

УНИВЕРЗИТЕТ У ПРИШТИНИ
ФАКУЛТЕТ ТЕХНИЧКИХ НАУКА
КОСОВСКА МИТРОВИЦА
Машинско инжењерство

УНИВЕРЗИТЕТ У ПРИШТИНИ			
ФАКУЛТЕТ ТЕХНИЧКИХ НАУКА			
КОСОВСКА МИТРОВИЦА			
ПРИМЉЕНО: 26. 01. 2024.			
ОРГ. ЈЕДИН.	БРОЈ	ПРЕДЛОЖ.	ПРЕДНОСТ
	82/1		

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Извештај о оцени научне заснованости теме докторске дисертације и подобности кандидата

Никола Костић, дипл. инж. саобраћаја, студент докторских студија на ФТН у Косовској Митровици, број индекса 2/2017

Одлуком Наставно-научног већа Факултета техничких наука Универзитета у Приштини са седиштем у Косовској Митровици бр. 2007/3-5 од 27.12.2023. године, именовани су чланови Комисије за оцену научне заснованости предложене теме докторске дисертације под насловом:

„Утицај грешке типа прслине на интегритет и век заварених челичних конструкција израђених од нисколегираних угљеничних челика“

и подобности кандидата Николе Костића, дипломираног инжењера саобраћаја.

На основу приложене документације уз пријаву теме докторске дисертације, образложења теме, публикованих и стручних радова кандидата, Комисија подноси следећи:

ИЗВЕШТАЈ

Никола Костић, дипл. инж. саобраћаја, поднео је 23.11.2023. године, Наставно-научном већу Факултета техничких наука Универзитета у Приштини са седиштем у Косовској Митровици, захтев за оцену научне заснованости предложене теме за израду докторске дисертације.

У свом захтеву за оцену научне заснованости пријављене теме за израду докторске дисертације, Никола Костић, дипл. инж. саобраћаја, је предложио програм и садржај истраживања, за израду докторске дисертације. Истраживање би желео да изводи са др Ивицом Чамагићем, редовним професором, Факултета техничких наука у Косовској Митровици.

1. БИОГРАФИЈА, ОБРАЗОВАЊЕ И БИБЛИОГРАФИЈА

Биографија

Информације

Име: **Костић А. Никола**

Адреса: Радмиле Раде Ћосић 7А, 37240, Трстеник, Србија

Телефон: +381 63545550

E-mail: kosticn83@gmail.com

Датум рођења: 01/09/1983

Пол: Мушки

Радно искуство:

Период (од-до): Септембар 2022-

Позиција: Планер производње

Активности и одговорност: Прорачун и процена капацитета и потреба за производњом, познавање производних процеса и логистике, вештине рада са софтверским алатима за планирање и управљање производњом

Име и адреса послодавца: Kromberg&Schubert, Крушевац, Бруски пут 19

Период (од-до): Октобар 2021-Септембар 2022

Позиција: Планер протока материјала – KanBan

Активности и одговорност: Планирање и набавка материјала, евиденција потрошње и правовремене доставе, припрема извештаја о потрошњи материјала и трошковима.

Име и адреса послодавца: Kromberg&Schubert, Крушевац, Бруски пут 19

Период (од-до): Октобар 2013-Октобар 2021

Позиција: Асистент за технологије саобраћаја

Активности и одговорност: Безбедност саобраћаја, Транспорт и Логистика, Планирање саобраћаја

Име и адреса послодавца: Академија струковних студија "Шумадија", Трстеник, Радоја Крстића 19

Образовање

Докторске студије

Период(од-до): Октобар 2017-

Стечено звање: **Кандидат на докторским студијама на одсеку за Машинско инжењерство**

Назив високошколске институције: Машинско инжењерство, Факултет техничких наука, Универзитет у Приштини са привременим седиштем у Косовској Митровици

Web: <http://www.ftn.pr.ac.rs>

Научна област: Механика лома

Академске студије-Високо образовање

Септембра 2008 године, дипломирао на Факултету техничких наука Универзитета у Новом Саду на одсеку за Саобраћај и стекао звање Дипломирани инжењер саобраћаја - мастер.

Средња школа

Јуна 2002 године, завршио Средњу техничку школу у Трстенику, смер Машински и стекао звање Машински техничар за компјутерско конструисање.

Вештине

Матерњи језик: Српски

Други језици: Енглески

Друге вештине и компетенције: Одговорност, поузданост, тачност. Организационе способности. Рад са већим групама људи. Рад на рачунару. Рад у мултинационалном окружењу.

Библиографија

Кандидат: **Никола Костић**

Број индекса: 2/2017

је током студија и рада на докторској дисертацији на Факултету техничких наука у Косовској Митровици публиковао следеће радове:

Радови у часописима међународног значаја верификованих посебном одлуком М24

1. Zoran Petrović, Zijah Burzić, Aleksandar Sedmak, Aleksandar Grbović, **Nikola Kostić**, *“Corrosion effect on the remaining life of AA2024-T351 components”*, Structural integrity and life, Vol. 23, No. 1, pp. 98-101, 2023, <http://divk.inovacionicentar.rs/ivk/ivk23/OF2301-16s.html>
2. **Nikola A. Kostić**, Liljana S. Pecić, Saša Z. Babić, Branimir Lj. Milosavljević, Dragana L. Milosević, Sanja S. Krstić, Bozidar V. Krstić, Milutin M. Milosavljević, *“Desulfurization and demetalization of used engine oil in laboratory scale”*, Iranian Journal of Chemical Engineering(IJChE), Article 5, Volume 15, Issue 1, Winter 2018, Page 73-88

Радови у часопису националног значаја верификованих посебном одлуком М53

1. **Nikola Kostić**, Bojana Bošković, Branimir Milosavljević, Saša Babić, Žarko Đorđević, *“Primena furijeove transformacije u analizi stanja putne mreže radi unapređenja bezbednosti i regulisanja saobraćaja”*, Društvo inženjera Zrenjanin “DIT”, Zrenjanin, Broj 35, april 2021. god.
2. Bojana Bošković, **Nikola Kostić**, Saša Babić, Branimir Milosavljević, Žarko Đorđević, *“Primena akustičnih kamera u funkciji povećanja bezbednosti i regulisanja drumskog saobraćaja”*, Društvo inženjera Zrenjanin “DIT”, Zrenjanin, Broj 35, april 2021. god.

Саопштење са међународног скупа штампано у целини - категорија M33

1. **Nikola Kostić**, Živče Šarkoćević, Ivica Čamagić, Dragan Lazarević, Jasmina Dedić, *''Corrosion costs for oil and gas industry – Review''*, XXIII YuCorr, May 16-19, 2022, Divčibare, Serbia
2. Bošković, B., Babić, S., Milosavljević, B., **Kostić, N.**, and Đorđević, Ž., *''Noise emission models depends on the traffic flow structure''*, 19th International Conference "Research and Development in Mechanical Industry" RaDMI-2019, Beograd, Serbia, 2019
3. Babić, S., Đorđević, Ž., Milosavljević, B., Bošković, B., and **Kostić, N.**, *''Traffic flow noise modelling''*, 19th International Conference "Research and Development in Mechanical Industry" RaDMI-2019, Beograd, Serbia, 2019
4. Jelena Erić Obućina, **Nikola Kostić**, Žarko Đorđević, Saša Babić, Branimir Milosavljević, *''Safety aspects of the hydraulic servo steering gear in the vehicle system''*, International Congress Motor Vehicles & Motors 2018 Kragujevac Serbia, October 4th - 5th, 2018
5. Žarko Đorđević, **Nikola Kostić**, Jelena Erić Obućina, Branimir Milosavljević, Saša Babić, *''Contribution to the research of parameters, effects and methods of eco driving measurements''*, International Congress Motor Vehicles & Motors 2018 Kragujevac Serbia, October 4th - 5th, 2018
6. Saša Babić, Jovanka Lukić, **Nikola Kostić**, Žarko Đorđević, Jelena Erić Obućina, Branimir Milosavljević, *''Noise emission with aspect of vehicles fleet structure – the case of Serbia''*, International Congress Motor Vehicles & Motors 2018 Kragujevac Serbia, October 4th - 5th, 2018
7. Branimir Milosavljević, Radivoje Pešić, Žarko Đorđević, **Nikola Kostić**, Jelena Erić Obućina, Saša Babić, *''Statistical analysis of influential parameters on the probability that cars meet the CO emission test''*, International Congress Motor Vehicles & Motors 2018 Kragujevac Serbia, October 4th - 5th, 2018
8. **Nikola Kostić**, Milomir Mijatović, Saša Babić, Branimir Milosavljević, Zvonko Petrović, *''Selection of optimal route of transportation – a case study of transport of municipal waste in the municipality of Trstenik''*, IX Triennial International Conference Heavy Machinery – HM 2017, June 28 – July 1 2017, Zlatibor, Serbia

9. **Nikola Kostić**, Božidar Krstić, Milomir Mijatović, Saša Babić, Branimir Milosavljević, *“Measurement and analysis of changes in total quantity of injection depending on the changes in value of pressure in common rail system”*, IX Triennial International Conference Heavy Machinery – HM 2017, June 28 – July 1 2017, Zlatibor ,Serbia
10. Ljiljana Pecić, Zvonko Petrović, **Nikola Kostić**, *“Kinematic and dynamic analysis of the path of movement of the robot”*, IX Triennial International Conference Heavy Machinery – HM 2017, June 28 – July 1 2017, Zlatibor ,Serbia
11. Predrag Dašić, **Nikola Kostić**, Zvonko Petrović *“Optimization of the parameters of broaching machining mode by using the method of Particle Swarm Optimization (PSO)”*, Economics and management-based on new technologies EMoNT-2017, 15-18 June 2017, Vrnjačka Banja, Serbia
12. Milomir Mijatović, Ljiljana Brzaković, **Nikola Kostić**, *“Ekološko energetski aspekti izbora elektromotornih pogona”*, Naučna Konferencija sa Međunarodnim učešćem Novi Sad, Srbija, 23-25 jun 2016.
13. Radoljub Tomić, Milomir Mijatović, Tomislava Mutavdžić, **Nikola Kostić**, *“Basic aspects of quality system in respect to the subsystem preparation of technical maintenance of means”*, XXXIX CONFERENCE TECHNICAL DIAGNOSTICS OF MACHINES AND PLANT, Vrnjačka Banja, 20-21 May 2016, Serbian Technical diagnostic society

2. ПРЕДМЕТ И ЦИЉ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

Предмет ове докторске дисертације је анализа утицаја грешке типа прслине на интегритет и век заварених челичних конструкција израђених од квалитетних нисколегираних угљеничних челика из категорије A516. Челици из ове групе спадају у групу конструкционих челика за посебне намене. Превасходно су намењени за статички и динамички оптерећене конструкције и конструкцијске делове. У конкретном случају за посуде под притиском (сферни резервоари) намењене за складиштење техничких гасова. Истраживаће се и анализирати утицај експлоатационих услова на понашање основног материјала и компоненти завареног споја заварене челиче конструкције предвиђене за рад у условима деловања статичког и променљивог оптерећења на процес иницијације и раста прслине, односно процену интегритета и преосталог радног века заварених челичних конструкција (посуда под притиском) израђених од квалитетних нисколегираних угљеничних челика из категорије A516.

Посуде под притиском израђене од квалитетних нисколегираних угљеничних челика спадају првенствено у танкозидне посуде, које се прорачунавају по теорији мембране. У подручју прелазних спојева, између плашта и ревизионих отвора, затим прелаза између данца и плашта, није довољно поуздана расподела напона, и јављају се високи напони због утицаја концентрације напона. Хетерогеност завареног споја и локална расподела напона и деформација су основни утицаји од којих зависи понашање посуда под притиском у експлоатацији.

Анализа оштећења код посуда под притиском у експлоатацији, показала је да су најчешћи узроци оштећења прслине свих врста, неодговарајући материјал, неодговарајућа технологија заваривања, утицај корозионе средине и сл. Генерално, прслине представљају најзначајнији проблем и имају посебно место у анализи интегритета конструкција и оцени могућности продужења века. Расподела напона, односно концентрација напона, имају посебан значај у анализи прслина. Како се прслине јављају претежно у завареним спојевима, то и расподела напона у њима мора бити узета у обзир.

И поред дефинисаних стандарда још увек не постоји поступак којим се обезбеђује поуздана процена преосталог века посуде под притиском у експлоатацији. Наиме, стандарди се претежно односе на дијагностиковање стања нових посуда, као и посуда после одређеног века експлоатације, али не прописују услове за продужетак експлоатационог века употребе истих. То се посебно односи на утврђене грешке током испитивања као и на услове извођења евентуалне санације. Дугогодишња искуства упућују на то да је експлоатациони век посуда под притиском код нас по правилу дужи од 15 година. Да би се посуде под притиском могле користити и у дужем периоду, неопходно је конкретније дефинисати критеријуме за њихово испитивање, и допунити их поступцима за процену преосталог века.

Анализу проблема у експлоатацији отежава хетерогеност структурних и механичких особина појединих подручја заварених спојева и њихово понашање у експлоатацији. То се посебно односи на зону утицаја топлоте (ЗУТ), као и места изражене концентрације напона, која су потенцијално критична места конструкција у експлоатацији.

Заварени спој као највећи концентратор напона због хетерогености структурних, механичких и експлоатационих особина представља кључни проблем који се додатно усложњава могућим и реално вероватним присуством грешака типа прслине. Процена интегритета заварене челичне конструкције у многome зависи од свеобухватне анализе завареног споја као најкритичнијег места у свакој конструкцији. Процена интегритета је обавезни чинилац продужења радног века, а и ревитализације, као начина да се и поред дугогодишњег експлоатационог периода заварене челичне конструкције задрже у експлоатацији.

Анализирајући период експлоатације заварених челичних конструкција може се констатовати да су изложене деловању статичког и променљивог оптерећења. Раније се подразумевало да су механичке карактеристике добијене статичким испитивањем, односно особине чврстоће и пластичности кључни и основни подаци потребни при пројектовању конструкцијских елемената и комплетних конструкција, укључујући и заварене челичне конструкције. Посебно се водило рачуна о избору материјала за одређену намену, а за то су коришћена ударна испитивања (енергија лома епрувете са зарезом), као основни параметар избора материјала.

Међутим, заварени спој због хетерогености структурних, механичких и експлоатационих особина, као и због присуства грешака свих врста (прслине као најопасније од свих грешака) је условио да је неопходна детаљнија анализа утицаја хетерогености завареног споја и експлоатационих услова на интегритет заварене челичне конструкције. Како је код оваквих заварених спојева у присуству прслина неминовна појава пластичне деформације, било локално или у целом пресеку, то је за анализу њиховог понашања неопходна примена метода линеарно еластичне механике лома (LEML - критични фактор интензитета напона, K_{Ic}) и еласто пластичне механике лома (EPML - J интеграл), али и познавање параметара који дефинишу понашање материјала у условима деловања променљивог оптерећења (параметри раста заморне прслине, нискоциклични и високоциклични замор).

Замор је појава постепеног разарања материјала изложеног деловању променљивог оптерећења. Акумулација оштећења у виду образовања и раста микропора представља прву фазу разарања која се завршава када се спајањем микропора образују прслине. Овај процес, познат као период иницијације грешке типа прслине, и где се прслине образују при броју циклуса $N < 10^4$ (10^5) резултат је нискоцикличног замора.

За анализу иницијације и појаве прслина као резултат замора материјала на конструкцијски глатким и хомогеним облицима, као и на завареним спојевима услед локалне концентрације напона користе се емпиријски изведене зависности, по правилу условљене обимним експерименталним и лабораторијским испитивањима.

Опште прихваћене методе за одређивање експлоатационог века инжењерских конструкција су динамичка испитивања у циљу конструкције Велерове криве и испитивања параметара механике лома. Опште прихваћена карактеристика у том случају је заморна чврстоћа, (максимални напон при коме не долази до појаве прслине на конструкцијски глатком облику) или тзв. **"safe-life"** принцип у оквиру кога се применом Велерове криве одређује век компоненте без прслине. У складу са тим, пројектовање конструкцијских делова на основу могућег замора материјала засновано је на коришћењу

заморне чврстоће и искуственим препорукама, изведеним из анализе отказа делова у експлоатацији и обимних испитивања.

Међутим, појава прслине као резултат или замора материјала или активирања већ присутне грешке што је реалан случај са завареним спојевима, условљава да се даље понашање материјала око врха прслине разматра на основу микромеханичког аспекта (тзв. **"fail-safe"** принцип) уместо глобалног аспекта, који је применљив на глатке и хомогене конструкцијске облике делова. Код микромеханичког аспекта разликујемо период раста прслине од неке почетне величине до величине прслине која је критична у односу на крти лом. Овај савременији и сложенији метод је употреба параметара механике лома, заснована на различитим моделима заморног раста прслине. Једна од главних предности овог приступа је:

- коришћење врло малих епрувета, и
- могућност одређивања преосталог века делимично поломљених комада или општећене конструкције.

Модел, заснован на линеарно еластичној механици лома (LEML), потиче од Парисовог рада, и још је у широкој примени. Парисов закон раста прслине, који успоставља зависност делујућег променљивог оптерећења, односно одговарајућег опсега фактора интензитета напона, и раста прслине по циклусу, је данас опште прихваћен, јер начелно описује микромеханичко понашање растуће прслине.

Задатак механике лома је обезбеђивање задовољавајућих података о оптерећености конструкција и конструкцијских делова, а с тим у вези и сигурност према евентуалним механичким отказима. То се све посматра узимајући у обзир локално присуство прслине, која значајно смањује оптерећеност конструкције. 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. Значај ових истраживања посебно добија на тежини имајући на уму актуелне трендове ревитализације заварених челичних конструкција, а о чему данас пише више еминентних научних радника из Европе и света. Због тога се у новије време велика пажња поклања испитивањима материјала намењених за рад у условима деловања променљивог оптерећења, испитивању самих конструкција, а све у циљу процене интегритета и преосталог експлоатационог века.

И поред строгих прописа у погледу квалитета заварених спојева, који су донети на основу теоријских сазнања и на основу искустава из експлоатације, бројни су примери појаве експлоатационих прслина и хаварија заварених спојева. То се посебно односи на

челике предвиђене за рад на ниским температурама. У највећем броју случајева у питању су прслине које су се појавиле у ЗУТ-у после извесног периода у експлоатацији, нпр. прегледом сферних резервоара и железничких цистерни утврђене су масовне прслине. Због тога се у новије време велика пажња поклања испитивањима посуда под притиском од квалитетних нисколегираних угљеничних челика.

Успешна примена квалитетних нисколегираних угљеничних челика, пројектованих за сложено оптерећене заварене конструкције, који се користе за рад на ниским температурама, зависи од својстава критичних подручја завареног споја. Зона утицаја топлоте (ЗУТ) и метал шава (МШ) представљају критична места, пре свега због смањене дуктилности, и повећане склоности ка кртом лому. Због тога се пажња при изради заварених спојева посвећује грешкама из којих се у току експлоатације могу развити прслине. Како су грешке типа нехомогености неизбежне у изради и експлоатацији заварених конструкција, то је за разматране челике потребно одредити вредности параметара механике лома, неопходних у оцени интегритета заварених конструкција са утврђеном грешком.

3. ПОЛАЗНЕ ОСНОВЕ И ДОСАДАШЊА ИСТРАЖИВАЊА

Значај ових истраживања посебно добија на тежини имајући на уму актуелне трендове ревитализације посуда под притиском, а о чему данас пише више еминентних научних радника из Европе и света. Због тога се у новије време велика пажња поклања испитивањима самих посуда под притиском, а све у циљу процене интегритета и преосталог века коришћења, што показују и бројна истраживања из те области:

- Čamagić, Z. Burzić, "*Eksperimentalno istraživanje rasta zamorne prsline u zavarenom spoju*", Monografija, Društvo za integritet i vek konstrukcija Prof. Dr. Stojan Sedmak, Beograd, 2017.
- M. Jovanović, I. Čamagić, A. Sedmak, Z. Burzić, S. Sedmak, P. Živković, "*Analysis of SA 387 Gr.91 welded joints crack resistance under static and impact load*", Procedia Structural Integrity, 31, pp 38–44, 2021.
- A. Sedmak, "*Primena mehanike loma na integritet konstrukcije*", Monografija, Mašinski fakultet, Beograd, 2003.
- M. Jovanović, I. Čamagić, S. Sedmak, A. Sedmak, Z. Burzić, "*Effect of material heterogeneity and testing temperature on fatigue behaviour of Cr-Mo steel welded joints*", Engineering Failure Analysis, Volume 141, November 2022, 106542 (Available online 30 June 2022), pp. 1-10, ISSN 1350-6307, <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2022.106542>,
- M. Jovanović, I. Čamagić, S. Sedmak, A. Sedmak, Z. Burzić, "*The Effect of Material Heterogeneity and Temperature on Impact Toughness and Fracture Resistance of SA-387*

Gr. 91 Welded Joints", **Materials**, 2022, Vol. 15, No. 5, 1854, pp. 1-18, ISSN 1996-1944, <https://doi.org/10.3390/ma15051854>, 02 Mar 2022.

- S. Bulatović, "Elasto-plastično ponašanje zavarenog spoja od niskolegiranog čelika povišene čvrstoće u uslovima niskocikličnog zamora", Doktorska disertacija, Mašinski fakultet, Beograd, 2014.
- Y. Liu, S. Mahadevan, "Threshold stress intensity factor and crack growth rate prediction under mixed-mode loading", *Engineering Fracture Mechanics*, Vol. 74, No. 3, pp. 332-345, 2007.
- H. Xiaoping, T. Moan, C. Weicheng, "An engineering model of fatigue crack growth under variable amplitude loading", *International Journal of Fatigue*, Vol. 30, No. 1, pp.2-10, 2008.
- M. Manjgo, M. Behmen, F. Islamović, Z. Burzić, "Behaviour of cracks in microalloyed steel welded joint", *Structural integrity and life*, Vol. 10, No. 3, pp. 235–238, 2010.
- Lj. Milović, V. M. Mitić, Z. Radaković, N. Anđelić, B. Petrovski, "Assessment of pressure vessel load capacity in the presence of cracks", *Structural Integrity and Life*, Vol. 13, No. 1, pp. 9-16, 2013.
- B. Đorđević, G. Bakić, L. Jeremić, M. Đukić, B. Rajičić, S.A. Sedmak, "The Effects of Exploitation Conditions and Welding on Crack Initiation and Propagation in a Starting Pressure Vessel", 18th International Conference on New Trends in Fatigue and Fracture, Lisbon, Portugal, p.p. 167-170, 2018.
- S.C.Sung, "Effect of temperature on the fracture toughness of A516 Gr.70 steel", *KSME International Journal; Worldcat*; Vol. 14(1); pp. 11-18, 2000.
- G. Raghava, P. Gandhi, S. Vishnuvardhan, K.K. Vaze, D.M. Pukazhendhi, M. Saravanan, "Fatigue crack growth studies on SA 516 Gr.70 steel", *Transactions, SMiRT* 21, 6-11 November, New Delhi, India Div-II, 2011.
- M.R. Isa, O.S. Zaroog, K. Murugan, S.O.K. Guma, F.S. Ali, "Improvement of mechanical properties and fatigue life by shot peening process on ASTM A516 Grade 70 steel". *Malaysian Journal of Fundamental and Applied Sciences*, Vol. 14, No. 4, pp 440-442, 2018.
- A.K. Roy, D.L. Fleming, B.Y. Lum, "Localized Corrosion of Candidate Container Materials in Ferric Chloride Solutions", *Corrosion 99 Conference*, San Antonio, TX, B-30, 1999, 1999.
- M. Fontenellea, H. J. Alvesa, M. R. Monteirod, S. M. Higae, C. A. D. Roveref, E. L. Pellizzerb, I. F., "Evaluation of Corrosion Caused by the use of In Natura Biogas in Steam Generator Boilers of Carbon Steel Structural Elements", *Materials Research*. 2017; 20(3): p.725-735.
- E. B. Nunes, H. J. Batista, A. S. Barreto, J. S. Marques, M. F. Motta, "Influence of the Heat Input on the Microstructure and Microhardness of Weld Overlay of Duplex Stainless Steel", *Soldag. Insp. São Paulo*, Vol.17, Nş. 2, p.114-122, 2012.

- Nur Azida Che Lah, Aidy Ali, Napsiah Ismail, Lim Poon Chai, Abdul Aziz Mohamed. "The effect of controlled shot peening on fusion welded joints", Materials & Design, Vol. 31, Issue 1, 2010, Pages 312-324.

Ови радови као и многи други омогућавају свеобухватан приступ проблему процене интегритета и преосталог века коришћења посуда под притиском намењених за рад на сниженим температурама.

4. САДРЖАЈ ИСТРАЖИВАЊА

Анализирајући сферни резервоар као приближно идеализовани облик посуде под притиском, можемо констатовати да је теоријски изложен равномерно распоређеном напону. Међутим, у подручју заварених спојева расподела напона није равномерна, како због геометријских одступања од идеалног облика, тако и због хетерогености структуре и механичких својстава материјала завареног споја. Набројане чињенице намећу потребу експерименталних истраживања у критичној зони заварених спојева. Због тога је приступ проблему у овој докторској дисертацији дефинисан искључиво на бази експерименталних истраживања, која су од пресудног значаја за квалитетну процену преосталог века конструкције. Експерименталним истраживањима треба потврдити теоријску анализу. У ту сврху потребна су следећа испитивања:

4.1. Симулација ЗУТ као критичног дела завареног споја

Нехомогеност структуре и особина зоне утицаја топлоте (ЗУТ) представља ограничење у понашању завареног споја у експлоатацији. Када је у питању оцена интегритета заварене посуде под притиском, неопходно је детаљно познавати структуру и механичка својства појединих подручја ЗУТ, укључујући и прелазну температуру кртости, значајну за развој кртог лома. Термичком симулацијом, загревањем до одређене температуре и програмираним хлађењем, на узорцима се добија микроструктура различитих подручја зоне утицаја топлоте (ЗУТ), а испитивањем тих епрувета могу се одредити механичке и експлоатационе карактеристике материјала тих подручја. Подаци о количини унете топлоте при термичкој симулацији и механичка и експлоатациона својства су основа избора оптималне технологије заваривања

4.2. Испитивање основних структурних и механичких својстава

Микроструктурним испитивањима (металографија и микротврдоћа) завареног споја добиће се основни подаци о споју, на основу којих се може судити о његовом квалитету.

Затезна испитивања узорака ће бити извршена у циљу одређивања затезних својстава узорака завареног споја као целине и метала шава.

Одређивање енергије удара ради одређивања укупне енергије удара, односно њених компоненти, енергије стварања прслине и енергије ширења прслине, такође и одређивање прелазне температуре, односно температуре нулте пластичности основног материјала и компоненти завареног споја. Подаци добијени тим испитивањем објасниће утицај структуре (основног метала-ОМ, МШ и ЗУТ) на својства свих делова завареног споја.

4.3.Експериментална испитивања

Експерименталним одређивањем параметара иницијације прслине (нискоцикличног замора), трајне динамичке чврстоће и раста заморне прслине у основном металу и завареном споју, употпуниће се слика о карактеристикама материјала посуде под притиском и о утицају хетерогености структуре завареног споја (која је у функцији технологије заваривања) на понашање при променљивом оптерећењу глатких узорака и узорака са грешком типа прслине.

За оцену својстава материјала битна је и анализа механике лома. Ради потпунијег разумевања узрока и начина појаве и раста прслина у завареним спојевима квалитетног нисколегираног угљеничног челика из категорије А516, потребно је утврдити како хетерогеност структуре и механичких својстава завареног споја, а пре свега ЗУТ, утиче на појаву и раст прслина, те квантитативно изразити параметре који контролишу локално деформационо понашање и раст прслине.

Као параметри механике лома у анализи ће се користити фактор интензитета напона, отварање врха прслине и Ј-интеграл као параметар еласто пластичне механике лома, пошто се ради о дуктилним материјалима. Анализом добијених резултата, уз одговарајућу металографску анализу, оцењује се склоност ка кртом лому делова завареног споја, што се успешно примењује и за оцену сигурности заварене конструкције.

4.4.Одређивање деформационог и напонског стања посуде под притиском у току експлоатације (мерење промене деформације и напона)

Мерење деформационог и напонског стања ће бити урађено на реалној завареној челичној конструкцији (сферни резервоар израђен од квалитетног нисколегираног угљеничног челика квалитета А516 Гр. 60) у експлоатационим условима.

За потребе експерименталних истраживања биће урађен велики број епрувета са циљем да се дефинишу основне и експлоатационе карактеристике испитиваног материјала

и завареног споја. Епрувете ће бити дефинисане на основу светских искустава и важећих стандарда посебно за свако испитивање.

Предвиђа се следећи оријентациони садржај и структура докторске дисертације:

1. Увод
 2. Нисколегирани угљенични челици за израду заварених челичних конструкција
 3. Понашање материјала при ударном и динамичком оптерећењу
 4. Механика лома - Процена интегритета конструкција
 5. Експериментална истраживања
 6. Испитивање сферног резервоара у току пробе хладним воденим притиском
 7. Предвиђање преосталог радног века заварене челичне конструкције
 8. Закључак
 9. Даљи правци истраживања
- Литература

5. НАУЧНИ ЦИЉ ДИСЕРТАЦИЈЕ

Основни научни циљ дисертације се огледа у имплементацији изведених истраживања, као и у дефинисању основних параметара и критеријума прихватљивости који ће омогућити сигурност у експлоатацији посуда под притиском израђених од квалитетних нисколегираних угљеничних челика. Дефинисање критеријума прихватљивости грешака завареног споја представља основни услов за поуздано испитивање посуда под притиском у току експлоатације. Такође, допринос треба да буде и у оцени особина заварених спојева испитивањем епрувета са прслином, полазећи од претпоставке сингуларитета напонског стања на врху прслине.

На основу добијених резултата испитивања биће анализиран утицај експлоатационих услова на понашање основног материјала и завареног споја нисколегираног угљеничног челика квалитета А516 Гр. 60 при деловању статичког и променљивог оптерећења, и дат практичан допринос побољшању квалитета заварених спојева, а све у циљу ревитализације и продужења радног века виталних компоненти заварених челичних конструкција израђених од квалитетног нисколегираног угљеничног челика.

6. ПРЕДВИЂЕНЕ НАУЧНЕ МЕТОДЕ РАДА

Основне методе које ће у току истраживања бити примењене су теоријске и експерименталне, где је предвиђено да се истражи утицај деловања статичког и

променљивог оптерећења на промену механичко експлоатационих и структурних својстава основног материјала и компоненти завареног споја нисколегираног угљеничног челика квалитета A516 Гр. 60 предвиђеног за израду сферног резервоара.

Дефинисањем критичних места на завареној челичној конструкцији у експлоатацији применом нумеричких метода, и урађеним испитивањима на истим, а користећи резултате механичко експлоатационих и структурних испитивања, дефинисаће се методологија процене интегритета и преосталог века конструкције.

Као основа у овом истраживању послужиће реална посуда под притиском израђена од нисколегираног угљеничног челика квалитета A516 Гр. 60, дефинисана, прорачуната и израђена према међународним стандардима. Кроз теоријски приступ, преко експерименталних метода које дају процену реалног стања, створиће се слика о одступањима од равномерне расподеле напона. Методе рада ће бити примењене у следећим фазама:

1. анализа еластичних напона и деформација;
2. анализа пројектних решења и поступака испитивања посуда под притиском на бази важећих стандарда API, ASME KOD-а и Европских Р-директива;
3. коришћење критеријума механике лома у оцени интегритета заварених спојева, и
4. дефинисање критеријума прихватљивости квалитета заварених спојева и продужења века експлоатације посуда под притиском израђених од квалитетних нисколегираних угљеничних челика.

7. ОСНОВНЕ ХИПОТЕЗЕ

Основна хипотеза од које се полази је да важећи стандарди за пројектовање, израду и експлоатацију посуда под притиском (API и ASME стандарди, као и Р-директиве за посуде под притиском) не дају довољно елемената за оцену интегритета конструкција, односно не дефинишу услове прихватљивости грешака код посуда у експлоатацији. Како је проблем грешака у завареном споју код квалитетних нисколегираних угљеничних челика реална и извесна појава, то се постављени проблем додатно усложњава и његово решење захтева комплекснији приступ.

Да би се дошло до решења, постављају се следеће хипотезе:

- Могуће је поставити методолошке основе за израду и оцену интегритета посуда под притиском израђених од квалитетних нисколегираних угљеничних челика. Добијени резултати истраживања у оквиру овог рада, могу се практично применити и постати солидна основа за израду и експлоатацију посуда под притиском, првенствено намењених за експлоатацију при сниженим температурама.

- Анализом експерименталних резултата могуће је дефинисати нумерички модел и поставити алгоритам за посуде под притиском, који би знатно поједноставио и појефтинио извођење експеримента на конструкцијама великих димензија.
- Да би се обезбедила сигурност заварених компоненти потребно је разјаснити њихово понашање при деловању променљивог оптерећења и у присуству грешке типа прслине (брзина раста заморне прслине da/dN , и праг замора ΔK_{th}), као и понашање при деловању ударног оптерећења, ако у себи садрже концентрацију напона типа зареза.
- Познавање статичких и динамичких параметара механике лома, односно њихова примена у оцени интегритета заварених спојева посуда под притиском, омогућиће дефинисање оптималних параметара, као што су избор одговарајућег материјала и технологије заваривања посуда под притиском

Коначан резултат ових истраживања треба да буде уштеда у маси уграђеног материјала, смањење трошкова израде, те значајно смањење опасности од појаве лома.

8. ЛИТЕРАТУРА

Приликом реализације предложене теме докторске дисертације на располагању ће бити значајан број литературних навода, од којих набрајам следеће:

- [1] I. Čamagić, Z. Burzić, *"Eksperimentalno istraživanje rasta zamorne prsline u zavarenom spoju"*, Monografija, Društvo za integritet i vek konstrukcija Prof. Dr. Stojan Sedmak, Beograd, 2017.
- [2] M. Jovanović, I. Čamagić, A. Sedmak, Z. Burzić, S. Sedmak, P. Živković, *"Analysis of SA 387 Gr.91 welded joints crack resistance under static and impact load"*, Procedia Structural Integrity, 31, pp 38–44, 2021.
- [3] I. Čamagić, *"Istraživanje uticaja eksploatacionih uslova na procenu integriteta i preostalog veka posuda pod pritiskom namenjenih za rad na povišenim temperaturama"*, Doktorska disertacija, Kosovska Mitrovica, 2013.
- [4] A. Sedmak, *"Primena mehanike loma na integritet konstrukcije"*, Monografija, Mašinski fakultet, Beograd, 2003.
- [5] S. Bulatović, *"Elasto-plastično ponašanje zavarenog spoja od niskolegiranog čelika povišene čvrstoće u uslovima niskocikličnog zamora"*, Doktorska disertacija, Mašinski fakultet, Beograd, 2014.
- [6] Y. Liu, S. Mahadevan, *"Threshold stress intensity factor and crack growth rate prediction under mixed-mode loading"*, Engineering Fracture Mechanics, Vol. 74, No. 3, pp. 332-345, 2007.

- [7] H. Xiaoping, T. Moan, C. Weicheng, *"An engineering model of fatigue crack growth under variable amplitude loading"*, International Journal of Fatigue, Vol. 30, No. 1, pp. 2-10, 2008.
- [8] M. Manjgo, M. Behmen, F. Islamović, Z. Burzić, *"Behaviour of cracks in microalloyed steel welded joint"*, Structural integrity and life, Vol. 10, No. 3, pp. 235–238, 2010.
- [9] Lj. Milović, V. M. Mitić, Z. Radaković, N. Anđelić, B. Petrovski, *"Assessment of pressure vessel load capacity in the presence of cracks"*, Structural Integrity and Life, Vol. 13, No. 1, pp. 9-16, 2013.
- [10] B. Đorđević, G. Bakić, L. Jeremić, M. Đukić, B. Rajičić, S. A. Sedmak, *"The Effects of Exploitation Conditions and Welding on Crack Initiation and Propagation in a Starting Pressure Vessel"*, 18th International Conference on New Trends in Fatigue and Fracture, Lisbon, Portugal, p.p. 167-170, 2018.
- [11] S.C. Sung, *"Effect of temperature on the fracture toughness of A516 Gr.70 steel"*, KSME International Journal; Worldcat; Vol. 14(1); pp. 11-18, 2000.
- [12] G. Raghava, P. Gandhi, S. Vishnuvardhan, K.K. Vaze, D.M. Pukazhendhi, M. Saravanan, *"Fatigue crack growth studies on SA 516 Gr.70 steel"*, Transactions, SMiRT 21, 6-11 November, New Delhi, India Div-II, 2011.
- [13] M.R. Isa, O.S. Zaroog, K. Murugan, S.O.K. Guma, F.S. Ali, *"Improvement of mechanical properties and fatigue life by shot peening process on ASTM A516 Grade 70 steel"*. Malaysian Journal of Fundamental and Applied Sciences, Vol. 14, No. 4, pp 440-442, 2018.
- [14] A.K. Roy, D.L. Fleming, B.Y. Lum, *"Localized Corrosion of Candidate Container Materials in Ferric Chloride Solutions"*, Corrosion 99 Conference, San Antonio, TX, B-30, 1999, 1999.
- [15] M. Fontenelle, H.J. Alves, M.R. Monteiro, S.M. Higa, C.A.D. Rovere, E.L. Pellizzer, I. Fontenelle., *"Evaluation of Corrosion Caused by the use of In Natura Biogas in Steam Generator Boilers of Carbon Steel Structural Elements"*, Materials Research. 2017; 20(3): p.725-735.
- [16] E.B. Nunes, H.J. Batista, A.S. Barreto, J.S. Marques, M.F. Motta, *"Influence of the Heat Input on the Microstructure and Microhardness of Weld Overlay of Duplex Stainless Steel"*, Soldag. Insp. São Paulo, Vol.17, Nş. 2, p.114-122, 2012.
- [17] N.A.C. Lah, A. Ali, N. Ismail, L.P. Chai, A.A. Mohamed, *"The effect of controlled shot peening on fusion welded joints"*, Materials & Design, Vol. 31, Issue 1, 2010, Pages 312-324.
- [18] <https://www.murraysteelproducts.com/products/astm-a516-grade-60>.
- [19] <https://www.hicplates.com/astm-a516-gr-60-carbon-steel-plates-supplier-stockist.html>.
- [20] https://www.bebonchina.com/v3/bebon-show/news/astm-a516-gr-60-equivalent_891.html.
- [21] https://www.prosaicsteel.com/asme_sa516_grade_60_steel_plates_boiler_quality_plates.html.

- [22] <https://blog.thepipingmart.com/products/astm-a516-grade-60-plate-composition-properties-and-uses>.
- [23] <https://www.neelconsteel.com/sa-516-gr-60-plate-suppliers.html>.
- [24] <https://www.gneesteels.com/info/comparison-of-a516-gr-70-and-a516-gr-21327942.html>.
- [25] <https://www.casider.com/en/asa-516-gr60n-p-19-en>
- [26] Z. Burzić, "*Mikromehanički aspekti iniciranja i rasta prskotina kod legura na bazi Al-Li sistema*", Doktorska disertacija, Tehnološko-metalurški fakultet, Beograd, 1995.
- [27] J.M. Barsom, S.T. Rolfe, "*Fracture and Fatigue Control in Structures: Applications of Fracture Mechanics*", ASTM International, West Conshohocken, 1999.
- [28] A.A. Griffith, "*The phenomena of rupture and flow in solids*", Philosophical Transactions, London, 1920.
- [29] N. Perez, "*Fracture Mechanics*", Kluwer Academic Publisher, Boston, 2004.
- [30] H.M. Westergaard, "*Bearing Pressures and Cracks*", Journal of Applied Mechanics, G1 (1939) A49–A53
- [31] G.R. Irwin, J.A. Kies, "*Fracturing and fracture dynamics*", Welding Journal Research. Supplement 31(2): pp. 95-100, 1952.
- [32] G.R. Irwin, "*Analysis of stresses and strain near the end of a crack traversing a plate*", Journal of Applied Mechanics, 1957.
- [33] G.R. Irwin, "*Plastic zone near a crack and fracture toughness*", Processing 7th Sagamore Research Conf on Mechanics & Metals Behavior of Sheet Material Vol. 4, 463-478, Racquette Lake, NY, 1960.
- [34] J.R. Rice, "*A Path independent Integral and the Approximate Analysis of Strain Concentration by Notches and Cracks*", Journal of Applied Mechanics, vol.35, 1968.
- [35] J.R. Rice, G.F. Rosengren, "*Plan Strain Deformation Near a Crack Tip In a Power-Law hardening Material*", Journal of the Mechanics and Physics of Solids, Rhode island, 1967.
- [36] J.D. Landers, J.A. Bergley, "*A Fracture Mechanics Approach to Creep Crack Growth*", ASM International, Cleveland, 1976.
- [37] O.C. Zienkiewicz, R.L. Taylor, "*The Finite Element Method: The Basic*", Butterworth-Heinemann, Oxford, 2000.
- [38] O.C. Zienkiewicz, R.L. Taylor, "*The Finite Element Method: Solid Mechanics*", Butterworth-Heinemann, Oxford, 2000.
- [39] T. Belytschko, T. Black, "*Elastic crack growth in finite elements with minimal remeshing*", International Journal of Fracture, 1999.
- [40] P.C. Paris, F. Erdogan, "*A Critical Analysis of Crack Propagation Laws*", Trans. ASME, Journal Basic Eng., Vol. 85, No. 4, p. 528, 1961.
- [41] Y. Liu, S. Mahadevan, "*Threshold stress intensity factor and crack growth rate prediction under mixed-mode loading*", Engineering Fracture Mechanics, Vol. 74, No. 3, pp. 332-345, 2007.

- [42] H. Xiaoping, T. Moan, C. Weicheng, *"An engineering model of fatigue crack growth under variable amplitude loading"*, International Journal of Fatigue, Vol. 30, No. 1, pp.2-10, 2008.
- [43] M. Manjgo, M. Behmen, F. Islamović, Z. Burzić, *"Behaviour of cracks in microalloyed steel welded joint"*, Structural integrity and life, Vol. 10, No. 3, pp. 235–238, 2010.
- [44] Z. Han, H. Luo, Y. Zhang, J. Cao, *"Effects of microstructure on fatigue crack propagation and acoustic emission behaviors in a microalloyed steel"*, Materials Science & Engineering A, Vol. 559, pp. 534-542, 2013.
- [45] Lj. Milović, V.M. Mitić, Z. Radaković, N. Anđelić, B. Petrovski, *"Assessment of pressure vessel load capacity in the presence of cracks"*, Structural Integrity and Life, Vol. 13, No. 1, pp. 9-16, 2013.
- [46] B. Đorđević, G. Bakić, L. Jeremić, M. Đukić, B.Rajičić, S.A. Sedmak, *"The Effects of Exploitation Conditions and Welding on Crack Initiation and Propagation in a Starting Pressure Vessel"*, 18th International Conference on New Trends in Fatigue and Fracture, Lisbon, Portugal, p.p. 167-170, 2018.
- [47] S.A. Sedmak, *"Procena integriteta i veka zavarenih spojeva mikrolegiranih čelika povišene čvrstoće pri dejstvu statičkog i dinamičkog opterećenja"*, Doktorska disertacija, Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet, Beograd, 2019.
- [48] L. Jeremić, B. Đorđević, I. Šapić, S.A. Sedmak, N. Milovanović, *"Manufacturing and integrity of Ammonia storage tanks"*, Structural integrity and life, Vol. 20, No 2, pp. 123–129, 2020.
- [49] M. Jovanović, I. Čamagić, S.A. Sedmak, P. Živković, A. Sedmak, *"Crack initiation and propagation resistance of HSLA steel welded joint constituents"*, Structural integrity and life, Vol. 20, No 1, pp. 11–14, 2020.
- [50] S.C. Sung, *"Effect of temperature on the fracture toughness of A516 Gr.70 steel"*, KSME International Journal; Worldcat; Vol. 14(1); pp. 11-18, 2000.
- [51] G. Raghava, P. Gandhi, S. Vishnuvardhan, K.K. Vaze, D.M. Pukazhendhi, M. Saravanan, *"Fatigue crack growth studies on SA 516 Gr.70 steel"*, Transactions, SMiRT 21, 6-11 November, New Delhi, India Div-II, 2011.
- [52] M.R. Isa, O.S. Zaroog, K. Murugan, S.O.K. Guma, F.S. Ali, *"Improvement of mechanical properties and fatigue life by shot peening process on ASTM A516 Grade 70 steel"*, Malaysian Journal of Fundamental and Applied Sciences, Vol. 14, No. 4, pp 440-442, 2018.
- [53] M. Jovanović, I. Čamagić, A. Sedmak, Z. Burzić, S. Sedmak, P. Živković, *"Analysis of SA 387 Gr.91 welded joints crack resistance under static and impact load"*, Procedia Structural Integrity, 31, pp 38–44, 2021.
- [54] S. Sedmak, Z. Burzić, *"Materijali i njihovo ponašanje pri zavarivanju - Poglavlje 2.8"*, Materijal za specijalističke studije za školovanje IWE i IWT, 2004.

- [55] EN 10025-1:2011, "*Toplovaljani proizvodi od konstrukcionih čelika - Opšti tehnički zahtevi za isporuku (Hot rolled products of structural steels - Part 1: General technical delivery conditions)*", 2011.
- [56] EN 10025-2:2020, "*Toplovaljani proizvodi od konstrukcionih čelika – Deo 2: Tehnički zahtevi za isporuku nelegiranih konstrukcionih čelika (Hot rolled products of structural steels - Part 2: Technical delivery conditions for non-alloy structural steels)*", 2020.
- [57] EN 10025-3:2020, "*Toplovaljani proizvodi od konstrukcionih čelika – Deo 3: Tehnički zahtevi za isporuku zavarljivih finozrnih konstrukcionih čelika u normalizovanom stanju i stanju posle valjanja uz normalizaciju (Hot rolled products of structural steels - Part 3: Technical delivery conditions for normalized/normalized rolled weldable fine grain structural steels)*", 2020.
- [58] EN 10025-4:2020, "*Toplovaljani proizvodi od konstrukcionih čelika – Deo 4: Tehnički zahtevi za isporuku zavarljivih finozrnih konstrukcionih čelika dobijenih termomehaničkim valjanjem (Hot rolled products of structural steels - Part 4: Technical delivery conditions for thermomechanical rolled weldable fine grain structural steels)*", 2020.
- [59] EN 10027-1:2017, "*Sistemi označavanja čelika – Deo 1: Osnovne oznake čelika (Designation systems for steels - Part 1: Steel names)*", 2017.
- [60] EN 10027-2:2015, "*Sistem za označavanje čelika — Deo 2: Brojčani sistem (Designation systems for steels - Part 2: Numerical system)*", 2015.
- [61] EN 10028-1:2017, "*Pljosnati proizvodi od čelika za opremu pod pritiskom – Deo 1: Opšti zahtevi (Flat products made of steels for pressure purposes - Part 1: General requirements)*", 2017.
- [62] EN 10028-2:2017, "*Pljosnati proizvodi od čelika za opremu pod pritiskom – Deo 2: Nelegirani i legirani čelici sa osobinama utvrđenim za povišene temperature (Flat products made of steels for pressure purposes - Part 2: Non-alloy and alloy steels with specified elevated temperature properties)*", 2017.
- [63] EN 10028-3:2017, "*Pljosnati proizvodi od čelika za opremu pod pritiskom – Deo 3: Finozrni konstrukcioni čelici, normalizovani, pogodni za zavarivanje (Flat products made of steels for pressure purposes - Part 3: Weldable fine grain steels, normalized)*", 2017.
- [64] S. Sedmak, Z. Burzić, "*Materijali i njihovo ponašanje pri zavarivanju - Poglavlje 2.10*", Materijal za specijalističke studije za školovanje IWE i IWT, 2004.
- [65] EN 1011-2:2007, "*Zavarivanje - Preporuke za zavarivanje metalnih materijala - Deo 2: Elektrolučno zavarivanje feritnih čelika (Welding - Recommendations for welding of metallic materials - Part 2: Arc welding of ferritic steels)*", 2007.
- [66] DIN 18800:2008, "*Čelične konstrukcije - Deo 1: Projektovanje i izrada (Steel structures – Part 1: Design and construction)*", 2008.
- [67] DIN 18809:2008, "*Čelični drumski i pješački mostovi; Projektovanje i izrada (Steel Road Bridges and Foot Bridges; Design and Construction)*", 2008.
- [68] EN 1993-1-11:2010, "*National Annex – Nationally determined parameters – Eurocode 3: Design of steel structures – Part 1-11: Design of structures with tension components*", 2010.

- [69] ASTM A516/A516M-10, "Standard Specification for Pressure Vessel Plates, Carbon Steel, for Moderate- and Lower-Temperature Service", 2015
- [70] EN 10204:2014, "Metallic products – Types of inspection documents", 2014.
- [71] EN 10155:2014, "Konstrukcioni čelik sa povećanom otpornošću prema atmosferskoj koroziji- Tehnički zahtjevi za isporuku (Structural steels with improved atmospheric corrosion resistance - Technical delivery conditions)", 2014.
- [72] EN 10210-1:2008, "Šuplji profili od nelegiranog finozirog konstrukcionog čelika izrađeni u toplom stanju - Dio 1: Tehnički zahtjevi za isporuku (Hot finished structural hollow sections of non-alloy and fine grain steels - Part 1: Technical delivery conditions)", 2008.
- [73] K. T. Venkateswara Rao, W. Yu, R. O. Ritchie, Metall. Trans. 20A, p. 485, 1989.
- [74] ASTM E466-82, "Standard Practice for Conducting Constant Amplitude Axial Fatigue Tests of Metallic Materials", Annual Book of ASTM Standards, Vol. 03.01, p. 571, 1986.
- [75] ASTM E467-82, "Standard Practice for Verification of Constant Amplitude Dynamic Loads in an Axial Load Fatigue Testing Machine", Annual Book of ASTM Standards, Vol. 03.01, p. 577, 1986.
- [76] P. Terzić, "Ispitivanje metala", Institut za ispitivanje materijala SR Srbije, 1977.
- [77] M. L. Roberts, "Engine Life, Usage, and Cycle Selection", Journal of Aircraft, Vol. 15, No 4, pp 240-245, 1978.
- [78] J. A. Bannantine, J. Comer, J. Handrock, "Fundamentals of Material Fatigue Analysis", Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1990.
- [79] J. Collins, "Повреждение материалов в конструкциях – Анализ", Предсказание, Предотвращение, Перевод с английского, "МИР", Москва 1984.
- [80] V. P. Kogaev, N. A. Mahutov, A. P. Gusenkov, "Расчеты деталей машин и конструкций на прочность и долговечность", Справочник, Машиностроение, Москва 1985.
- [81] D. M. Janković, "Eksperimentalno određivanje tokova zamaranja materijala pri ciklično promenljivim elasto-plastičnim deformacijama", Doktorska disertacija, Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet, Beograd 1988.
- [82] D.M. Janković, "Malociklusni zamor", Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet, Beograd, 2001.
- [83] S. Posavljak, "Naponsko-deformaciona analiza i zamor materijala rotacionih diskova turbomlaznih motora", Magistrski rad, Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet, Beograd 1999.
- [84] R.W. Landgraf, "The Resistance of Metals to Cyclic Deformation, Achievement of High Fatigue Resistance in Metals and Alloys", ASTM STP 467, American Society for Testing and Materials, pp. 3-36, 1970.
- [85] D. Kostaes, "Fatigue Behaviour and Analysis", Talat Lecture 2401, Technische Universität München, EAA – European Aluminium Association, 1994.
- [86] S. Klysz, "Load Sequence Influence on Low Cycle Fatigue Life", Technical Sciences, No. 8, 2005 (http://www.uwm.edu.pl/wnt/technicalsc/ts8/14_18_2005.pdf).

- [87] J. Morrow, *"Fatigue Design Handbook"*, Advances in Engineering, Vol. 4, Society of Automotive Engineers, Warrendale, Pa., Sec. 3.2, pp. 21-29, 1968.
- [88] Tso-Liang Teng, Pebg-Hsiang Chang, *"Fatigue Crack Initiation Life Prediction for a Flat Plate with a Central Hole"*, Journal of C.C.I.T. Vol. 32, No 1, Nov. 2003.
- [89] C.C. Chamis, *"Probabilistic Structural Analysis Methods (PSAM) for Select Space Propulsion System Components – II (6th Annual Report)"*, NASA Contractor Report 187200, Southwest Research Institute, Texas, 1991.
- [90] S.S. Manson, G.R. Halford, *"Practical Implementation of the Double Linear Damage Rule and Damage Curve approach for Treating Cumulative Fatigue Damage"*, International Journal of Fracture, Vol. 17, No. 2, pp. 169-172, R35-R42, 1981.
- [91] K.N. Smith, P. Watson, T.H. Topper, *"A Stress-Strain Function for the Fatigue of Metals"*, Journal of Materials, JMLSA, Vol. 5, No. 4, pp. 767-778, 1970.
- [92] W. Benduck, B. Hahn, W. Scheendler, *"Development of creep damage in steel grades X10 CrMoVNb 9-1 (P/T91) and X20 CrMoV 12-1—Results from VGB-research Project 160"*, VGB Power Tech, pp. 98-101, 2001.
- [93] J.A. Harris Jr, *"Engine component retirement for cause, Vol. 1, Executive Summary"*, AFWAL-TR-87-4609, Wright-Patterson Air Force Base, Ohio, 1987.
- [94] G.R. Irwin, *"Fracture"*, Handbuch der Physik VI, Springer-Verlag, 1958.
- [95] S. Sedmak, Z. Burzić, *"Konstruisanje i projektovanje - Analiza loma naftne platforme Aleksander Kielland"*, Materijal za specijalističke studije za školovanje IWE i IWT, Poglavlje 3.12, 2004.
- [96] https://uk.images.search.yahoo.com/yhs/search;_ylt=AwrIQddEGd9fkBIAchZ3Bwx.;_ylu=Y29sbwMEcG9zAzMEdnRpZAMEc2VjA3Nj?p=Deepwater+Horizon&fr=yhs-Lkry-newtab&hspart=Lkry&hsimp=yhs-newtab.
- [97] V.B. Čulafić, *"Uvod u mehaniku loma"*, Mašinski fakultet Podgorica, 1999.
- [98] T.L. Anderson, *"Fracture Mechanics-Fundamentals and applications"*, CRC Press, USA, 1994.
- [99] Z. Burzić, *"Teorijske i Eksperimentalne osnove Mehanike loma"*, radni materijal – predavanja, Tehnički fakultet Bihać, 2014.
- [100] S. Sedmak, *"Ravoj i osnovne definicije mehanike loma"*, Uvod u mehaniku loma i konstruisanje sa sigurnošću od loma-Međunarodna letnja škola mehanike loma, Smed. Palanka, str. 1-26, 1980.
- [101] ASTM E1152-95, *"Standard Test Method for Determining J-R Curve"*, www.astm.org, ASTM International, West Conshohocken, PA, 1995, Povučeno iz upotrebe je 1997.
- [102] ASTM E1290-08, *"Standard Test Method for Crack – Tip Opening Displacement (CTOD) Fracture Toughness Measurement"*, www.astm.org, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2008, Povučeno iz upotrebe 2013.
- [103] ASTM E399-20, *"Standard Test Method for Linear-Elastic Plane-Strain Fracture Toughness of Metallic Materials"*, www.astm.org, ASTM International, West Conshohocken, PA, ASTM Book of Standards Volume 03.01, 2020.

- [104] ASTM E1820-20b, "Standard Test Method for Measurement Fracture Toughness", www.astm.org, ASTM International, West Conshohocken, PA, ASTM Book of Standards Volume 03.01, 2020.
- [105] BS 7448 - Part 1, "Fracture mechanics toughness tests - Method for determination of K_{Ic} critical CTOD and critical J values of metallic materials", BSI, 1991.
- [106] BS 7448 - Part 2, "Fracture mechanics toughness tests - Methods for determination of K_{Ic} critical CTOD and critical J values of welds in metallic materials", BSI, 1997.
- [107] EN ISO 12135-16, "Metallic Materials. Unified Method of test for the determination of quasistatic Fracture Toughness", ISO/TC 164, Mechanical testing of metals, Subcommittee SC 4, Toughness testing — Fracture (F), Pendulum (P), Tear (T), 2016.
- [108] EN ISO 15653-18, "Metallic Materials. Method of test for the determination of quasistatic Fracture Toughness of weld", Technical Committee ISO/TC 164/SC 4, Fatigue, fracture and toughness testing, 2018.
- [109] A. Sedmak, S. Sedmak, Lj. Milovic, "Pressure Equipment Integrity Assessment by Elastic-Plastic Fracture Mechanics Methods", Monograph, Society for Structural Integrity and Life, 2011.
- [110] A. Radović, "Mogućnosti korišćenja kriterijuma mehanike loma u oceni sigurnosti zavarenih spojeva", Letnja škola mehanike loma - Mehanika loma zavarenih spojeva, Aranđelovac, str. 15-43, 1984.
- [111] A. Sedmak, Z. Burzić, "Izveštaj o kvalifikaciji tehnologije reparaturnog zavarivanja reaktora DC-301", Mašinski fakultet Beograd, 1999.
- [112] Z. Burzić, S. Sedmak, M. Manjgo, "Eksperimentalno određivanje parametara mehanike loma zavarenih spojeva", Integritet i Vek Konstrukcija, No. 2, str. 97, 2001.
- [113] M. Jovanović, "Istraživanje uticaja promenljivog opterećenja i greške tipa prsline na procenu integriteta zavarenih komponenata procesne opreme za povišene radne temperature", Doktorska disertacija, 2022.
- [114] S. Sedmak, "Istraživanje uticaja količine zavarivanjem unete toplote na promene u ZUT kompleksno legiranih čelika visoke čvrstoće", Naučnoistraživački projekt Fabrike vagona Kraljevo i Osnovne zajednice nauka regiona Kraljevo-Čačak, TMF, Beograd, 1980-1981.
- [115] Z. Burzić, "Savremene metode provere mehaničko-tehnoloških osobina zavarenih spojeva—Deo 2", Zavarivanje i zavarene konstrukcije, Vol. 47, No. 3, str. 151-158, 2002.
- [116] K.J. Miller, W.J. O'Donnell, "The fatigue limit and its elimination", Fatigue Fracture Engineering Materials Structures, Vol. 22, p. 545-557, 1999.
- [117] P.C. Paris, G.C. Sih, "Stress Analysis of Cracks, Fracture Toughness Testing and Application", STP 381, p. 30-83.
- [118] Z. Burzić, "Ispitivanje promenljivim opterećenjem glatkih i zarezanih epruveta", 7. Tematski zbornik radova "Eksperimentalne i numeričke metode u oceni integriteta konstrukcije", V. Plana, str. 75-92, 1997.
- [119] J.C. Radon, "Determination of Threshold Stress Intensities, Fatigue of Low Alloy Steel BS4360-50D", Int. J. Fatigue, p. 225, 1982.

- [120] E.K. Walker, *"An Effective Strain Concept for Crack Propagation and Fatigue With Specific Application to Biaxial Stress Fatigue"*, AFFDL-TR-70-144, p. 225-233, 1970.
- [121] R.G. Forman, V.E. Kearney, R.M. Engle, *"Numerical Analysis of Crack Propagation in Cyclic-Loaded Structures"*, Trans. ASME, Journal Basic Eng., Vol.89, No.3, p. 459, 1997.
- [122] M. Klesnil, , P. Lukas, *"Influence of Strength and Stress History on Growth and Stabilization of Fatigue Cracks"*, Engineering Fracture Mechanics, Vol. 4, p. 77-92, 1972.
- [123] A.A. Wells, *"Application of fracture mechanics at and beyond general yielding"*, British Welding Journal 11, p. 563-570, 1963.
- [124] F.M. Burdekin, M.G. Dawes, *"Practical Use of Linear Elastic and Yielding Fracture Mechanics with Particular Reference in Pressure Vessels"*, Proc. of the Institute of Mechanical Engineering Conference, London, pp. 28-37, 1971.
- [125] H.H. Bednar, *"Pressure Vessel Design Handbook"*, Van Nostrand Reinhold Comp., New York, 1986.
- [126] PD 6493, *"Guidance on Some Methods for the Derivation of Acceptance Levels for Defects in Fusion Welded Joints-Uputstvo za postupke za ocenu prihvatljivosti prslina u topljenjem zavarenim konstrukcijama"*, BSI, 1991.
- [127] BS 7910-19, *"Guide to methods for assessing the acceptability of flaws in metallic structures"*, 2019.
- [128] *"Welding Handbook"*, 9th Edition, Vol. 1, AWS, 2001.
- [129] SINTAP (Structural INTegrity Assessment Procedures for European Industry - Postupak za ocenu integriteta konstrukcija za evropsku industriju), 1999.
- [130] BS 7608:2014+A1:2015, *"Guide to fatigue design and assessment of steel products"*, 2015.
- [131] M. Vnuk, *"Problemi stabilnosti žilavog loma"*, Uvod u mehaniku loma i konstruisanje sa sigurnošću od loma-Međunarodna letnja škola mehanike loma, Smed. Palanka, str. 137-168, 1980.
- [132] K. Sivakumar, T.M.S. Manikandan, B. Sethuraman, S. Rajagoplan, *"Mechanical Characteristic of Gas Metal Arc Welding of ASTM A516 Grade 70 Steel"*, International Journal of Applied Engineering Research, 10(68), 2015.
- [133] <https://sij.acroni.si/assets/Uploads/SIQUAL-catalogue.pdf>
- [134] *"Niskolegirane bazične elektrode EVB 60-Dodatni materijali za zavarivanje"*, Elektrode Jesenice, 2014.
- [135] EN ISO 15614-1:2017/AMD1:2019, *"Specifikacija i kvalifikacija tehnologije zavarivanja metalnih materijala - Kvalifikacija tehnologije zavarivanja - Deo 1: Elektrolučno i gasno zavarivanje čelika (Specification and qualification of welding procedures for metallic materials - Welding procedure test - Part 1: Arc and gas welding of steels - Amendment 1)"*, 2019.
- [136] *"Podaci o opremi i parametriradiografskekontrole"*, Izveštaj 224/19 Zavod za zavarivanje, 2019.

- [137] EN ISO 17639:2014, "*Ispitivanje sa razaranjem zavarenih spojeva metalnih materijala - Makroskopsko i mikroskopsko ispitivanje zavarenih spojeva (Destructive tests on welds in metallic materials - Macroscopic and microscopic examination of welds)*", 2014.
- [138] EN ISO 5173:2013, "*Ispitivanje sa razaranjem zavarenih spojeva metalnih materijala - Ispitivanje savijanjem (Destructive Tests on Welds in Metallic Materials - Bend Tests)*", 2013.
- [139] EN ISO 9015:2013, "*Ispitivanje sa razaranjem zavarenih spojeva metalnih materijala - Ispitivanje tvrdoće - Deo 1: Ispitivanje tvrdoće elektrolučno zavarenih spojeva (Destructive tests on welds in metallic materials - Hardness testing - Part 1: Hardness test on arc welded joints)*", 2013.
- [140] EN ISO 6892-1:2020, "*Metalni materijali - Ispitivanje zatezanjem - Deo 1: Metoda ispitivanja na sobnoj temperaturi (Metallic materials - Tensile testing - Part 1: Method of test at room temperature)*", 2020.
- [141] EN ISO 6892-2:2018, "*Metalni materijali - Ispitivanje zatezanjem - Deo 2: Metoda ispitivanja na povišenoj temperaturi. (Metallic materials - Tensile testing - Part 2: Method of test at elevated temperature)*", 2018.
- [142] EN ISO 4136:2013, "*Ispitivanje sa razaranjem zavarenih spojeva metalnih materijala - Ispitivanje poprečnim zatezanjem (Destructive tests on welds in metallic materials - Transverse tensile test)*", 2013.
- [143] V. Grabulov, "*Određivanje parametara krive otpornosti primenom potenciometrijske metode za merenje rasta prskotine*", Doktorska disertacija, TMF, Beograd, 1995.
- [144] EN ISO 9016:2013, "*Ispitivanje sa razaranjem zavarenih spojeva metalnih materijala - Ispitivanje udarom - Postavljanje epruveta, orijentacija zareza i ispitivanje. (Destructive tests on welds in metallic materials - Impact tests - Test specimen location, notch orientation and examination)*", 2013.
- [145] EN ISO 148-1:2017, "*Metalni materijali - Ispitivanje udarom Šarpijevim klatnom - Deo 1: Metoda ispitivanja (Metallic materials - Charpy pendulum impact test - Part 1: Test method)*", 2017.
- [146] EN ISO 14556:2023, "*Metalni materijali – Ispitivanje epruveta sa V-zarezom udarom Šarpijevim klatnom - Instrumentalna metoda ispitivanja (Metallic materials - Charpy V-notch pendulum impact test - Instrumented test method)*", 2023.
- [147] P. Terzić, "*Ispitivanje metala*", IMS Institut, 1985.
- [148] ASTM E466-21: "*Standard Practice for Conducting Force Controlled Constant Amplitude Axial Fatigue Tests of Metallic Materials*", 2021.
- [149] EN 6072-10: "*Aerospace series - Metallic materials - Test methods - Constant amplitude fatigue testing*", 2010.
- [150] ASTM E467-21: "*Standard Practice for Verification of Constant Amplitude Dynamic Forces in an Axial Fatigue Testing System*", 2021.
- [151] ASTM E468-18: "*Standard Practice for Presentation of Constant Amplitude Fatigue Test Results for Metallic Materials*", 2018.

- [152] M. Burzić, M. Kutin, B. Grujić, Ž. Adamović, "Safe Operation of Welded Structure with Cracks at Elevated Temperature", *Strojniški Vestnik - Journal of Mechanical Engineering*, in press, 2008.
- [153] M. Burzić, Z. Burzić, J. Kurai, "Fatigue Behaviour of Alloyed Steel for High Temperature", First Serbian (26th YU) Congress on Theoretical and Applied Mechanics, Kopaonik, Serbia, p. 1085-1090, 2007.
- [154] Dž. Gačo, R. Prokić-Cvetković, M. Burzić, "Influence of Operating Conditions on Fracture Mechanics Parameters of High Alloyed Steel X20", *MECHANICS '2007 - 12th International Conference Kaunas, Lithuania*, p.253-261, 2007.
- [155] ISO 12106-17: "Metallic materials – Fatigue testing – Axial-strain-controlled method", 2017.
- [156] ASTM E606-18: "Standard Practice for Strain-Controlled Fatigue Testing", 2018.
- [157] EN ISO 15653:2018, "Metallic Materials. Method of test for the determination of quasistatic Fracture Toughness of weld", 2018.
- [158] ISO 12110-1:2013, "Metallic materials - Fatigue testing - Variable amplitude fatigue testing - Part 1: General principles, test method and reporting requirements", 2013.
- [159] EN ISO 15653:2018, "Metallic Materials. Method of test for the determination of quasistatic Fracture Toughness of weld", 2018.
- [160] ASTM E647-15e1, "Standard Test Method for Measurement of Fatigue Crack Growth Rates".
- [161] C.P. Paris, and B.R. Hayden, "A New System for Fatigue Crack Growth Measurement and Control", *ASTM Symposium on Fatigue Crack Growth*, Pittsburg, 1989.
- [162] Softverski paket ANSYS WORKBENCH R21, 2021.
- [163] Sferni rezervoar za smeštaj tečnog naftnog gasa (TNG), Rafinerija gasa Elemir.
- [164] Z. Perović, "Zamor mašinskih djelova i konstrukcija", Univerzitet Crne Gore, Podgorica, 2006.
- [165] ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Section VIII, "Rules for Construction of Pressure Vessels - Division 1", 2005

9. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

У својству чланова Комисије за оцену научне заснованости теме за израду докторске дисертације закључујемо да је кандидат Никола Костић, дипл. инж. саобраћаја, својим досадашњим стручним и научно-истраживачким радом показао способност да се бави научним истраживањем. Кандидат Никола Костић, дипл. инж. саобраћаја, испуњава предвиђене услове за стицање права на пријаву теме и израду одговарајуће докторске дисертације, прописане Законом о високом образовању Републике Србије, Статутом Факултета техничких наука у Косовској Митровици, као и Статутом Универзитета у Приштини са седиштем у Косовској Митровици. У својству чланова Комисије за оцену научне заснованости теме за израду докторске дисертације закључујемо да је предложена тема

**„Утицај грешке типа прелине на интегритет и век заварених челичних конструкција
израђених од нисколегираних угљеничних челика“**

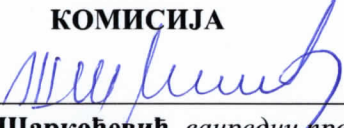
научно заснована да се по њој изводе истраживања која ће довести до оригиналних резултата на основу којих се може формирати оригинални рад нивоа докторске дисертације. Образложење и садржај предложене теме је прихватљив и мишљења смо да она даје реалну и научно засновану основу за оригинална научна истраживања и пружа могућност да кандидат дође до оригиналних научних сазнања. На основу презентованог предмета, циља, као и метода истраживања и испитивања, основни допринос ове дисертације биће имплементација изведених истраживања, као и дефинисање основних параметара и критеријума прихватљивости који ће омогућити сигурност у експлоатацији компоненти постројења процесне опреме намењене за рад у условима деловања променљивог оптерећења и повишеног притиска. На основу изложеног, у својству Комисије предлагемо Наставно-научном већу Факултета техничких наука Универзитета у Приштини са седиштем у Косовској Митровици, да Николи Костићу, дипл. инж. саобраћаја, одобри израду докторске дисертације под радним насловом

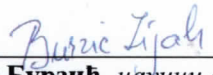
**"Утицај грешке типа прелине на интегритет и век заварених челичних конструкција
израђених од нисколегираних угљеничних челика"**

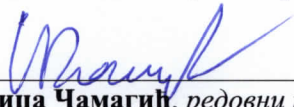
јер је тема научно заснована и исказујемо сагласност да за ментора истраживања и израде докторске дисертације кандидата Николе Костића дипл. инж. саобраћаја, именује др Ивицу Чамагића, редовног професора, Факултета техничких наука у Косовској Митровици, што је у складу са предлогом кандидата.

У Косовској Митровици,
25.01.2024. год.

КОМИСИЈА


Др Живче Шаркоћевић, ванредни професор,
ФТН Косовска Митровица, председник


Др Зијех Бурзић, научни саветник,
Војнотехнички институт Београд, члан


Др Ивица Чамагић, редовни професор
ФТН Косовска Митровица, члан