
- Топло ваљање: избор хомогенизованих стања за топло ваљање; избор оптималних услова топлог ваљања; допунско жарење селектованих блокова; сензитизација за корозиона испитивања; карактеризација степена рекристализације и морфологије зрна (облик, величина) OM и SEM/EBSD; карактеризација текстуре SEM/EBSD; мерење електричне проводљивости, тврдоће и микротврдоће; одређивање корозионих особина (NAML тест према стандарду ASTM G-67 и електрохемијска испитивања) и корелација са микроструктуром
- Хладно ваљање и завршно жарење: селекција степена деформације и услова жарења; сензитизација за корозиона испитивања; карактеризација степена рекристализације и морфологије зрна (облик, величина) OM и SEM/EBSD; карактеризација текстуре SEM/EBSD; мерење електричне проводљивости, тврдоће и микротврдоће; одређивање корозионих особина (NAML тест према стандарду ASTM G-67 и електрохемијска испитивања) и корелација са микроструктуром; испитивање механичких својстава једноосним затезањем на собној температури
- Корелација добијених резултата и дефинисање оптималних параметара термомеханичке прераде за постизање одговарајућих корозионих и механичких карактеристика легура
- Представљање резултата у међународним часописима и на међународним конференцијама.

Предложена докторска дисертација ће садржати следећа поглавља: *Увод, Теоријски део, Експериментални део, Резултати и дискусија, Закључак и Литература.*

У поглављу *Увод* биће дат кратак осврт на подручје испитивања и дефинисани предмет и главни циљеви истраживања.

У *Теоријском делу* ће бити дат преглед литературе и досадашњих истраживања, која се односе на Al-Mg легуре различитог хемијског састава. Посебна пажња ће бити посвећена истраживањима о утицају услова термомеханичке прераде на развој микроструктуре, механичких и корозионих карактеристика Al-Mg легура са повишеним садржајем Mg.

У *Експерименталном делу* ће бити детаљно описан процес термомеханичке обраде, кораци предузети у циљу оптимизације процеса и дефинисања параметара процесирања, као и примењене методе за карактеризацију испитиваних легура.

Поглавље *Резултати и дискусија* ће дати приказ добијених експерименталних резултата, анализу и корелацију параметара процесирања, микроструктуре и својстава. Дискутоваће се критеријуми и избор оптималних параметара ТМП.

Поглавље *Закључак* ће сумирати кључне резултате и представити закључке ове докторске дисертације, уз осврт на њихов научни допринос и потенцијалну примену у индустрији.

У поглављу *Литература* биће наведене цитиране референце, као и публикације проистекле из ове докторске дисертације.

7. Закључак и предлог

На основу изнетих података о досадашњем раду и постигнутим резултатима, Комисија сматра да кандидат Александар Ћитић, мастер инжењер металургије, испуњава све услове за рад на предложеној теми докторске дисертације. Такође, Комисија сматра да је тема предложене докторске дисертације под насловом "Утицај параметара термомеханичке прераде на развој микроструктуре, процесе рекристализације и текстуре, у циљу побољшања механичких својстава и корозионе отпорности алуминијум-магнезијум легура", научно заснована, и предлаже Наставно-научном већу Технолошко-металуршког факултета да је прихвати. Истраживања у оквиру ове докторске дисертације припадају

научној области Металуршко инжењерство, за коју је матичан Технолошко-металуршки факултет Универзитета у Београду. За менторе докторске дисертације предлажу се др Миљана Поповић, редовни професор Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду и др Тамара Радетић, научни саветник Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду.

У Београду,
25. јул 2025. године

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

.....
Др Миљана Поповић, редовни професор
Универзитет у Београду, Технолошко-металуршки факултет

.....
Др Тамара Радетић, научни саветник
Универзитет у Београду, Технолошко-металуршки факултет

.....
Др Ендре Ромхањи, професор емеритус
Универзитет у Београду, Технолошко-металуршки факултет

.....
Др Дејан Прелевић, редовни професор
Универзитет у Београду, Рударско-геолошки факултет