

**НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ ФАКУЛТЕТА ИНЖЕЊЕРСКИХ НАУКА  
ВЕЋУ ЗА ТЕХНИЧКО-ТЕХНОЛОШКЕ НАУКЕ УНИВЕРЗИТЕТА У  
КРАГУЈЕВЦУ**

На седници Наставно-научног већа Факултета инжењерских наука у Крагујевцу одржаној 24.12.2020. год. (број одлуке: 01-1/4822-22) и на седници Већа за техничко-технолошке науке одржаној 20.01.2021. год. (број одлуке: IV-04-16/15) којом смо одређени као чланови Комисије за подношење извештаја за оцену научне заснованости теме и испуњености услова кандидата за израду докторске дисертације: **Истраживање процеса и карактеризација експлозивно заварених материјала на бази високолегираног алатног и нискоугљеничног челика** у научној области **машинско инжењерство** кандидата **Милоша Лазаревића, маг. инж. индустр. инж.** На основу података којима располажемо достављамо следећи

ФАКУЛТЕТ ИНЖЕЊЕРСКИХ НАУКА  
УНИВЕРЗИТЕТ У КРАГУЈЕВЦУ

Бр. 01-1/464

**ИЗВЕШТАЈ**

1902. 2021 год.  
КРАГУЈЕВАЦ

**1. Научни приступ проблему предложеног нацрта докторске дисертације и процена научног доприноса крајњег исхода рада**

У предложеној пријави докторске дисертације, кандидат је образложио предмет истраживања, наводећи актуелност и значај истраживања у области примене неконвенционалног извора енергије - **експлозије**, за развој нових материјала и технолошких процеса.

Све већа примена вишеслојних (биметалних и плакираних) металних материјала добијаних поступком експлозивног заваривања постаје важан тренд научног и технолошког прогреса. Настали су због потребе испуњења специфичних захтева за побољшаним карактеристикама материјала, уз њихову ниску цену. Вишеслојни алатни челици све више налазе примену као биметални челици за израду различитих сечива, посебно у графичкој индустрији, индустрији прераде дувана и преради неметала. Поред израде вишеслојних материјала, експлозивно заваривање се користи за израду плакираних материјала, првенствено отпорних на корозију и/или хабање. Плакирање основног материјала се најчешће врши слојем дебљине око 10% укупне дебљине новонасталог материјала (плоче, лимови, цеви). Плакирани материјали све више налазе примену у хемијској индустрији за израду делова постројења, у прехранбеној индустрији за израду мешача, дигестора и др., а такође и у војној индустрији за балистичку заштиту и сл. О примени експлозивног заваривања за израду вишеслојних металних материјала има релативно мало података и они се углавном односе на плакирање нисколегираног челика алуминијумом за примену у бродоградњи и плакирање нисколегираних челика нерђајућим челицима за примену у хемијској индустрији. У новије време, све више се примена ове технологије користи и у

аутомобилској индустрији за добијање материјала и делова каросерије аутомобила специфичних карактеристика које се другим поступцима не могу или веома тешко могу остварити. О експлозивном заваривању челика високе чврстоће, као што су алатни челици са нисколегираним челицима, у доступној литератури нема значајне количине података.

Истраживања у овој области су веома ограничена на специјализоване институције, јер захтевају специфичну опрему, посебно обучен кадар и одговарајуће мере пиротехничке безбедности. Резултати истраживања углавном нису доступни, мада ова обрада постаје веома перспективна а добијени материјали све више заступљени. Оправдано се може закључити да је мала количина доступних литературних података последица њихове заштите као технолошке тајне.

Развој и примена нових материјала који се све више користе у многим областима индустрије су довели до прилагођавања и примене експлозије као извора енергије у производним процесима. Данас су већ заступљени експлозивно заваривање и плакирање и деформисање помоћу експозије.

У оквиру своје дисертације, кандидат се определио да акценат теоријских и експерименталних истраживања буде на процесу експлозивног заваривања и карактеризацији добијених материјала, на бази комбинације високолегираног алатног челика и нискоугљеничног челика. У дисертацији ће се разматрати и могућност примене овог биметалног материјала за израду различитих ножева (сечива) за графичку индустрију, индустрију прераде дувана и сл.

И поред тога што се поједини истраживачи у свету баве теоријским и експерименталним истраживањима у области примене експлозије за заваривање, не могу се срести резултати истраживања који се односе на експлозивно заваривање високолегираних алатних челика и нискоугљеничних челика и карактеризација овако добијених материјала ради утврђивање квалитета добијеног споја.

Поступак примене енергије експлозије за израду вишеслојних металних материјала, представља изузетно велику опасност по раднике и радно окружење, цивилно становништво и животну средину у случају неадекватног руковања. Због наведеног кандидат планира да у дисертацији посебно поглавље посвети пиротехничкој безбедности и дефинисању процедура.

Остваривањем циљева дисертације и развојем метода за одређивање својстава експлозивно заварених материјала кандидат ће омогућити другим истраживачима наредна теоријска и експериментална истраживања у области примене експлозије као извора енергије како за заваривање тако и за друге поступке обраде.

Дефинисањем утицаја количине експлозива на карактеристике завареног споја створиће се услови за формирање нумеричког модела за примену методе коначних елемената за симулацију експлозивног заваривања чиме би се значајно смањила

потреба за високоризичним експериментима и омогућио даљи развој технологије експлозивног заваривања и плакираних материјала.

Прегледом и систематизацијом литературе актуелних истраживања у свету у области примене неконвенционалног извора енергије - **експлозије**, за развој нових материјала и технолошких процеса може се закључити да су истраживања кандидата усмерена ка:

1. примени аналитичких метода за прорачуне експлозивног заваривања,
2. експерименталним истраживањима применом савремене мерне опреме за карактеризацију материјала и
3. прикупљању и систематизацији литературних података о проценама ризика и опасности при делаборацији убојних средстава и креирању нових докумената неопходних за процену ризика и опасности при експлозивном заваривању.

За технологију експлозивног заваривања постоји опрема којом располаже Технички ремонтни завод Крагујевац, где су вршена прелиминарна истраживања, али за примену ове технологије не постоји дефинисане процедуре, а такође ни технолошки параметри. Истраживања се морају наслањати на досадашња искуства лица из Технички ремонтни завод Крагујевац уз коришћење доступних литературних података. Због тога, резултати теоријских и експерименталних истраживања које кандидат планира да реализује имају велики практични значај. Успостављање корелативних зависности улазних параметара процеса и мерених (излазних) параметара ће значајно допринети проширењу теоријских и практичних знања о поступку примене неконвенционалног извора енергије - **експлозије**, за развој нових материјала и технолошких процеса.

Кандидат је предложио програм истраживања у наведеним областима који су у складу са савременим научним методама истраживања. Истраживања се заснивају пре свега на експерименталним методама употпуњеним са теоријским разматрањима.

Сагледавајући приказ проблема истраживања, полазне хипотезе и предложене научне методе истраживања може се закључити да докторска дисертација кандидата садржи све елементе који су потребни за њену израду и научни допринос у области примене неконвенционалног извора енергије - **експлозије** за развој нових материјала и нових технолошких процеса.

#### Веза са досадашњим истраживањима

Увидом у до сада објављене радове у научним и стручним часописима и међународним и домаћим конференцијама може се закључити да кандидат Милош Лазаревић већ има истраживачко искуство из области предложене дисертацијом. Истраживачка област кандидата припада машинском инжењерству а уско је везана за неконвенционалну обраду експлозијом, безбедносне аспекте примене овог поступка обраде и познавање и карактеризацију материјала.

Ради опсежних теоријских и експерименталних истраживања на којима ће базирати рад, кандидат је прикупио и анализирао велики број публикованих радовима многих аутора:

1. AASTP-1, Manual of NATO safety principles for the storage of military ammunition and explosives, Edition 1, Allied ammunition storage and transport publication, May 2006.
2. Acarer M., Demir B. (2008). An investigation of mechanical and metallurgical properties of explosive welded aluminum–dual phase steel. *Materials Letters*, 62(25), 4158–4160. doi: 10.1016/j.matlet.2008.05.060
3. Addison H., Kowalick J., Cavell W., Explosion welding of cylindrical shapes, Department of the army Frankford arsenal Philadelphia, Philadelphia, Pa. 19137, 1969.
4. Bahrani A., Grossland B., (1964). Explosive welding and cladding: an introductory survey and preliminary results, *Materials Science*, Vol. 179, issue 1, pp. 264-305, [https://doi.org/10.1243%2FPIME\\_PROC\\_1964\\_179\\_023\\_02](https://doi.org/10.1243%2FPIME_PROC_1964_179_023_02)
5. Bajić Z., Bogdanov J., Jeremić R., (2009). Blast Effects Evaluation Using TNT Equivalent. *Scientific Technical Review*. 59(3), p. 50.
6. Baranoff, E., (2004), *Risk Management and Insurance*, Wiley, Danvers, USA.
7. Bataev I. A., et all, (2019). Towards better understanding of explosive welding by combination of numerical simulation and experimental study, *Materials and Design* 169(1), <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2019.107649>.
8. Beveridge A. (2012). *Forensic Investigation of Explosions*. Florida: Boca Raton. CRC Press.
9. Blazynski, T. Z. (1983). *Explosive Welding, Forming and Compaction*. Essex, England: Applied Science Publishers Ltd.
10. Brode H.L. (1955). Numerical solutions of spherical blast waves. *J. Appl. Phys.*, 26, pp.766–775, Available at: <https://doi.org/10.1063/1.1722085>.
11. Borchers C., Lenz M., Deutges M., Klein H., Gartner F., Hammerschmidt M., Kreye H., (2016). Microstructure and mechanical properties of medium-carbon steel bonded on low-carbon steel by explosive welding, *Materials & Design*, Vol. 89,
12. Carpenter S.H. (1981) *Explosion Welding: A Review*. In: Meyers M.A., Murr L.E. (eds) *Shock Waves and High-Strain-Rate Phenomena in Metals*. Springer, Boston, MA. [https://doi.org/10.1007/978-1-4613-3219-0\\_53](https://doi.org/10.1007/978-1-4613-3219-0_53)
13. Carpenter, S.H.; Wittman, R.H. (1975). Explosion Welding. *Annu. Rev. Mater. Sci.*, 5, 177–199, doi:10.1146/annurev.ms.05.080175.001141.
14. Carton, E., Stuivinga M. (2001). Future for explosive materials processing. 4<sup>th</sup> International Symposium on Impact Engineering, Kumamoto, Japan. doi: 10.13140/2.1.4470.8806
15. Carvalho G., Galvao I., Mendes R., Leal M., (2018). Loureiro A., Explosive welding of aluminium to stainless steel, *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 262.
16. Crossland B., Williams J., (1970). Explosive welding, *Metallurgical reviews* Vol.15, No1,
17. Crossland B. (1976). An experimental investigation of explosive welding parameters. *Metals Technology*, 3(8).

18. Bonin D., HOT FORGING A new concept of coated tool, Syndicat National de l'Estampage et de le Forge (SNEF), Maison de la mécanique, 39 41 Rue Louis Blanc, 92400 Courbevoie, France. 2010.
19. Olson D. L., Siewert T. A., Liu S., Edwards G. R., ASM Handbook Volume 6: Welding, Brazing, and Soldering, ASM International, 1993.
20. Dimitrijević R., Upravljanje rizicima u raspolaganju ubojnim sredstvima, скрипта за predavanja, Војна академија, Beograd, 2015.
21. Durgutlu A., Gülenç B., Findik F. (2005). Examination of copper/stainless steel joints formed by explosive welding. *Materials and Design*, 26(6), 497–507. doi: 10.1016/j.matdes.2004.07.021
22. Durgutlu A., Okuyucu H., & Gulenc B. (2008). Investigation of effect of the stand-off distance on interface characteristics of explosively welded copper and stainless steel. *Materials and Design*, 29(7), 1480–1484. doi: 10.1016/j.matdes.2007.07.012
23. Smith E. G., Laber D., Linse V. D., and Ryan M. J., (1971). Development of explosive-welding techniques for fabrication of regeneratively cooled thrust chambers for large-rocketengine requirements, National aeronautics and space administration NASA.
24. Findik F., Yilmaz R., Somyurek T., (2011), The effects of heat treatment on the microstructure and microhardness of explosive welding, *Scientific Research and Essays* Vol. 6(19), pp. 4141-4151.
25. Findik F. (2011). Recent developments in explosive welding. *Materials and Design*, 32(3), 1081–1093. doi: 10.1016/j.matdes.2010.10.017
26. Fronczek D. M., Wojewoda-Budka J., Chulist R., Sypien A., Korneva A., Szulc Z., Zieba P. (2016). Structural properties of Ti/Al clads manufactured by explosive welding and annealing. *Materials and Design*, 91, 80–89. doi: 10.1016/j.matdes.2015.11.087
27. Gan R. Z., (2018), Biomechanical Changes of Tympanic Membrane to Blast Waves. Fu B. & Wright N. (eds) *Molecular, Cellular, and Tissue Engineering of the Vascular System*. 1097(1), pp. 321-334. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-96445-4\\_17](https://doi.org/10.1007/978-3-319-96445-4_17)
28. Ghomi M., (2009), Impact wave process modeling and optimization in high energy rate explosive welding, Mälardalen University Press Licentiate Theses.
29. Ghomi M., (2011), Modelling and simulation of elastic & plastic behaviour of propagating impact wave, Mälardalen University Press Licentiate Theses.
30. Gilbert, F.K. & Kenneth, J.G. (1985). *Explosive Shocks in Air*. New York: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
31. Groover, M. (2007). *Fundamentals of Modern Manufacturing*. Hoboken, NJ: Wiley.
32. Gulenc B. (2008). Investigation of interface properties and weldability of aluminum and copper plates by explosive welding method. *Materials and Design*, 29(1), 275–278. doi: 10.1016/j.matdes.2006.11.001
33. Gullino A., Matteis P., D'Aiuto F. (2019). Review of Aluminum-To-Steel Welding Technologies for Car-Body Applications. *Metals*, 9(3), 315. doi: 10.3390/met9030315

34. Han J. H., Ahn J. P., Shin M. C. (2003). Effect of interlayer thickness on shear deformation behavior of AA5083 aluminum alloy/SS41 steel plates manufactured by explosive welding. *Journal of Materials Science*, 38, 13–18. doi: 10.1023/A:1021197328946
35. Hebei Yuguang Sveising Co., Ltd. (2019). Application of metal coating in cookware, Shanghai, China, <http://no.ygcladmetals.com/info/application-of-cladding-metals-in-cookware-32928805.html> (приступљено 05.10.2019.)
36. Hedayati A., Najafizadeh A., Kermanpur A., Forouzan F., (2010). The effect of cold rolling regime on microstructure and mechanical properties of AISI 304L stainless steel, *J. Mater. Process. Technol.* 210, 1017–1022.
37. Henan Gang Iron and Steel Co., Ltd, Zhengzhou, (2020). <http://www.steelspecs.com/EN10025-2/EN10025-2S355J2G3STEELPLATE.html> (приступљено 20.06.2020.)
38. Hoseini-Athar M. M., Tolaminejad B., (2016). Interface morphology and mechanical properties of Al-Cu-Al laminated composites fabricated by explosive welding and subsequent rolling process. *Met. Mater. Int.* 22, 670–680.
39. Howes T. (2001). *Explosive Welding*, TWI knowledge summary, UK: TWI Ltd.
40. IATG 01.80. (2015). *International Ammunition Technical Guideline - Formulae for ammunition management*, Ed. 2, United Nations Office for Disarmament Affairs, New York, 2015.
41. Icnomlegde. (2015). *Chapter 337 Blast-Induced Neurotrauma*. New York: Clinicalgate.
42. IMAS 10.50 Third Edition, (2013). *Storage, transportation and handling of explosives*,
43. ISO 31000:2009 *Risk management – Principles and guidelines*, International standard.
44. ISO GUIDE 73: 2009 *Risk management – Vocabulary*.
45. Jeremić R., *Eksplzivni procesi*, Uprava za ŠiO GŠ, VA Beograd, 2002,
46. Kahraman N., Gülenç B. (2005). Microstructural and mechanical properties of Cu–Ti plates bonded through explosive welding process. *Journal of Materials Processing Technology*, 169(1), 67–71. doi: 10.1016/j.jmatprotec.2005.02.264
47. Keković Z., Savić S., Komazec N., Milošević M., Jovanović D., (2011). *Procena rizika u zaštiti lica, imovine i poslovanja*, Centar za analizu rizika i upravljanje krizama, Beograd.
48. Kingery C. N. & Bulmash G. (1984). *Air Blast Parameters from TNT Spherical Air Burst and Hemispherical Surface Burst*. Scotland: Ballistic Research Laboratories.
49. Kinney G. F. & Graham K. J., (1985). *Explosive Shocks in Air*, Springer Science + Business Media.
50. Koç M., Özel T. (2019). *Modern Manufacturing Processes*. Hoboken, NJ: Wiley.
51. Korporacija Trayal. (2008). *Technological procedure for making industrial powdered explosives*. French Patent number WO2008009031A1

52. Kucera J., Nesvadba P., Kunzel M., Anastacio A., Pachman J., (2016). Measurement of impact velocity of cladding metal by photonic Doppler velocimetry (PDV), Proc. of Seminar on New Trends in Research of Energetic Materials, Pardubice, Czech Republic,
53. Loureiro A., Mendes R., Ribeiro J. B., Leal R. M., Galvão I., (2016). Effect of explosive mixture on quality of explosive welds of copper to aluminium. *Mater. Des.* 95, 256–267,
54. Meco S., Pardal G., Ganguly S., Williams S., McPherson N. (2015). Application of laser in seam welding of dissimilar steel to aluminium joints for thick structural components. *Optics and Lasers in Engineering*, 67, 22–30. doi: 10.1016/j.optlaseng.2014.10.006
55. Mendes R., Ribeiro J. B., Loureiro A., Effect of explosive characteristics on the explosive welding of stainless steel to carbon steel in cylindrical configuration. *Mater. Des.* 51, 182–192, 2013.
56. NobelClad. (2019). Dissimilar Metal Welding. Internet adresa: [https://www.lbcg.com/media/downloads/events/723/NobelClad\\_Lightweight\\_Automotive\\_Feb\\_2019\\_Warren\\_Salt.1556027778.pdf](https://www.lbcg.com/media/downloads/events/723/NobelClad_Lightweight_Automotive_Feb_2019_Warren_Salt.1556027778.pdf), pristupljeno: 23.06.2020.
57. Orlenko L. P. & Ohitin V. N. 2004. An explosions in the air, in *Physics of Explosion* (in Russian), Book 1, Edition 3, FIZMATLIT, pp.470-612
58. Pandey A. K., Kumar N. (2018). Explosive cladding of different materials and its mechanism. *Journal of Emerging Technologies and Innovative Research*, 5(12), 163–169.
59. Panowicz R. & Konarzewski M. 2016. Analysis of Criteria for Determining a TNT Equivalent. *Journal of Mechanical Engineering*. 63(2017)11, p.666. <https://doi:10.5545/sv-jme.2016.4230>
60. Pejčinović M. Analiza postupaka obrade eksplozijom, diplomski rad: Mašinski fakultet Univerzitet u Kragujevcu, Srbija, 2000.
61. Pravilnik o načinu obavljanja poslova humanitarnog razminiranja Dio NN: Službeni Vrsta dokumenta: Pravilnik Izdanje: NN 53/2007 Broj dokumenta u izdanju: 1731 Donositelj: Ministarstvo unutarnjih poslova Datum tiskanog izdanja: 25.5.2007.
62. Kaçar R., Acarer M., Microstructure–property relationship in explosively welded duplex stainless steel–steel, *Materials Science and Engineering A363* (2003) 290–296
63. Radić V., Izbor parametara zavarivanja eksplozijom u ravanskoj geometriji, (2000) Zavarivanje i zavarene konstrukcije, Beograd,
64. Ribeiro J. et al, Review of the weldability window concept and equations for explosive welding, *J. Phys.: Conf. Ser.* 500 052038, 2014.
65. Rong Z. & Don N. & Xiao D. & Kegan L. & Zachary Y., (2016). Mechanical damage of tympanic membrane in relation to impulse pressure waveform – A study in chinchillas. 340(1), pp.25-34. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.heares.2016.01.004>
66. Sadvoskii M.A. (1952). The mechanical effect of blast waves in air with respect to data from experimental studies, physics explosions. SSSR: Akad. Nauk SSSR.

67. Sage A., Systems Engineering for Risk Management, Computer supported Risk management, Kluwer Academic Publishers, Netherlands. Sarin, R. K., Weber, M. (1993), Risk-value models, European Journal of Operations Research.
68. Semiatin S. L. (1988). ASM Handbook, Volume 14: Forming and Forging. Materials Park, Ohio, US: ASM International.
69. Shangyuan J. (2018). Mechanical properties of human incudostapedial joint and tympanic membrane in normal and blast-damaged ears. Ph.D. thesis. Leeds: University of Oklahoma.
70. Solomos G., Larcher M., Valsamos G., Karlos V., Casadei F., 2020. A survey of computational models for blast induced human injuries for security and defence applications, Technical Reports, Joint Research Centre, EU,
71. SRPS. A.L2.003:2010, Društvena bezbednost - Procena rizika u zaštiti lica, imovine i poslovanja. Službeni glasnik RS, br.92/2010.
72. Stamatović A. (1995). Konstruisanje projektila, Belgrade: "Ivexy" p.o. (in Serbian).
73. Standard MIL-STD-882 Department of defense standard practice system safety.
74. Stewart C. (2006). Blast Injuries: Preparing for the Inevitable. Emergency Medical Practice. 8(4), p.8. Available: <http://www.storismith.net/page5/files/Blast%20Injuries%200406.pdf> (Accessed 21.01.2020.)
75. Systems Engineering Fundamentals (2001), Supplementary Text Prepared by the Defense Acquisition University Press, Fort Belvoir, Virginia ([www.dau.mil/pubs/pdf/SEFGuide](http://www.dau.mil/pubs/pdf/SEFGuide)).
76. Tabatabaee M. 2009, Impact wave process modeling and optimization in high energy rate explosive welding, Mälardalen University Press Licentiate Theses.
77. Traylor corporation. (2020). Powder explosives [online]. Available at: <https://traylor.rs/en/products/explosives/explosives-and-initiating-devices/explosives/explosive-cartridges/#599> [приступљено: 02.02.2020].
78. Linse V. D., (1974). The Application of Explosive Welding to Turbine Components, Research Metallurgist, Battelle Columbus Laboratories, Columbus, Ohio,
79. Vauglan E. J., Risk Management, John Wiley & Sons, New York, 1997
80. Wang H., Wang Y. (2019). High-Velocity Impact Welding Process: A Review. Metals, 9(2), 144. doi:10.3390/met9020144
81. Yan Y. B., Zhang Z. W., Shen W., Wang J. H., Zhang L. K., Chin B. A. (2010). Microstructure and properties of magnesium AZ31B–aluminum 7075 explosively welded composite plate. Materials Science and Engineering: A, 527(9), 2241–2245. doi: 10.1016/j.msea.2009.12.007
82. Zakon o vanrednim situacijama, Službeni glasnik RS, br.111/2009, Beograd.
83. Zealand Standard on risk management, AS/NZS 4360:2004. [http://www.ucop.edu/riskmgmt/erm/.../asnzs4360\\_2004\\_tut\\_notes.pdf](http://www.ucop.edu/riskmgmt/erm/.../asnzs4360_2004_tut_notes.pdf). 05.03.2019.



Прегледом радова које је кандидат објавио може се закључити да је истраживање усмерио на неколико посебних области:

- познавање експлозива, пиротехничке безбедности и управљања ризицима: радови 1 (M51), 1 (M52),
- примену неконвенционалног поступка заваривања експлозијом: радови 1, 2 и 3 (M33),
- сложене нумеричке прорачуне: рад 2 (M52).

Наведени радови које је кандидат прикупио и анализирао и објављени радови на квалитетан начин осликавају области истраживања и добра су основа за даљи научни и истраживачки рад кандидата. Остваривање постављених циљева, допринеће даљем усавршавању кандидата у области примене неконвенционалног извора енергије - **експлозије**, за развој нових материјала и технолошких процеса обраде. Такође, остваривање постављених циљева ће омогућити континуитет теоријских и експерименталних истраживања и њихову конкретну примену. Поред наведеног, реализација постављених циљева дисертације ће омогућити стварање базе знања и полазне основе за даља истраживања овог неконвенционалног поступка на Факултету инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу.

## **2. Образложење предмета, метода и циља који уверљиво упућују да је предложена тема од значаја за развој науке**

Предмет, циљеви и хипотезе ове дисертације обухватају следеће

Предмет ове докторске дисертације представља истраживање у области примене неконвенционалног извора енергије - **експлозије**, за развој нових материјала и технолошких процеса. Поступак примене експлозивног заваривања за добијање вишеслојних (биметалних и плакираних) металних материјала, постаје важан тренд научног и технолошког прогреса. Основни разлог кандидата да се определи за ову област истраживања је што се ова обрада све више користи а добијени материјали све више налазе примену у различитим индустријским областима. Цена производне опреме у односу на друге поступке је неупоредиво нижа. Посебан значај ова обрада има при развоју производа и при изради малих и средњих серија. Истраживања у овој области су интензивна, а резултати све више доступни. Поред примене неконвенционалног извора енергије - **експлозије**, за развој нових материјала, енергија експлозија налази значајну примену и при обради пластичним деформисањем.

Циљ докторске дисертације је истраживања процеса неконвенционалног поступка експлозивног заваривања високолегираног алатног челика и нискоугљеничног конструктивног челика и карактеризација материјала добијеног овим поступком ради дефинисање метода за утврђивање квалитета оствареног споја. Методе испитивања које ће бити дефинисане у раду, треба да обезбеде даља истраживања и развој у области овладавања технологијом за производњу нових експлозивно заварених металних материјала. Применом технологије заваривања експлозијом знатно се проширује број и

врста технологија и материјала које све више налазе примену. Развој нових материјала, посебно у области алатних материјала треба да омогући добијање висококвалитетних материјала са нижом ценом. Циљ истраживања је и стварање услова за добијање и других вишеслојних материјала технологијом експлозивног заваривања: нерђајући челик - конструктивни нискоугљенични челик, алуминијум - челик, специјални сендвич материјали за балистичку заштиту и др.

У оквиру докторске дисертације кандидат ће реализовати експериментална истраживања применом савремене мерне опреме:

- оптички микроскоп, скенирајући електронски микроскоп и уређај за енергетско дисперзиону анализу за одређивање металуршких и хемијских својстава.
- *Micro Scratch Tester & Nano Hardness Tester* за мерење микротврдоће, одређивање модула еластичности и адхезионих својства завареног споја.
- одређивање механичких својстава обухвата испитивање на смицање, затезање и одређивање модула еластичности.
- одређивање триболошких својстава има за циљ истраживање карактеристика материјала у завареном споју са аспекта трења и хабања у условима контакта блок и диск. Ова истраживања кандидат ће посебно усмерити на триболошка испитивања уске зоне споја у различитим условима контакта (материјали диска, оптерећење, брзине клизања, подмазивање и др.).

За наведена испитивања ће се из заварених плоча извршити сечење абразивним воденим млазом узорака, према одговарајућем плану. Термичком обрадом експлозивно заварених узорака и даљим испитивањима утврдиће се утицај термичке обраде на промену металуршких својстава.

Остваривање циља дисертације и развоја метода за одређивање својстава експлозивно заварених материјала омогућиће даља теоријска истраживања. Дефинисаће се утицај количине експлозива на карактеристике завареног споја. На тај начин створиће се услови за формирање нумеричког модела за примену методе коначних елемената за симулацију експлозивног заваривања чиме би се значајно смањила потреба за високоризичним експериментима и омогућио даљи развој технологије експлозивног заваривања и плакираних материјала.

#### Методе истраживања

У својим истраживањима кандидат ће користити експерименталне методе у реалним условима, аналитичке методе анализе резултата мерења

Експериментална истраживања кандидат ће изводити у реалним условима. За карактеризацију материјала кандидат ће користити савремену мерну опрему за мерење микротврдоће, ударне жилавости, смицајне чврстоће, триболошких карактеристика као и металуршка испитивања. Измерене вредности треба да послуже за оцену квалитета

добијених двослојних материјала. За потребе одређених мерења извршиће се пројектовање и израда потребних прибора.

Применом аналитичких метода вршиће се потребни прорачуни експлозивног заваривања. Добијене вредности ће се користити при извођењу експеримената експлозивног заваривања.

#### Оквирни садржај докторске дисертације

Кандидат је планирао да докторска дисертација буде реализована кроз 7 поглавља:

1. Уводна разматрања;
2. Преглед и анализа досадашњих истраживања неконвенционалног поступка експлозивног заваривања;
3. Теоријска анализа неконвенционалног поступка експлозивног заваривања;
4. Безбедносни аспекти извођења процеса експлозивног заваривања;
5. Експериментална истраживања;
6. Анализа резултата истраживања;
7. Закључак.

#### **3. Образложење теме за израду докторске дисертације које омогућава закључак да је у питању оригинална идеја или оригиналан начин анализирања проблема**

На основу пријаве теме докторске дисертације Комисија закључује да је тема интересантна како са теоријског аспекта ради бољег разумевања процеса који се одвијају при примени неконвенционалног извора енергије - **експлозије**, за развој нових материјала и технолошких процеса. Поред теоријског значаја, тема је интересантна и са стручног аспекта јер отвара могућности примене експлозивног заваривања у индустрији и примену вишеслојних материјала за различите намене.

Комисија закључује да је предложена тема докторске дисертације **Истраживање процеса и карактеризација експлозивно заварених материјала на бази високолегираног алатног и нискоугљеничног челика** са образложеним предметом и циљевима рада, научним доприносима и очекиваним резултатима, насталим досадашњим самосталним истраживањима и анализом доступних радова у научном и стручном смислу оригинална идеја.

#### **4. Усклађеност дефиниције предмета истраживања, основних појмова, предложене хипотезе, извора података, метода анализе са критеријумима науке уз поштовање научних принципа у изради коначне верзије докторске дисертације**

Кандидат Милош Лазаревић у предлогу своје докторске дисертације је обухватио све елементе савременог научно-истраживачког рада, поштујући основне критеријуме

науке, научних циљева и метода анализе, имплементацијом постојећих и развијањем оригиналних идеја научног истраживања.

У својој пријави дисертације, кандидат се служио одговарајућом терминологијом из области, која је предмет рада. Дефиниција предмета истраживања је усклађена са основним појмовима, предложеним хипотезама и методама истраживања. Кандидат је показао изразиту способност да планира експерименте уз коришћење савремене мерне опреме и селекцију и анализу литературних извора.

Циљеви истраживања су проистекли из исказане потребе од стране предузећа за проширење како научних тако и стручних знања из области примене неконвенционалног извора енергије - **експлозије**, за развој нових материјала и технолошких процеса. С обзиром да ће кандидат користити савремену мерну опрему за експериментална истраживања и креирати нове аналитичке и експерименталне методе, добијени резултати ће представљати оригиналан допринос научној и стручној области.

## 5. Преглед научно-истраживачког рада кандидата

### Кратка биографија кандидата

#### а. Лични подаци

Милош Лазаревић је рођен у Крагујевцу, Република Србија, 26.01.1993. године. Основно образовање је стекао у основној школи „21. октобар“ у Крагујевцу. Након завршетка основне, уписао је Политехничку школу у Крагујевцу, на смеру Машински техничар за компјутерско конструисање, коју је завршио 2012. године.

Након завршетка средње школе, уписао је Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу, студијски програм Војноиндустријско инжењерство на којем је дипломирао 2016. године. Током студирања, показао је посебно интересовање за изучавање технологија из области убојних средстава, а избором модула Проектили и упаљачи, стечена су знања из ових области.

Стручни назив дипломираног индустријског инжењера стекао је одбраном дипломског рада на студијском програму Војноиндустријско инжењерство на тему **Технологија производње артиљеријске муниције са кумулативним ефектом**. Након завршетка дипломских студија, уписао је мастер академске студије Војноиндустријско инжењерство, у школској 2016/2017. години. Стручни назив мастер инжењера индустријског инжењерства – војноиндустријско инжењерство стекао је одбраном мастер рада под називом **Борбена живавост лансираог система**. Основне академске студије завршио је са просечном оценом 7,70 док је просечна оцена на мастер академским студијама била 9,00. Током студија био је ангажован као носилац пројекта реализације иновативних решења у фирми "Crown Trust & Trade" са седиштем у Београду. Резултате добијене у мастер раду кандидат је публиковао у раду категорије M52: Miloš Lazarević, BORBENA ŽILAVOST LANSIRNOG SISTEMA (COMBAT STIFFNESS OF THE LAUNCHER PLATFORM), *Vojnotehnički glasnik / Military*

Technical Courier, 2017, Vol. 65, Issue 4, pp. 904-923, ISSN 0042-8469, DOI: <https://doi.org/10.5937/vojtehg65-14716>.

Докторске академске студије (ДАС) уписао је 2017. године на студијском програму Машинско инжењерство, на катедри за Производно машинство. Током прве две године докторских студија успешно је положио све испите предвиђене наставним планом и програмом. У склопу реализованих активности прикупио је обимну литературу и реализовао већи број експеримената из области теме докторске дисертације, на основу којих су публиковани радови.

Досадашњи научно-истраживачки рад и интересовања Милоша Лазаревића је тежишно усмерио на области војног и производног машинства, са посебним акцентом на овладавање знањима из области експлозивних материја, примене експлозивног заваривања за добијање нових материјала и област пиротехничке безбедности

У свом раду користи велики број софтвера за рад на рачунару, пре свега за геометријско моделирање делова и склопова, кинематску и структурну анализу. Од програма које користи запажено је његово познавање програма CATIA, а током студија овладао је потребним знањима и користи програме INVENTOR, SIMUFACT, FEMAP, FORTRAN и MS Office.

#### **6. Научно-истраживачки рад**

Као аутор или коаутор објавио је **6** радова у научно-стручним часописима као и на међународним научно-стручним скуповима:

#### **M33 Саопштења са међународних скупова штампана у целини**

1. Miloš Lazarević, Bogdan Nedić, Stefan Đurić, PROPERTIES OF EXPLOSION WELDED JOINTS OF TOOL STEEL AND LOW CARBON STEEL, 9<sup>th</sup> International Scientific Conference On Defensive Technologies - OTEH 2020, Belgrade, Serbia, 2020, October 15-16., 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), 9<sup>th</sup> International Scientific Conference On Defensive Technologies - OTEH 2020, Belgrade, Serbia, 2020, October 15-16., pp. 507-512, ISBN 978-86-81123-83-6
3. Miloš Lazarević, Vladica Živković, 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

### **M51 Врхунски часопис националног значаја**

1. Miloš Lazarević, Bogdan Nedić, Stefan Đurić, PYROTECHNICAL SAFETY IN THE PROCESS OF DESTRUCTION OF MINES AND EXPLOSIVE EQUIPMENT (MER) AND UNEXPLODED ORDNANCE (UXO), International Journal for Quality Research, 2020, Vol. 15, Issue 3, pp. 1-19, ISSN 1800-6450, DOI: 10.24874/IJQR15.03-13

### **M52 Рад у истакнутом националном часопису**

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, DOI: <https://doi.org/10.5937/vojtehg68-26683>
2. Miloš Lazarević, BORBENA ŽILAVOST LANSIRNOG SISTEMA (COMBAT STIFFNESS OF THE LAUNCHER PLATFORM), Vojnotehnički glasnik / Military Technical Courier, 2017, Vol. 65, Issue 4, pp. 904-923, ISSN 0042-8469, DOI: <https://doi.org/10.5937/vojtehg65-14716>

На основу свега претходно наведеног у овом извештају Комисија доноси следећи

## **ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ КОМИСИЈЕ**

**Милош Лазаревић, мастер инжењер индустријског инжењерства**, испунио је све потребне услове за одобрење израде докторске дисертације.

Предложена тема докторске дисертације је оригинална и има научну заснованост. Предложена методологија израде докторске дисертације је у складу са научним принципима. Очекивани резултати докторске дисертације ће имати оригинални научни и стручни допринос у области примене неконвенционалног извора енергије - експлозије, за развој нових материјала и технолошких процеса.

Комисија предлаже Наставно-научном већу Факултета инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу и Већу за техничко-технолошке науке Универзитета у Крагујевцу да прихвати и одобри израду предложене докторске дисертације кандидату **Милошу Лазаревићу**, маг. инж. индустр. инж.

Комисија предлаже Наставно-научном већу Факултета инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу и Већу за техничко-технолошке науке Универзитета у Крагујевцу да у циљу прецизнијег објашњења предмета и циља рада наслов рада, уместо

**Истраживање процеса и карактеризација експлозивно заварених материјала на бази високолегираног алатног и нискоугљеничног челика**


буде


**Истраживање процеса експлозивног заваривања и карактеризација добијеног споја високолегираног алатног и нискоугљеничног челика**


Комисија предлаже да ментор ове докторске дисертације буде **др Богдан Недић**, редовни професор Факултета инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу.

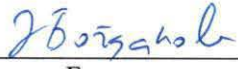
У Крагујевцу и Београду,  
фебруар, 2021.

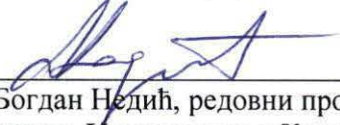
КОМИСИЈА:

  
Др Слободан Митровић, редовни професор - председник комисије  
Факултет инжењерских наука, Универзитет у Крагујевцу  
Ужа научна област: Производно машинство

  
Др Драган Адамовић, редовни професор  
Факултет инжењерских наука, Универзитет у Крагујевцу  
Уже научне области: Производно машинство и Индустриски инжењеринг

  
Др Драган Џунић, доцент  
Факултет инжењерских наука, Универзитет у Крагујевцу  
Ужа научна област: Производно машинство

  
Др Јовица Богданов, доцент, потпуковник  
Војна академија, Универзитет одбране у Београду  
Ужа научна област: Материјали и заштита

  
Др Богдан Недић, редовни професор  
Факултет инжењерских наука, Универзитет у Крагујевцу  
Ужа научна област: Производно машинство