

УНИВЕРЗИТЕТ У ПРИШТИНИ
ФАКУЛТЕТ ТЕХНИЧКИХ НАУКА
КОСОВСКА МИТРОВИЦА
Машинско инжењерство

УНИВЕРЗИТЕТ У ПРИШТИНИ
ФАКУЛТЕТ ТЕХНИЧКИХ НАУКА
КОСОВСКА МИТРОВИЦА

ПРИМЉЕН	30.05.2022
ОРГ. ЈЕДИН.	МАСТЕР СТАУДЕНТ
	ВРЕДНОСТ

586/1

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Извештај Комисије за преглед, оцену и одбрану урађене докторске дисертације

Одлуком Наставно-научног већа Факултета техничких наука у Косовској Митровици број 502/3-1 од 13.05.2022. године, именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидата **Миливоја Јовановића**, дипл. инж. машинства, под насловом: „Истраживање утицаја променљивог оптерећења и грешке типа прслине на процену интегритета заварених компонената процесне опреме за повишене радне температуре“, о чему подносимо следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. Биографски подаци кандидата

Миливоје Јовановић рођен је 1970. године. Основну школу је завршио у Новом Брду, а средњу Техничку школу у Приштини. Машински факултет у Приштини завршио је 1999. године на смеру Производно машинство. Награђиван је Вуковом дипломом у основној и средњој школи и проглашен за ћака генерације. Одслужио је војни рок од 1997. до 1998. године. У периоду од 1995. до 2001. године радио је у Југотерму на месту Инжењера у развоју, а касније на месту Водећег инжењера за пројектовање и монтажу. Од 2001. до 2003. године радио је у Индустрији Филип Кљајић у Крагујевцу на позицији Начелника службе енергетике, безбедности на раду, противпожарне заштите и заштите животне средине. Од 2004. до 2015. године покренуо је приватни посао у Лепосавићу за пројектовање и монтажу грејне технике. Ангажован је на великом броју стручних послова за CHF Office Kosovo, EU Office Kosovo, MK Group и друге компаније и организације. Докторске студије уписао је 2015. године на Факултету техничких наука у Косовској Митровици на студијском програму Машинско инжењерство. Од 2016. године ради на Академији струковних студија косовско метохијска, Одсек Урошевац, као асистент у настави. Стручни испит из области заштите од пожара положио је 2003. године у Сектору за ванредне ситуације, МУП РС у Београду. Поседује и више сертификата о усавршавању, а посебно из процесне технике. Члан је Удружења инжењера и техничара Србије и Друштва за интегритет и век конструкција.

2. Верификовани научни доприноси

Кандидат Миливоје Јовановић је објавио десет радова (пет радова су из у же научне области из које је тема дисертације, један M22, један M24, један M51, један M33, један M34, на сваком је први аутор). Један број научних резултата још није публикован и чланови комисије оцењују да ће их кандидат ускоро верификовати јер су у поступку рецензије.

У наставку је дат списак објављених радова кандидата.

Рад у истакнутом међународном часопису (M22):

- 1. Jovanović, M., Čamagić, I., Sedmak, S., Sedmak, A., Burzić, Z.,** “The Effect of Material Heterogeneity and Temperature on Impact Toughness and Fracture Resistance of SA-387 Gr. 91 Welded Joints”, MDPI, Materials 2022, 15(5), 1854, ISSN 1996-1944, pp. 1-18
<https://doi.org/10.3390/ma15051854>, 02 Mar 2022.

Рад у међународном часопису (M23):

- 2. Živković, P., Ognjanović, M., Čamagić, I., Jovanović, M., Kalaba, D., Tomić, R., Grgić, I.** (2020), “Assessment of Probability of Gear Tooth Side Wear of a Planetary Gearbox”, Tehnički vjesnik, ISSN 1330-3651 (Print), Vol. 27, No. 2, pp. 506-512,
<https://doi.org/10.17559/TV-20191004093047>.
- 3. Jović, S., Aničić, O., Jovanović, M.** (2016), “Adaptive neuro-fuzzy fusion of multi-sensor data for monitoring of CNC machining”, Sensor Review, ISSN 0260-2288, Vol. 37, No. 1, pp. 78-81, <http://dx.doi.org/10.1108/SR-06-2016-0107>.
- 4. Jović, S., Makragić, S., Jovanovic, M.** (2017), “Parameters influence of laser forming on shaped surface by soft computing technique”, Optik-International Journal for Light and Electron, Elsevier, ISSN 0030-42026, Vol. 142, pp. 451-454, <https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2017.04.089>.
- 5. Aničić, O., Jović, S., Tasić, S., Vulović, A., Jovanovic, M.** (2017), “Temperature detection in cutting zone for different forms of chip shapes during machining process”, Sensor Review, ISSN 0260-2288, Vol. 38, No. 1, pp. 102-105, <https://doi.org/10.1108/SR-07-2017-0141>.

Рад у националном часопису међународног значаја (M24):

- 6. Jovanović, M., Čamagić, I., Sedmak, S., Živković, P., Sedmak, A.** (2020), “Crack initiation and propagation resistance of hsla steel welded joint constituents”, Structural integrity and life, ISSN 1451-3749 (štampano izdanje) (printed edition), EI ISSN 1820-7863 (Online), Vol.20, No.1, pp. 11-14, <http://divk.inovacionicentar.rs/divk/divk20/11-IVK1-2020-MJ-IC-SAS-PZ-AS.pdf>.

Саопштење са међународног скупа штампано у целини (М33):

7. Jovanović, M., Čamagić, I., Sedmak, A., Lazarević, D., Sakorčević, Ž., Stanojković, J., "Influence of temperature on the behavior of welded alloyed steel under variable load conditions", 38th International Conference on Production Engineering of Serbia - ICPE - S 2021, PROCEEDINGS, ISBN: 987-86-7776-252-0, pp. 108-112, Čačak, Serbia, 14 - 15. October 2021, <http://spms.fink.rs/doc/2021/Proceedings%20SPMS%202021.pdf>

Саопштење са међународног скупа штампано у изводу (М34):

8. Jovanović, M., Čamagić, I., Sedmak, A., Burzić, Z., Sedmak, S., Živković, P., "Analysis of micro-alloyed steel welded joints behaviour under impact load", 4th International Conference on Structural Integrity and Durability September 15 – 18, 2020, Dubrovnik, Book of Abstracts, pp. 34-35, University of Zagreb Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture Zagreb, Croatia, 2020, ISSN 2584-3907, <http://icsid2020.fsb.hr/file://localhost/D:/My%20Documents/radovi/icsid2020/Book%20of%20Abstracts%20-%20ICSID2020.html>.

Рад у врхунском часопису националног значаја (М51):

9. Jovanović, M., Čamagić, I., Sedmak, A., Burzić, Z., Sedmak, S., Živković, P., "Analysis of SA 387 Gr. 91 welded joints crack resistance under static and impact load", Procedia Structural Integrity, ISSN 2452-3216, Volume 31 (2021), pp. 38-44, <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2021.03.008>.

Рад у истакнутом националном часопису (М52):

10. Jovanovic, M., Jović, S., (2018), "Possibility of anfis application for evaluation roughness of surface during CNC machining", Journal of Production Engineering, ISSN 1821-4932 (Print), Vol. 21, No. 1, pp. 17-20, <https://doi.org/10.24867/JPE-2018-01-017>.

3. Основни подаци о дисертацији

3.1 Структура и садржај дисертације

Докторска дисертација под насловом „Истраживање утицаја променљивог оптерећења и грешке типа прслине на процену интегритета заварених компонената процесне опреме за повишене радне температуре“, садржи 250 нумерисаних страница текста. Дисертација је илустрована са 197 слика и дијаграма и 28 табела. Кандидат је навео 128 референци коришћене литературе. У складу са Статутом Универзитета, Правилником о докторским студијама на Универзитету и Правилником о докторским студијама на Факултету техничких наука, докторска дисертација је у складу са општим правилима за писање и обликовање докторске дисертације по форми и структури. Докторска дисертација припада области Техничко-технолошких наука, Машинско инжењерство, а ужо научној области Наука о материјалима.

Текст докторске дисертације је подељен у шест поглавља:

1. Увод
2. Легирани челици отпорни на пузanje
3. Заварљивост и заваривање легираних челика предвиђених за рад на повишеним температурама
4. Погодност за употребу-процена интегритета конструкције
5. Експериментални део
6. Закључак

На крају је дат списак коришћене литературе, преглед ознака, преглед слика и преглед табела.

3.2 Приказ појединачних поглавља

У *првом* поглављу, представљени су предмет и циљеви истраживања, полазне основе и методологија истраживања као и структура и организација докторске дисертације. Процена интегритета процесне опреме за повишене радне температуре заснива се на коректно утврђеним експлоатационим особинама материјала и заварених спојева и скапулјеним подацима о условима експлоатације. Такође, заснива се на примени одговарајућих параметара механике лома и процедура које обезбеђују поређење тзв. сила раста прслине са отпорношћу материјала на раст прслине. У случају заварених компонената изложених повишеној температури и притиску, примена параметара механике лома на процену њиховог интегритета је још значајнија јер дефинише понашање хетерогеног материјала у присуству грешака типа прслине. Имајући у виду недостатке постојећих процедура, с једне стране, и изражену потребу за ефикасном и доволно општом проценом интегритета заварених компонената процесна опреме изложених повишеној радној температури, с друге стране, предмет ове докторске дисертација је модификација и уопштавање постојећих поступака за процену интегритета како би се омогућила њихова поуздана примена. У циљу верификације резултата процедуре која ће бити успостављена, коришћена су експериментална истраживања одговарајућих узорака. Урађен је велики број стандардних епрувета са циљем да се дефинишу основне карактеристике испитиваног материјала и завареног споја. Епрувете су дефинисане на основу важећих стандарда понаособ за свако испитивање.

У *другом* поглављу, представљени су легирани челици отпорни на пузanje, односно развој високохромног феритног челика радне ознаке Р/Т91. Детаљно је описана термичка обрада и физичке особине челика SA 387 Gr. 91 (Р91) као и механичке особине на повишеним температурама и отпорност на оксидацију.

У *трећем* поглављу, описана је заварљивост и заваривање легираних челика предвиђених за рад на повишеним температурама. Овде су описаны општи проблеми заварљивости, топле прслине у металу шава (МШ) и зони утицаја топлоте (ЗУТ), хладне прслине, ламеларне прслине и прслине настале при термичкој обради. Објашњени су структурни и фазни преобрађаји у челику при заваривању где су описаны узроци појава различитих

микроструктура при заваривању, макроструктура завареног споја и микроструктура спојева заварених поступцима топљења (зона топљења и зона утицаја топлоте). Посебно је описана заварљивост легираног челика SA 387 Gr. 91. У оквиру избора процеса заваривања овог челика, описаны су додатни материјал, предгревање, заваривање, термичка обрада након заваривања и прекиди у загревању. На крају је описан утицај заваривања и термичке обраде на механичке особине испитивањем тврдоће, пузња и енергије удара.

У четвртом поглављу, описан је развој механике лома, њена практична примена и тумачење њених параметара. Дефинисани су најчешћи узроци отказа конструкција. Дате су основне дефиниције механике лома, основни појавни облици раванских прслина, основни облици развоја прслина и образовања површине прелома. Дефинисани су основни параметри линеарно-еластичне механике лома (фактор интензитета напона) и еласто-пластичне механике лома (контурни J интеграл и величина отварања врха прслине CTOD). У овом поглављу су дате и стандардне методе испитивања механике лома и њихов значај у оцени употребне спремности заварених спојева. Дефинисане су критичне вредности параметара механике лома заварених спојева при статичком дејству сила, критична вредност фактора интензитета напона, односно жилавост лома при равној деформацији (K_{Ic}), критична вредност J интеграла (J_{Ic}) и критична вредност величине отварања врха прслине (δ_{Ic}). Дефинисани су параметри раста заморне прслине који представљају меру отпорности на лом под дејством променљивог оптерећења. Дате су процедуре и поступци процене интегритета конструкција као и преостале чврстоће и радног века.

У петом поглављу, представљени су резултати експерименталних испитивања, њихова анализа и дискусија. Дате су карактеристике испитиваног челика, избор оптималне технологије заваривања и поступак заваривања, термичка обрада заварених плоча, методе, мере и поступци који припадају улазној и експлоатационој контроли материјала и испитивања ИБР методама пре узимања епрувета. Дат је план узорковања епрувета из заварених плоча за деструктивна испитивања. Урађен је макроскопски преглед завареног споја и микроструктурна анализа основног метала (ОМ), МШ и ЗУТ, технолошко испитивање савијањем сучеоно завареног споја, мерење тврдоће сучеоно завареног споја. Одређена су затезна својства испитивањем епрувета завареног споја на собној и повишену температури од 575°C, ударне особине ОМ и компоненти заварног споја (МШ и ЗУТ) на собној и повишену температури од 575°C, испитивањем епрувета са зарезом на инструментираном Шарпијевом клатну. Затим су одређени критични фактор интензитета напона (жилавост лома при равној деформацији) и критична дужина прслине, испитивањем епрувета са врхом заморне прслине у ОМ, МШ и ЗУТ, на собној и повишену температури од 575°C. Отпорност материјала на иницијацију прслине у условима променљивог оптерећења, одређује се испитивањем динамичке чврстоће. Одређена је динамичка чврстоћа испитивањем епрувета завареног споја и ОМ, на собној и повишену температури од 575°C. Даље, у оквиру динамичких испитивања, одређена је

брзина раста заморне и праг замора, испитивањем епрувета са врхом заморне прслине у ОМ, МШ и ЗУТ, на собној и повишеној температури од 575°C.

На крају овог поглавља приказан је фрактографски преглед преломних површина епрувета за одређивање ударних особина (Шарпи епрувете) и епрувета за одређивање параметара механике лома (СЕБ и ЦТ епрувете), за све зоне завареног споја (ОМ, МШ и ЗУТ), на собној и повишеној температури од 575°C. Дата је детаљна дискусија резултата свих испитивања.

У шестом поглављу, дате су завршне напомене са освртом на анализиране резултате експерименталних испитивања као и процена интегритета. Дате су и смернице даљих истраживања.

4. Оцена дисертације

4.1 Савременост, оригиналност и значај

Докторска дисертација под насловом „Истраживање утицаја променљивог оптерећења и грешке типа прслине на процену интегритета заварених компонената процесне опреме за повишене радне температуре“, представља савремен, оригиналан и значајан допринос разматраној проблематици. Савременост истраживања потврђују примењене технологије заваривања и методе испитивања заварених спојева, а посебно понашања завареног споја челика за рад на повишеним температурама у условима деловања променљивог оптерећења и оцена параметара раста заморне прслине. Савременост истраживања у оквиру ове дисертације представља могућност да се на основу извршених механичко експлоатационских испитивања на собној и повишеној температури изврши избор критеријума прихватљивости грешака у основном материјалу и компонентама завареног споја, што представља основни услов за поуздану процену интегритета компонената процесне опреме у току експлоатације. Такође, савременост истраживања се односи на оцену особина заварених спојева испитивањем епрувета са прслином. Дат је практичан допринос побољшању квалитета заварених спојева, а све у циљу ревитализације и продужења радног века виталних компоненти постројења процесне опреме израђених од легираних челика за рад на повишеним температурама. Оригиналност се огледа у приступу решавања проблематике и резултатима који су, кроз наведене радове, саопштени на научним склоповима и објављени у часописима. Значај ових истраживања посебно добија на тежини имајући на уму актуелне трендове ревитализације процесне опреме односно термоенергетских постројења, о чему данас пише више еминентних научних радника из Европе и света.

4.2 Осврт на референтну и коришћену литературу

У докторској дисертацији коришћена је обимна литература из области Материјала, Заваривања и Механике лома, са акцентом на проблеме сигурности у експлоатацији компоненти постројења процесне опреме намењене за рад у условима деловања повишених температура. Ова литература је кандидату послужила као полазна основа за

приказ постојећег стања у овој области, везано за проблематику која се тиче докторске дисертације. Коришћена литература представља избор савремене и актуелне литературе на домаћем и страним језицима, као и одређени број домаћих и страних стандарда, а уједно указује и на могућности даљег проширења научног сазнања у датој области.

4.3 Анализа применљивости научних метода и њихова адекватност за спроведено истраживање

Методе које су у току истраживања примењене су теоријско-аналитичке и експерименталне, а верификоване су обимним експерименталним истраживањима узорака са грешком типа прслине. Полазна основа за ове методе истраживања су већ постојећи поступци за процену интегритета и преосталог века конструкције, који су модификовани тако да могу да обухватају проблеме хетерогених материјала (компоненте завареног споја), повишенih температура и присуство грешака типа прслина. Такође, допуњени су експлоатационим испитивањима на повишеној температури, а све у циљу ревитализације и продужења радног века компоненти постројења процесне опреме израђених од легираних челика за рад у повишеним температурама.

4.4 Оцена применљивости и верификација остварених резултата

Остварени резултати се могу директно применити у пракси, јер су на основу урађених испитивања одређени основни параметри и критеријуми прихватљивости, који ће омогућити истигарност у експлоатацији компоненти постројења процесне опреме намењене за рад у условима деловања повишенih температура.

4.5 Оцена способности кандидата за самостални научни рад

Кандидат је током израде ове дисертације показао да је у стању да самостално решава инжењерске и научне проблеме и да успешно влада научним и истраживачким методама, што представља одличну основу за даља достигнућа у науци.

5. Остварени научни допринос

5.1 Приказ оствареног научног доприноса

Основна хипотеза од које је кандидат пошао у докторској дисертацији је да у случају заварених спојева компонената израђених од легираног челика SA 387 Gr. 91 изложених променљивом оптерећењу и повишеној температури, проблеми у експлоатацији се по правилу јављају у компонентама заварених спојева. Анализу проблема отежава хетерогеност структурних и механичких особина појединих подручја заварених спојева и њихово понашање у експлоатацији. Параметри механике лома као што су критични фактор интензитета напона и параметри раста заморне прслине, могу да се примене на анализу понашања заварених компонената процесне опреме изложених експлоатационим условима (присуство грешке типа прслине, променљиво оптерећење и повишена температура). На основу презентованог предмета, циља, као и метода истраживања и испитивања, основни допринос ове дисертације је у имплементацији изведенih

истраживања, као и у дефинисању основних параметара и критеријума прихватљивости који ће омогућити сигурност у експлоатацији компоненти постројења процесне опреме намењене за рад у условима деловања променљивог оптерећења и повишених температуре.

5.2 Критичка анализа резултата истраживања

На основу циљева истраживања и добијених резултата, можемо констатовати да су разрешена сва битна питања и дилеме који су се наметнули у току истраживања. Опште је познато да поједине компоненте процесне опреме, које раде у условима повишених температуре, представљају критична места због високих радних параметара. Посебно имајући у виду да су поједине компоненте процесне опреме у употреби дуже од пројектованог радног века. Евентуални отказ на овим компонентама представљао би опасност не само по рад постројења већ и по средину која их окружује. Како је код материјала предвиђених за рад на повишеним температурама а поготово код њихових заварених спојева, у присуству прслина неминовна појава пластичне деформације било локално или у целом пресеку, то је за анализу њиховог понашања неопходно познавање параметара високоцикличног замора, као и примена метода еласто-пластичне механике лома као што су J интеграл и отварање врха прслине CTOD. Другим речима, прикупљена сазнања о расту заморне прслине су омогућила да се са довољном сигурношћу утврди преостали век компоненте са прслином и на тај начин процени да ли компонента може да ради до следеће контроле. У складу са тим, чак и најодговорније компоненте се не замењују пре него што се редовним контролама открију прслине или сличне грешке.

5.3 Очекивана примена резултата у пракси

Резултати истраживања у оквиру ове дисертације добијени на основу извршених механичко експлоатационских испитивања на собној и повишеној температури и избор критеријума прихватљивости грешака у основном материјалу и компонентама завареног споја, представљају основни услов за поуздану процену интегритета процесне опреме у току експлоатације. Исто тако, допринос ће бити и оцена особина заварених спојева испитивањем епрувета са прслином. На основу добијених резултата испитивања је анализиран утицај експлоатационих услова на понашање основног материјала и завареног споја челика за рад на повишеним температурама при деловању променљивог оптерећења, и дат практичан допринос побољшању квалитета заварених спојева, а све у циљу ревитализације и продужења радног века виталних компоненти постројења процесне опреме израђених од легираних челика за рад на повишеним температурама.

6. Закључак и предлог

На основу извршеног увида у докторску дисертацију кандидата Миливоја Јовановића, дипл. инж. машинства, Комисија је мишљења да дисертација садржи низ оригиналних научних доприноса кроз свеобухватно сагледавање проблематике утицаја експлоатационих услова на понашање основног материјала и компоненти звареног споја, а све у циљу процене интегритета, ревитализације и продужења радног века процесне опреме израђене од челика за рад на повишеним температурама.

Резултати приказани у дисертацији верификовани су објављеним радовима, и то: један рад у часопису M22 категорије, један рад у часопису M24 категорије, један рад у часопису M51 категорије, један рад на међународном скупу M33 категорије и један рад на међународном скупу M34 категорије.

Прегледом докторске дисертације од стране Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације, и чињеници да је анализирана проблематика веома актуелна у научној јавности, са задовољством се констатује да је кандидат Миливоје Јовановић, дипл. инж. машинства, успешно завршио докторску дисертацију у складу са предвиђеним предметом и постављеним циљевима докторске дисертације.

Докторска дисертација је урађена према савременим стандардима научно-истраживачког рада и испуњава све услове који су предвиђени Законом о високом образовању, Стандардима за акредитацију, као и Статутом Факултета техничких наука и Статутом Универзитета у Приштини са привременим седиштем у Косовској Митровици.

Према томе, чланови Комисије предлажу Наставно-научном већу Факултета техничких наука у Косовској Митровици да прихвати Извештај о урађеној докторској дисертацији кандидата Миливоја Јовановића, дипл. инж. машинства под насловом „**Истраживање утицаја променљивог оптерећења и грешке типа прслине на процену интегритета зварених компонената процесне опреме за повишене радне температуре**“, и да га упути у даљу процедуру.

У Београду,
Косовској Митровици
27.05.2022. године

Чланови Комисија за преглед, оцену и одбрану:

др Зијах Бурзић, научни саветник, Војнотехнички институт, Београд, **председник**
Област компетенције: Интегритет конструкција, механика лома, испитивање материјала, заваривање.

Ивица Чамагић, ванредни професор, Факултет техничких наука, Косовска Митровица, **ментор**
Област компетенције: Механика материјала, интегритет конструкција, механика лома, испитивање материјала, заваривање.

Живче Шаркоћевић, ванредни професор, Факултет техничких наука, Косовска Митровица, **члан**
Област компетенције: Интегритет конструкција, инжењерство материјала, испитивање материјала, заваривање.