

Образац 3.

Факултет ТЕХНОЛОШКО-
МЕТАЛУРШКИ

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

35/212

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 хемијског састава и термичке обраде на механичка својства високоманганских
челика**

(пун назив предложене теме докторске дисертације)

НАУЧНА ОБЛАСТ Металуршко инжењерство

ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ:

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

Александар (Мирко) Вукосављевић

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

Металуршки факултет, Магистар металургије

Универзитет Црна Гора,

3. Година завршетка
претходног нивоа студија: 2010.

4. Година уписа на докторске студије: 2023. (реупис)

5. Назив студијског програма
докторских студија:

Металуршко инжењерство

6. Датум подношења пријаве
теме докторске дисертације:

26. 6. 2025.

ПОДАЦИ О МЕНТОРУ:

за кандидата **Александар Вукосављевић**

Име и презиме ментора: **др Ненад Радовић**

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

Списак радова који квалификују ментора за вођење докторске дисертације:

1. Dikić, S., Glišić, D., Fadel, A., Jovanović, G., **Radović, N.** (2021) Structure and Strength of Isothermally Heat-Treated Medium Carbon Ti -V Microalloyed Steel. *Metals* 11, (ISSN: 2075-4701) 1011 (IF2021=2.695) <https://doi.org/10.3390/met11071011>
2. Ahmed, E. A. S., **Radović, N.**, Glišić, D., Dikić, S., Milovanović, N., Opačić, M., & Lozanović, J. (2025). Fracturing in 14MoV6-3 Steel Weld Joints—Including Base Metals—After a Short Time in Service. *Metals*, 15, 483. (ISSN: 2075-4701), (IF2024=2,5) <https://doi.org/10.3390/met15050483>
3. Jovanović, G., Glišić, D., Dikić, S., Međo, B., Marković, B., Vuković, N., **Radović, N.** (2023). Determining the role of acicular ferrite carbides in cleavage fracture crack Initiation for two medium carbon microalloyed steels. in *Materials*, MDPI., 16(22). (ISSN:1996-1944) (IF2023=3,4) <https://doi.org/10.3390/ma16227192>.
4. Hutli, E., Nedeljkovic, M., A.Bonyár, A., **Radović, N.**, Lalic, V., Debeljkovic, A., (2016) The Ability of Using the Cavitation Phenomenon as a Tool to Modify the Surface Characteristics in Micro and in Nano Level, *Tribology International* 101 88-97· DOI: 10.1016/j.triboint.2016.04.006 IF2015=2.259 *Engineering Mechanical* 22/132) ISSN: 0301-679X
5. S. Dikić, D. Glišić, A. H. Fadel, G. Jovanović, and **N. Radović**, (2022), Physical simulation of finish rolling of microalloyed steels in isothermal conditions, *Hem Ind*, 76, 227 (ISSN: 0367–598X), (IF2022=0,9) doi: 10.2298/HEMIND220816018D.

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 Вукосављевића**, број индекса 2023/4037, под називом: **„Утицај хемијског састава и термичке обраде на механичка својства високоманганских челика”**.

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

За ментора се одређује др Ненад Радовић, редовни професор Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет.

Одлуку доставити: Универзитету у Београду, кандидату, ментору, 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 Вукосављевића

Одлуком бр. 2025-35/158 од 26. јуна 2025. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену научне заснованости теме докторске дисертације кандидата Александра Вукосављевића, мастер инжењера металургије под насловом „Утицај хемијског састава и термичке обраде на механичка својства високоманганских челика“. На основу материјала приложеног уз пријаву теме кандидата, Комисија подноси следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. Подаци о кандидату

1.1. Биографски подаци

Александар Вукосављевић је рођен 22. марта 1966. године у Никшићу, Црна Гора. У Никшићу је завршио основну и средњу школу. Након одслуженог војног рока 1985. године уписује Металуршки факултет Универзитета Црне Горе. Дипломирао је 1993. године са средњом оценом 7,32. Магистарску тезу „Испитивање утицаја параметара заваривања челика електроном Е 18 8 Мп В 22 на квалитет завареног споја“ одбранио је 24. јуна 2010. године на Металуршко - технолошком факултету Универзитета Црне Горе у Подгорици. Средња оцена током постдипломских магистарских академских студија била је 8,83.

Професионалну каријеру почео је 1993. године у АД Жељезара Никшић. У АД фабрика електрода Пива - Плужине, радио је од 1995. до 2015. године. Током рада у АД ФЕП - у, обављао је све послове од технолога за производњу додатног материјала за заваривање до помоћника извршног директора за стратегију, развој и маркетинг. Од 2015. до 2024. године имао је радне ангажмане у више акционарских друштава, АД и ДОО, Вилуси Компани - Никшић, Ливница Пјастера - Никшић, VATREX-RESCUE Херцег Нови - Београд, Салона Вар – Солин, Хрватска. Тренутно је запослен у предузећу за производњу челичних жица, арматурних мрежа и обраду арматурног челика, ВИБ БАС - Никшић. Обавља функцију руководиоца производње.

Поседује интернационалне сертификате „Интернационални инжењер за заваривање IWE“ од 2005. и „Интернационални инспектор за заваривање, IWI – С“ од 2011. године.

Током рада у АД ФЕП -у учествовао је у више развојних пројеката у освајању нових типова додатних материјала за заваривање који су успешно пласирани на тржишту (прашком пуњене жице, пуњене жице за заваривање под прашком ЕПП поступком, обложене електроде, итд).

1.2. Сечено научноистраживачко искуство

Докторске академске студије на Технолошко-металуршком факултету у Београду уписао је школске 2023. године. У оквиру изабраног студијског програма Металуршко инжењерство, положио је све предвиђене испите, средња оцена 8,62 и одбранио завршни испит. У периоду 2013-2023. године је био први пут уписан на исти студијски програм.

Положени испити, обим ЕСПБ и остварени резултати у оквиру докторских студија су дати у табели.

Редни број	Назив предмета	ЕСПБ	Оцена
1	Феномени преноса у инжењерству материјала	5	10 (десет)
2	Кинетика металуршких процеса	5	8 (осам)
3	Кинетика фазних трансформација	5	9 (девет)
4	Структура и својства металних материјала	5	8 (осам)
5	Очвршћавање метала	5	9 (девет)
6	Физичка металургија	5	7 (седам)
7	Физичка металургија заваривања	5	9 (девет)
8	Металургија заваривања	6	9 (девет)
9	Отпорност материјала	6	10 (десет)
10	Технологије заваривања и лемљења	6	10 (десет)
11	Заварљивост и сигурност заварених спојева	6	8 (осам)
12	Завршни испит	30	9 (девет)
13	Математичка обрада експерименталних података	5	6 (шест)
14	Енглески језик		10 (десет)
	Укупно ЕСПБ / средња оцена	94	8,62

Списак радова:

Категорија M22:

1. **Vukosavljević, A.,** Sedmak, A., Tadić, S., Perković, S., Radović, N., (2025). The effect of composition and heat treatment on impact toughness of Hadfield steel. *Technical Gazette*, 32, (IF2024=1,4) (ISSN 1330-3651(Print), ISSN 1848-6339 (Online)) (<https://doi.org/10.17559/TV-20250210002358> (online first)).
2. **Vukosavljević, A.,** Sedmak, A., Tadić, S., Perković, S., Radović, L.J., Radović, N., (2025). Influence of chemical composition and heat treatment on hardness and strength of a Hadfield steel, *Integritet i vek konstrukcija*, 25, 11 (IF2023=0,9) (ISSN 1451-3749) (<https://doi.org/10.69644/ivk-2025-01-0011>).

1.3. Оцена оспособљености кандидата за рад на предложеној теми

Комисија напомиње да је Александар Вукосављевић пре докторских академских студија успешно завршио основне и мастер академске студије из области заваривања на Металуршко-технолошком факултету Универзитета Црне Горе у Подгорици, где је добио одличну основу за целовиту анализу проблема са којима се сусреће у професионалној пракси и начинима њиховог решавања.

Са друге стране, будући да је целу професионалну каријеру провео у индустрији, кандидат поседује завидно искуство и знање када је реч о понашању различитих материјала али и готових производа у експлоатацији. Искуство из развоја нових производа у ФЕП је доказ оспособљености за истраживачки рад, како у лабораторијским, тако и индустријским условима, јер је често био суочен са потребом да се реше непознанице везане за примењене технологије и пратећа знања основних наука. На основу презентованих података и досадашње сарадње са кандидатом, Комисија сматра да именовани испуњава све потребне услове за рад на предложеној теми докторске дисертације.

2. Предмет и циљ истраживања

Циљ истраживања је испитивање утицаја хемијског састава и примењене термичке обраде на механичка својства високоманганских челика.

У првом делу ће бити испитано и упоређено експлоатационо понашање два комерцијална челика: (а) челик основног састава који садржи 1.20% С и 12% Мн- X120Mn12 (ČL.3160) и (б) челик основног састава са додатком 1% Cr - X120Mn12+Cr (ČL.3460). Након уобичајеног рада у млиновима, узорци ће бити вађени из млина после 1/4 радног века, 2/4 радног века, 3/4 радног века. После предвиђеног радног века биће упоређена њихова стања.

Други део дисертације ће бити усмерен на пројектовање четири различита хемијска састава ових челика и то: (1) Mn12, (2) Mn12, (3) Mn16 и (4) Mn16V. Челици (1) Mn12 и (2) Mn12 су у оквиру стандардног састава, али са садржајима угљеника и мангана који су у челику (1) на горњој граници садржаја по стандарду, а у челику (2) на доњој граници садржаја угљеника и мангана по стандарду. Челици (3) Mn16 и (4) Mn16V садрже 16%мангана, уз додатак 1% ванадијума у челику (4).

Сви челици ће бити подвргнути термичкој обради која се састоји од жарења на високим температурама, хлађења у води и накнадног отпуштања. За сваки од 4 челика, биће испитане микроструктура и механичка својства после сваке наведене фазе рада.

Литература:

1. Sabzi, M., Farzam, M. (2019). Hadfield manganese austenitic steel: a review of manufacturing processes and properties. *Materials Research Express*, 6, 1065. (<https://doi.org/10.1088/2053-1591/ab3ee3>)
2. ASM HANDBOOK, (1993). Vol.1, Properties and Selection: Irons, Steels, and High Performance Alloys Metals Park OH
3. ASM HANDBOOK (2014). Vol. 4D Heat Treating of Irons and Steels, Metals Park OH (1993)
4. Dieter, G. (1988). Mechanical Metallurgy, 3rd Edition, McGraw-Hill, London, ISBN: 978-0071004060
5. Hertzberg, R.W., (1996). Deformation and Fracture Mechanics of Engineering Materials, 4th Edition, John Wiley & Sons, New York, ISBN: 978-0470527801
6. Allende-Seco, R., Artigas, A., Bruna, H., Carvajal, L., Monsalve, A., & Sklate-Boja, M. F. (2021). Hardening by Transformation and Cold Working in a Hadfield Steel Cone Crusher Liner. *Metals*, 11(6), 961. (<https://doi.org/10.3390/met11060961>).
7. Zellagui, R., Hemmouche, L., Bouchafaa, H. et al. Effect of Heat Treatments on the Microstructure, Mechanical, Wear and Corrosion Resistance of Casted Hadfield Steel. *Inter Metalcast* 16, 2050–2064 (2022). (<https://doi.org/10.1007/s40962-021-00751-z>).
8. Gorlenko, D., Vdovin, K. & Feoktistov, N. (2016) Mechanisms of cast structure and stressed state formation in Hadfield steel. *China Foundry* **13**, 433–442 . (<https://doi.org/10.1007/s41230-016-6105-8>)
9. Efstathiou, C., Sehitoglu, H. (2010). Strain hardening and heterogeneous deformation during twinning in Hadfield steel. *Acta Materialia* 58(5), 1479-1488, (<https://doi.org/10.1016/j.actamat.2009.10.054>).
10. Jafarian, H.R., Sabzi, M., Mousavi Anijdan, S.H., Eivani, A.R. & Park, N. (2021). The influence of austenitization temperature on microstructural developments, mechanical properties, fracture mode and wear mechanism of Hadfield high manganese steel. *Journal of Materials Research and Technology*, 10, 819-831, (<https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2020.12.003>).
11. Adler, P.H., Olson, G.B. & Owen, W.S. Strain Hardening of Hadfield Manganese Steel. *Metall Trans A* 17, 1725–1737 (1986). (<https://doi.org/10.1007/BF02817271>).

12. Qian, L., Feng, X., Zhang, F., (2011.) Deformed Microstructure and Hardness of Hadfield High Manganese Steel, *Materials Transactions*, 52, 1623-1628, (<https://doi.org/10.2320/matertrans.M2011121>) .
13. Atabaki, M., Jafari, S. & Abdollah-pour, H. Abrasive Wear Behavior of High Chromium Cast Iron and Hadfield Steel—A Comparison. *J. Iron Steel Res. Int.* **19**, 43–50 (2012). ([https://doi.org/10.1016/S1006-706X\(12\)60086-7](https://doi.org/10.1016/S1006-706X(12)60086-7)) .
14. Ayadi, S. & Hadji, A. (2019), Effect of Heat Treatments on the Microstructure and Wear Resistance of a Modified Hadfield Steel, *Metallophysics and Advanced Technologies*, 41, 607–620 (<https://doi.org/10.15407/mfint.41.05.0607>).
15. Hadfield, R.A. Manufacturing of steel. United States patent No 200, 05.08.1882, Pg. 303
16. Mahlami, C.S., Pan, X., (2014), An Overview on high manganese steel casting. In Proceeding of the “71st World Foundry Congress: knowledge, innovation and future” Bilbao, Spain, May 19-21 (420-427) World Foundry Organization, Kington, UK. (ISBN: 978-1-63439-804-6).
17. Pribulova, A., Babic, J. and Baricova, D. (2011) Influence of Hadfield's steel chemical composition on its mechanical properties. *Chem. Listy* 105, s430-s432

3. Полазне хипотезе

Главни легирајући елемент у високолегираним челицима отпорним на хабање је манган. Главна карактеристика мангана у овим челицима је стабилизација (проширење) аустенитног подручја. Уобичајени садржај мангана у овим челицима је 12%. Тако се обезбеђује присуство аустенитне структуре (површински центрирана кубна решетка) на собној температури. Аустенит карактерише велики капацитет деформационог ојачавања, тј. пре почетка хабања ће у површинском слоју доћи до повећања тврдоће и одлагања почетка лома. Главни механизам деформационог ојачавања је растварајуће ојачавање, тј. атоми мангана су растворени у решетки железа, чиме се формира чврсти раствор.

Када се разматра побољшање отпорности на хабање, тежи се да се створе услови да се повећа степен деформације који претходи појави лома.

Повећање претходног степена деформације је могуће остварити на неки од следећих начина:

(а) повећањем садржаја мангана у челику. Овај начин производи два ефекта који повећавају брзину деформационог ојачавања и то као појачавање ефекта растварајућег ојачавања јер је већи број атома мангана препрека за кретање дислокација и смањење енергије грешке у редоследу (ЕГР). Манган је веома ефикасан у смањењу ЕГР, тако да се равнотежно растојање између парцијалних дислокација повећава, те је потребно веће спољно напрезање како би се парцијалне дислокације спојиле у јединичне и започеле своје кретање – деформацију.

(б) додатком (легирање) елемената који граде карбиде. У питању су елементи који имају велик афинитет према угљенику, пре свега хром и ванадијум. У току хлађења долази до појаве талоба – карбида наведених елемената. Карбиди се преферентно талобе на грешкама у структури као што су границе зрна, двојници, дислокације и сл. Тиме ове честице постају активне у процесу клизања дислокација, отежавају њихово кретање и иницирају повећање потребног спољног напрезања.

Наведени начини тако иницирају да се у радним коадима акумулира већа количина енергије потребна за деформацију, што има за последицу одлагање почетка процеса хабања, тј. продужење радног века, што је генерално увек најважнији захтев индустрије у овој области.

Термичка обрада ових челика обухвата загревање на високе температуре, хлађење великом брзином и накнадно загревање. Циљ прве фазе је да се на високим температурама формира хомогена аустенитна структура, хомогена по облику зрна и по саставу. Овако припремљен узорак се хлади великом брзином у води. Тако се практично замрзава структура са високих температура и обезбеђује пресићење чврстог раствора. (Напомена – у питању је трансформација „Каљење без фазне трансформације“ или према

старијој литератури „Гашење“). Само пресићење је покретачка сила за процес издвајања талоба. У овим челицима се пресићење односи на количине угљеника и хрома или ванадијума. У току накнадног загревања (отпуштања), таложене започиње фазом настанка клица карбида и њиховим даљим растом. Оба процеса су дифузионо контролисана, те се због природе зависност брзине стварања клица (нуклеације) тражи оптимална температура на којој је ова брзина највећа. За највећи ефекат таложног ојачавања је потребно да честице карбида буду што мање, тј. кохерентне и делимично кохерентне.

Поред промена у деформационом понашању, треба испитати и сам тренутак почетка лома при хабању. Сваки лом се састоји из две фазе: фазе настанка прслине и фазе раста прслине. Зато ће узорци свих састава и после сваке фазе бити испитани на инструментираним Шарпијевом клатну које омогућава квантификацију и раздвајање измерених енергија за сваку фазу лома.

4. Научне методе истраживања

Сви испитивани челици (шест различитих састава) ће бити одливени у индустријским условима. Узорци ће бити термички обрађени у индустријским условима: загревање на високе температуре и каљење у уљу. Отпуштање ће бити изведено и соним купатилима. Даља испитивања ће обухватити све групе хемијских састава и сва стања након термичке обраде (каљено, отпуштено).

- За микроструктурну анализу користиће се светлосни металографски микроскоп MeF3 са увећањима од 50 до 1000 пута и рачунарским системом за аквизицију података и софтвером за обраду слике.
- Затезне карактеристике ће се одређивати према захтевима стандарда SRPS EN ISO 5178.
- Енергија удара одређиваће се у складу са одредбама стандарда SRPS EN ISO 148-1 и SRPS EN ISO 9016. Испитивања ће се спровести на собној температури, на инструментираним Шарпи клатну називне енергије 300 J које поседује интегрисани систем за аквизицију података. На тај начин, размотриће се како и у којој мери примењени режим заваривања, односно параметри заваривања, утичу на отпорност завареног споја изложеног ударним оптерећењима.
- Испитивање тврдоће обавиће се према одредбама стандарда SRPS EN ISO 6507-1 и SRPS EN ISO 9015-1, на узорцима за микроструктурну анализу. Тврдоћа се мери методом Vickers HV1 и/или Бринел на уређају за мерење тврдоће Reichert .
- Испитивања на скенирајућем електронском микроскопу (CEM), спровешће се са циљем да се изврши анализа карактеристичних преломних површина испитиваних епрувета.

5. Очекивани научни допринос

Очекивани научни допринос ове дисертације су:

- Утврђивање утицаја додатка различитих легирајућих елемената (и њихових комбинација) на механичка својства високоманганских челика,
- Утврђивање утицаја примењене термичке обраде на механичка својства високоманганских челика,
- Утврђивање механизма лома и одређивање енергије настанка прслине и енергије раста прслине високоманганских челика, са идентификацијом критичне фазе лома,
- Утицај садржаја легирајућих елемената на величину енергије настанка прслине и енергије раста прслине високоманганских челика,
- Утврђивање утицаја садржаја легирајућих елемената на експлоатационо понашање чекића израђених од ових челика.

6. План истраживања и структура рада

У докторској дисертацији биће обрађена следећа поглавља: Увод, Претходна истраживања, Експериментални део, Резултати, Дискусија, Закључак, Литература.

У поглављу Увод биће приказани кратак осврт на подручје испитивања, дефинисани главни циљеви дисертације и предмет истраживања.

Поглавље Претходна истраживања обухватаће анализу досадашњих истраживања која се односе на:

- историјат и развој високоманганских челика,
- традиционалне саставе и својства високоманганских челика.

Поглавље Експериментални део односиће се на опис материјала, опреме, алата, ток експеримента, параметре процеса, методе и редослед испитивања високоманганских челика. Сва испитивања ће бити урађена у сагласности са примењивим стандардима.

У поглављу Резултати биће приказани оригинални резултати добијени у оквиру ове дисертације. Поглавље ће бити систематизовано у складу са поглављем Експериментални део и приказаће резултате карактеризације сваке серије узорака – испитивања микроструктуре, механичких својстава (чврстоћа, пластичност, тврдоћа, жилавост).

У поглављу Дискусија биће дискутовани добијени резултати испитивања структурних, механичких карактеристика са аспекта утицаја хемијског састава и параметара термичке обраде на механичка својства.

У Закључку ће бити сумирани добијени резултати.

У поглављу Литература биће наведене цитиране референце, укључујући и публикације проистекле из истраживања спроведених у оквиру ове дисертације.

7. Закључак и предлог

На основу прегледаног материјала и изнетих података, Комисија сматра да су предмет и циљеви докторске дисертације под насловом „Утицај хемијског састава и термичке обраде на механичка својства високоманганских челика“ кандидата Александра Вукосављевића, мастер. инж. металургије јасно дефинисани и имају научну заснованост. Истраживања која ће бити спроведена у оквиру ове дисертације припадају научној области Металуршко инжењерство за коју је Технолошко-металуршки факултет Универзитета у Београду матична установа. Стога Комисија предлаже Наставно-научном већу Технолошко-металуршког факултета да наведену тему прихвати и одобри израду ове докторске дисертације. Комисија за ментора предлаже др Ненада Радовића, редовног професора Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду.

У Београду,
25. јул 2025. године

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

.....
Др Драгомир Глишић, ванредни професор
Универзитет у Београду, Технолошко металуршки факултет

.....
Др Стефан Дикић, доцент
Универзитет у Београду, Технолошко металуршки факултет

.....
Др Александар Седмак, професор емеритус
Универзитет у Београду, Машински факултет