

ИЗВЕШТАЈ О ОЦЕНИ ДОКТОРСKE ДИСЕРТАЦИЈЕ

I. ПОДАЦИ О КОМИСИЈИ		
1. Датум и орган који је именовао комисију:		
30.04.2026. решењем број 012-40/1891-2024 декан Факултета техничких наука на основу одлуке Наставно – научног већа Факултета техничких наука Универзитета у Новом Саду, именовао је комисију за оцену и одбрану докторске дисертације.		
2. Састав комисије у складу са <i>Правилима докторских студија Универзитета у Новом Саду</i> :		
1.	Рајновић др Драган	редовни професор
	презиме и име	звање
	Факултет техничких наука, Нови Сад	Материјали и технологије спајања, 13.11.2025.
	установа у којој је запослен-а	ужа научна област и датум избора
		Председник
		функција у комисији
2.	Ерић Цекић др Оливера	ванредни професор
	презиме и име	звање
	Факултет за машинство и грађевинарство, Краљево	Машински материјали, 04.02.2022.
	установа у којој је запослен-а	ужа научна област и датум избора
		Члан
		функција у комисији
3.	Шибалић др Никола	ванредни професор
	презиме и име	звање
	Машински факултет, Подгорица	Производно машинство, 14.06.2024.
	установа у којој је запослен-а	ужа научна област и датум избора
		Члан
		функција у комисији
4.	Моврин др Дејан	ванредни професор
	презиме и име	звање
	Факултет техничких наука, Нови Сад	Технологије пластичног деформисања, адитивне и виртуелне технологије, 01.02.2023.
	установа у којој је запослен-а	ужа научна област и датум избора
		Члан
		функција у комисији
5.	Балош др Себастиан	редовни професор
	презиме и име	звање
	Факултет техничких наука, Нови Сад	Материјали и технологије спајања, 19.05.2021.
	установа у којој је запослен-а	ужа научна област и датум избора
		Ментор
		функција у комисији

II. ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ
1. Име, име једног родитеља, презиме: Милан (Драгослав) Пећанац 2. Датум рођења, општина, држава: 26.10.1990., Сомбор, Србија 3. Назив факултета, назив претходно завршеног нивоа студија и стечени стручни/академски назив: Факултет техничких наука, Мастер академске студије – Производно машинство, Мастер инжењер машинства 4. Година уписа на докторске студије и назив студијског програма докторских студија: 2017., Факултет техничких наука у Новом Саду, Докторске академске студије – Машинство
III. НАСЛОВ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:
Заваривање трењем са мешањем двостраним алатом легуре алуминијум-магнезијум-силицијум
IV. ПРЕГЛЕД ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:
Навести кратак садржај са назнаком броја страница, поглавља, слика, схема, графикана и сл. Докторска дисертација Милана Пећанца под насловом Заваривање трењем са мешањем двостраним алатом легуре алуминијум-магнезијум-силицијум је изложена у 7 поглавља на 131 страни, 16 страна прилога, и 6 страна плана третмана података. Укупно има 153 нумерисане стране. Теза је написана српским језиком, латиничним писмом. Попис коришћене литературе има 173 литературних референци, од чега је 18 линкова ка интернет страницама. Докторска дисертација садржи 149 слика од којих је 39 графикана. Дисертација такође садржи 14 табела. Након литературе су дати прилози у којима се налазе подаци на основу којих су направљени и приказани дијаграми и графикони у дисертацији. Приказ истраживања која су извршена у оквиру дисертације и резултата су изложена у следећим поглављима: 1. Увод 2. Теоретске основе 3. Експериментални део 4. Резултати 5. Дискусија 6. Закључци 7. Литература 8. Прилози

V. ВРЕДНОВАЊЕ ПОЈЕДИНИХ ДЕЛОВА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:

1. Увод

У овом поглављу приказан је историјски развој процеса заваривања, са посебним освртом на поступак заваривања трењем са мешањем (ЗТМ), његов принцип рада, развој и индустријску примену. Анализиране су основне предности и ограничења поступка, као и могућности примене при заваривању различитих металних материјала и легура. Посебно су размотрене предности поступка у односу на конвенционалне технологије заваривања, укључујући висок квалитет спојева, енергетску ефикасност и повољне еколошке карактеристике. Дате су теоријске основе поступка заваривања трењем са мешањем помоћу двостраног, такозваног „бобин“ алата, анализа основног материјала и заварљивости, као и опис садржаја осталих поглавља у тези. Посебно су приказани циљеви истраживања, који се односе на одређивање оптималних параметара заваривања и анализу њиховог утицаја на квалитет заварених спојева и радни век алата.

Комисија сматра да су у уводном делу адекватно дефинисани проблематика и значај примене поступка заваривања трењем са мешањем, са посебним освртом на примену „бобин“ алата и утицај параметара процеса на квалитет заварених спојева. Потреба за спровођењем истраживања је јасно образложена, а указано је и на основне факторе који имају значајан утицај на механичке особине, квалитет и појаву дефеката код заварених спојева добијених поступком ЗТМ. Полазне поставке су правилно одређене, док су циљеви истраживања јасно дефинисани, реални и у потпуности омогућавају успешну реализацију докторске дисертације.

2. Теоретске основе

У оквиру теоријских основа приказани су основни принципи и дефиниција процеса заваривања, као и детаљна подела поступака заваривања на заваривање притиском и заваривање топлеењем, са припадајућим подврстама поступака. Посебна пажња посвећена је поступку заваривања трењем са мешањем (ЗТМ), при чему су приказани принцип рада конвенционалног ЗТМ поступка и подела различитих варијанти овог процеса, уз опис њихових основних карактеристика. У наставку су анализирани механизми генерисања топлоте током процеса заваривања, као и утицај најзначајнијих параметара процеса, као што су брзина обртања алата, помак алата, дубина продирања и нагиб алата, на квалитет и стабилност процеса заваривања. Такође су размотрене најчешће грешке код ЗТМ спојева, као и предности и ограничења конвенционалног поступка. Посебан део поглавља посвећен је поступку заваривања трењем са мешањем применом „бобин“ алата. Приказане су основне разлике између конвенционалног и бобин ЗТМ поступка, варијанте бобин процеса, геометрија алата и карактеристичне грешке које се могу јавити током заваривања. Обрађене су карактеристичне микроструктуре заварених спојева, као и специјализована опрема која се користи у овом поступку. На основу доступне литературе приказани су модели тока материјала током процеса заваривања, док су у завршном делу анализиране примене, предности и недостаци бобин поступка у односу на конвенционални поступак заваривања трењем са мешањем. На крају је графички дата годишња потрошња легура алуминијума са предвиђањима за будућност, кристална структура, карактеристике материјала, као и систем ознака легура алуминијума у зависности од легирајућих елемената и термичког стања легуре.

Комисија сматра да су теоријске основе докторске дисертације написане јасно, систематично и прегледно, те да обухватају све неопходне аспекте релевантне за спроведена истраживања. Посебно се издвајају делови који се односе на поступак заваривања трењем са мешањем, са акцентом на примену двостраног (бобин) алата, као и целовит приказ досадашњих сазнања о утицају параметара процеса на формирање, квалитет и механичке особине заварених спојева. Утицајни фактори процеса заваривања су јасно идентификовани и анализирани, што представља добру основу за даљу дискусију и интерпретацију резултата. Посебно се истиче квалитетан приступ анализи литературних извора, као и критичко сагледавање и поређење резултата различитих аутора из области ЗТМ поступака и примене двостраних алата.

3. Експериментални део

Експериментални део дисертације подељен је у две целине: предексперимент и главни експеримент. У предексперименту је приказана методологија и резултати испитивања, на основу којих је дефинисана најпогоднија геометрија и термички третман бобин алата за примену у главним експерименталним истраживањима. У главном експерименту су наведени коришћени материјали, алати и параметри заваривања за основна истраживања. У наставку поглавља су приказане и описане све примењене методе карактеризације заварених спојева, укључујући поступке испитивања микроструктуре, механичких особина, корозионе постојаности у „сланој средини“, као и осталих релевантних карактеристика заварених спојева добијених поступком заваривања трењем са мешањем.

Комисија сматра да су избор метода испитивања, експерименталних техника, узорака и примењених процедура адекватно одабрани и јасно приказани, те да омогућавају поновљивост спроведених експеримената и поуздану реализацију постављених циљева докторске дисертације.

4. Резултати

Резултати истраживања обухватају детаљну карактеризацију заварених спојева и приказани су јасно, систематично и прегледно кроз више потпоглавља. У почетном делу приказани су резултати предексперименталних испитивања, који су представљали основу за дефинисање и реализацију главног експеримента. У наставку су резултати груписани према примењеним методама карактеризације заварених спојева, укључујући металографску анализу, испитивање затезањем, испитивање савијањем преко лица и корена, одређивање енергије удара, мапирање микротврдоће, испитивање корозионе постојаности, као и СЕМ анализу микроструктуре и преломних површина.

Комисија сматра да су сви резултати истраживања приказани систематично, јасно и прегледно за све испитиване параметре процеса заваривања и примењене геометрије алата. Резултати су представљени табеларно, путем дијаграма, као и у виду макро и микроструктуре заварених спојева и карактеристичних површина лома. Приказани резултати су свеобухватни и квалитетно анализирани, те представљају добру основу за остваривање постављених циљева дисертације, као и за квалитетну дискусију о утицају параметара процеса и геометрије бобин алата на квалитет, механичке особине и појаву дефеката код заварених спојева добијених поступком ЗТМ.

5. Дискусија

У петом поглављу приказана је детаљна анализа и аргументована дискусија добијених резултата истраживања, систематизована према примењеним методама карактеризације заварених спојева. Ради прегледности, дискусија је подељена у више целина које обухватају анализу микроструктуре, затезних и савојних карактеристика, енергије удара, мапирања микротврдоће и испитивања корозионе постојаности заварених спојева. Посебна пажња посвећена је анализи утицаја параметара заваривања и геометрије алата на формирање микроструктуре и механичке особине заварених спојева. Успостављена је корелација између микроструктурних карактеристика, пре свега величине зрна, и механичких особина спојева добијених конвенционалним ЗТМ поступком и ЗТМ поступком применом бобин алата. У оквиру анализе затезних карактеристика и енергије удара извршено је поређење ефикасности заварених спојева добијених различитим варијантама ЗТМ поступка. Добијени резултати су упоређени са литературним подацима и резултатима других истраживача, што је омогућило свеобухватну интерпретацију резултата и доношење релевантних закључака.

Комисија сматра да је дискусија резултата спроведена на високом научном нивоу, посебно у делу који се односи на поређење добијених резултата са резултатима других истраживача из области ЗТМ. Анализирани су утицаји параметара заваривања, геометрије алата на микроструктуру, механичке особине и квалитет заварених спојева, као и њихове међусобне зависности. Комисија сматра да је дискусија аргументована, свеобухватна и поткрепљена релевантним литературним изворима, што додатно потврђује научни квалитет спроведеног истраживања.

6. Закључци

У овом поглављу приказана су закључна разматрања и сумирани најзначајнији резултати добијени у оквиру докторске дисертације. Закључци су јасно, систематично и прегледно изложени кроз 13 тачака, у складу са логичким целинама које се односе на особине заварених спојева.

Комисија сматра да изведени закључци прецизно и свеобухватно сумирају постигнуте резултате и повезаности уочене током дискусије, те да у целисти пружају одговоре на постављене хипотезе и циљеве докторске дисертације.

7. Литература

Списак коришћене литературе приказан је у завршном поглављу дисертације и обухвата 173 библиографских јединица, укључујући књиге, научне радове, истраживања, дисертације и друге релевантне изворе који су коришћени током израде докторске дисертације.

Комисија констатује да је коришћена литература адекватног обима и у потпуности одговара проблематици која је предмет разматрања у дисертацији. Значајан удео најновијих литературних извора додатно потврђује актуелност истраживања, као и висок квалитет спроведене дискусије и изведених закључака.

VI. СПИСАК НАУЧНИХ И СТРУЧНИХ РАДОВА КОЈИ СУ ОБЈАВЉЕНИ ИЛИ ПРИХВАЋЕНИ ЗА ОБЈАВЉИВАЊЕ НА ОСНОВУ РЕЗУЛТАТА ИСТРАЖИВАЊА У ОКВИРУ РАДА НА ДОКТОРСКОЈ ДИСЕРТАЦИЈИ:

Таксативно навести називе радова, где и када су објављени. Прво навести најмање један рад објављен или прихваћен за објављивање у складу са *Правилима докторских студија Универзитета у Новом Саду* који је повезан са садржајем докторске дисертације. У случају радова прихваћених за објављивање, таксативно навести називе радова, где и када ће бити објављени и приложити потврду уредника часописа о томе.

M21 - Рад у водећем међународном часопису

Balos, S.; **Ресанас, М.**; Rajnovic, D.; Barenji, I.; Chochlikova, H.; Zlatanovic, D.L.; Bergmann, J.P.; Knezev, M.; Radisic, S.; Majerik, J. Influence of Laser Shock Peening on the Bobbin Tool Friction Stir Welded AW6060 Alloy. *Materials* **2025**, *18*, 247. <https://doi.org/10.3390/ma18020247>

M21 - Рад у водећем међународном часопису

Balos, S.; Labus Zlatanovic, D.; Kulundzic, N.; Janjatovic, P.; Dramicanin, M.; Lanc, Z.; Hadzistevec, M.; Radisic, S.; Rajnovic, D.; **Ресанас, М.** Influence of Tool–Base Metal Interference on the Performance of an Aluminium–Magnesium Alloy Joined via Bobbin Tool Friction Stir Welding. *Metals* **2023**, *13*, 1215. <https://doi.org/10.3390/met13071215>

M21 - Рад у водећем међународном часопису

Ресанас, М.; Zlatanovic, D.L.; Kulundzic, N.; Dramicanin, M.; Lanc, Z.; Hadzistevec, M.; Radisic, S.; Balos, S. Influence of Tool and Welding Parameters on the Risk of Wormhole Defect in Aluminum Magnesium Alloy Welded by Bobbin Tool FSW. *Metals* **2022**, *12*, 969. <https://doi.org/10.3390/met12060969>

M33 - Саопштење са међународног скупа штампано у целини

Pecanac M.; Labus Zlatanovic D.; Kulundzic N.; Dramicanin M.; Janjatovic P.; Trivkovic M.; Rajnovic D.; Balos S.; Sidjann L.: Influence of shoulder pinching gap on mechanical properties of the bobbin tool FSW welded joints, *Savetovanje proizvodnog maštinstva Srbije - SPMS 39 (2023)*, 88-93, ISBN: 978-86-6022-610-7

M33 - Саопштење са међународног скупа штампано у целини

Pecanac M.; Labus Zlatanovic D.; Kulundzic N.; Dramicanin M.; Balos S.: Mechanical properties of welds obtained by Bobbin tool friction stir welding process, *International Scientific-Professional Conference "Engineering Technologies in Manufacturing of Welded Constructions and Products" - SBW 12 (2023)*, 397-407

VII. ЗАКЉУЧЦИ ОДНОСНО РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА:

На основу спроведених експерименталних истраживања поступка заваривања трењем са мешањем применом бобин алата, као и анализе добијених резултата, у докторској дисертацији изведени су закључци који потврђују постављену хипотезу и у складу су са дефинисаним циљевима истраживања.

1. Утврђено је да алати за конвенционално заваривање трењем са мешањем (ЗТМ) имају дужи радни век у односу на бобин алате за ЗТМ. Главни разлог је сложеније и мање повољно напонско стање које делује на трн бобин алата током процеса заваривања, које резултује манифестацијом заморног лома.
2. Макроструктура спојева зависи од геометрије алата. Конвенционално заварени ЗТМ спојеви имају облик латиничног слова „V“, док узорци заварени помоћу бобин алата имају карактеристичан облик пешчаног сата.
3. Установљено је да узорак „BA 1.2“ једини који у себи није имао дефекте у својој запремини и да он једини задовољава „B“ ниво прихватљивости према стандарду SRPS 25239-5.
4. Узорци из серије „KA“, добијени конвенционалним алатом, задовољавају само ниво прихватљивости „D“ према стандарду SRPS 25239-5, који се односи на посебно прописане границе везане за дизајн споја.
5. Утврђено је да постоји разлика у величини зрна. Другим речима, узорци заварени помоћу бобин алата дају нешто финију микроструктуру споја у односу на узорке заварене помоћу конвенционалног ЗТМ поступка.
6. Констатовано је да услед финије микроструктуре споја узорци заварени помоћу бобин алата оства постижу до 76% ефикасности споја, са друге стране спојеви заварени помоћу конвенционалног алата за ЗТМ постижу ефикасност споја од 73%.
7. Установљено је да спојеви заварени помоћу бобин алата имају бољу ефикасност по процентуалном издужењу споја. Постигнута је ефикасност од 66% код узорка „BA 1.2“ док је ефикасност узорка „KA 1.2“ постигао 39%. Ова појава се може приписати финијој структури споја која се добија динамичком рекристализацијом, употребом бобин алата.
8. Констатовано је да ефикасност споја по процентуалном сужењу указује на разлику у стабилности процеса, при чему „KA“ узорци показују већу уједначеност резултата, а „BA“ узорци израженија одступања. Издваја се узорак „BA 1.2“ са ефикасношћу од 216%. Овако изражен пораст дуктилности у односу на основни материјал директна је последица интензивног термомеханичког утицаја алата, динамичке рекристализације и одсуства дефеката.
9. Закључено је да узорци заварени помоћу бобин алата имају и боље савојне карактеристике како преко лица, тако и преко корена споја. Са друге стране, приликом савијања узорака заварених помоћу конвенционалног алата долазило је до појаве прслине при релативно малим угловима (дијапазон $9,5^{\circ}$ - 20°).
10. Установљено је да приликом одређивања енергије удара на инструментираном Шарпијевом клатну постигнут изузетан резултат у домену жилавости завареног споја. Ефикасност споја по енергији настанка прслине износи 335%, по ефикасности енергије ширења прслине 280%, док је ефикасност по укупној енергији удара 295% (узорак „BA 1.2“).
11. Закључено је да су резултати мапирања микротврдоће узорака заварених помоћу бобин алата дали увид да је постигнуто хомогеније поље тврдоће у попречном пресеку у поређењу са конвенционалним ЗТМ алатом, чиме је смањен ризик од екстремне локализације

деформације. Ово је последица равномернијег уноса топлоте са обе стране код бобин алата, уместо са само једне стране код конвенционалног алата 12. Констатовано је да резултати електрохемијског испитивања и СЕМ анализе након корозије указују на трансформацију механизма напада корозије. Основни материјал трпи општу корозију, узорак „ВА 1.2“ показује прелаз на питинг који је значајно локализован. Фина дисперзија фаза и динамички рекристализована зрна смањују галванске разлике, чиме се значајно унапређује корозиона постојаност споја у агресивним срединама 13. Закључено је да спојеви заварени конвенционалним алатом такође показују побољшану корозиону постојаност у односу на основни материјал. Међутим, непотпун провар споја и нешто грубља структура грумена ($G=9,5$) у поређењу са спојевима заварим помоћу бобин алата ($G=10$) резултује симултаном манифестацијом питинг корозије и корозије у зазору.
VIII. ОЦЕНА НАЧИНА ПРИКАЗА И ТУМАЧЕЊА РЕЗУЛТАТА ИСТРАЖИВАЊА: Експлицитно навести позитивну или негативну оцену начина приказа и тумачења резултата истраживања.
На основу прегледа и детаљне анализе докторске дисертације, Комисија констатује да је целокупан садржај дисертације (Увод, Теоријске основе, Експериментални део, Резултати, Дискусија, Закључци, Литература и Прилози) јасно и логички структуриран, прегледан, систематичан и у потпуности усклађен са пријављеном темом истраживања. Тумачење добијених резултата изведено је на високом научном нивоу, аргументовано је и свеобухватно, док изведени закључци непосредно произилазе из остварених резултата истраживања.
IX. КОНАЧНА ОЦЕНА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ: Експлицитно навести да ли дисертација јесте или није написана у складу са наведеним образложењем, као и да ли она садржи или не садржи све битне елементе. Дати јасне, прецизне и концизне одговоре на 3. и 4. питање. Навести нумеричке податке о резултатима провере оригиналности рада и дати текстуално образложење
1. Да ли је дисертација написана у складу са образложењем наведеним у пријави теме? ДА – Докторска дисертација је израђена у складу са образложењем, предметом и циљевима наведеним у пријави теме дисертације.
2. Да ли дисертација садржи све битне елементе? ДА – Докторска дисертација садржи све битне и неопходне елементе за позитивну оцену, укључујући јасно дефинисан предмет и опис проблема истраживања, постављене циљеве истраживања, преглед досадашњих истраживања и актуелног стања у области заваривања трењем са мешањем, детаљно описану експерименталну процедуру са примењеним савременим методама испитивања, прегледан приказ добијених резултата, свеобухватну дискусију и јасно формулисане закључке.
3. По чему је дисертација оригиналан допринос науци? Поређење конвенционалног ЗТМ поступка и ЗТМ применом двостраног бобин алата омогућава дубље разумевање карактеристика процеса спајања материјала. Овим се доприноси развоју научних сазнања, те оптимизацији процеса кроз смањење трошкова опреме, примене основних материјала и израде алата. Научни допринос дисертације огледа се у упоредној анализи и карактеризацији та два поступка, уз јасно уочавање њихових предности и недостатака. Посебно се издвајају резултати испитивања корозионе постојаности у сланој средини, где су спојеви заварени помоћу бобин алата показали бољу отпорност на корозионо оштећење. Наведено се доводи у везу са чињеницом да се код бобин поступка материјал меша са стране лица и корена завареног споја, док код конвенционалног ЗТМ поступка након заваривања остаје зазор дубине од око 0,2 mm, који представља погодно место за иницирање корозије. У таквим условима најпре долази до појаве корозије у зазору, која временом прелази у питинг корозију.

4. Који су недостаци дисертације и какав је њихов утицај на резултат истраживања? Докторска дисертација НЕ САДРЖИ недостатке који би могли утицати на валидност и поузданост резултата истраживања.
5. Образложење резултата провере оригиналности рада (нумерички и наративно): Текст докторске дисертације проверен је у софтверу за детекцију плагијаризма iThenticate у Библиотеци Факултета техничких наука у Новом Саду, при чему је утврђена подударност са доступном литературом у износу од 4%. Након анализе идентификованих подударности, Комисија је закључила да оне нису суштински значајне, те да докторска дисертација представља оригинално ауторско дело кандидата. Комисија ПОЗИТИВНО оцењује оригиналност докторске дисертације и констатује да утврђене подударности са доступном литературом нису значајне и не утичу на научни допринос и аутентичност рада кандидата.
X. ПРЕДЛОГ: На основу наведеног, комисија предлаже:
а) да се докторска дисертација прихвати, а кандидату одобри одбрана; б) да се докторска дисертација врати кандидату на дораду (да се допуни односно измени); в) да се докторска дисертација одбије.

Место и датум:

Нови Сад, 27.05.2026

1. др Драган Рајновић, ред. проф., председник

2. др Оливера Ерић Цекић, ванр. проф., члан

3. др Никола Шибалић, ванр. проф., члан

4. др Дејан Моврин, ванр. проф., члан

5. др Себастиан Балош, ред. проф., ментор

НАПОМЕНА: Члан комисије који не жели да потпише извештај јер се не слаже са мишљењем већине чланова комисије, дужан је да унесе у извештај образложење односно разлоге због којих не жели да потпише извештај и да исти потпише.