

УНИВЕРЗИТЕТ У КРАГУЈЕВЦУ
ФАКУЛТЕТ ИНЖЕЊЕРСКИХ НАУКА

**НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ ФАКУЛТЕТА ИНЖЕЊЕРСКИХ НАУКА
У КРАГУЈЕВЦУ**

Предмет: Извештај Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Милоша Лазаревића, мастер инжењера индустријског инжењерства

Одлуком Већа за техничко-технолошке науке Универзитета у Крагујевцу број IV-04-432/15 од 21.06.2023. године, на предлог Наставно-научног већа Факултета инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу (број одлуке: 01-1/1551-7 од 18.05.2023. године), именовани смо за чланове Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације, у ужој научној области Производно машинство, кандидата Милоша Лазаревића, мастер инжењера, под називом:

**ИСТРАЖИВАЊЕ ПРОЦЕСА ЕКСПЛОЗИВНОГ ЗАВАРИВАЊА И
КАРАКТЕРИЗАЦИЈА ДОБИЈЕНОГ СПОЈА ВИСОКОЛЕГИРАНОГ АЛАТНОГ
И НИСКОУГЉЕНИЧНОГ ЧЕЛИКА**

На основу увида у текст докторске дисертације и Извештаја комисије за оцену подобности кандидата и научне заснованости теме докторске дисертације, која је одобрена за израду Одлуком Наставно-научног већа Факултета инжењерских наука у Крагујевцу бр. 01-1/145 од 22.01.2021. године и одлуком Већа затехничко-технолошке науке у Крагујевцу бр. IV-04-16/15 од 20.01.2021. године, а на основу Правилника о пријави, изради и одбрани докторске дисертације Универзитета у Крагујевцу, Комисија подноси Наставно-научном већу следећи:

ИЗВЕШТАЈ

1. Опис докторске дисертације

Експлозивно заваривање, као неконвекционални поступак првенствено се бави спајањем конструкционих материјала, као што су угљенични челик, са скупим материјалима високо отпорних на корозију, као што је нерђајући челик или алуминијум. Добијени материјали имају нижу цену, а поседују високу корозиону отпорност површинског слоја, при чему основна структура има особине конструкционог челика. Израда биметалних резних алата и биметалних индустријских алата за сечење, омогућује уштеде скупих алатних челика, а добијени алати имају побољшана својства (повећану жилавост уз задржавање тврдоће резног дела алата). Ова технологија се може користити и за добијање тврдих оклопних плоча за балистичку заштиту при којем површине попримају особине тврдог челика док је унутрашњи део задржава особине конструкционог челика.

Докторска дисертација је написана у потпуности на српском језику, ћириличним писмом. Дисертација је написана на 186 страна и обухвата следећа поглавља:

1. Увод,
2. Теоријски аспекти експлозивног заваривања,
3. Безбедносни аспект извођења експлозивног заваривања,
4. Експериментална поставка,
5. Методе испитивања и мерна опрема,
6. Резултати и дискусија,
7. Закључна разматрања
8. Литература

У рукопису докторске дисертације налази се 144 слике, као и 42 табеле. Литература садржи 127 библиографских података. Саставни део дисертације је биографија кандидата.

Сажетак, на почетку докторске дисертације, указује на главни циљ истраживања, коришћене методе и најважније доприносе дисертације. Написан је на српском и енглеском језику уз додатак кључних речи којенаглашавају главне појмове дисертације. Пре уводног поглавља дат је попис слика и табела и списак коришћених скраћеница.

У поглављу **Увод** је дефинисан предмет и циљ дисертације, дате су полазне хипотезе, примењене методе у истраживању, потенцијална примена и описана структура дисертације.

У поглављу **Теоријски аспекти експлозивног заваривања**, извршена је анализа великог броја литературних података о експлозивном заваривању. Дат је приказ литературних података везаних за теоријска разматрања и експериментална истраживања. У овом поглављу са теоријског аспекта разматрани су параметри експлозивног заваривања: брзина удара, угао удара и брзина тачке контакта, маса експлозива и масе завариваних плоча, међусобно растојање, површина подлоге, завршна површинска обрада и дефекти и начини решавања проблема. На крају овог поглавља описана су два најчешћа начина постављања плоча за заваривање: паралелни и нагнути положај положај плоча.

Поглавље **Безбедносни аспект извођења експлозивног заваривања** указује на ризике који постоје при експлозивном заваривању као технолошком поступку спајања материјала. Процедуре за пиротехничку безбедност и процену ризика и опасности при извођењу експлозивног заваривања код нас а и у Свету нису успостављене. Основни поступци који се примењују су засновани на познавању и примени Правилника о заштити на раду при изради експлозива и барута и манипулисању експлозивима и барутима, 2005, Службени лист Социјалистичке федеративне републике Југославије, Београд. Успостављање процедура и мера безбедности, односно целокупног система пиротехничке безбедности, одређивање штићених система, идентификација хазарда, опасности, управљање ризиком и његова процена, су основни услов за било какав рад са експлозивним средствима при експлозивном заваривању. Због тога је у овом поглављу посебна пажња дата неопходним активностима специфичним за експлозивно заваривање и обезбеђење пиротехничке безбедности. Објашњени су појмови: критично растојање у поступку експлозивног заваривања, термални ефекти и ефекти експлозије на објекте.

У поглављу **Експериментална поставка** описани су прорачуни које је неопходно извршити у току припреме за извођење експеримената. Припреме за експериментална истраживања су обухватале поред прорачун параметара заваривања, обезбеђење полазних материјала: експлозива, електродетонаторских каписли, плоча, кутијастих елемената и др. Описана је припрема узорака плоча за заваривање и кутијастих елемената са местом за електродетонаторску капислу, алати и прибори за теренске

услове и полигони коришћени за извођење експеримената. Реализација експеримената је вршена уз помоћ стручних лица - пиротехничара.

У петом поглављу **Методe испитивања и мерна опрема**, приказане су методе испитивања и коришћена мерна опрема. Описан је начин припреме узорака за ултразвучну дефектоскопију, рендгенографска испитивања, металуршка испитивања, испитивања споја пенетрантима, кавитациона испитивања, испитивања механичких својстава и др. За сва испитивања је коришћена савремена мерна опрема. Многа испитивања су реализована у акредитованим лабораторијама и институцијама. Резултати испитивања су систематизовани и приказани у одговарајућим табелама и дијаграмима.

У поглављу **Резултати и дискусија** приказани су резултати истраживања и њихова анализа. Анализа резултата експерименталних испитивања је омогућила дефинисање модела за процену квалитета споја добијеног експлозивним заваривањем. Успостављене зависности између услова испитивања и добијених резултата експеримената омогућиле су дефинисање избора адекватних параметра за добијање завареног споја и оцену квалитета тог споја. Резултати експерименталних испитивања су створили услов за формирање нумеричког модела за симулацију експлозивног заваривања, као једног од будућих праваца истраживања.

У поглављу **Закључна разматрања** су дати многи закључци произашли из основу теоријских истраживања и анализе резултата експеримената. У овом поглављу дат је преглед могућих будућих истраживања.

Поглавље **Литература** садржи списак библиографских јединица коришћених при изради дисертације и цитираних у њеном тексту.

2. Значај и допринос докторске дисертације са становишта актуелног стања у одређеној научној области

У дисертацији кандидата Милоша Лазаревића је приказано истраживање експлозивног заваривања са аспекта утицаја појединих параметара на заварени спој и избора метода којима се могу одредити својства и квалитет добијеног споја.

На основу прегледа и анализе коришћених литературних извора и теоријских разматрања у дисертацији, може се закључити да експлозивно заваривање представља веома актуелну област истраживања. Посебно треба истаћи могућност избора постојећих материјала и њихових својстава за добијање нових материјала нових својстава.

Реализована истраживања су обухватала велики број метода испитивања експлозивно завареног споја у циљу избора потребних и довољних за оцену квалитета споја. Може се са задовољством констатовати да су у дисертацији описане и детаљно анализиране све активности које је кандидат обавио за успешно и безбедно извођење експлозивног заваривања. Показано је да се коришћени поступци у току припреме и извођења експлозивног заваривања и методе испитивања могу применити код свих будућих истраживања, а такође и код добијања заварених спојева у комерцијалне сврхе.

Конвенционални поступци добијања и прераде материјала су достигли свој врхунац и у наредном периоду се не очекују значајнији помаци у овој области. Интензивна истраживања су у развоју метода модификовања својстава површина материјала. Један од могућих и мало истражених поступака за добијање нових материјала са иновираним својствима је свакако експлозивно заваривање. Резултати истраживања у овој области представљају у великој мери технолошке тајне истраживачких центара, тако да су

остварени резултати кандидата значајни како са научног, тако и практичног значаја. Посебно имајући у виду да у нашој земљи већ дужи низ година нема истраживања у овој области.

На основу свега наведеног, Комисија констатује да су у овој дисертацији представљени резултати добијени у актуелној области истраживања нових материјала, нових својстава материјала и нових технологија добијање и обраде материјала, а који могу бити корисни многим другим научним областима и могу се применити у пракси.

3. Оцена да је урађена докторска дисертација резултат оригиналног научног рада

Извршена је провера оригиналности докторске дисертације **Истраживање процеса и карактеризација експлозивно заварених материјала на бази високолегираног алатног и нискоугљеничног челика** кандидата **Милоша Лазаревића** на основу Правилника о поступку провере на плагијаризам докторских дисертација које се бране на Универзитету у Крагујевцу. Генерисани извештај показује подударња од 3%, од чега је највећи део подударња последица провере на плагијаризам литературних навода, последица коришћења општих појмова који су у широкој употреби за одговарајуће методе истраживања и последица поклапања са научном публикацијом, на којој је кандидат Милош Лазаревић први аутор и која представља један од резултата ове докторске дисертације. Након ових разматрања, Комисија је закључила да докторска дисертација представља оригинални научни рад кандидата **Милоша Лазаревића**.

4. Преглед остварених резултата научно-истраживачког рада кандидата

Кандидат **Милош Лазаревић** је у досадашњем научно-истраживачком раду постигао значајне резултате из уже научне области Производно машинство. Кандидат има више научних радова који су публиковани у часописима међународног и националног значаја као и саопштења публикованих на међународним и домаћим конференцијама. Резултати научно-истраживачког рада публиковани су у виду:

- 1 рад M23 категорије,
- 2 рада M24,
- 4 рада M33,
- 1 рад M34,
- 2 рада M51
- 1 рад M52 и
- 1 рад M63.

4.1. Научни радови публиковани у часописима међународног значаја (M23)

1. **Miloš S, Lazarević, Bogdan P. Nedić, Danica M. Bajić, Stefan Đurić, Luka Marušić, QUALITY PARAMETERS OF EXPLOSIVELY WELDED SPRING STEEL AND CARBON STEEL**, Tehnički vjesnik, 2023, Vol. 30, Issue 2, pp. 530-537, ISSN 1330-3651(Print), ISSN 1848-6339 (Online), DOI: <https://doi.org/10.17559/TV-20220810110706>.

4.2. Научни радови публиковани у часописима међународног значаја верификованог посебном одлуком (M24)

1. Bogdan Nedić, **Miloš S. Lazarević**, Dragan Džunić, Jovica Bogdanov, Stefan Đurić, NANO IDENTIFICATION AND TRIBO TESTING OF EXPLOSIVE WELDING CUPPER/BRASS, Tribology in Industry, 2021, Vol. 43, Issue 1, pp. 150-158, ISSN 0354-8996, DOI: 10.24874/ti.1068.12.20.02
2. Miloš Lazarević, Bogdan Živković, Danica Bajić, Ana Alil, Ljubiša Tomić, Bogdan Nedić, PROPERTIES OF ALUMINIUM-STEEL PLATES EXPLOSIVELY WELDED USING AMONEX, INTEGRITET I VEK KONSTRUKCIJA, Vol. 23, br. 2, 2023, str. 141-146, <http://divk.inovacionicentar.rs/ivk/ivk23/OnlineFirst.html>

4.3. Саопштења са међународног скупа штампана у целини (M33)

1. **Miloš Lazarević**, Bogdan Nedić, Stefan Đurić, PROPERTIES OF EXPLOSION WELDED JOINTS OF TOOL STEEL AND LOW CARBON STEEL, 9th International Scientific Conference On Defensive Technologies - OTEH 2020, Belgrade, Serbia, 2020, 15th-16th October, pp. 521-527, ISBN 978-86-81123-83-6
2. **Miloš Lazarević**, Bogdan Nedić, INFLUENCE OF THE QUANTITY OF EXPLOSIVES IN THE PROCESS OF EXPLOSIVE WELDING OF STEEL 50CRV4 (Č4830) AND S355J2G3 (Č0563), 9th International Scientific Conference On Defensive Technologies - OTEH 2020, Belgrade, Serbia, 2020, 15th-16th October, pp. 507-512, ISBN 978-86-81123-83-6
3. Vladica Živković, **Miloš Lazarević**, Bogdan Nedić, APPLICATION OF PROCESSING BY EXPLOSION IN THE AUTOMOTIVE INDUSTRY, International Congress Motor Vehicles & Motors 2020, Kragujevac, 8-9. october, 2020. ISSN 978-86-6335-074-8
4. **Miloš Lazarević**, Danica Bajić, Mladen Timotijević, Ana Alil, Nada Ilić, Bogdan Nedić, Quality of explosively welded steel plates using Demex explosive, The 36th International Processing Industry Congress PROCESING 23, Šabac, 1-2.jun, 2023. pp.245-251, ISBN 978-86-85535-15-4

4.4. Научна саопштења на међународним конференцијама штампана у изводу (M34)

1. **Miloš Lazarević**, Bogdan Živković, Danica Bajić, Ana Alil, Bogdan Nedić - Properties of aluminum-steel plates explosively welded using Amonex explosive, 2nd International Symposium on Risk Analysis and Safety of Complex Structures and Components (IRAS 2023), April 2-4, 2023, Belgrade, Serbia, Book of abstracts ISBN 978-86-900686-1-6, p.60.

4.5. Радови у водећем часопису националног значаја (M51)

1. **Miloš Lazarević**, Bogdan Nedić, Stefan Djurić, PYROTECHNICAL SAFETY IN THE PROCESS OF DESTRUCTION OF MINES AND EXPLOSIVE EQUIPMENT (MER) AND UNEXPLODED ORDNANCE (UXO), International Journal for Quality Research 15(3) 889–908 2020, ISSN 1800-6450, DOI – 10.24874/IJQR15.03-13
2. **Miloš Lazarević**, Combat Stiffness of the Launcher Platform, Vojnotehnički glasnik / Military Technical Courier, 2017, Vol. 65, Issue 4, pp. 904-923, ISSN 0042-8469, <https://doi.org/10.5937/vojtehg65-14716>

4.6. Научна саопштења у истакнутом националним часопису (M52)

1. **Miloš Lazarević**, Bogdan Nedić, Jovica Bogdanov, Stefan Đurić, DETERMINATION OF THE CRITICAL DISTANCE IN THE PROCEDURE OF EXPLOSIVE WELDING, Vojnotehnički glasnik / Military Technical Courier, 2020, Vol. 68, Issue 4, pp. 823-844, ISSN 0042-8469, <https://doi.org/10.5937/vojtechg68-26683>

4.7. Научна саопштења са скупа националног значаја штампано у целини (M63)

1. **Милош Лазаревић**, Богдан Недић, Даница Бајић, Ана Алил, Нада Илић, Александар Ћитић, Могућност примене експлозива Amonex у заваривању разнородних челичних плоча и утицај количине експлозива на квалитет завареног споја, Конференција војних наука „Наука у функцији одбране ВојНа 2023” 16-17. мај 2023. године, Београд. (<http://www.va.mod.gov.rs/multimedia/Panel%20K44.pdf>)

5. Оцена испуњености обима и квалитета у односу на пријављену тему

На основу прегледаног рукописа Комисија је закључила да су сви задаци који су предвиђени приликом пријаве теме за израду докторске дисертације под насловом **"Истраживање процеса и карактеризација експлозивно заварених материјала на бази високолегираног алатног и нискоугљеничног челика"**, по обиму и по квалитету добијених научних резултата у потпуности испуњени, и да приказани резултати представљају оригинални научни допринос у ужој научној области производно машинство. Наслов докторске дисертације, рађена истраживања, као и остварени циљеви су у складу са онима који су наведени у пријави теме.

Систематизација и анализа расположивих података о експлозивном заваривању је изведена поступно, пружајући адекватан приступ актуелним областима истраживања и оптималну количину информација за размевање проблематике и сагледавања свих постојећих релевантних решења у овој области. Коришћене референце пружају квалитетне смернице за дубље проучавање материје и следљивост истраживања у односу на досадашња достигнућа у предметној области. Обимна количина информација о експлозивном заваривању, пиротехничкој безбедности и методама испитивања оствареног споја је дата у количини потребној за потпуно разумевање овог неконвенционалног поступка и његову конкретну примену. Слике су јасне, већина је у боји, одражавају суштину поступка експлозивног заваривања и добијених резултата.

6. Научни резултати из оквира докторске дисертације

Кандидат Милош Лазаревић је у оквиру докторске дисертације извршио систематизацију постојећих теоријских и експерименталних знања у области експлозивног заваривања и метода карактеризације, односно одређивања механичких и других карактеристика експлозивно заварених двослојних материјала. У току израде дисертације, кандидат је дошао до резултата и закључака који имају значајно место како у научно-теоријском, тако и у практичном смислу. Најважнији научни резултати

докторске дисертације су потврдили полазне хипотезе и могу се сврстати у неколико целина:

- успостављен је математички модел за прорачун параметара експлозивном заваривања који је потврђен експерименталним путем. Математички је дефинисано подручје заваривања ограничено многим утицајним факторима, а експериментима је показано да се успешно заваривање може остварити уколико се параметри налазе унутар дефинисане области.
- дефинисан је утицај брзине детонације и количине експлозива на квалитет завареног споја код експлозивног заваривања легираних челика (опружног и алатног) и конструктивног нелегираног челика.
- примењен је велики број деструктивних и недеструктивних метода испитивања оствареног споја и утврђене су методе којима је могуће утврдити квалитет експлозивно завареног споја. Деструктивним методама се може одредити да ли је дошло до формирања споја два материјала, али квалитет споја се може одредити искључиво методама са разарањем.
- термичка обрада се може успешно изводити на експлозивно завареним материјала при чему се остварује потребни квалитет термички обрађеног легираног (алатног) челика.
- извођење експерименталних истраживања експлозивног заваривања се мора реализовати уз примену свих мера пиротехничке безбедности при чему су објашњени сви ризици, хазарди и мере које је потребно предузети.
- створени су услови за интензивирање истраживања у области експлозивног заваривања, како са научног тако и практичног аспекта.

Као посебан допринос дисертације који има велики значај је да је кандидат у току реализације експерименталних истраживања користио савремену лабораторијску и мерну опрему из многих институција и тиме упознао многе стручњаке из ових уставова о експлозивном заваривању, методама испитивања завареног споја и могућностима истраживања и примене знања о овом поступку. На тај начин проширен је број могућих уставова и стручних лица који се могу бавити истраживањима у овој области.

7. Примењивост резултата у теорији и пракси

Резултати постигнути у оквиру докторске дисертације кандидата Милоша Лазаревића представљају оригинални научни допринос. Сматрамо да ова докторска дисертација, са практичног и теоријског аспекта представља значајан допринос у области машинског инжењерства, области познавања материјала, његовог понашања, начина испитивања и примене експлозивног заваривања легираних и нисколегираних челика. Описана методологија испитивања значајно ће допринети даљим истраживањима у овој области и створити основу за окупљање појединаца и установа око заједничких истраживања са циљем: истраживања и интеграције знања у области експлозивног заваривања у производе практичне примене.

8. Начин презентовања резултата научној јавности

Део научних резултата је верификован објављивањем научно-стручних радова у међународним и водећим националним часописима, као и на међународним научним скуповима. До сада су резултати дисертације публиковани у облику једног рада из категорије М23, два рада категорије М24, четири саопштења категорије М33, једно саопштење М34 категорије, два рада категорије М51, један рад категорије М52 и један рад категорије М63 (радови су наведени у оквиру тачке 4 овог извештаја).

Комисија сматра да резултати истраживања објављени у међународним и водећим националним часописима као и на скуповима, и још необјављени резултати добијени у овој докторској дисертацији, пружају обиман и користан извор литературе за будуће истраживаче који се односе на експлозивно заваривање и испитивање механичких и других карактеристика ново добијених вишеслојних материјала.

На основу свега изложеног Комисија доноси следећи:

ЗАКЉУЧАК

Докторска дисертација **"Истраживање процеса и карактеризација експлозивно заварених материјала на бази високолегираног алатног и нискоугљеничног челика"** кандидата Милоша Лазаревића представља оригинални научни рад из области производног машинства. Докторска дисертација урађена је под менторством др Богдана Недића, редовног професора Факултета инжењерских наука, Универзитета у Крагујевцу.

Кандидат је током писања користио устаљену и стандардну стручну терминологију, а структура докторске дисертације и методологија излагања су у складу са универзитетским нормама.

Кандидат је показао да влада методологијом научноистраживачког рада и да поседује способност системског приступа и коришћења литературе. При томе је, користећи своје професионално образовање стекао искуство рада у многим лабораторијама, показао способност да овој сложеној проблематици приступи свеобухватно, у циљу дефинисања закључака и добијања конкретних резултата.

Теоријска и експериментална истраживања у овом раду изведена су с циљем да се успостави јединствена методологија истраживања потребна за разумевање добијених резултата који треба да омогуће дефинисање најутицајнијих параметара експлозивног заваривања на карактеристике оствареног споја два различита материјала. Поред изведених закључака на основу спроведених испитивања, кандидат је дао предлог и смернице за даља истраживања у овој области.


Докторска дисертација је у потпуности резултат самосталног рада, а добијени резултати представљају веома значајан допринос знањима везаним за експлозивно заваривање и његову примену за остваривање споја два различита материјала.

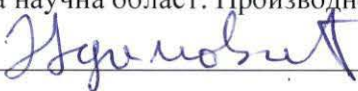
Имајући у виду све наведене чињенице, сматрамо да су испуњени сви научни, стручни и административни услови за прихватање наведене докторске дисертације као оригиналног научног рада. Предлажемо Наставно-научном већу Факултета инжењерских наука и Већу за техничко-технолошке науке Универзитета у Крагујевцу да у потпуности прихвати овај Извештај и одобри и закаже усмену јавну одбрану докторске дисертације под називом "**Истраживање процеса експлозивног заваривања и карактеризација добијеног споја високолегираног алатног и нискоугљеничног челика**" кандидата Милоша Лазаревића.


У Крагујевцу и Београду,

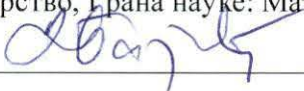
17. 08. . 2023. године.

Чланови комисије:

1. **Др Слободан Митровић**, ред. проф., Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу. (избор у звање 26.01.2017.), **председник**
Ужа научна област: Производно машинство,


2. **Др Драган Адамовић**, ред. проф., Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу. (избор у звање 27.12.2012.)
Ужа научна област: Производно машинство, Индустијски инжењеринг


3. **Др Драган Цунић**, доцент, Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу. (избор у звање 29.08.2018.)
Ужа научна област: Производно машинство.


4. **Др Даница Бајић**, доцент Војна академија, Универзитет одбране, Београд. (избор у звање 02.07.2019.)
Научна област: Техничко-технолошке науке, Научна дисциплина: Технолошко инжењерство, Ужа научна област: Технолошко инжењерство материјала и заштите;
научни сарадник, Војнотехнички институт, Београд (избор у звање 27.05.2019),
Научна област: Техничко-технолошке науке, Научна дисциплина: Технолошко инжењерство, Грана науке: Материјали и хемијске технологије


5. **Др Ана Алил**, научни сарадник, Институт за хемију, технологију и металургију - ИХТМ, Универзитет у Београду (избор у звање 15.07.2019.),
Научна област: Техничко-технолошке науке, Научна дисциплина: Металуршко инжењерство, Грана науке: Материјали и хемијске технологије
