

Универзитет у Крагујевцу
Факултет инжењерских наука

ФАКУЛТЕТ ИНЖЕЊЕРСКИХ НАУКА			
УНИВЕРЗИТЕТ У КРАГУЈЕВЦУ			
ПРИМЉЕНО	06.03.2018		
Ор. бр.	бр. пр.	бр. пр.	бр. пр.
0111734			

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ ФАКУЛТЕТА ИНЖЕЊЕРСКИХ НАУКА

Предмет: Извештај Комисије за оцену писменог дела и усмену јавну одбрану докторске дисертације кандидата мр Милана Мутавцића, дипл. маш. инж.

Одлуком Наставно-научног већа Факултета инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу, број 01-1/107-9 од 22. 01. 2015. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата мр Милана Мутавцића, дипл. маш. инж. под насловом:

"Моделирање репаратурног и производног наваривања радних делова грађевинске механизације"

Одлуком Наставно научног већа Машинског факултета у Крагујевцу, бр. 01-1/453-1 од 19. 02. 2009. године одобрена му је израда докторске дисертације под насловом: "Моделирање репаратурног и производног наваривања радних делова грађевинске механизације".

На основу увида у приложену докторску дисертацију и Извештаја о подобности кандидата и теме за докторску дисертацију, која је одобрена за израду одлуком Наставно-научног већа Машинског факултета у Крагујевцу (сада Факултета инжењерских наука у Крагујевцу), бр. 01-1/453-1 од 19. 02. 2009. године, а на основу Правилника о пријави, изради и одбрани докторске дисертације Универзитета у Крагујевцу, Комисија подноси Наставно-научном већу следећи

ИЗВЕШТАЈ

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

Докторска дисертација кандидата мр Милана Мутавцића, дипл. маш. инж., под насловом "Моделирање репаратурног и производног наваривања радних делова грађевинске механизације", представља резултат научноистраживачког рада кандидата у актуелној научној области која се односи на теоријско-експериментално истраживање могућности моделирања репаратурног и производног наваривања радних делова грађевинске механизације. С обзиром на дате теоријске основе, лабораторијска и експлоатациона испитивања, те сопствене експерименте и добијене резултате, ова дисертација представља оригинални научни рад. Кандидат мр Милан Мутавцић, дипл. маш. инж., је најпре детаљно анализирао и систематизовао постојећа сазнања из ове области, а затим извео сложена лабораторијска испитивања и најзад дошао до научно заснованих закључака оверених путним испитивањима.

За истраживања процеса репаратурног и производног наваривања кандидат се определио у периоду интензивне изградње путева, руковођен готово подједнако техничко-технолошким и економским разлозима. У оквиру овог рада урађена је и детаљна техно-економска анализа оправданости примене процеса наваривања типичних радних делова грађевинске механизације. Указао је на то да се, правилним пројектовањем и применом оптималне технологије репаратурног или производног наваривања, могу постићи бројне предности у односу на устаљен поступак замене оштећених радних делова новим деловима. На основу добијених резултата истраживања и њихове техно-економске анализе, кандидат је показао да је правилно пројектовање оптималне технологије репаратуре уско повезано са излазним квалитетом и сложеном процедуром провере квалитета навара. Ова истраживања показују да се наваривање успешно може извести само у специјализованим радионицама, које располажу адекватном опремом, одговарајућим стручним кадром и независном контролом готових производа.

У овом раду кандидат истиче да статистичка истраживања показују да више од три четвртине радних делова грађевинских машина може бити репаратурно или производно наварено. Истраживања које је спровео аутор овог рада показала су да радни век наварених делова углавном достиже или чак превазилази век нових наварених делова. Исто тако се у овој дисертацији доказује да су трошкови наваривања нижи од трошкова куповине и складиштења нових резервних делова, док је време прекида због набавке нових делова дуже од времена за наваривање и уградњу репарираних делова.

Сва ова истраживања, резултати и закључци, могу подстаћи запослене у путној привреди да у својим базама оснују сопствене радионице за наваривање и тиме повећају продуктивност ангажоване грађевинске механизације. Ови мерљиви техно-економски учинци могу допринети да се технологија наваривања радних делова практично примени и на друге сличне машине и уређаје.

Примена правилно пројектоване технологије наваривања готово да искључује радове изазване силом прилика кад се догоди хаваријско оштећење изазвано због дужег чекања да стигне нов резервни део. Радови наваривања могу се извести благовремено чиме се спречава претерано хабање и хаварија радних делова.

2. Оцена да је урађена докторска дисертација резултат оригиналног научног рада кандидата у одговарајућој научној области

Комисија сматра да докторска дисертација кандидата мр Милана Мутавџића, дипл. маш. инж., под насловом "Моделирање репаратурног и производног наваривања радних делова грађевинске механизације", представља резултат оригиналног научног рада. Обрађена тема је веома актуелна и значајна за развој примењених наука у области теоријског и експерименталног истраживања репаратурног наваривања оштећених радних делова техничких система. Кандидат је стекао велико искуство у одржавању производних машина и уређаја, а школовањем је стекао добре теоријске основе из фундаменталних научних дисциплина релевантних за ова истраживања. Будући да је на практичном нивоу познавао већину метода контроле материјала, успео је да резултате ових контрола повеже и предложи процедуру репаратурних радова који дају технолошки прихватљив квалитет.

Све споменуто, омогућило је кандидату да предложи репаратурно и производно наваривање бројних радних делова грађевинских машина (утоваривача, ровокопача, дробилица и млинова за камен, мешалица за асфалт и др.) као производну праксу, узимајући у обзир детаљно изложене теоријске основе засноване на сазнањима из науке о материјалима и заваривању, термодинамике, металургије гвожђа и челика, трибологије и других научно-стручних дисциплина. Кандидат је поставио теоријске основе за потоња лабораторијска испитивања и различите врсте контрола наварених узорака. У целини гледано, дисертација садржи солидну теоријску подлогу, самостално изведене експерименте, као и обраду и оцену добијених резултата, коментаре неких феномена уочених у току испитивања, као и одговарајуће закључке, тако да ова дисертација у целини представља оригиналан и самосталан научни рад.

Захваљујући већ споменутом вишегодишњем искуству стеченом на одржавању грађевинских машина и помоћне опреме, кандидат је могао да уочи све недостатке досадашњег система одржавања, па је одлучио да предложи друкчији модел одржавања чији је иницијатор на глобалном нивоу био др Рене Васерман, истраживач и власник фирме *Castolin* (Швајцарска). Нов приступ у одржавању састоји се углавном у томе да се уместо лагеровања резервних делова репарирају делимично похабани делови. Зато је кандидат, први у овој области, овом циљу прилагодио предмет истраживања у овој дисертацији.

3. Биографски подаци и преглед остварених резултата рада кандидата

Милан Мутавић је рођен 04. 08. 1957. године у селу Дрен, општина Зубин Поток, Република Србија. Сада живи у Крагујевцу. Ожењен је и има двоје деце. У основну школу уписан је у родном месту, а завршио је у Грошници код Крагујевца 1972. године са одличним успехом. Средњу техничку школу-машински одсек, завршио је у Крагујевцу 1976. године са одличним успехом.

Машински факултет у Крагујевцу завршио је 1982. године на смеру за Производно машинство и организацију са просечном оценом 8,32. Дипломски рад под насловом *"Упоредни преглед особина спојева заварених ГПЗ и ТИГ поступком"*, одбранио је са оценом 10 (десет). Последипломске студије на Машинском факултету у Крагујевцу уписао је школске 1984/85. године. Положио је све предвиђене испите са просечном оценом 9.89 и стекао услов за израду магистарске тезе под насловом *"Репаратурно наваривање делова машина и уређаја грађевинске механизације"*, коју је успешно одбранио 2007. године.

После завршетка редовних студија, запошљава се у Фабрици "Застава-Аутомобили" – д.д. "21. Октобар" као њихов стипендиста. Ту је прошао кроз све развојне фазе, од приправника до директора "Сектора одржавања опреме". Током 1983. и 1984. године радио је у "Сектору технологије", као конструктор пресерских алата, затим алата за прераду пластичних маса, пнеуматских и хидрауличних уређаја и др. Од 1985. године радио је у "Сектору одржавања опреме" на радном месту самосталног инжењера за хидраулику и пнеуматику, а од 1986. године налази се на месту водећег инжењера за хидраулику и пнеуматику. Од 1988. године постављен је на радно место главног инжењера за одржавање опреме, а 1990. године постављен је на место начелника службе "Техничке припреме одржавања". Следеће 1991. године постављен је на место начелника службе "Технологије одржавања опреме". Од 1993-1995. године обављао је послове директора "Сектора за одржавање опреме".

Од 1995. године стално је запошљен у Д. П. за путеве "Крагујевац", на пословима руководиоца Р. Ј. "Сигнализација" (до 1997. године), а од 1997-2000. године радио је као руководилац Р. Ј. "Ремонт и Механизација". Од 2001-2008. године поново руководи Р. Ј. "Сигнализација". Од 2008-2012. године ради у новооснованом предузећу "Сигнализација пут" д.о.о. које послује у саставу "НИБЕНС" групације, на радном месту руководиоца производње.

Тренутно ради као предавач на Високој техничкој школа струковних студија из Урошевца са седиштем у Звечану, Република Србија. Предаје више предмета из области производних технологија, одржавања и трибологије.

У току досадашњег радног века, учествовао је у реализацији већег броја пројеката и до сада објавио 39 радова у научним часописима са рецензијом, као и у зборницима радова са домаћих и међународних научно-стручних скупова. Неколико радова је проглашено оригиналним научним радовима, а три рада су објављена на SCI листи категорије M23.

Рад у међународном часопису (M23)

1. Nedeljković, B., Babić, M., **Mutavdžić, M.**, Ratković, N., Aleksandrović, S., Nikolić, R., Lazić, V.: *Reparatory hard facing of the rotational device knives for terrain leveling*, Journal of the Balkan Tribological Association, ISSN 1310-4772, Vol. 16, No. 1, pp. 46-57, 2010.
2. Lazić, V., Sedmak, A., **Mutavdžić, M.**, Nedeljković, B., Nikolić, R., Aleksandrović, S., Nikolić, I.: *Theoretical and Experimental Estimation of the Working Life of Machine Parts Hard Faced with Austenite-Manganese Electrodes*, Materials and Technology, ISSN 1580-2949, Vol. 46, No. 5, pp. 547-554, 2012.
3. Lazić, V., Sedmak, A., Nikolić, R., **Mutavdžić, M.**, Aleksandrović, S., Krstić, B., Milosavljević, D.: *Selection of the most appropriate welding technology for hardfacing of bucket teeth*, Materials and Technology, ISSN 1580-2949, Vol. 49, No. 1, pp. 165-172, 2015. <http://mit.imt.si/Revija/izvodi/mit151/lazic.pdf>

Рад у часопису међународног значаја верификованог посебном одлуком (M24)

1. Nedeljković, B., Lazić, V., Aleksandrović, S., Krstić, B., **Mutavdžić, M.**, Milosavljević, D., Đorđević, M.: *Influence of the carbide type on tribological properties of the hard-faced layers*, Metalurgija – Journal of Metallurgy, ISSN 0354-6306; UDK 669, UDC: 661.665.2, Vol. 16, No. 2, 2010, pp. 77-90.
2. V. Lazić, D. Arsić, R. Nikolić, B. Hadzima, **M. Mutavdžić**, *Experimental determination of mechanical characteristics of four types of stones and their influence on the construction machinery parts wear*, Advanced Materials Research (Trans Tech Publications), ISSN 978-3-03835-452-9, Vol. 1100, pp. 178-184, Doi 10.4028/www.scientific.net/AMR.1100.178, 2015.

Саопштење са међународног скупа штампано у целини (M33)

1. Jovanović, M., Lazić, V., Ratković, N., Adamović, D., **Mutavdžić, M.**: *Estimate of wear resistance of the hard-faaced layers made by manganese electrode*, 11th International Scietific Conference 17-19. 09. 2003. University of Žilina, Slovak Republic, Proceedings, ISBN 80-8070-119-9, pp. 105-108.
2. Lazić, V., **Mutavdžić, M.**, Milosavljević, D., Aleksandrović, S., Nedeljković, B., Marinković, P., Čukić, R.: *Selection of the most appropriate technology of reparatory hardfacing of working parts on universal construction machinery*, SERBIA TRIB '11, Kragujevac, Serbia, 11-13 May 2011, Proceedings, ISBN: 978-86-86663-74-0, pp. 240-249.
3. **Mutavdžić, M.**, Lazić, V., Milosavljević, D., Aleksandrović, S., Nikolić, R., Čukić, R., Bogdanović, B., *Determination of the most proper tempering temperature in hard facing of the forging dies*, Proceedings of SEMDOK 2012, 17th International PhD. students' seminar, Žilina-Terchova, 25-27 january, 2012, Proceedings, ISBN 978-80-554-0477-6, pp. 46-49.
4. Lazić, V., **Mutavdžić, M.**, Nikolić, N., Aleksandrović, A., Milosavljević, D., Krstić, B., Čukić, R.: *Influence of various types of rock aggregates on selection of the working parts material in civil engineering*, 13th International Conference on Tribology, SERBIA TRIB 2013, Kragujevac, Serbia, 15-17 May 2013, Proceedings, ISBN: 978-86-86663-98-6, pp. 275-280.
5. Lazić, V., Nikolić, R., Aleksandrović, S., Arsić, D., Đorđević, M., **Mutavdžić, M.**: *Selection of the Optimal Reparation Technology for Working Parts Subjected to Abrasive Wear*, TRANSCOM 2013, 24-26 June 2013, University of Žilina, Žilina, Slovak Republic, Proceedings, ISBN 978-80-554-0694-7, pp. 93-96.

Рад у водећем часопису националног значаја (M51)

1. Lazić, V., Milosavljević, D., Aleksandrović, S., Marinković, P., Bogdanović, G., Nedeljković, B., **Mutavdžić, M.**: *Tribological investigations of hard-faced layers and base materials of forging dies with different kinds of lubricants applied*, Tribology in Industry, ISSN 0354-8996, Vol. 32, No. 4, 2010, pp. 36-44.

2. Lazić, V., Mutavdžić, M., Milosavljević, D., Aleksandrović, S., Nedeljković, B., Marinković, P., Čukić, R.: *Selection of the most appropriate technology of reparatory hard facing of working parts on universal construction machinery*, Tribology in industry, ISSN 0354-8996, Vol. 33, No. 1, 2011., pp. 18-27.
3. Mutavdžić, M., Lazić, V., Milosavljević, D., Aleksandrović, S., Nikolić, R., Čukić, R., Bogdanović, G.: *Determination of the optimal tempering temperature in hard facing of the forging dies*, Materials Engineering – Materialove inženierstvo (MEMI), ISSN 1335-0803, Vol. 19, No. 3, pp. 95-103, 2012.

Рад у часопису националног значаја (M52)

1. Јовановић, М., Лазих, В., Мутавцић М., Адамовић, Д.: *Избор оптималне технологије репаратуре зуба утоварне кашике*, Заваривање и заварене конструкције, YU ISSN 0354-7965, Оригинални научни рад, година L, Вол. 50, Но. 1-66, стр. 11-20, 2005.
2. Мутавцић, М., Лазих, В., Јовановић, М., Јосифовић, Д., Крстић, Б.: *Избор оптималне технологије репаратурног наваривања ударних греда ротационих дробилица*, Заваривање и заварене конструкције, YU ISSN 0354-7965, Оригинални научни рад, Вол. 52, Но. 2, стр. 55-67, 2007.
3. Lazić, V., Jovanović, M., Milosavljević, D., Mutavdžić, M., Čukić, R.: *Choosing of the most suitable technology of hard facing of mixer blades used in asphalt bases*, Tribology in Industry, ISSN 0354-8996, Vol. 30, October 2008, No. 1&2, pp. 3-10.
4. Mutavdžić, M., Čukić, R., Jovanović, M., Milosavljević, D., Lazić, V.: *Model investigations of the filler materials for regeneration of the damaged parts of the construction mechanisation*, Tribology in Industry, ISSN 0354-8996, Vol. 30, December 2008, No. 3&4, pp. 3-9.

Саопштење са скупа националног значаја штампано у целини (M63)

1. Лазих, В., Јовановић, М., Адамовић, Д., Мутавцић, М.: *Репаратурно наваривање алата за обраду земљишта изложених абразивном хабању*, Заваривање 2003., Међународна конференција, Београд, 2003., (рад изложен у целини и објављен на ЦД-у).
2. Лазих, М., Јовановић, Д., Адамовић, М., Мутавцић, М.: *Утицај врсте карбида на триболошке карактеристике наварених слојева*, Осма интернационална конференција о трибологији, 8-10 Октобар 2003, Зборник радова, ИСБН 86-80581-57-7, стр. 111-121.
3. Мутавцић, М., Јовановић, М., Лазих, В., Ратковић, Н., Адамовић, Д.: *Избор оптималне технологије репаратуре делова изложених хабању*, XI Југословенска конференција - Железничко машинство са међународним учешћем, ЖЕЛКОН '04, Ниш, 2004., Зборник радова, ИСБН 86-80587-41-9, стр. 277-282.
4. Јовановић, М., Лазих, В., Mutavdžić, M., Ratković, N., Adamović, D.: *Избор технологије репаратурног заваривања радних делова грађевинских машина изложених интензивном абразивном хабању*, YUTRIB' 05, Зборник радова, ИСБН 86-80581-78-X Крагујевац, стр. 810-819.
5. Мутавцић, М., Лазих, В., Јовановић, М., Адамовић, Д., Ратковић, Н.: *Утицај различитих врста стенских минерала на избор материјала радних делова грађевинске механизације*, YUTRIB' 05, Зборник радова, ИСБН 86-80581-78-X, Крагујевац, стр. 820-833.
6. Чукић, Р., Мутавцић, М., Лазих, В., Јовановић, М., Ратковић, Н.: *Техно-економски ефекти репаратурног и производног наваривања делова грађевинске механизације*, "Заваривање 2006", 26-29.04.2006., Златибор, (рад прихваћен у целини, презентираан на скупу-15 страница и објављен на ЦД-у, ИСБН 86-82585-08-1).
7. Мутавцић, М., Лазих, В., Јовановић, М., Јосифовић, Д., Крстић, Б.: *Избор оптималне технологије репаратурног наваривања ударних греда ротационих дробилица*, „Заваривање 2006“ 26-29.04.2006.; Златибор, (рад прихваћен у целини, презентираан на скупу-18 страница и објављен на ЦД-у, ИСБН 86-82585-08-1).

8. Лазић, В., Мутавцић, М., Јовановић, М., Адамовић, Д., Недић, Б.: *Производно наваривање лопатица мешалица асфалтних база*, "Заваривање 2006", 26-29. 04. 2006., Златибор, (рад прихваћен у целини, презентирани на скупу-17 страница и објављен на ЦД-у, ИСБН 86-82585-08-1).
9. Јовановић, М., Мутавцић, М., Лазић, В., Недић, Б. Адамовић, Д.: *Репаратурно наваривање ножева ротационог уређаја за равнање терена*, Заваривање 2006., 26-29. 04. 2006., Златибор., (рад прихваћен у целини, презентирани на скупу-13 страница и објављен на ЦД-у, ИСБН 86-82585-08-1).
10. Јовановић, М., Чукић, Р., Лазић, В., Ратковић, Н., Мутавцић, М.: *Техно-економска анализа репаратурног заваривања и наваривања оштећених зуба зупчаника*, Производно машинство, 2006., Крагујевац, Зборник радова, ИСБН 86-80581-92-5, стр. 217-224.
11. Мутавцић, М., Лазић, В., Јовановић, М., Чукић, Р., Ракић, С.: *Производно и репаратурно наваривање делова грађевинске механизације*, Производно машинство, 2006., Крагујевац, Зборник радова, ИСБН 86-80581-92-5, стр. 225-234.
12. Мутавцић, М., Јовановић, М., Лазић, В., Недић, Б., Ракић, С.: *Моделска испитивања додатних материјала намењених регенерацији оштећених делова железничке опреме*, XII Научно-стручна Конференција о Железници са међународним учешћем - ЖЕЛКОН '06, Ниш, Зборник радова, ИСБН 86-80587-59-1, стр. 321-324.
13. Чукић, Р., Лазић, В., Јовановић, М., Мутавцић, М., Ракић, С.: *Техно-економска оправданост репаратурног заваривања и наваривања различитих делова техничких система*, XII Научно-стручна Конференције о Железници са међународним учешћем - ЖЕЛКОН '06, Ниш, Зборник радова, ИСБН 86-80587-59-1, стр. 325-328.
14. Јовановић, М., Мутавцић, М., Лазић, В., Јовановић, М. Ратковић, Н., Чукић, Р.: *Триболошка испитивања наварених слојева радних делова грађевинске механизације*, СЕРБИЈА ТРИБ '07, Крагујевац, Зборник радова, ИСБН 978-86-86663-13-9, стр. 281-288.
15. Лазић, В., Јовановић, М., Мутавцић, М., Ратковић, Н., Чукић, Р.: *Избор најповољнијег додатног материјала за репаратурно и производно наваривање делова грађевинске механизације изложених јаком ударном абразивном хабању*, СЕРБИЈА ТРИБ '07, Крагујевац, Зборник радова, ИСБН 978-86-86663-13-9, стр. 273-280.
16. Чукић, Р., Лазић, В., Јовановић, М. Мутавцић, М., Ракић, С.: *Процена техно-економских ефеката остварених применом репаратурног и производног наваривања машинских делова*, СЕРБИЈА ТРИБ '07, Крагујевац, Зборник радова, ИСБН 978-86-86663-13-9, стр. 289-296.
17. Лазић, В., Јовановић, М., Ратковић, Н., Мутавцић, М.: *Примена напредних технологија наваривања при репаратури различитих делова машинских система*, Конференција одржавања "КОД - 2007", 27-30 Јун 2007., Тиват, Црна Гора, (рад прихваћен и објављен на CD-у).
18. Мутавцић, М., Чукић, Р., Јовановић, М., Лазић, В., Ђорђевић, Д.: *Моделска испитивања додатних материјала намењених регенерацији оштећених делова грађевинских машина*, 25 Саветовање са међународним учешћем "Заваривање 2008", Суботица. Рад усмено изложен, објављен у целости на ЦД-у (ред. бр. 97) и у Зборнику резимеа радова, стр. 130.
19. Чукић, Р., Мутавцић, М., Лазић, В., Јовановић, М., Ратковић, Н.: *Техно-економска оправданост репаратурног и производног наваривања делова велике масе*, 32 Саветовање производног машинства Србије 2008. са међународним учешћем, 18-20 септембар 2008, Нови Сад, Зборник радова, ИСБН: 978-86-7892-131-5, стр. 225-229.
20. Чукић, Р., Лазић, В., Јовановић, М., Мутавцић, М., Ратковић, Н.: *Техно-економски ефекти примене пуњених жица при наваривању делова железничке опреме*, XIII Научно-стручна конференција са међународним учешћем, ЖЕЛКОН '08, Ниш, 2008., Зборник радова, ИСБН 978-86-80587-78-3, стр. 323-326.

21. Лазиф, В., Јовановиф, М., Николиф, Р., Александровиф, С., Крстиф, Б., Мутавциф, М.: *Теоријско-експериментално одређивање брзине хлађења при наваривању ковачких алата и утицај те брзине на корисне особине навариваних алата*, 26 Саветовање са међународним учешћем ЗАВАРИВАЊЕ 2010, Тара. Рад усмено изложен, објављен у целости на CD-у (ред. бр. 54) и у Зборнику резимеа радова, стр. 81.
22. Лазиф, В., Мутавциф, М., Николиф, Р., Александровиф, С., Милосављевиф, Д.: *Теоријско-експериментална процена радног века наварених слојева изведених аустенитним манганским електродама*, XIV Научно-стручна конференција - ЖЕЛКОН 2010, Зборник радова, ИСБН 978-86-6055-007-3, стр. 317-320.

4. Оцена о испуњености обима и квалитета у односу на пријављену тему

Докторска дисертација кандидата мр Милана Мутавцића, дипл. маш. инж., под насловом **"Моделирање репаратурног и производног наваривања радних делова грађевинске механизације"**, усклађена је по обиму и садржају теми одобреној од стране Наставно-научног већа Факултета инжењерских наука и Стручног већа за техничко-технолошке науке Универзитета у Крагујевцу. Највећим делом дисертација је проистекла из сопствених истраживања аутора и обраде тако добијених резултата, одакле су произашли одговарајући закључци тако да су у целини испуњени сви научни, стручни и законски услови да ова дисертација буде прихваћена.

Докторска дисертација изложена је на укупно 340 страница текста формата А4, уз 18 уводних страница на којима су дати: Предговор, Извод аутора на српском и енглеском језику, Преглед коришћених ознака и скраћеница и Садржај. Текст дисертације илустрован је са 257 слика (цртежа, дијаграма, микроструктурних снимака, фотографија, схема и др.) и 90 таблица. На задњих осам страница наводи се списак од 200 библиографских јединица које су директно везане за област истраживања или су њој блиске. Дисертација се састоји из: Уводних напомена, 10 глава и Литературе.

Основни циљ дисертације је да се образложе и препоруче савремене методе обнављања (репаратуре) оштећених радних делова грађевинских машина као и делова других техничких система (пољопривредне механизације, рударске опреме и машина, транспортних средства и сличних машина итд.). Да би остварио постављени циљ, аутор је претходно детаљно разматрао процесе хабања, корозије и лома радних делова, односно њихових трајних оштећења. Даље је разматрао и предложио методе које се могу применити за репаратурно наваривање, производно наваривање или пак за дораду недоливених одливака. Аутор посебно разматра избор начина и процесних параметара наваривања што је пресудно за успешну репаратуру и смањење трошкова одржавања производне опреме. Како се то може остварити приказано је теоријским и експерименталним резултатима приказаним на страницама ове дисертације. Кандидат доказује да се репаратурним или производним наваривањем радних делова могу испунити тражени техничко-технолошки услови и да производни трошкови буду економски оправдани, односно нижи од куповине нових радних делова.

Сва истраживања кандидат је изводио у време кад је изградња и поправка путева била у пуном замаху, па је тежио да се у сваком случају застој грађевинских машина сведе на минимум. Стога је аутор овог рада одлучио да приступи истраживањима којима ће доћи до најповољније технологије репаратуре која даје радне површине захтеваног квалитета уз минималне трошкове.

Више пута, кандидат у дисертацији наглашава да избор методе наваривања зависи од хемијских, механичких и термофизичких особина основног материјала и избора додатног материјала тј. електрода. Оцену заварљивости основног материјала кандидат је донео на основу уобичајених процедура описаних у првом делу овог рада. Особине навара у бројним експериментима на моделима провераване су мерењем микротврдоће, снимањем микроструктуре и триболошким тестовима. Резултате добијене на навареним моделима докторанд је искористио да успостави везу између процесних параметара наваривања и

карактеристичних особина навара (микроструктуре, микротврдоће, отпорности на хабање као и отпорности на ударно оптерећење). Провера да ли навар одговара одабраном критеријуму квалитета може се извести различитим методама. Стога се у овој дисертацији истиче да се до оптималне технологије наваривања може доћи на основу резултата испитивања физичких модела, праћења хабања наварених делова у експлоатационим условима и адекватном контролом, како наварених модела тако и радних предмета.

Стога је кандидат спровео и путна испитивања на машинама које су биле радно ангажоване на изради путева и у неким руралним деловима Србије. У одређеним временским интервалима, аутор овог рада повремено је заустављао машине, скидао радне делове и контролисао их визуелно или мерењем на прецизној ваги. Друкчије речено, до оваквих резултата могао је да дође само истраживач који је претходно стекао солидно познавање фундаменталних наука, јер је дуго година као инжењер радио на одржавању техничких система. Захваљујући томе могао је да планира експерименте и обави лабораторијска и експлоатациона истраживања. Даље је могао да критички анализира и статистички обради добијене резултате и да успостави корелацију између карактеристика навара и њихове отпорности на хабање.

Радни делови грађевинских машина углавном се израђују од угљеничних и легираних челика или ливеног гвожђа. За ове легуре хемијски састав и механичке особине даје произвођач, а неке специфичне карактеристике одређиване су накнадно. Насупрот томе, за камен, као основни грађевински материјал за насипање путева, кандидат је одредио петрографске, физичке и механичке особине, као и технолошка својства.

Обимна теоријска и експериментална истраживања спроведена у овом раду, указују на то да за успешну репаратуру делова техничких система није довољно располагати само савременом опремом и додатним материјалима, већ су неопходни и специјализовани тимови стручњака различитих професија (технолози, металурзи, добро обучени заваривачи и др.). Правилним избором методе и технологије наваривања може се обавити успешна репаратура највећег броја радних делова тако да квалитет наварених делова не заостаје за квалитетом нових делова; при томе се постижу велике уштеде на одржавању машина, јер се продужава њихов радни век и смањују губици услед застоја за време експлоатације. На ту чињеницу указује се више пута у експерименталном делу овог рада.

Као што је напоменуто, овај рад чини десет тематских целина, односно поглавља, тако разврстаних да буду међусобно повезана, да представљају једну нераскидиву целину. Сходно томе, наведена поглавља су сложена према следећем редоследу:

1. Основни узрочници оштећења елемената техничких система;
2. Савремене технологије наношења металних превлака;
3. Оцена заварљивости различитих врста челика;
4. Додатни материјал за наваривање;
5. Топлотни биланс при наваривању
6. Фазне промене у чврстом стању при наваривању челика;
7. Термичка обрада наварених спојева;
8. Напони и деформације у навареним спојевима;
9. Експериментална истраживања;
10. Закључна разматрања.

На почетку сваког поглавља дат је кратак увод у проблематику која се обрађује, а на крају сваког поглавља дат је кратак коментар добијених резултата.

Прво поглавље односи се на основне узрочнике хабања и оштећења радних елемената; разматрају се триболошки процеси, процеси корозије и појава лома. Без обзира што

триболошки процеси и процеси корозије у крајњем случају доводе до лома делова техничких система, посебно је обрађена појава лома, будући да крти лом може настати и без утицаја ових процеса. Такође, наводе се неке мере за смањење хабања и корозије како би радни век елемената техничког система био што дужи.

Друго поглавље садржи основне појмове о наношењу металних превлака методима наваривања и метализације. Наведени су основни начини наваривања и метализације, као и њихове предности и мане. Иако је указано на велики значај примене поступака наношења металних превлака, детаљније је обрађена примена традиционалних метода наваривања топљењем, док су поступци метализације и тзв. напредни поступци наваривања само укратко поменути.

Треће поглавље се односи на оцену заварљивости разних врста челика. Објашњена је подела и значај овог комплексног технолошког својства метала при извођењу заваривачких радова. Објашњена је појава преласка челика у крто стање и штетне последице које због тога могу настати, као и опасност од појаве различитих врста грешака при наваривању. Појава различитих врста прслина при наваривању и њихов утицај на појаву кртог лома посебно су објашњени. У неопходној мери разматране су методе за оцену заварљивости појединих врста челика, а посебно се то односи на условно заварљиве челике, као што су високоугљенични, високолегирани и челици повишене јачине.

Четврто поглавље је посвећено додатним материјалима за наваривање и поступак њиховог избора за наваривање различитих елемената техничких система од којих се захтева добра отпорност на различите врсте хабања, корозије и крт лом. Детаљно је разматран утицај појединих хемијских елемената садржаних у челику, а нарочито утицај угљеника и легирајућих елемената. Посебно су истакнути карбидотворни елементи и значај карбида на отпорност челика према различитим процесима хабања, корозије и појави и ширењу прслина.

Пето поглавље односи се на топлотни биланс при наваривању. Дати су основни начини провођења топлоте и математичке једначине провођења топлоте за различите случајеве наваривања, при чему је посебно размотрен општи случај почетних и граничних услова температурског поља. Исто тако, обрађене су и различите методе за решавање диференцијалне једначине провођења топлоте, при чему је за различите случајеве детаљније обрађена аналитичка метода. Примена аналогних, нумеричких и експерименталних метода, објашњена је само у мери неопходној за израду овог рада. Дате су емпиријске формуле за прорачун карактеристичних величина температурског циклуса при наваривању, као што су максимална температура и максимално време загревања, време задржавања на критичној температури као и времена хлађења $t_{8/5}$ у температурском интервалу најмање стабилности аустенита од 800-500°C. Време хлађења $t_{8/5}$ одређује се помоћу различитих емпиријских формула, а проверавано је експериментално, па је зато дат кратак осврт на најчешће коришћене формуле. Значај одређивања времена хлађења $t_{8/5}$ и његово уношење у одговарајуће дијаграме континуалног хлађења у условима наваривања посебно је потенциран. Применом ових математичких формула и моделирања параметара наваривања, омогућена је процена новонасталих фазних структура и њихових својстава при наваривању, и обрнуто, могуће је одредити оптималне параметре наваривања у циљу добијања оптималне структуре. Кандидат је експериментално проверавао време $t_{8/5}$ помоћу термопарова, односно снимљених температурских циклуса.

Шесто поглавље описује фазне промене у чврстом стању при наваривању челика. Поред основних појмова науке о материјалима и трансформацијама аустенита, које се одвијају у чврстом раствору легура гвожђа, анализирани су и фазне трансформације које се добијају при наваривању неких обојених метала. Исто тако, приказане су и различите врсте трансформационих дијаграма, утицај различитих хемијских елемената на њихов облик, као и значај контролисаних промена потхлађеног аустенита при заваривању и наваривању.

Седмо поглавље описује термичку обраду која прати или се посебно изводи при наваривању. Разматране су претходна, текућа и накнадна термичка обрада, као и примена различитих технологија наваривања у циљу побољшања заварљивости и смањења сопствених напона и деформација у навареним спојевима. Посебно је обрађена накнадна термичка обрада,

која се најчешће примењује при наваривању, са освртом на структурне промене у челику, и њихов утицај на новонасталу структуру. Детаљно су описане промене које се одвијају у нелегираним и легираним челицима при отпуштању. Објашњен је феномен појаве отпусне кртости код легираних челика.

Осмо поглавље односи се на појаву напонско-деформацијског стања при наваривању челика, појаву сопствених структурних и термичких напона и различите методе за одређивање напонско-деформацијског стања. Детаљно је објашњено математичко дефинисање напонско-деформацијског стања уз помоћ основних једначина термоеластичности и термопластичности. Укратко су описане различите експерименталне методе за одређивање напона и деформација. Посебно се истиче утицај поступка наваривања на сопствене напоне и деформације и друге пратеће појаве које погоршавају својства навареног споја. Издвојене су и методе за снижење нивоа заосталих напона и трајних деформација код наварених спојева.

Девето поглавље је најобимнији део овог рада у коме су приказана обављена експериментална истраживања изведена да би се одредила оптимална технологија наваривања, која је даље коришћена за компарацију аналитичких, нумеричких и експерименталних резултата. При извођењу експеримената коришћени су различити мерни уређаји, односно мерни ланци. Да би добијени резултати експерименталних истраживања били што поузданији, сва лабораторијска испитивања на физичким моделима прилагођена су условима блиским експлоатационим. Избор технологије наваривања је произашао из резултата експерименталних испитивања на моделима после већег броја варирања процесних параметара у одређеним границама. Затим је оптимална технологија „пренета“ на реалне радне делове грађевинских машина, где су ови узорци практично проверавани при реалним радним условима. Наварени радни делови су монтирани на грађевинске машине, затим периодично контролисани с циљем да се у току времена експлоатације прати њихово хабање. Основни критеријум за оцену примењене технологије је била отпорност ових радних делова на различите процесе хабања, корозију и појаву лома.

Десето поглавље садржи већи број закључака проистеклих из обимних теоријских и експерименталних истраживања, као и неке смернице за даља истраживања из ове области. Дат је критички осврт на досадашње резултате истраживања, као и на проистекле закључке.

У задњем поглављу (Литература) дат је приказ библиографских јединица коришћених у овом раду.

5. Научни резултати докторске дисертације

Кандидат мр Милан Мутавцић, дипл. маш. инж., је у оквиру ове докторске дисертације извршио систематизацију постојећих знања и искустава у области теоријског и експерименталног истраживања репаратурног и производног наваривања, како радних делова грађевинске механизације, тако и других машинских делова. У току израде предметне дисертације, кандидат је дошао до резултата и закључака који имају своје место и значај како у научно-теоријском, тако и у практичном смислу. Најважнији научни резултати докторске дисертације су:

- Могућа је поправка радних делова машина и опреме уместо куповине нових резервних делова, али је за успешну репаратуру неопходно претходно одредити оптималну технологију наваривања на физичким моделима;
- Бољи квалитет наварених спојева постиже се коришћењем процесних параметара који дају мањи унос топлоте у основни материјал;
- На тврдоћу навара, поред примењене технологије наваривања и својстава додатног материјала, утичу и својства основног материјала, а тај утицај зависи и од степена мешања ова два материјала;

- Мерењем микротврдоће вишеслојних навара утврђено је да тврдоћа последњег слоја надмашује тврдоћу претходно нанетих слојева услед спонтаног отпуштања због уноса топлоте при наношењу наредних слојева;
- При наваривању угљеничних челика са већим садржајем угљеника и легираних челика, тврдоћа у зони утицаја топлоте је знатно већа него при наваривању нискоугљеничних челика;
- Температурски циклус при наваривању директно утиче на изазна својства навара;
- Утврђено је да су радни делови грађевинских машина, који долазе у директни контакт са грађевинским материјалима, у највећој мери изложени процесима абразивног хабања затвореног и отвореног типа;
- На основу резултата триболошких испитивања, произлази да чак и нови делови грађевинских машина израђени од специјалних легираних челика, немају бољу отпорност на поједине врсте хабања, него наварени радни делови;
- На конкретним примерима је показано да је интензитет абразивног хабања по затвореном моделу најмање три пута већи од интензитета абразивног хабања по отвореном моделу;
- Бољу отпорност на абразивно хабање по затвореном моделу показали су легирани челици аустенитне структуре у коју су равномерно утиснути карбиди (у релативно меку металну основу), него додатни материјали који дају наваре мартензитне структуре са утиснутим карбидима, а разлог за то треба тражити у већој јачини адхезионих веза карбида и аустенита него карбида и мартензита;
- Бољу отпорност на абразивно хабање по отвореном моделу показали су додатни материјали који дају наваре велике тврдоће, као и довољно добре жилавости;
- Наношење пластичног (пуферног) међуслоја од аустенитних додатних материјала показало је своју пуну оправданост, јер се тиме превазилазе разлике хемијског састава основног и додатног материјала, што умањује степен мешања основног и додатног материјала, смањује ниво заосталих напона, умањује корозија на граници основног и додатног материјала, што додатно доприноси економској исплативости примене наваривања;
- Анализом добијених резултата, утврђена је техно-економска предност примене репаратурног или производног наваривања радних делова грађевинске механизације, уместо устаљене праксе замене оштећених радних делова новим деловима;
- На различитим радним елементима машина, показано је да квалитет наварених радних делова не заостаје за квалитетом ненаварених нових радних делова, што се одражава на дужи радни век наварених него нових делова и економску исплативост;
- Смањени су трошкови набавке и складиштења нових резервних делова, смањени застоји услед отказа и повећана је продуктивност рада грађевинске механизације;
- У неким случајевима пожељно је и додатно наваривање делимично нанетим наварама, чиме се постижу не само економски, већ и техничко-технолошки ефекти;
- На једним те истим оштећеним радним деловима грађевинских машина, могуће је извести вишеструку репаратуру наваривањем, ако се овом послу приступи правовремено;
- Изузетно је битно да се репаратурно наваривање неког радног дела грађевинске механизације изведе на време, тј. када је губитак материјала услед триболошких процеса у дозвољеним границама, јер се у противном радни део мора одбацити;
- Репаратурно наваривање уникатних радних делова машина, а то су најчешће делови веће масе, мора да се изведе и када цена репаратуре надмашује цену набавке новог дела, јер се због тог дела може зауставити цео производни процес, што је неупоредиво штетније од трошкова репаратуре.

Ова веома обимна и скупа истраживања су била неопходна да би се установила јединствена методологија репаратурног или производног наваривања различитих делова грађевинских машина и опреме, омогућио правилан избор и провера квалитета препоручених

основних и додатних материјала, уочиле и свеле на најмању меру неке негативне појаве, да би се скратило време застоја услед отказа, подигао степен поузданости и продуктивности, остварили бољи економски ефекти при одржавању машина за време експлоатације и сагледале могућности примене наваривања при изradi или репаратури других техничких система.

После овде приказаних теоријских и експерименталних истраживања процеса наваривања на моделима и реалним радним деловима, може се закључити, да се дошло до значајних оригиналних резултата и техничких решења, која се могу применити не само на путарским машинама, већ и на сличним техничким системима који раде у другим условима, уз поштовање неких специфичности. Међутим, да би репаратурно наваривање оштећених делова техничких система било успешно, мора се прописати и поштовати прецизна процедура (модел репаратуре), јер само тада се могу очекивати позитивни техно-економски ефекти. Да би се то постигло неопходно је да се овом проблематиком баве стручњаци техничке и економске струке, којима је ово главно, а никако успутно занимање. Такође, неопходно је оформити и специјализоване радионице опремљене савременим заваривачким уређајима, додатним материјалима и другом пратећом опремом. Сваки други приступ овој проблематици, неће довести до жељених позитивних техно-економских ефеката, већ може само створити додатне проблеме и непотребне трошкове који прате сваку импровизацију.

6. Применљивост и корисност резултата у теорији и пракси

У теоријском делу овог рада дата су општа, а где је било неопходно и детаљна објашњења која су значајна за ову проблематику. Општа објашњења су дата ради лакшег разумевања основних појмова и појава, а детаљна објашњења појединих појава имају за циљ да послуже као основа за боље разумевање при анализи добијених резултата експерименталних истраживања. Значај теоријског дела овог рада састоји се у следећем:

- систематизован је преглед најновијих научних сазнања из ове области;
- детаљно је дат опис физичко-хемијских појава и основних узрочника оштећења делова техничких система;
- дат је преглед метода наваривања, препоручена примена, предности и недостаци појединих метода на основу топлотног биланса при наваривању;
- објашњене су фазне промене у чврстом стању специфичне за наваривање челика, дати су одговарајући трансформациони дијаграми, указано је на њихов значај и примену;
- дати су основни појмови о заварљивости и кртости челика, описан је механизам појаве и ширења различитих врста прслина и препоручене су мере да се оне спрече или успори њихово ширење;
- показан је начин правилног избора додатних материјала за наваривање из аспекта отпорности на поједине врсте хабања, корозију и појаву кртог лома, као и утицај новостворених карбида на својства навара;
- описано је прелазно и заостало напонско-деформационо стање при наваривању, дат математички модел настанка напона и деформација, указано је на утицај метода и параметара наваривања на величину заосталих напона и деформација, као и препоруке за њихово смањење;
- указано је на значај примене претходне и накнадне термичке обраде при наваривању закаљивих челика, а посебно на утицај жарења и отпуштања на својства наварених челика и опасности од појаве отпусне кртости код неких легираних челика.

Ова теоријска разматрања служе као основа за разјашњење појединих феномена који се при експериментима појављују и анализирају. Посебан је значај теоријског дела овог рада пошто су приказана најновија сазнања из ове области која су често недоступна инжењерима који почињу да се баве овим пословима.

Највећи део експерименталних истраживања односи се на проблематику репаратурног наваривања делова грађевинских машина који су током експлоатације у директном контакту са грађевинским материјалима, а најчешће са стенским материјалима. Такође је разматрана могућност и ефекти производног наваривања неких радних делова који су изложени интензивном хабању, корозији и ударним оптерећењима. Ови делови изложени су повременим или сталним ударним оптерећењима, па челик од којег су ови делови направљени, треба да задржи добра механичка својства, да буде отпоран на хабање и корозију. Зато се првенствено користе легирани челици, који су условно заварљиви, што отежава њихову регенерацију поступцима наваривања, па је свака репаратура наваривањем уникатан посао и захтева посебну технологију прилагођену сваком радном делу. И поред тога, могуће је моделирати општу процедуру која се мора поштовати да би се обавила успешна репаратура радних елемената. Моделирање опште процедуре репаратурног наваривања радних делова грађевинских машина захтевало је извођење бројних експерименталних истраживања на моделима и у реалним условима. Експериментална истраживања су извођена на већем броју различитих врста челика (Č0361, Č4732, Č4830, ČL3134, ČL4150, ČL3160, ČL3460 и тсл.) од којих се најчешће израђују радни делови наведених машина. Као додатни материјали највише су коришћене различите врсте висококвалитетних електрода (INOX В 18/8/6, ABRADUR 58, CrWC 600, E DUR 600, E Mn 14, E Mn 17 Cr 13). Да би се успоставила општа процедура репаратуре, обављено је наваривање већег броја реалних делова, али су у овом раду детаљно приказани резултати експерименталних испитивања само за неколико карактеристичних примера, који представљају репрезентативне узорке за поједине врсте хабања уочене током теренског рада грађевинских машина.

Експериментална испитивања камена и наваривања на моделима и реалним деловима омогућила су да се:

- одреде нека, првенствено физичка и механичка, својства стенских материјала која су допринела правилном избору додатних материјала за репаратурно и производно наваривање делова грађевинских машина;
- одреди оптимална технологија наваривања радних делова изложених различитим врстама хабања;
- дефинише модел за избор оптималне технологије наваривања за групу делова изложених истој врсти хабања и израђених од материјала сличних својстава;

Такође се дошло до следећих закључака:

- наваривањем различитих основних материјала са применом разних електрода постиже се бољи квалитет навара ако се процесни параметри изабере тако да унос топлоте буде мањи;
- измерена микротврдоћа чистог метала навара на већем броју модела била је нешто већа од оних које се дају у каталозима произвођача додатних материјала; посебно се то показало код навара од електрода које садрже легирајуће елементе склоне ка формирању комплексних карбида;
- код вишеслојних навара тврдоћа задњег слоја навара нешто је већа од тврдоће претходних слојева, јер код задњег слоја изостаје отпуштање услед деловања топлоте наредног слоја;
- на микроструктуру појединих зона навара може се утицати технолошким мерама да би та структура била најотпорнија према врсти хабања, што је проверавано како триболошким тестом, тако и каснијим испитивањем на терену;
- при избору технологије наваривања код већине челика мора се водити рачуна о критичној брзини хлађења, односно времену хлађења при температури најмање стабилности аустенита ($t_{8/5}$), јер се само тада могу добити навари тражених својстава. Због тога поуздано утврђивање времена хлађења јесте први услов који омогућава да се технолошким мерама добију навари који најбоље одговарају радним условима;

- заварљивост челика може се довољно тачно проценити и на основу критичне брзине хлађења и одговарајућих трансформационих дијаграма за дати челик без сложеног и скупог поступка снимања температурских циклуса. Овим је потврђен значај трансформационих дијаграма за одређивање заварљивости одређеног челика;
- на основу обављених триболошких испитивања може се одредити отпорност на хабање основног материјала, зоне утицаја топлоте и навара. Експерименти обављени у циљу одређивања коефицијента трења и ширине трага хабања у условима подмазивања на узорцима различитих микротврдоћа и микроструктура, наводе на основни закључак да повећање тврдоће узорка, коефицијент трења расте, а ширина трага хабања опада. Циљ ових истраживања није био провера квалитета различитих врста мазива, већ само провера отпорности на хабање различитих навара у најнеповољнијим условима (најмањи ефекат подмазивања), а да при томе не дође до заривања;
- испитивањем отпорности на хабање навара добијених електродама - E DUR 600 и E Mn17Cr13 показано је да се при крају триболошких тестова јавља интензивније хабање и карактеристично адхезионо хабање (микроставивање и чупање материјала); разлог за ову појаву је највероватније сличност кристалних решетки испитиваних материјала (блокова и дискова). Ова појава наводи на закључак да на триболошке процесе, поред осталих утицајних фактора, битно делује и кристална грађа материјала. Увидом у бинарне равнотежне фазне дијаграме одговарајућих легура могуће је проценити триболошка својства спрегнутих металних парова;
- експериментално се може потврдити феномен плитког отврдњавања шина и плоча од манганских аустенитних челика насталог дејством ударних оптерећења; у приповршинским слојевима настају пластичне деформације које проузрокују трансформацију аустенита у мартензит, односно повећање отпорности на хабање. Прецизним мерењем промене тврдоће приповршинског слоја утврђено је да се ширина трансформисане зоне код различитих манганских челика креће од 0,5 - 1,2 *mm*;
- на основу добијених резултата испитивања отпорности на хабање различитих материјала у реалним радним условима (критеријум губитка масе) може се потврдити оправданост примене наваривања, будући да је установљен мањи губитак масе навара него основног материјала. На овај начин је потврђено да примењене технологије наваривања дају добре резултате при испитивању на моделима. То наводи на закључак да се избором одговарајућег додатног материјала и одговарајуће технологије наваривања може добити боља отпорност на хабање наварених површина него нових делова од специјалних челика;
- исти материјали добре отпорности на хабање при триболошком испитивању на моделима понашају се различито у реалним радним условима; у питању су друкчији механизми хабања, па и различита отпорност на хабање. Тако на пример, када је реч о абразивном хабању један те исти материјал навара показао је добру отпорност на абразивно хабање тзв. отвореног типа, док је при абразивном хабању тзв. затвореног типа показао мању отпорност. То наводи на закључак да је свако наваривање делова уникатан посао и да не постоји универзалан додатни материјал и технологија наваривања, већ је неопходно технологију прилагодити сваком радном предмету и реалним радним условима. Само се тако може извести успешно репаратурно или производно наваривање;
- на конкретним примерима, позитивни ефекти наваривања могу се постићи не само правилно одабраном технологијом, већ и техником полагања навара. Добри ефекти постижу се делимичним наваривањем радних површина, што је повољно како са техничко-технолошког аспекта, тако и из економских разлога (мањи утрошак додатног материјала);
- на конкретном примеру, наваривања зуба утоварне кашике, утврђено је да је интензитет абразивног хабања по тзв. затвореном моделу најмање три пута већи у односу на интензитет хабања по тзв. отвореном моделу. Такође, за наваривање делова изложених

првопоменутом моделу абразивног хабања боље резултате су показали додатни материјали који садрже укљичене комплексне карбиде, а имају мању тврдоћу, док су за наваривање делова изложених абразивном хабању отвореног модела добру отпорност показали и додатни материјали који дају тврђе наваре. Уопштено, при наваривању радних делова изложених абразивном хабању добру отпорност показују структуре са утиснутима карбидима у металну матрицу. Нешто бољу отпорност на абразивно хабање има аустенитна него мартензитна матрица. Разлог треба тражити у јачини међусобних веза карбида и околне металне основе;

- применом пуферног пластичног међуслоја од аустенитних електрода побољшава се заварљивост испитиваних материјала из групе условно заварљивих челика; тиме се спречава велико мешање основног и додатног материјала, смањује ниво заосталих напона и утиче на економске ефекте наваривања радних делова. На већем броју примера указано је да репаратурно наваривање уз примену термичке обраде има смисла ако је услед процеса хабања дошло до 10% губитка масе материјала, а ако није неопходна термичка обрада онда је економски исплативо наваривањем нанети (надокнадити) и до 20% изгубљеног материјала. Наношењем пуферног међуслоја може се избећи скупа термичка обрада, чиме се постижу уштеде и при репаратурном наваривању делова са већим губитком масе. Посебне уштеде се постижу при наваривању дебљих предмета, када се комбиновано полажу међуслојеви и слојеви навара велике отпорности на хабање;
- нешто веће уштеде постижу се репаратурним него производним наваривањем; највећи економски ефекти постижу се при вишеструком наваривању. На основу резултата ових истраживања повољни економски ефекти постижу се при наваривању зуба утоварне кашике, јер су трошкови репаратуре нижи од трошкова складиштења и чувања резервних делова. Код лопатица мешалице за производњу асфалта, економски ефекти су нижи због трошкова термичке обраде (предгревања и догревања), тако да је репаратура лопатица исплатива само ако је губитак масе до 10%. Код ударних греда дробилица за камен постижу се одлични економски ефекти при репаратурном наваривању, јер трошкови репаратуре једног сета од четири ударне греде не прелазе трошкове набавке само једне нове ударне греде. Ове уштеде се односе само на разлику цене нових делова и трошкова наваривања, а када се узму у обзир и дужи радни век наварених делова и смањење застоја у производњи, посебно код процесне опреме као што су постројења за производњу асфалта и камена, економски ефекти су вишеструко већи. Такође, могућност вишеструког наваривања истих делова грађевинских машина доприноси додатном повећању економских ефеката, односно директне и индиректне користи примене одговарајуће технологије наваривања при одржавању грађевинске механизације.

Теоријска и експериментална истраживања дата у овом раду неоспорно ће допринети даљем развоју и већој примени репаратурног и производног наваривања, ефикаснијем одржавању грађевинске механизације као и формирању базе података која ће корисно послужити за моделирање ових процеса и за одржавање других техничких система.

7. Начин презентирања резултата научној јавности

Највећи део научних резултата, произашлих у оквиру ове дисертације, делимично је већ верификован објављивањем већег броја научно-стручних радова у међународним и водећим националним научним часописима, као и на међународним и националним научним скуповима.

Комисија сматра да истраживања и још необјављени резултати ове докторске дисертације пружају обиман и користан материјал за даље објављивање у међународним и водећим националним часописима и скуповима, који се односе на секундарну прераду метала и легура, тј. на производне технологије.

На основу свега изложеног Комисија доноси следећи:

ЗАКЉУЧАК

Докторска дисертација кандидата мр Милана Мутавџића, дипл. маш. инж., у потпуности, како по обиму тако и по квалитету, одговара теми пријављене дисертације, одобрене одлуком бр. 01-1/453-1 од 19. 02. 2009. године, од стране Наставно-научног већа Машинског факултета у Крагујевцу (сада Факултета инжењерских наука у Крагујевцу).

Кандидат је у приказу истраживања користио уобичајену и стандардизовану стручну терминологију, а структура докторске дисертације и методологија излагања су у складу са универзитетским нормама.

За време израде докторске дисертације, кандидат мр Милан Мутавџић, дипл. маш. инж., је дошао до већег броја оригиналних резултата, приказаних у дисертацији, који представљају значајан допринос области која се односи на теоријско и експериментално истраживање могућности репаратурног и производног наваривања радних делова грађевинске механизације. Дobar део тих резултата је објављен у радовима аутора наведеним у оквиру овог Извештаја.

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

Опсежна теоријска и експериментална истраживања у овом раду изведена су с циљем да се дође до јединствене методологије наваривања различитих делова грађевинских машина, побољшања постојећих технологија, правилног избора и провере квалитета препоручених додатних материјала, скраћивања времена застоја машина, постизања бољих економских ефеката при одржавању, умањења неких неповољних пратећих феномена при наваривању, сагледавања могућности примене овде предложених модела као основе за репаратурно наваривање и других елемената радних или производних машина.

После обимних експерименталних истраживања производног и репаратурног наваривања, на моделима и на већем броју стварних радних делова грађевинских машина, може се закључити да је докторанд дошао до значајних оригиналних резултата и решења која се могу применити не само на машинама које раде у путној привреди, већ и на механизацији која је ангажована у другим привредним гранама (рударству, енергетици, водопривреди, пољопривреди и саобраћају). Такође се више овде предложених решења могу применити као модел за одржавање и других техничких постројења, као на пример у: железарама, топионицама, рударству, цементарама, ливницама, ковачницама, хемијској индустрији итд. Међутим, успешно одржавање радних делова опреме могуће је само ако се установи и спроводи општа процедура тј. модел репаратуре. Аутор овог рада доказује да се само тада могу очекивати позитивни ефекти. Зато је потребно имати стручњаке специјалисте за ову област и специјализоване радионице са савременом пратећом опремом. Сваки другачији приступ овој проблематици тешко да ће довести до жељених техничких и економских ефеката, већ често може створити додатне тешкоће при одржавању и експлоатацији различитих техничких система.

На основу свега изнетог, Комисија за преглед и оцену писменог дела и усмену јавну одбрану докторске дисертације кандидата мр Милана Мутавцића, дипл. маш. инж., једногласно је закључила да докторска дисертација под насловом:

"Моделирање репаратурног и производног наваривања радних делова грађевинске механизације"

по квалитету, обиму и резултатима истраживања у потпуности испуњава све научне, стручне и законске критеријуме за израду докторске дисертације. Стога Комисија са задовољством предлаже Наставно-научном већу Факултета инжењерских наука у Крагујевцу, да овај Извештај у потпуности прихвати и закаже јавну усмену одбрану наведене дисертације.

У Крагујевцу и Београду, фебруара 2015. године

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ:

1. Др Александар Седмак, ред. проф.

Машински факултет Универзитета у Београду

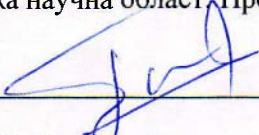
Уже научне области: Технологија материјала - Машински материјали и заваривање, Рачунарска механика материјала, Заваривање, Механика лома



2. Др Мирослав Бабић, ред. проф.

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу

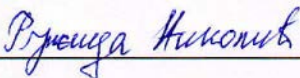
Уже научна област: Производно машинство, Индустијски инжењеринг



3. Др Ружица Николић, ред. проф.

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу

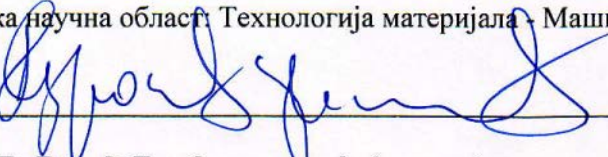
Уже научне области: Машинске конструкције и механизација и Примењена механика



4. Др Радица Прокић-Цветковић, ред. проф.

Машински факултет Универзитета у Београду

Уже научна област: Технологија материјала - Машински материјали и заваривање



5. Др Вукић Лазић, ред. проф. (ментор)

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу

Уже научна област: Производно машинство, Индустијски инжењеринг

