

УНИВЕРЗИТЕТ У ПРИШТИНИ  
Бр. 22-419  
3.1 МАЈ 2022  
ПРИШТИНА-2

УНИВЕРЗИТЕТ У ПРИШТИНИ  
ФАКУЛТЕТ ТЕХНИЧКИХ НАУКА  
КОСОВСКА МИТРОВИЦА

ПРИМЉЕНО	30.05.2022
ОРГ ЈЕДИН	ВРЕДНОСТ
586/1	

УНИВЕРЗИТЕТ У ПРИШТИНИ  
ФАКУЛТЕТ ТЕХНИЧКИХ НАУКА  
КОСОВСКА МИТРОВИЦА  
Машинско инжењерство

## 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 **Миљивоја 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

Миљивоје 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 ђака 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, МК 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 уже научне области из које је тема дисертације, један М22, један М24, један М51, један М33, један М34, 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 (М22):

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 (М23):

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 (М24):

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), EISSN 1820-7863 (Online), Vol.20, No.1, pp. 11-14, <http://divk.inovacionicentar.rs/ivk/ivk20/11-IVK1-2020-MJ-IC-SAS-PZ-AS.pdf>.



### Саопштење са међународног скупа штампано у целини (M33):

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”, 38<sup>th</sup> 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 (M34):

8. **Jovanović, M., Čamagić, I., Sedmak, A., Burzić, Z., Sedmak, S., Živković, P.,** “Analysis of micro-alloyed steel welded joints behaviour under impact load”, 4<sup>th</sup> 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 (M51):

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 (M52):

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 ужој научној области Наука о материјалима.

Текст докторске дисертације је подељен у шест поглавља:

1. Увод
2. Легирани челици отпорни на пузање
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 сакупљеним 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 довољно општом проценом интегритета заварених компонената процесна опрема 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 пузање, 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 описани 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 преображаји у челику при заваривању где су описани 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, описани 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, пузања 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 ( $\delta_{Ic}$ ). 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 сучеано завареног споја, мерење тврдоће сучеано завареног споја. Одређена су затезна својства испитивањем епрувета завареног споја на собној и повишеној температури од  $575^{\circ}\text{C}$ , ударне особине ОМ и компоненти заварног споја (МШ и ЗУТ) на собној и повишеној температури од  $575^{\circ}\text{C}$ , 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 повишеној температури од  $575^{\circ}\text{C}$ . 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 повишеној температури од  $575^{\circ}\text{C}$ . 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 анализирани 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 експлоатацијских 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 скуповима 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 примењених 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 прелине. Полазна основа за ове методе истраживања су већ постојећи поступци за процену интегритета и преосталог века конструкције, који су модификовани тако да могу да обухвате проблеме хетерогених материјала (компоненте завареног споја), повишених температура и присуство грешака типа прелина. 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 на 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 сигурност у експлоатацији компоненти постројења процесне опреме намењене за рад у условима деловања повишених 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 прелине, могу да се примене на анализу понашања заварених компонената процесне опреме изложених експлоатационим условима (присуство грешке типа прелине, променљиво оптерећење и повишена температура). На основу презентованог предмета, циља, као и метода истраживања и испитивања, основни допринос ове дисертације је у имплементацији изведених



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 температура.

### ***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 температура, 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 прелина 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 прелине CTOD. Другим речима, прикупљена сазнања о расту заморне прелине 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 прелине или сличне грешке.

### ***5.3 Очекивана примена резултата у пракси***

Резултати истраживања у оквиру ове дисертације добијени на основу извршених механичко експлоатацијских 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 М22 категорије, један рад у часопису М24 категорије, један рад у часопису М51 категорије, један рад на међународном скупу М33 категорије и један рад на међународном скупу М34 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 **Зијех Бурзић**, научни саветник, Војнотехнички институт, Београд, **председник**  
Област компетенције: Интегритет конструкција, механика лома, испитивање материјала, заваривање.

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

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