



ZAVARIVANJE I ZAVARENE KONSTRUKCIJE

WELDING & WELDED STRUCTURES

God. 67 Vol. 67	Br. 1 No. 1	1-48 1-48	Beograd Belgrade	Srbija Serbia	2022. 2022.
--------------------	----------------	--------------	---------------------	------------------	----------------

ČASOPIS DRUŠTVA ZA UNAPREĐIVANJE
ZAVARIVANJA U SRBIJI

SERBIAN WELDING SOCIETY
QUARTERLY REVIEW

IZLAZI TROMESEČNO

IZDAVAČ / PUBLISHER

**DUZS - Društvo za unapređivanje
zavarivanja u Srbiji**

Adresa: 11000 Beograd, Grčića Milenka 67

Za izdavača / For Publisher

Branislav Lukić, dipl.ing, predsednik DUZS

UREDNIŠTVO / EDITORIAL

Glavni i odgovorni urednik / Editor-in-Chief

Dr Zoran Odanović, dipl.ing.

duzs011@gmail.com, odanovic@ptt.rs

Tehnički urednik / Technical Editor

Branislav Lukić, dipl.ing

Redakcijski odbor / Editorial Board

Dr Nenad Radović, dipl.ing.

Dr Radomir Jovičić, dipl.ing.

Dr Bore Jegdić, dipl.ing.

Miloš Pavlović, dipl.ing.

REDAKCIJA I MARKETING / EDITORIAL OFFICE AND MARKETING

Vesna Jović

Grčića Milenka 67, I sprat
11000 Beograd

Tel / Fax + 381 (11) 2420-652
(10-16h)

duzs@eunet.rs

www.duzs.org.rs



UREĐIVAČKI ODBOR / PUBLISHING COUNCIL

Dr Vencislav Grabulov, dipl.ing, (predsednik)

Prof.dr Vukić Lazić, dipl.ing.

Doc.dr Ismar Hajro, dipl.ing. (BiH)

Prof.dr Darko Bajić, dipl.ing. (Crna Gora)

Prof. dr Dragoslav Dobraš, dipl.ing. (BiH, Republika Srpska)

Prof. dr Sveto Cvetkovski, dipl.ing. (Makedonija)

Doc. dr Tomaž Vuherer, dipl.ing. (Slovenija)

Prof. dr Ivan Samardžić, dipl.ing. (Hrvatska)

Dr Horia Dascau, dipl.ing. (Rumunija)

CIP - Каталогизacija u publikaciji
Narodna biblioteka Srbije, Beograd
621.791

ZAVARIVANJE i zavarene konstrukcije : časopis
Društva za unapređivanje zavarivanja u Srbiji = Welding &
Welded Structures : Serbian Welding Society quarterly review
/ glavni i odgovorni urednik Zoran Odanović. – Vol. 41, no. 1
(1996)- . - Beograd : DUZS - Društvo za unapređivanje
zavarivanja u Srbiji, 1996-. (Beograd : VIS studio).-29 cm

Tromesečno. Je nastavak: Zavarivač = 0513-8523
ISSN 0354-7965 = Zavarivanje i zavarene konstrukcije
COBISS.SR-ID 105396743

CENE I NARUDŽBINA ZA 2022.

Cena pojedinačnog broja 825,00 dinara

Godišnja pretplata 2500,00 dinara

Tekući račun: 325-9500600002588-46

PRICE AND ORDER

Annual subscription: EUR 100

Account No. RS35325960160000041546

OTPVRS22 (VOJVOĐANSKA BANKA AD)

IBAN RS35325960160000041546

ŠTAMPA / PRINTED

“VIS STUDIO” d.o.o.

Bulevar Arsenija Čamojevića 123, Beograd

Tiraž: 400 kom.

SADRŽAJ

CONTENTS



NAUKA • ISTRAŽIVANJE • RAZVOJ

SCIENCE • RESEARCH • DEVELOPMENT

03

UTICAJ PARAMETARA ZAVARIVANJA NA
KARAKTERISTIKE I MOGUĆNOST HLADNOG
VALJANJA ZAVARENOG SPOJA LEGURE
ALUMINIJUMA 5083 DOBIJENOG POSTUPKOM
ZAVARIVANJA TRENJEM ALATOM

INFLUENCE OF WELDING PARAMETERS ON JOINT
PROPERTIES AND POSSIBILITY OF POST-WELD
COLD-ROLLING OF FRICTION STIR WELDED
ALUMINUM ALLOY 5083

Maja Mladenović, Jovana Mandić, Dragomir Glišić, Igor Radisavljević, Nada Ilić



NAUKA • ISTRAŽIVANJE • RAZVOJ

SCIENCE • RESEARCH • DEVELOPMENT

11

PROCENA INTEGRITETA I VEKA ZAVARENOG
PANELA PRIMENOM LOKALNIH NAPONA

ASSESSMENT OF THE INTEGRITY AND LIFE OF
WELDED PANEL USING LOCAL STRESSES

Aleksandar Grbović, Aleksandar Sedmak, Abdulgasem Sghayer, Katarina Čolić



NAUKA • ISTRAŽIVANJE • RAZVOJ

SCIENCE • RESEARCH • DEVELOPMENT

20

KARAKTERIZACIJA MAG PULSNOG ZAVARIVANJA
UKLJUČUJUĆI SNIMANJE DINAMIČKIH
KARAKTERISTIKA I PRORAČUN UNOSA TOPLOTE

CHARACTERIZATION OF PULSED GMAW INCLUDING
RECORDING OF DYNAMIC CHARACTERISTIC AND
HEAT INPUT CALCULATION

Belmin Hodžić, Petar Tasić, Ismar Hajro



OBRAZOVANJE

EDUCATION

27

NACIONALNI KAPACITET ZAVARIVANJA (NWC) U
SRBIJI I NJEGOV ZNAČAJ ZA CILJEVE ODRŽIVOG
RAZVOJA UN (SDGS)

SERBIA'S NATIONAL WELDING CAPABILITY (NWC)
AND ITS SIGNIFICANCE TO THE UN SUSTAINABLE
DEVELOPMENT GOALS (SDGS)

Chris Smallbone



STANDARDIZACIJA I KVALITET

STANDARDIZATION & QUALITY

33

DEFINICIJA, KLASIFIKACIJA, STANDARDIZACIJA I
OBELEŽAVANJE POSTUPAKA ZAVARIVANJA,
SOLJENJA I SRODNIH POSTUPAKA PREMA NOVOJ
VERZIJI STANDARDA ISO 4063

DEFINITION, CLASSIFICATION, STANDARDISATION
AND SYMBOLIC REPRESENTATION OF WELDING,
SOLDERING, BRAZING AND SIMILAR PROCESSES
ACCORDING TO NEW VERSION OF STANDARD ISO
4063

Miroslav M. Mijajlović, Dušan Z. Čirić



PRAKSA

PRACTICE

41

PRISTUP ZA ODREĐIVANJE TEHNOLOGIJE
REPERATURNOG ZAVARIVANJA ZUPČANIKA
KRUŽNOG KRETANJA BAGERA EŠ 10/70

APPROACH FOR DETERMINATION OF TECHNOLOGY
FOR REPAIR WELDING OF EXCAVATOR GEARS FOR
CIRCULAR MOTION EŠ 10/70

Sead Avdić, Namik Džibrić, Azur Mandžukić



VESTI

NEWS

10

VESTI - KATEGORIZOVANJE ČASOPISA "ZAVARIVANJE I ZAVARENE KONSTRUKCIJE"

31

VESTI - IZLOŽBA ZAVARIVANJE U UMETNOSTI 2021

32

PREGLED RADOVA OBJAVLJENIH U 2021

48

MARKETING



Maja Mladenović^{1a}, Jovana Mandić¹, Dragomir Glišić², Igor Radisavljević¹, Nada Ilić¹

INFLUENCE OF WELDING PARAMETERS ON JOINT PROPERTIES AND POSSIBILITY OF POST-WELD COLD-ROLLING OF FRICTION STIR WELDED ALUMINUM ALLOY 5083

UTICAJ PARAMETARA ZAVARIVANJA NA KARAKTERISTIKE I MOGUĆNOST HLADNOG VALJANJA ZAVARENOG SPOJA LEGURE ALUMINIJUMA 5083 DOBIJENOG POSTUPKOM ZAVARIVANJA TRENJEM ALATOM

Original scientific paper / Originalni naučni rad

The paper was published in its original form in the Proceedings of the 31st Conference with international participation "Welding 2020" held in Kladovo, Serbia from 13 to 16 October 2021.

Paper received / Rad primljen:

September 2021.

Paper accepted / Rad prihvaćen:

November 2021.

Keywords: Friction stir welding, welding parameters, post-weld cold-rolling, weld quality, alloy AA5083

Abstract

In this paper the structure and mechanical properties of similar AA5083- FSW joints were investigated, as well as the effects of post-weld cold-rolling of FSW joints. Two joints were formed using different welding parameters, in order to investigate the influence of parameters on joint properties. The welded joints were tested using non-destructive methods (visual and X-ray inspection, electrical conductivity variation) and destructive methods (tensile and hardness testing, metallographic analysis of macro- and microstructure). The joints were also cold-rolled. It was found that the joint welded using parameters $V_{rot}/V_{tr} = 750/73$ rpm/mm can be successfully processed by cold rolling; it also has better mechanical properties than the joint welded using parameters $V_{rot}/V_{tr} = 750/150$ rpm/mm, and had a more uniform hardness distribution. It was concluded that using parameters 750/73 results in a AA5083 weld of satisfactory quality was obtained.

1. Introduction

Friction stir welding (FSW) is a technology developed in 1990s by *The Welding Institute-TWI* in Great Britain, mainly in order to overcome difficulties and problems that arise during

Adresa autora / Author's address:

¹Military Technical Institute, Ratka Resanovića 1, 11000 Beograd, Republic of Serbia

²University of Belgrade, Faculty of Technology and Metallurgy, Karnegijeva 4, 11120 Beograd, Republic of Serbia

^a Email: mmaja011@gmail.com

Ključne reči: Zavarivanje trenjem alatom, parametri zavarivanja, kvalitet spoja, hladno valjanje zavarenog spoja, Al legura 5083

Rezime

U ovom radu je ispitana mogućnost hladne deformacije valjanjem trake FSW spoja legure aluminijuma 5083 u stanju H111, kao i početna struktura i mehanička svojstva spoja. Primenom različitih parametara zavarivanja izrađena su dva zavarena spoja radi ispitivanja uticaja parametara zavarivanja na karakteristike spoja. Spojevi su ispitani metodama bez razaranja (vizuelna i radiografska kontrola i ispitivanje električne provodljivosti) i metodama sa razaranjem (raspodela tvrdoće, zatezna i metalografska ispitivanja). Zavareni spojevi su podvrgnuti hladnom valjanju. Nađeno je da se spoj parametara $V_{rot}/V_{zav} = 750/73$ o/mm može oblikovati postupkom hladnog valjanja, kao i da se odlikuje boljim mehaničkim svojstvima i ravnomernijom raspodelom tvrdoće duž poprečnog preseka od spoja $V_{rot}/V_{zav} = 750/150$ o/mm. Utvrđeno je da se parametrima 750/73 ostvaruje zavareni spoj legure aluminijuma 5083 zadovoljavajućeg kvaliteta.

conventional fusion welding of poorly weldable metals and alloys [1-6]. FSW is a solid state process, meaning that the base materials that are being joined are not melted during the process. The weld joint is formed by the action of a rotating pin tool, which generates heat as a result of friction,



and mechanically stirs the plasticized layer of soft metal that forms beneath the tool shoulder and around the pin [1-6].

As a result of intense plastic deformation at high temperatures, the stir zone undergoes a process of dynamic recrystallization [1]. This zone is also called the “nugget zone” and is formed right beneath the tool shoulder, with a width approximately equal to the diameter of the pin. Other characteristic zones present in the macrostructure of FSW joints are the thermo-mechanically affected zone (TMAZ) and the heat-affected zone (HAZ). The structural changes evident in the TMAZ and HAZ, as well as the present residual stresses, are of a higher or a lower intensity, depending on the temperature cycles that each zone is exposed to [2, 4]. Tool rotation rate, V_{rot} (rpm) and tool travel speed or welding speed, V_{tr} (mm/min) are very important welding parameters for FSW, as they dictate how much heat is generated and how intensely the material is mixed. The resulting quality of the weld is thus greatly influenced by these parameters. [1, 2, 4].

One of the limitations in FSW is the thickness reduction in the weld resulting from the forging effect of the tool shoulder, as well as the grain coarsening in the HAZ. These aspects result in a decrease in mechanical properties and formability of FSWed sheets. Post-weld cold rolling (PWCR)

has a potential to mitigate these negative effects and improve the mechanical properties of non-heat-treated Al alloy welds [7, 8]. The effect of the cold-rolling strain hardening process on the mechanical properties and deformability of the FSWed specimens must be investigated.

This study aims to investigate the influence of cold rolling on the mechanical properties of friction stir welded joints from aluminum alloy AA5083 H111, as well as the influence of tool rotation rate and welding speed on their structural properties.

2. Experimental part

Butt joints were obtained by performing FSW experiments on sheets made of AA5083 aluminum alloy in the H111 temper state. Table 1 shows the chemical composition of the AA5083 sheets. The sheets were 500 mm in length, 65 mm in width and 6 mm in thickness. Two joints were obtained using the same rotational speed, $V_{rot} = 750$ rpm, but with different travel speeds: $V_{tr} = 73$ mm/min (specimen 750/73) and $V_{tr} = 150$ mm/min (specimen 750/150). The pin tool was characterised by a shoulder diameter of 25 mm and a threaded cone pin with a height of 6 mm. The pin tool material was quenched and tempered 56NiCrMoV7 hot work tool steel.

Table 1. Chemical composition of AA5083 sheets in [%]

Tabela 1. Hemijski sastav AA5083 ploča u [%]

Mg	Mn	Si	Fe	Cu	Cr	Zn	Ti	Al
4.60	0.55	0.24	0.29	0.07	0.10	0.07	0.02	rest

2.1. Non-destructive testing

The specimens in as-welded condition were visually and X-ray checked in for the presence of defects and imperfections. Eddy current testing was

also performed on the FSWed specimens in different zones of the surface of the joints, as shown in Figure 1.

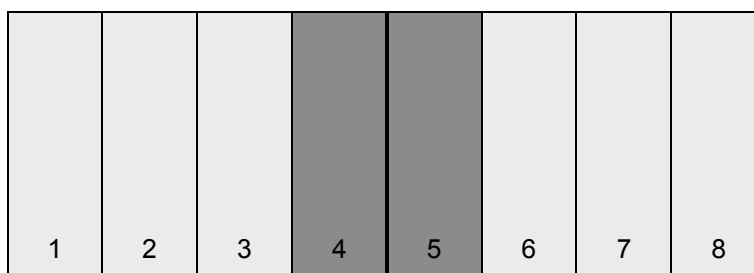


Figure 1. Zones of the welded specimen for Eddy current testing. Zones 4 and 5 represent the weld metal

Slika 1. Zone zavarenog uzorka za ispitivanje vrtložnim strujama. Zone 4 i 5 predstavljaju metal šava



2.2. Hardness testing

Vicker's hardness (HV10) of the base metal (BM) was measured in accordance with standard EN ISO 6507-1: 2018. The distribution of the microhardness (HV1) at the cross-section of the joint (Figure 2) was carried out on specimens with the revealed macrostructure of the joint, in order to

precisely measure the hardness across all zones of the joint (BM, HAZ, TMAZ, nugget). The hardness diagrams were obtained by measuring the hardness along a horizontal line in the middle of the weld. The step between measurements was 0.5 mm.

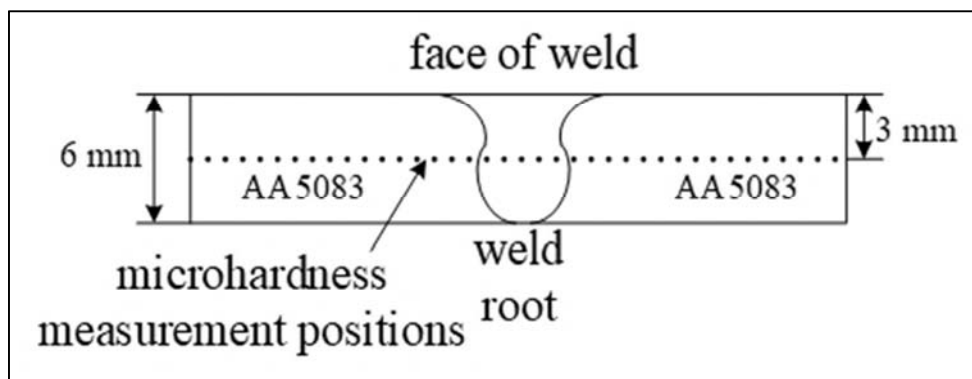


Figure 2. Schematic diagram of the cross-section of the joint with the microhardness test positions

Slika 2. Šematski dijagram poprečnog preseka spoja sa položajima ispitivanja mikrotvrdoće

2.3. Uniaxial tensile tests

Flat tensile samples were machined from FSWed specimens, after which tensile tests were performed on the hydraulic universal testing machine "Shimadzu Servopulser", in accordance with standard EN ISO 6892-1:2012. The loading direction was perpendicular to the welding line and the tests were performed at room temperature on three tensile samples for each FSWed specimen.

2.4. Macro and microstructure analyses

Specimens were taken from the joint perpendicular to the welding direction in order to observe the macro- and microstructure at the cross-section of the joint. The specimens were then mechanically ground using sand papers with grit sizes P240 to P2500. The macrostructure was revealed by etching in Tucker's reagent (45 ml HCl, 15 ml HNO₃, 15 ml HF, 25 ml H₂O) for 10 seconds (specimen with the welding parameters $V_{rot}/V_{tr} = 750/73$) and 17 seconds (specimen with the welding parameters $V_{rot}/V_{tr} = 750/150$).

In order to observe the changes in the microstructure across all characteristic zones of the weld and to analyze the influence of different welding parameters on the structure, the same specimens were mechanically ground using sand papers with grit sizes P240 to P4000, mechanically polished with the use of a diamond polishing suspensions with particle sizes of 7/5 μm, 5/3 μm and 3/2 μm. Subsequently, the specimens were

electrochemically polished and etched. Electrochemical polishing of both specimens was carried out using a perchloric acid-based solution (200 ml ethanol, 35 ml H₂O, 10 ml 60% solution of HClO₄) at 12 V for 10 seconds. The specimens were electrochemically etched using Barker's reagent (5 ml HBF₄, 200 ml H₂O) at 12 V for 190 seconds (specimen 750/73), and 120 seconds (specimen 750/150).

2.5. Cold rolling of FSWed specimens and tensile tests

In order to investigate the effect of cold rolling (CR) on the mechanical properties of the welded sheets, part of the specimens was cold rolled, after which tensile tests were carried out. CR was performed in 7 different rolling passes, with a total thickness reduction of 50%. The rolling direction was perpendicular to the welding direction and the thickness of the rolled sheets was measured after each rolling pass. Table 2 shows the resulting specimen thickness and thickness reductions after each rolling pass.

Tensile samples were then machined from the cold rolled specimens and tensile tested on the hydraulic universal testing machine "Shimadzu Servopulser". The loading direction was perpendicular to the welding line and the tests were performed at room temperature on three tensile samples.

**Table 2.** Obtained thickness reductions of FSW joints during cold rolling**Tabela 2.** Dobijene redukcije debljine FSW spojeva tokom hladnog valjanja

welding parameters		CR pass						
		I	II	III	IV	V	VI	VII
750/73	thickness (mm)	5.63	5.23	4.95	4.72	4.50	4.13	3.09
	reduction (%)	6.2	12.8	17.5	21.3	25.0	31.2	48.5
750/150	thickness (mm)	5.65	5.26	4.96	4.71	4.50	4.15	3.15
	reduction (%)	5.8	12.3	17.3	21.5	25.0	30.8	47.5

3. Results and discussion

3.1. Radiography

Radiographic control of the weld specimen 750/150 revealed a welding defect in the form of a short inner channel near the tool plunge location

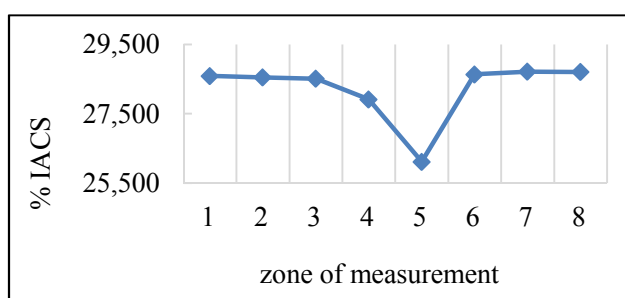
(Figure 3). As the largest part of the weld specimen was defect-free, this part of the specimen was discarded, and the rest of the specimen was used in the investigations.

**Figure 3.** Radiograph of specimen 750/150, showing the presence of an inner channel**Slika 3.** Radiografija uzorka 750/150, koja pokazuje prisustvo unutrašnjeg kanala

3.2. Eddy current

Figure 4 shows the distribution of electrical conductivity for specimen 750/73. The decrease of conductivity in weld metal zones is attributed to the

refinement of grains in the stirring zone that typically occurs during FSW [1, 2, 9].

**Figure 4.** Distribution of electrical conductivity for specimen 750/73**Slika 4.** Raspodela električne provodljivosti za uzorak 750/73



3.3. Vicker's hardness

Base metal hardness was measured to be 84.5 HV10. Figure 5 shows the hardness distribution in the welded zones for both specimens. The diagrams have a similar shape, with a slight increase of the hardness in the nugget zone (NZ) comparing to the base metal, and a decrease in TMAZ. The heat input during welding causes grain

coarsening that leads to deterioration of mechanical properties characteristic for TMAZ and HAZ [3, 7]. In contrast, the increase of the hardness in NZ can be attributed to the grain refinement and a higher dislocation density compared to the base metal, enabled by intense stirring and very high temperatures in this zone [2].

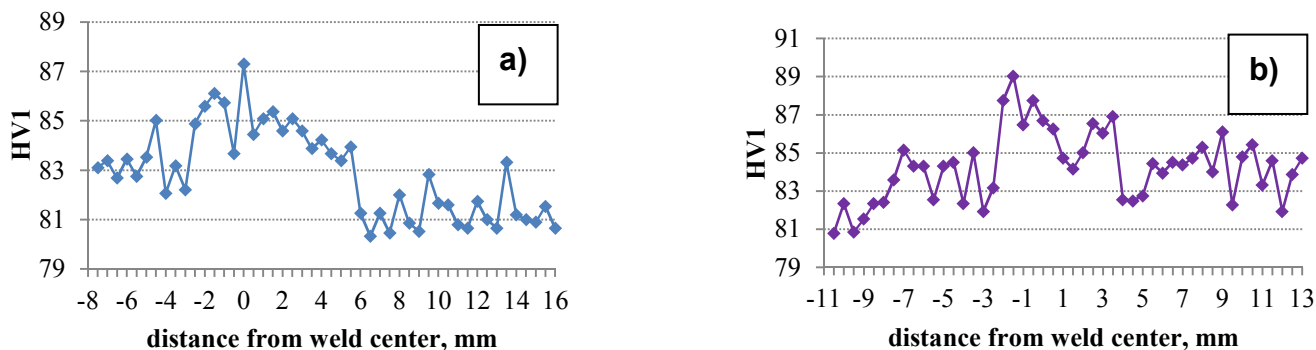


Figure 5. Hardness distribution across the specimen of weld joint (a) 750/73, (b) 750/150

Slika 5. Raspodela tvrdoće po uzorku zavarenog spoja (a) 750/73, (b) 750/150.

3.4. Tensile properties

Table 3 shows the mean values of the tensile test results. These results indicate that the welding parameters 750/73 rpm/mm give joints of better quality compared to the joints welded with parameters 750/150 rpm/mm. In almost all cases the fracture occurred in the TMAZ on the retreating

side, which indicates that the TMAZ is the weakest zone of FSW joints, as previous research has also shown [3]. The phenomenon of the fracture almost always occurring on the retreating side could be linked to the asymmetric nature of FSW joints [1, 2, 5]. The fracture was initiated at the weld root in all cases.

Table 3. Mean values of the tensile test results

Tabela 3. Srednje vrednosti rezultata ispitivanja zatezanjem

Specimen	Yield strength (YS), MPa	Ultimate tensile strength (UTS), MPa	Elongation, %
750/73	182	279	5,05
750/150	188	216	1,76

3.5. Macro and microstructure

Figure 6 shows the macrostructure of both specimens. The characteristic zones of FSW joints are visible: the nugget and its onion ring structure formed as a result of material flow during FSW, and the thermo-mechanically affected zone (TMAZ) that

features deformed and oriented grains. Thin layers of dark colored areas in the NZ represent impurities that originate from the surface of the aluminum sheets and the pin tool. They were stirred into the material during FSW and follow the material flow patterns (Fig. 6).

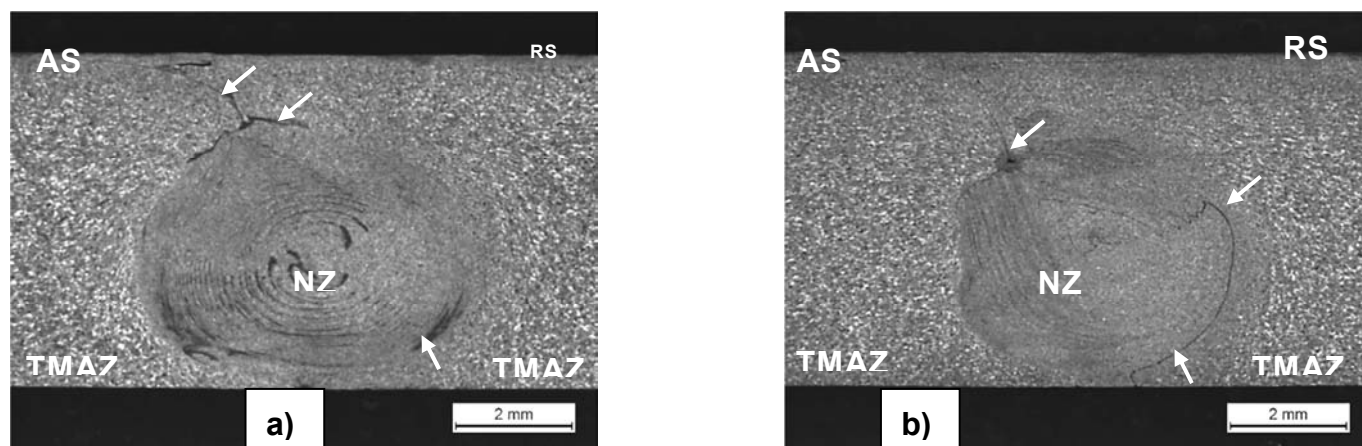


Figure 6. Macrostructure of (a) specimen 750/73, (b) specimen 750/150. Arrows indicate layers of impurities. (AS – advancing side, RS – retreating side, TMAZ – thermo-mechanically affected zone, NZ – nugget zone)

Slika 6. Makrostruktura (a) uzorka 750/73, (b) uzorka 750/150. Strelice označavaju slojeve nečistoća. (AS – napredujuća strana, RS – strana koja se povlači, TMAZ – zona uticaja termo-mehanike, NZ – zona sočiva (jezgra) šava

Optical microscopy revealed significant structural differences across the zones of the weld joints. Figure 7 shows typical microphotographs of the NZ/TMAZ interface. The NZ consists of very

fine equiaxial grains. The grain in the TMAZ are elongated and deformed in an upward direction. It was not possible to differentiate the HAZ from the TMAZ based on microstructure analyses.

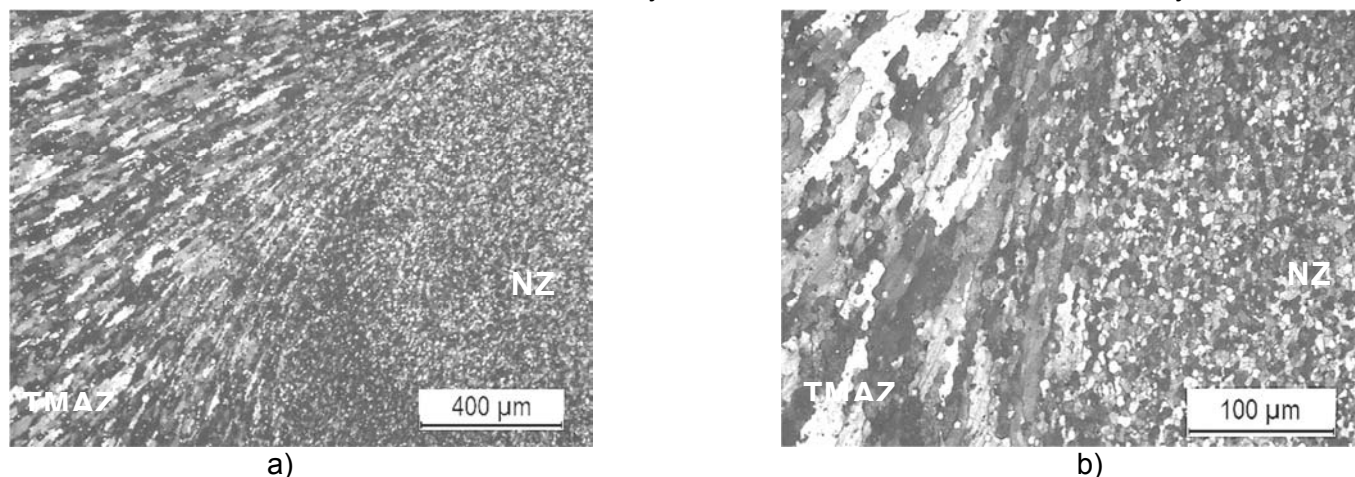


Figure 7. Microstructure of (a) specimen 750/73, (b) specimen 750/150

Slika 7. Mikrostruktura (a) uzorka 750/73, (b) uzorka 750/150

3.6. Effects of cold rolling

During post-weld cold-rolling of specimen 750/150, a crack along the NZ-TMAZ interface formed already in the second pass. The cold rolling was continued and after the final seventh pass, significant delamination along the root of the weld was also observed. The defects on the cold rolled specimen 750/150 are shown in Figure 8. Because of these defects, specimen 750/150 was excluded from further tensile testing. None of these defects were formed during cold rolling of specimen 750/73.

Table 4 shows the results of tensile testing of cold rolled FSW samples, welded with the

parameters 750/73. The ultimate tensile strength of the FSW joint increased by 26% after cold rolling, while the elongation was greatly reduced. This implies that the deformation capacity of the weld joint is close to exhaustion.

As in the tensile tests of non-cold-rolled FSW samples, the FSW samples after CR also fractured along the NZ-TMAZ interface on the retreating side, indicating that this is the weakest zone of FSW joints, regardless of post-weld cold rolling. The crack initiation was also at the weld root in all cases.

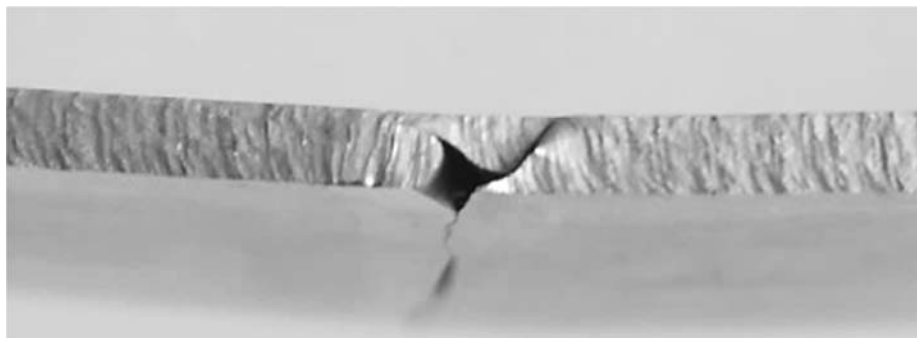


Figure 8. Defects formed on specimen 750/150 during cold rolling

Slika 8. Defekti nastali na uzorku 750/150 tokom hladnog valjanja

Table 4. Results of tensile testing of post-weld cold-rolled joints 750/73

Tabela 4. Rezultati ispitivanja zatezanjem hladno valjanih spojeva 750/73 nakon zavarivanja

specimen	1	2	3	mean value
UTS, MPa	401	343	314	353
Elongation, %	1.90	0.74	1.72	1.45

4. Conclusions

Based on the performed examinations, following conclusions could be drawn:

The ultimate tensile strength and elongation of butt joints obtained by FSW are higher for welding parameters 750/73 rpm/mm compared joints made with parameters 750/150 rpm/mm.

The hardness distribution on the cross-section of the joint 750/73 is more uniform than at the joint 750/150.

Cold rolling of FSW joints showed that the joint obtained with the parameters 750/73 rpm/(mm/min) can be successfully processed further by cold rolling. It was shown that cold rolling of FSW butt joints can be used to increase the ultimate tensile strength of the joints, although the elongation is significantly decreased after cold rolling.

Cold rolling of FSW joint 750/150 with the achieved thickness reductions in this investigation was unsuccessful. It is possible that a lower reduction could be used to produce sound cold rolled FSW joint 750/150. This implies that the parameters for successful cold rolling of FSW joints depend on the welding parameters that were used.

Therefore, it was found that a higher quality FSW joint is obtained using welding parameters

4. Zaključci

Na osnovu obavljenih ispitivanja, mogu se izvesti sledeći zaključci:

Maksimalne zatezne čvrstoće i izduženja sučeonih spojeva dobijenih FSW-om su veće za parametre zavarivanja 750/73 o/min/mm u poređenju sa spojevima napravljenim sa parametrima 750/150 o/min/mm.

Raspodela tvrdoća na poprečnom preseku spoja 750/73 je ravnomernija nego na spoju 750/150.

Hladno valjanje FSW spojeva je pokazalo da se spoj dobijen sa parametrima 750/73 o/min/(mm/min) može uspešno dalje obrađivati hladnim valjanjem. Pokazalo se da se hladno valjanje FSW sučeonih spojeva može koristiti za povećanje zatezne čvrstoće spojeva, iako se nakon hladnog valjanja izduženje značajno smanjuje.

Hladno valjanje FSW spoja 750/150 sa postignutim smanjenjem debljine u ovom istraživanju je bilo neuspešno. Moguće je da se niži stepen redukcije može koristiti za dobijanje pouzdanog hladno valjanog FSW spoja 750/150. Ovo ukazuje da parametri za uspešno hladno valjanje FSW spojeva zavise od primenjenih parametara zavarivanja.



$V_{rot}/V_{tr} = 750/73$ than with parameters $V_{rot}/V_{tr} = 750/150$.

Tako je utvrđeno da se kvalitetniji FSW spoj dobija korišćenjem parametara zavarivanja $V_{rot}/V_{tr} = 750/73$, nego sa parametrima $V_{rot}/V_{tr} = 750/150$.

Acknowledgments

The authors are indebted to Ministry of Education and Science of Serbia for financial support through Project 451-03-9/2021-14/200325. The authors also wish to express their sincere thanks to the Military Technical Institute of Serbian Army and Faculty of Technology and Metallurgy for technical support during the performing of friction-stir-welding experiments.

Zahvalnice

Autori se zahvaljuju Ministarstvu prosvete i nauke Srbije na finansijskoj podršci kroz Projekat 451-03-9/2021-14/200325. Autori takođe žele da se iskreno zahvale Vojnotehničkom institutu Vojske Srbije i Tehnološko-metalurškom fakultetu na tehničkoj podršci pri izvođenju eksperimenata zavarivanja trenjem-mešanjem.

References / Literatura

- [1] X. He, F. Gu, A. Ball, (2014), Progress in Materials Science, 65, 1–66.
- [2] R. S. Mishra, Z. Y. Ma, (2005), Materials Science and Engineering R, 50, 1-78.
- [3] I. Radisavljević, (2014), Ph. D. thesis, University of Belgrade, Belgrade, Serbia
- [4] M. Milčić, T. Vuherer, I. Radisavljević, D. Milčić, J. Kramberger, (2019), Materiali in tehnologije, 53, 6, 771–776.
- [5] M. Mijajlović, D. Milčić, M. Đurđanović, V. Grabulov, A. Živković, M. Perović, (2012), Zavarivanje i zavarene konstrukcije, 56, 2, 61-68.
- [6] D. Dehelean, R. Cojocar, L. Boțilă, B. Radu (2010), Zavarivanje i zavarene konstrukcije, 54, 2, 43-52
- [7] Z. Sajuri, N. Mohamad Selamat, A. Baghdadi, A. Rajabi, M. Omar, A. Kokabi, J. Syarif, (2020), Metals, 10, 1, 70.
- [8] F. Gabrielli, A. Forcellese, M. El Mehtedi, M. Simoncini, (2017), Procedia Engineering, 183, 245-250.
- [9] T. G. Santos, R. M. Miranda, P. Vilaça, J. P. Teixeira, (2011), The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 57, 511-519.

VESTI / NEWS

Kategorizacija naučnih časopisa Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije za 2021. godinu

Prema kategorizaciji naučnih časopisa Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije za **2021. godinu**, naš časopis **Zavarivanje i zavarene konstrukcije - Welding & welded structures**, je svrstan u kategoriju:

Vrhunski časopis nacionalnog značaja (M51).



Aleksandar Grbović¹, Aleksandar Sedmak^{1a}, Abdulgasem Sghayer¹, Katarina Čolić²

ASSESSMENT OF THE INTEGRITY AND LIFE OF WELDED PANEL USING LOCAL STRESSES

PROCENA INTEGRITETA I VEKA ZAVAREN OG PANELA PRIMENOM LOKALNIH NAPONA

Original scientific paper / Originalni naučni rad

The paper was published in its original form in the Proceedings of the 31st Conference with international participation "Welding 2020" held in Kladovo, Serbia from 13 to 16 October 2021.

Paper received / Rad primljen:

September 2021.

Paper accepted / Rad prihvaćen:

November 2021.

Keywords: Static strength, fatigue strength, finite element method, welded joint, structural integrity and life

Author's address / Adresa autora:

¹Faculty of Mechanical Engineering, University of Belgrade, Belgrade, Serbia

²Innovation Center of the Faculty of Mechanical Engineering, Belgrade, Serbia

^aEmail: asedmak@mas.bg.ac.rs

Ključne reči: Metoda konačnih elemenata, zavareni panel, integritet i vek konstrukcija

Abstract

Relevant local characteristics of fatigue loading are the largest stress amplitudes in the related mean stress values. They should be determined for the whole components. The relevant material properties are then compared with the stresses to assess integrity and life of a panel, made of Al alloy, with welded stringers. To determine the maximum stresses the Finite Element Method was used.

1. Introduction

Panels with stiffeners represent a typical load carrying component in aeronautical structures, both under static and fatigue loading, [1-2]. It is a critical component, made of Al alloy, with no option in respect to failure, it simple has to sustain the load. Therefore, its integrity and life has to be carefully and precisely determined. There are two basic types of panels, so-called differential, with stiffeners attached to panel by screws, and the other, so-called integral, with stiffeners welded to panel, [1]. Two welding processes have been used recently for this purpose, Friction Stir Welding (FSW) and Laser Beam Welding (LBW), [3]. It has been show that the integral panel can have significantly longer life and sustain better the loading, even in presence of cracks [1].

In this paper, AA6156T6 panel with laser welded stiffeners is analysed numerically by the Finite Element Method (FEM) to obtain the largest stresses in static loading and the largest stress amplitudes in the case of fatigue loading. They are

Rezime

Relevantne lokalne karakteristike zamornog opterećenja su najveći amplitudni napon i odgovarajuća srednja vrednost napona, koje treba odrediti za celu komponentu. Relevantna svojstva materijala se onda upoređuju sa dobijenim naponima, na osnovu čega je procenjen integritet i vek panela od Al legure sa zavarenim ukrućenjem. Za određivanje najvećih napona korišćena je metoda konačnih elemenata.

then compared with corresponding material properties to assess its integrity and life.

2. Numerical simulation

The software WB/FKM-Weld (FKM inside ANSYS) allows strength assessments based on the FKM Guideline "Analytical Strength Assessment of Components in Mechanical Engineering". As mentioned above, the guideline covers assessments of static strength and fatigue strength for components under mechanical loading. Results of CAE simulations are commonly used to determine the local stresses for the assessment. WB/FKM-Weld performs assessments based on the FKM Guideline for all selected welds of a component. In a graphical user interface, user defines additional settings required for the weld assessments. The necessary model information is used from ANSYS Workbench [4, 5]. Load combinations are automatically defined based on the load steps and loading types defined in ANSYS Workbench. The software analyzes the worst load combination for every node of the finite element



mesh. The result of the assessment, the degree of utilization, is visually shown on the finite element mesh in ANSYS Workbench, but obtained values are result of analytical procedure. WB/FKM-Weld eliminates the need to preselect critical hot-spots in an assessment and most of the manual data entries required with other software tools. Result interpretation is simplified by visualizing the degree of utilization together with the relevant load combination and other data in one plot. This allows users to identify critical hotspots as well as areas allowing material savings.

WB/FKM-Weld is capable to work with different representations of weld lines within the model. Depending on the representation, the definition of the weld line is based on various kinds of selections:

- Welded parts are within one body, and no weld line is defined,
- Welded parts are separate bodies connected with contacts, and no weld line is defined,
- Welded parts are within one body, weld line is modelled,
- Welded parts are separate bodies connected with contacts, weld line is modelled.

A weld line is defined by one or more weld toes which represent the border between weld line and part. A weld toe may consist of one or more geometrical edges. Some assessment parameter can be associated separately to each edge, others to the complete weld line. Figure 1 shows weld toes and geometrical edges, for two options, modelled and not modelled weld line.

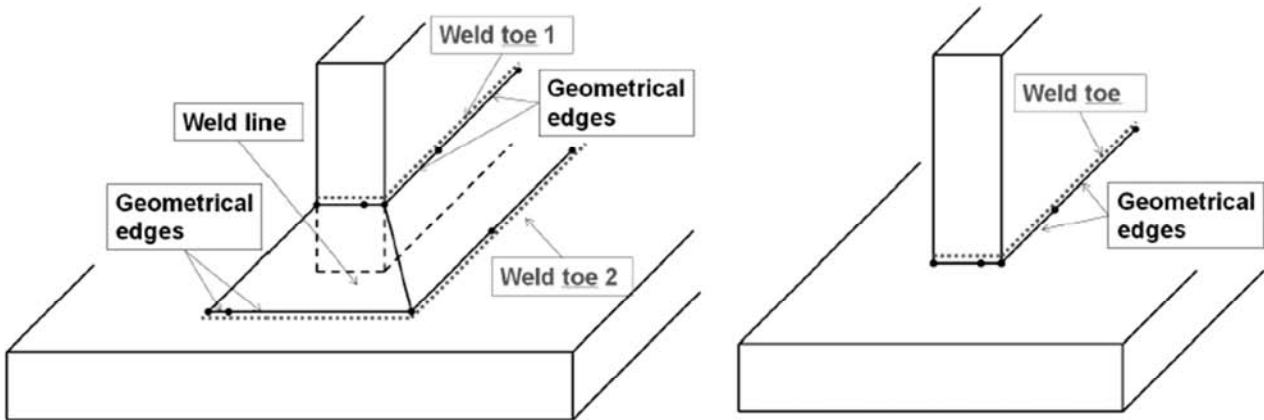


Figure 1. Weld toes and geometrical edges

Slika 1. Metal šava i njegove geometrijske granice

In addition, the extrapolation surfaces attached to the weld toes have to be defined (Figure 2). An

extrapolation surface might be associated to more than one geometrical edge of the weld toe.

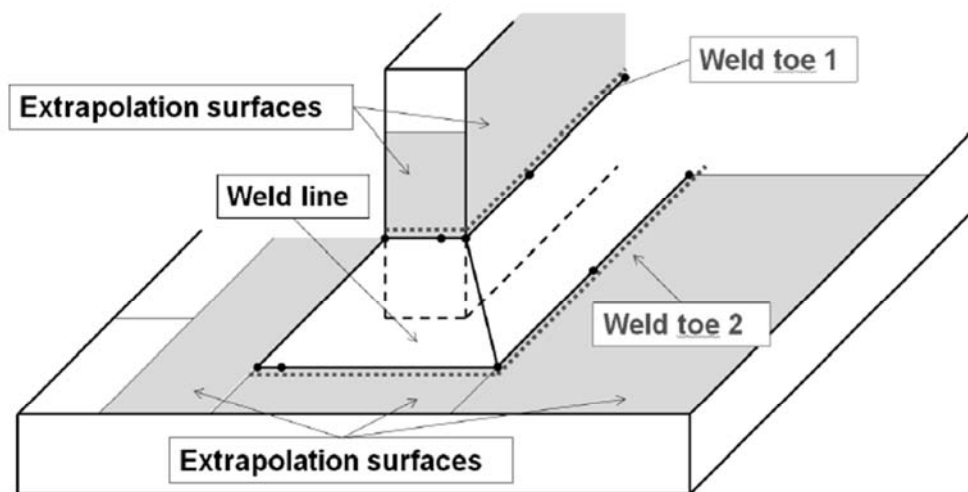


Figure 2. Weld toes and extrapolation surfaces

Slika 2. Metal šava i ekstrapolacione površine



Geometry of the panel that was analyzed using WB/FKM-Weld is shown in Figure 3. Loads and boundary conditions applied matched those used in

experimental analysis [6]. Stringers are connected with the base plate using laser beam welding.

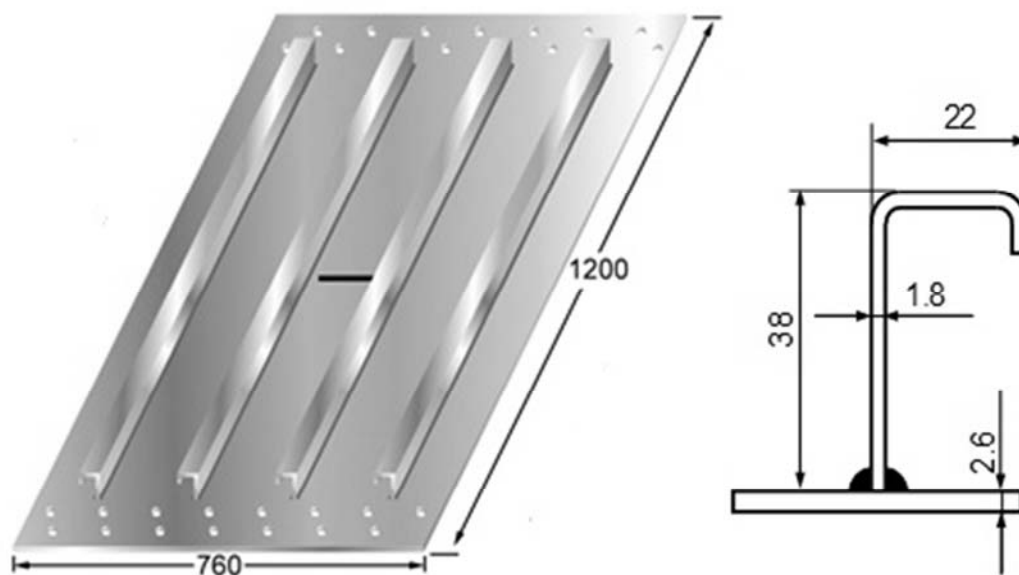


Figure 3. Dimensions of the 4-stringer panel made of AA6156-T6 aluminum

Slika 3. Dimenzije ploče sa četiri ukrućenja izrađene od aluminijumske legure AA6156-T6

Model of panel with 4 stringers, welded to a base metal made of AA6156 T6, with details of FE

mesh is shown in Figure 4.

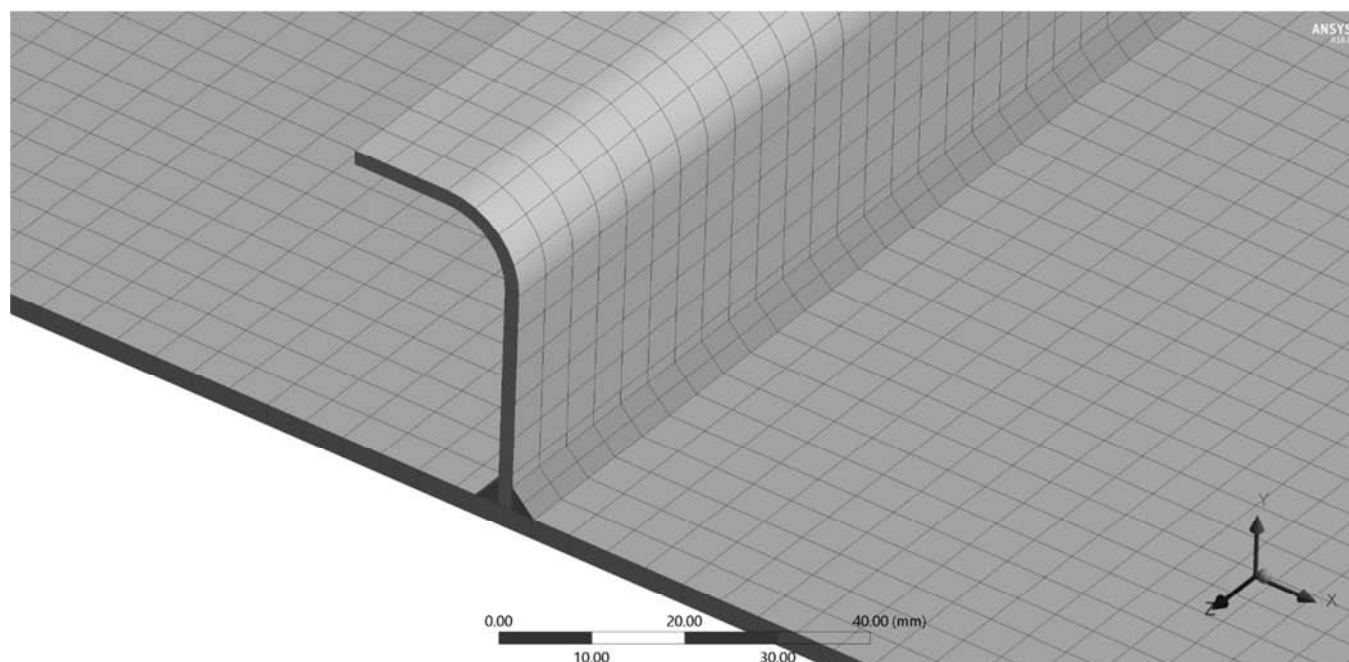


Figure 4. Details of mesh of 4-stringer model with the weld line.

Slika 4. Detalji mreže modela sa četiri ukrućenja sa linijom zavarivanja

Figures 5 and 6 show toes and surfaces for each stringer and base metal. Figure 7 shows all weld connections and settings of weld lines, as well as construction properties, weld type and quality,

and properties of S-N curve of material used for welding. In fatigue assessment of weld joint number of cycles used was $5 \cdot 10^6$. Figure 8 shows additional fatigue properties.

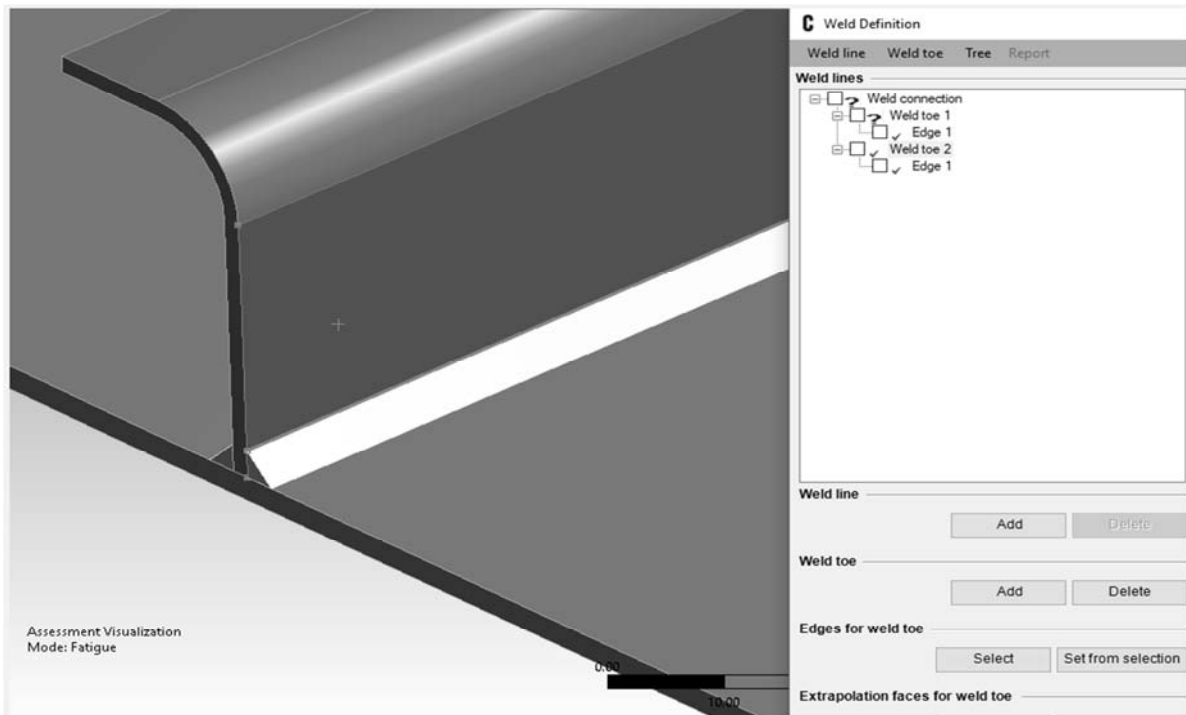


Figure 5. Weld toe and extrapolation surface defined on stringer

Slika 5. Metal šava i ekstrapolaciona površina definisani na ukrčenju ploča

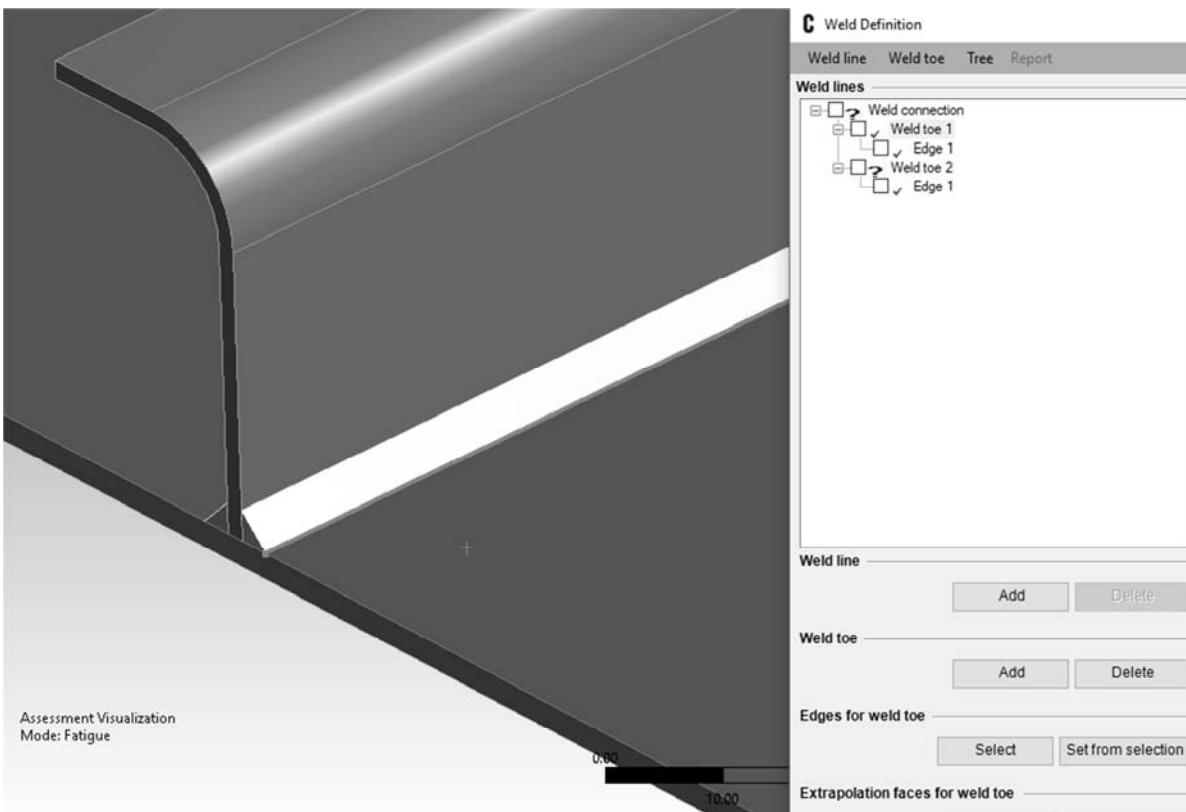


Figure 6. Weld toe and extrapolation surface defined on base metal

Slika 6. Metal šava i ekstrapolaciona površina, definisani na osnovnom metalu ploče

After completely defining weld lines and external force (115 kN, Fig. 9), boundary conditions (Figures

10 and 11) are applied in accordance with the experiment [6].

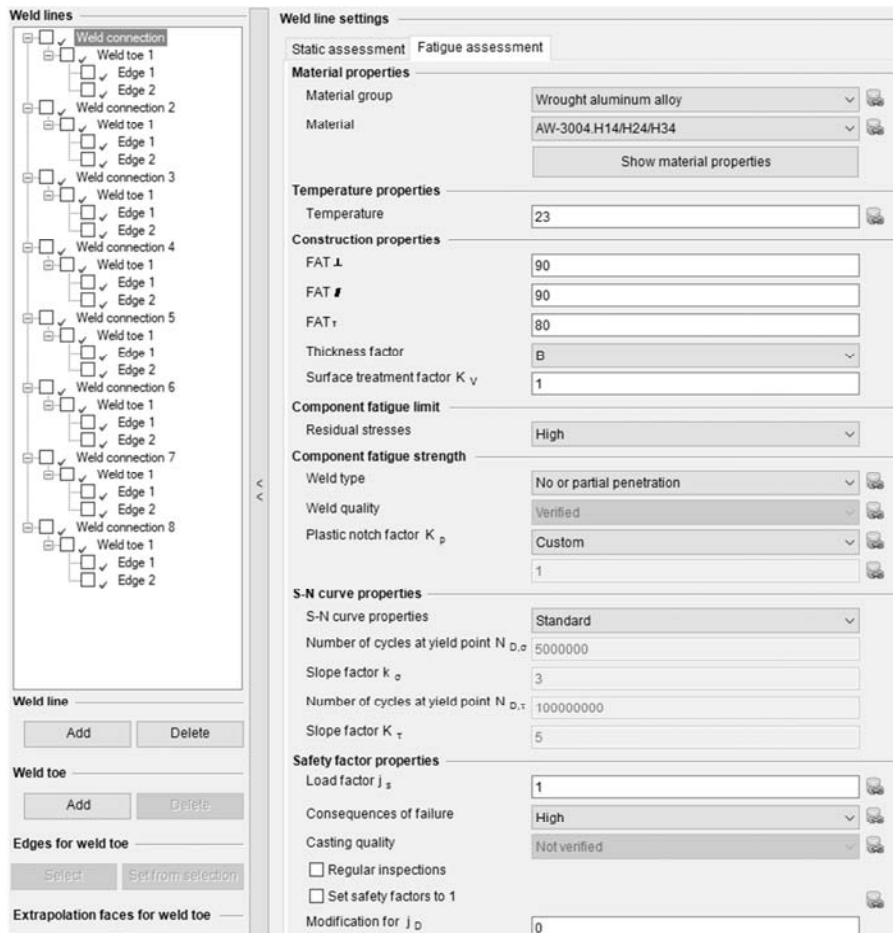


Figure 7. Weld definition

Slika 7. Definicija zavarenog spoja



Figure 8. Fatigue properties of welding material

Slika 8. Zamorna svojstva dodatnog materijala za zavarivanje

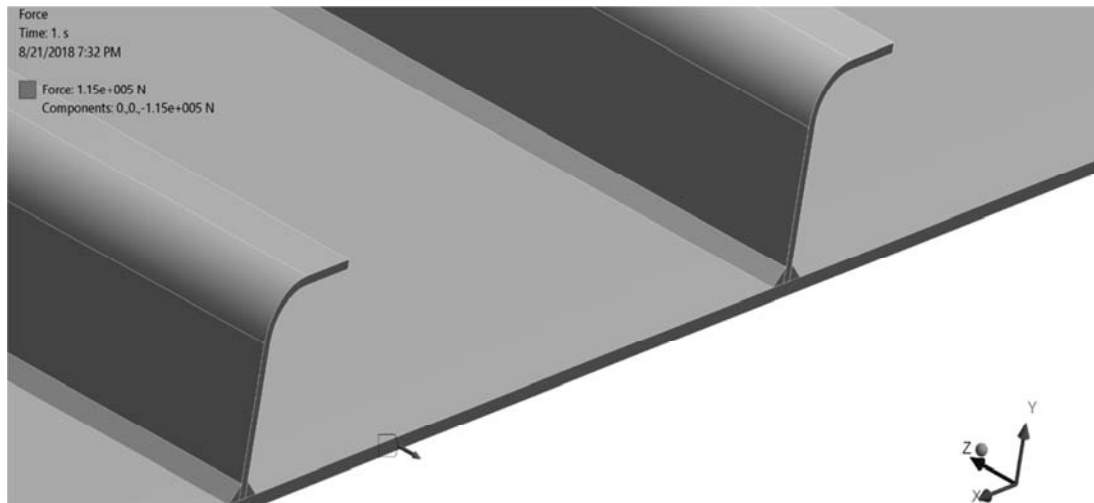


Figure 9. Force of magnitude 115000N applied in z direction

Slika 9. Sila veličine od 115000N primenjena u z -pravcu

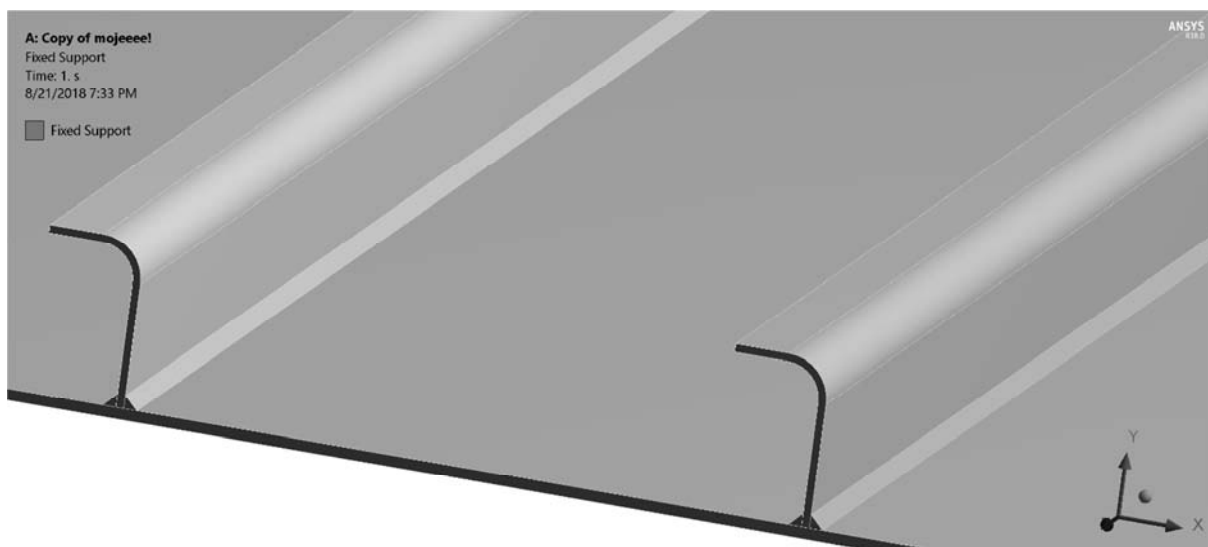


Figure 10. One end of the base metal and stringers is fixed

Slika 10. Jedan kraj osnovnog metala i ukrućenja je fiksiran

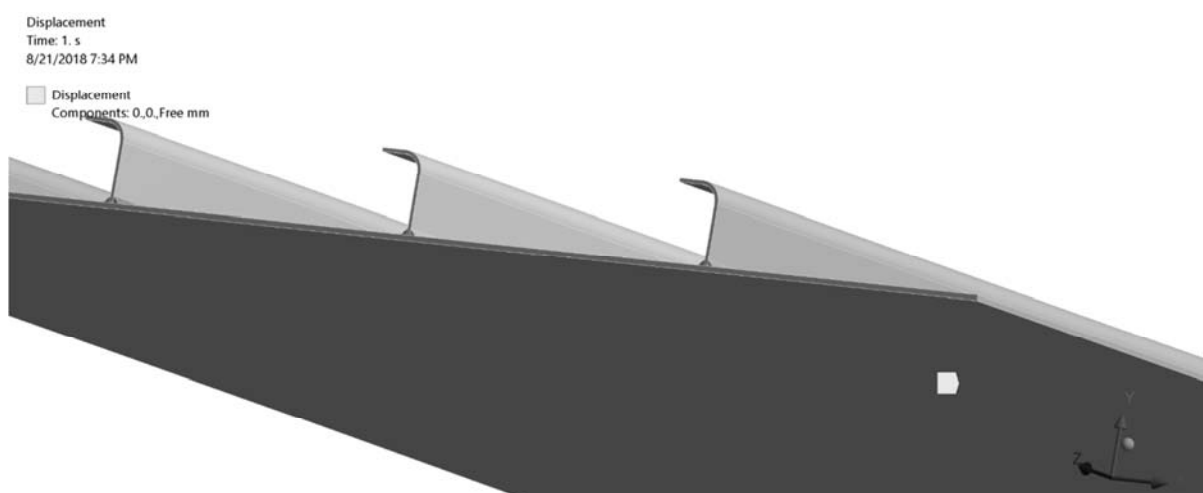


Figure 11. Displacement applied on bottom surface of base metal (free motion in z direction)

Slika 11. Pomeranje primenjeno na donju površinu osnovnog metala (slobodno kretanje u z pravcu)



3. Results and discission

Figure 12 shows strain distribution obtained by numerical simulation, while Figure 13 shows stresses, indicating uniform distribution in the middle of the plate. Strains obtained in simulation are verified by measured strains, as shown in [4]. Then, fatigue analysis of model was conducted in Ansys Workbench with amplitude e loading (stress ratio $R=0.1$ was taken from experiment) to simulate crack initiation in skin-stringer plate under presumed load. Analysis showed no evidence of crack initiation after 10^9 cycles (Figure 14). Nevertheless, in Chapters 5 and 6 skins-stringer

plates with initial cracks were investigated, because cracks might be result of extreme loads or damage caused by unforeseen circumstances. Finally, results of WB/FKM-Weld analysis (static and fatigue strength assessment) are shown in Figures 15-17. Static strength of welded joints is satisfactory because maximum obtained value is 43.74% of the Y_S , which is more than two times less than limit value. On the other hand, value for fatigue strength assessment is 92% of the limit value, which implies that this weldment (all weld lines) will survive $5 \cdot 10^6$ cycles of applied load.

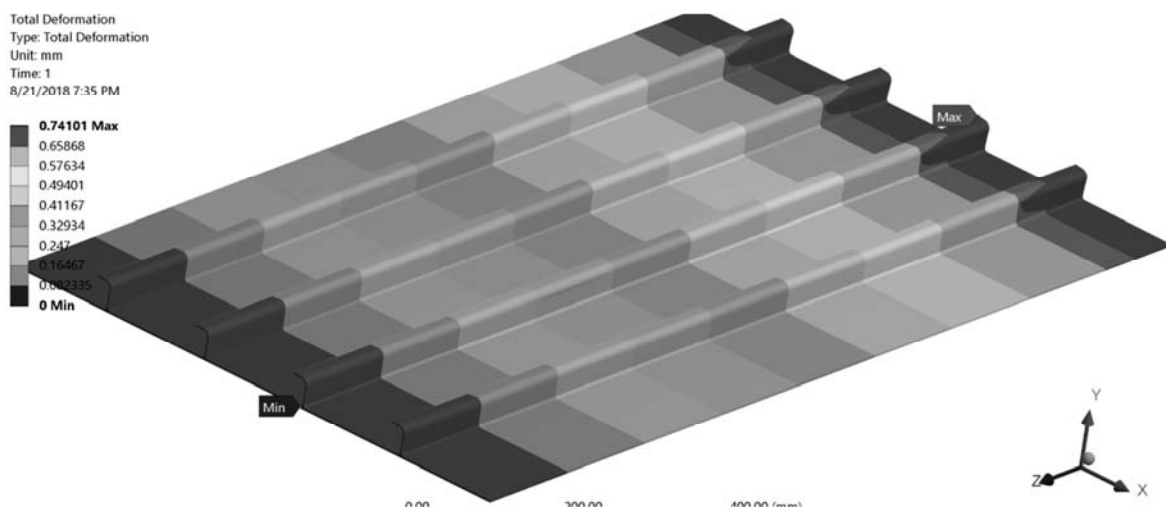


Figure 12. Distribution of skin-stringer plate strains

Slika 12. Raspodela površinskih deformacija na ukrućenjima ploče

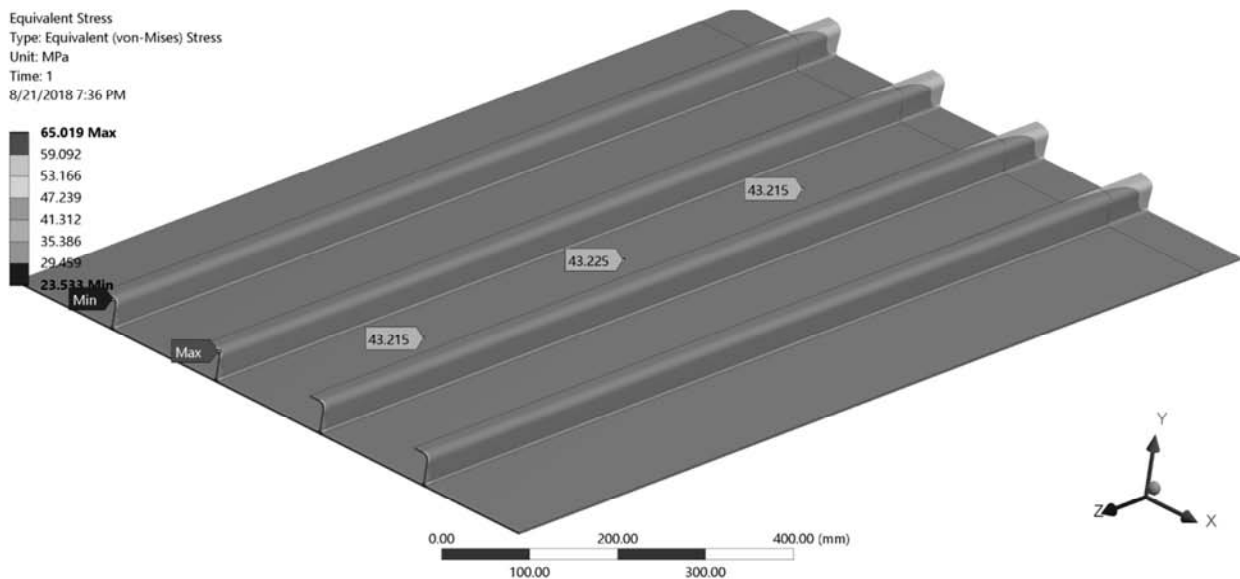


Figure 13. Von Mises Equivalent stresses

Slika 13. Von Mises ekvivalentni naponi

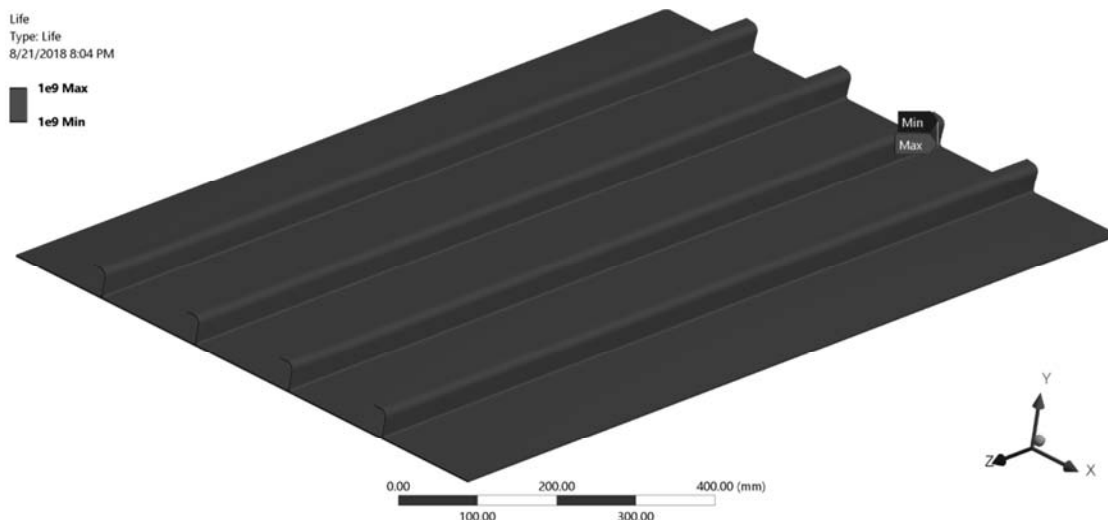


Figure 14. No evidence of crack initiation after 10^9 cycles of applied load ($R=0.1$)

Slika 14. Nema prisustva inicijacije prslina nakon 10^9 ciklusa sa primenjenim opterećenjem ($R=0,1$)

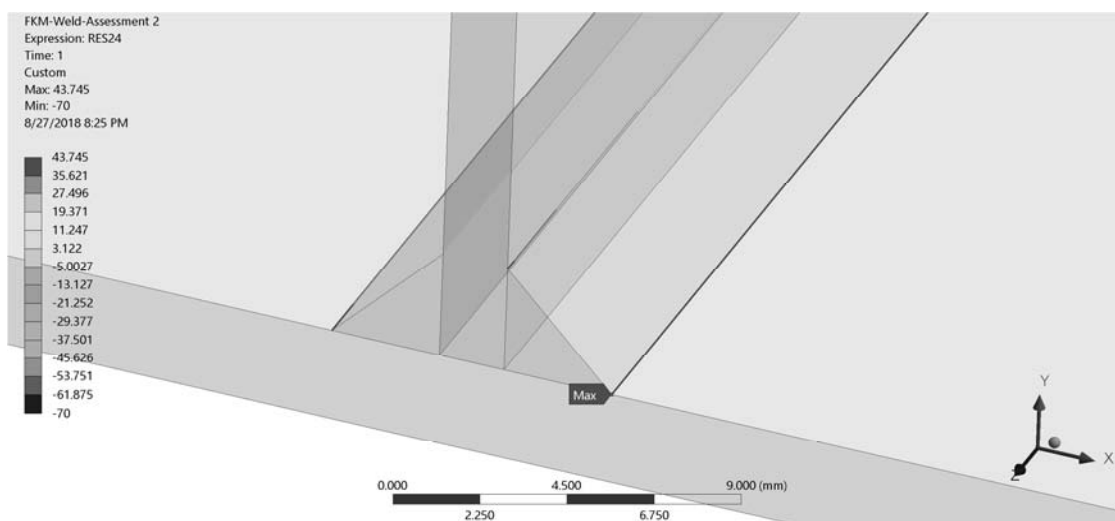


Figure 15. Static stress and strength ratio assessment of weld lines

Slika 15. Procena odnosa statičkog napona i čvrstoće na liniji zavara

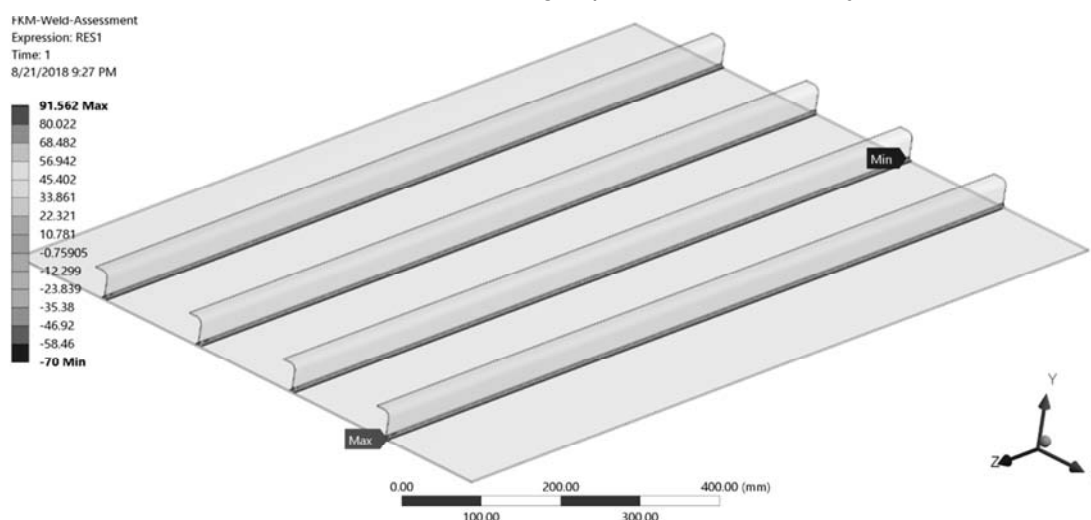


Figure 16. Amplitude stress and fatigue strength ratio assessment of all weld lines

Slika 16. Procena odnosa opsega napona i zamorne čvrstoće svih linija zavara

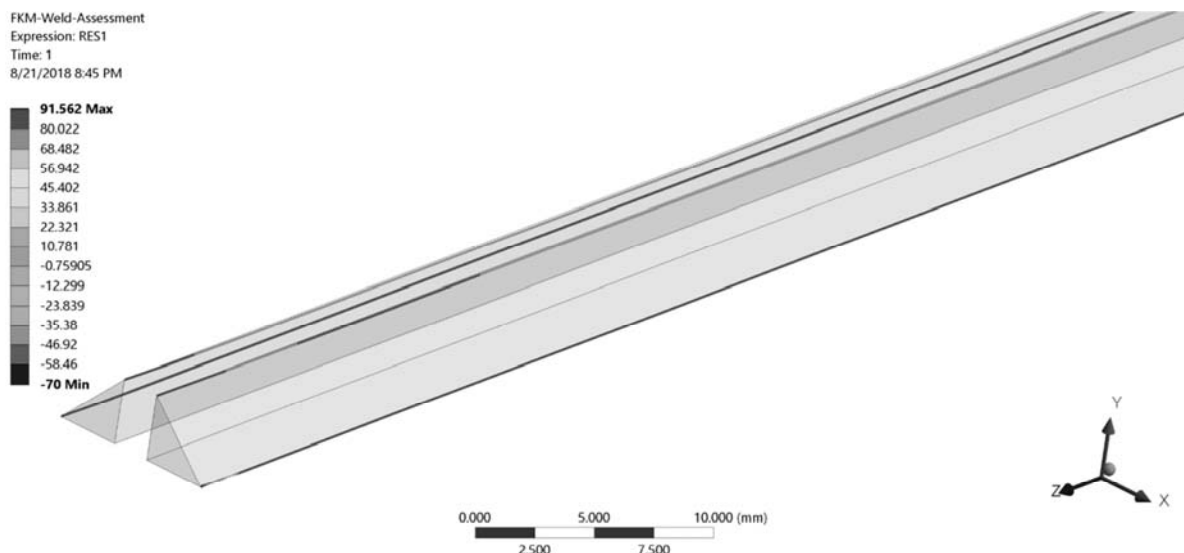


Figure 17. The most critical weld line

Slika 17. Najkritičnija linija zavarivanja

4. Conclusions

Based on the presented results one can conclude that numerical analysis provides efficient tool to estimate both static integrity and fatigue life of a welded component. In the case of the welded panel analysed here, it was shown that the static strength is satisfactory because maximum stress value is more than 2 times less (43.7%), as well as the fatigue strength, since it is shown that the panel will survive $5 \cdot 10^6$ cycles under maximum amplitude load.

References / Literatura

[1] Sghayer, A. et al, (2017), Structural Integrity and Life, Vol. 17, No.1, 7-10

[2] Munroe J., Wilkins K., and Gruber M., (2000) Integral Airframe Structures (IAS) - Validated Feasibility Study of Integrally Stiffened Metallic Fuselage Panels for Reducing Manufacturing Costs, NASA/CR-2000-209337.

[3] Seib, E., (2006) Residual strength analysis of laser beam and friction stir welded aluminium panels for aerospace application. PhD thesis, GKSS

4. Zaključci

Na osnovu prikazanih rezultata može se zaključiti da numerička analiza predstavlja efikasan alat za procenu statičkog integriteta i zamornog veka zavarene komponente. U slučaju analizirane zavarene ploče, pokazalo se da je statička čvrstoća zadovoljavajuća, jer je maksimalna vrednost napona, više od 2 puta manja (43,7%), kao i zamorna čvrstoća, jer je pokazano da će ploča izdržati $5 \cdot 10^6$ ciklusa pod maksimalnim amplitudnim opterećenjem.

[4] Sghayer, A.(2018) Fatigue life assessment of damaged integral skin-stringer panels, Ph. D. thesis, Faculty of Mechanical Engineering, University of Belgrade, Serbia.

[5] http://www.cenaero.be/Page_Generale.asp?DocID=27331, ANSYS Workbench, FKM Guideline "Analytical Strength Assessment of Components in Mechanical Engineering".

[6] Koçak M., Petrovski B., Palm V. F., Kocik R., Syassen F., (2007), Damage Tolerance Analysis of Laser Beam Welded Short Distance Clip Welds using 4-Stringer Flat Panels, European Workshop on Short Distance WELDing Concepts for AIRframes - WEL-AIR, GKSS Research Center, Geesthacht (Hamburg) – Germany



Belmin Hodžić¹, Petar Tasić^{1a}, Ismar Hajro¹

KARAKTERIZACIJA MAG PULSNOG ZAVARIVANJA UKLJUČUJUĆI SNIMANJE DINAMIČKIH KARAKTERISTIKA I PRORAČUN UNOSA TOPLOTE

CHARACTERIZATION OF PULSED GMAW INCLUDING RECORDING OF DYNAMIC CHARACTERISTIC AND HEAT INPUT CALCULATION

Originalni naučni rad / Original scientific paper

Rad je u izvornom obliku objavljen u Zborniku sa 31. Savetovanja sa međunarodnim učešćem "Zavarivanje 2020" održanog u Kladovu, Srbija od 13. do 16. Oktobra 2021.

Rad primljen / Paper received:

Septembar 2021.

Rad prihvaćen / Paper accepted:

Decembar 2021.

Ključne reči: MAG pulsno zavarivanje, izvor struje, parametri, unos toplote, profili struje i napona

Rezime

Kod MAG zavarivanja postoji nekoliko tipova prenosa metala koji su prvenstveno određeni primarnim parametrima zavarivanja. Različiti prijenosi metala u električnom luku su karakteristični za različite primjene. U ovom radu je izvršena detaljna karakterizacija pulsno prijenosa metala u električnom luku, uključujući karakterizaciju parametara i kriterije za izbor istih na korištenom izvoru struje za zavarivanje Welbee. Za dati uređaj Welbee, prikazan je izbor parametara kod zavarivanja čelika, kao i sinergijska funkcija koja je karakteristična za ove uređaje. Zavarivanje je izvedeno na konstrukcionim čelicima, s prethodno usvojenim parametrima, praćeno snimanjem dinamičkih karakteristika struje i napona osciloskopom. Na osnovu dostupnih literaturnih izvora, detaljno su analizirani postojeći modeli za proračun unosa toplote kod MAG pulsno zavarivanja, te je na osnovu jednog izvršen proračun unosa toplote za zavarene čelične limove, na osnovu prethodno snimljenih profila struje i napona. Nakon provedenog eksperimenta, dobijeni rezultati su analizirani, te su na osnovu istih dati opšti komentari uticaja parametara na kvalitet zavarenih spojeva.

1. Uvod

MAG pulsno zavarivanje predstavlja vrstu prijenosa metala kod kojeg se vršna i bazna struja

Adresa autora / Author's address:

¹ Mašinski fakultet Sarajevo, Vilsonovo šetalište 9, 71000 Sarajevo, Bosna i Hercegovina

^a Email: tasic@mef.unsa.ba

Keywords: Pulsed GMAW, power source, parameters, heat input, current and voltage profiles

Abstract

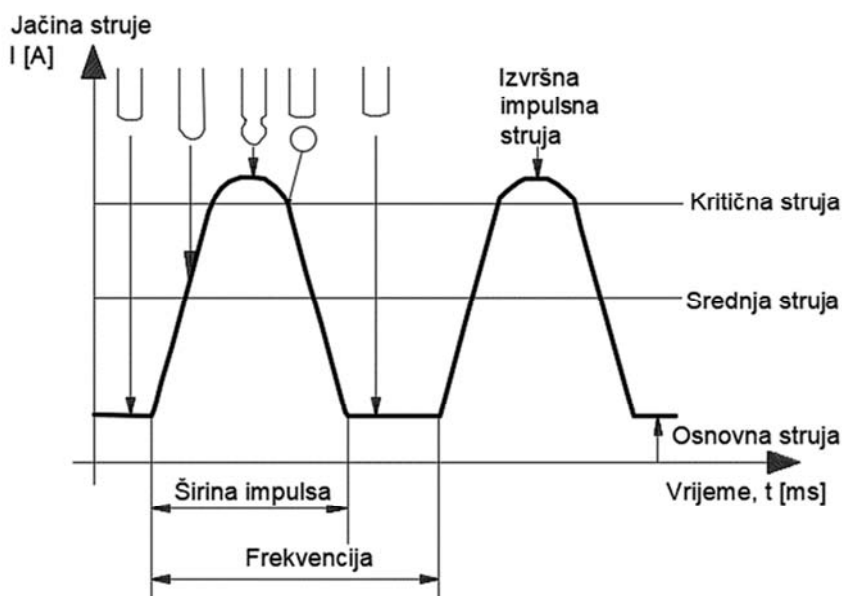
In GMAW welding, there are several types of metal transfer that are primarily determined by the primary welding parameters. Different metal transfers in an electric arc are characteristic of different applications. In this paper, a detailed characterization of the pulse transfer of metals in an electric arc is performed, including the characterization of parameters and criteria for their selection on the used power source for welding Welbee. For a given Welbee device, the choice of parameters in steel welding is shown, as well as the synergy function that is characteristic of these devices. Welding was performed on structural steels, with previously adopted parameters, accompanied by recording the dynamic characteristics of current and voltage with an oscilloscope. Based on the available literature sources, the existing models for heat input calculation in GMAW pulse welding were analysed in detail. Heat input calculation for welded steel sheets was performed by using one of them, with current and voltage profiles recorded with an oscilloscope. After the experiment, the obtained results were elaborated, and general comments were given regarding influence of parameters on the quality of welded joints.

primjenjuju u intervalima (slika 1), gdje se na taj način postiže manji unos toplote, što ima veliki značaj za materijale osjetljive na visoke temperature, a istovremeno prskanje je svedeno na



minimum. Pulsno zavarivanje, korištenjem odgovarajućeg izvora struje i parametara pri zavarivanju, gotovo neovisno o pokretima ruke

zavarivača i oblika predmeta (osnovnog materijala) omogućava dobijanje kvalitetnih zavarenih spojeva. [1]



Slika 1. Prikaz pulsno režima rada [2]

Figure 1. Presentation of the pulsating mode of operation [2]

Kod pulsno zavarivanja postoji nekoliko osnovnih parametara koji utiču na tip i stabilnost prijenosa metala u električnom luku, a to su vršna i bazna struja zavarivanja, napon električnog luka i frekvencija [3].

Na izvoru struje za zavarivanje Welbee, koji je korišten prilikom izvođenja eksperimenta, izbor parametara se najčešće vrši upotrebom sinergijske funkcije uređaja, obzirom da se na taj način dobija optimalna kombinacija svih parametara za određenu vrstu osnovnog materijala, a time je i znatno olakšan rad zavarivaču. Sinergijska funkcija uređaja podrazumijeva podešavanje parametara pomoću jednog potenciometra. Prilikom upotrebe iste potrebno je odabrati vrstu osnovnog materijala, struju zavarivanja, vrstu zaštitnog gasa i prečnik dodatnog materijala, nakon čega su ostali parametri automatski podešeni [4].

Kod pulsno MAG zavarivanja, izvor struje generira specifičan profil struje, gdje se ista mijenja u rasponu od bazne do vršne struje. Vršna struja (engl. *peak current*) topi dodatni materijal, utiče na formiranje kapljice i njenu oblik i veličinu, te omogućava odvajanje iste s vrha žice. Bazna struja (engl. *base current*) igra veoma važnu ulogu u održavanju stabilnosti električnog luka u smislu da ima minimalnu vrijednost (od 20 A do 50 A) tako da sprječava gašenje istog, bitno određuju unos toplote u zavareni spoj i značajno smanjuje

intenzitet prskanja prilikom pada odvojene kapljice u rastopljeni metal [3, 4].

Napon električnog luka kod pulsno zavarivanja, zavisi od toga da li se zavarivanje vrši u sinergijskom ili individualnom načinu rada. Kada je aktivan sinergijski način rada, vrijednost napona se automatski podešava na osnovu podešene vrijednosti struje zavarivanja. U individualnom načinu rada vrijednost napona ne zavisi od podešene vrijednosti struje, nego se ista podešava ručno na uređaju. Vrijednost napona je veoma bitna s aspekta dobijanja željenog kvaliteta, geometrije i mehaničkih osobina zavarenog spoja [4].

Visoka vrijednost napona uzrokuje i visok električni luk, što za posljedicu ima dobijanje šireg zavara (povećanje širine odvojene kapljice) i manju penetraciju. Ova pojava direktno utiče na pogoršanje mehaničkih osobina i mogućnost nastanka grešaka u zavarenom spoju, poput nedovoljne penetracije ili nedostatka topljenja, što posebno može predstavljati problem kod sučeonih zavarenih spojeva koji se po pravilu izvode s punom penetracijom. S druge strane, nizak napon podrazumijeva i nizak električni luk, gdje se kao posljedica javlja intenzivnije prskanje, a u određenim situacijama može doći i do kontakta mlaznice gorionika s osnovnim materijalom, što uzrokuje njenu kontaminaciju [4].



Frekvencija pri pulsnom zavarivanju predstavlja broj odvojenih kapljica rastopljenog metala u jedinici vremena. Sa povećanjem frekvencije povećava se brzina deponovanja metala šava i obrnuto. S povećanjem vrijednosti frekvencije, za istu vrijednost brzine zavarivanja, širina koraka će se smanjiti (manja kapljica), tako da za istu dužinu zavarenog spoja dolazi do odvajanja većeg broja kapljica. S druge strane, ako se vrijednost frekvencije smanji, uz konstantnu brzinu zavarivanja, korak kapljica će se povećati, pa u tom slučaju vrijedi da će se odvojiti manji broj kapljica za istu dužinu zavarenog spoja [3, 4].

2. Modeli za proračun unosa toplote

Unos toplote Q (engl. *heat input*) predstavlja jedan od najbitnijih parametara zavarivanja, koji utiče na osobine, kvalitet i geometriju zavarenog spoja. On predstavlja energiju koja je potrebna za topljenje dodatnog materijala i uske zone osnovnog materijala po jedinici dužine zavora, u opštem

slučaju za elektrolučne postupke se računa prema izrazu (1), a određen je strujom zavarivanja I , naponom električnog luka U , brzinom zavarivanja w i termičkim koeficijentom iskorištenja postupka η [5-7]:

$$Q = \frac{U \cdot I}{w} \cdot \eta \quad (1)$$

Obzirom da kod pulsno MAG zavarivanja izvor struje generira specifičan, promjenjiv profil struje, postoji nekoliko modela za određivanje unosa toplote. U svom radu A. Joseph, D. D. Harwig i ostali autori su korištenjem kalorimetra s tečnim azotom i postavljanjem modela utvrdili efikasnost električnog luka i unos toplote pri pulsnom MAG zavarivanju. Korištena su tri modela za određivanje snage električnog luka, odnosno unosa toplote pri pulsnom zavarivanju i nazvani su kao srednja kvadratna snaga (P_{RMS}), prosječna snaga (P_{AV}) i prosječna trenutna snaga (AIP), a formule za izračunavanje istih su navedene u tabeli 1. [6, 7]

Tabela 1. Modeli za proračun unosa toplote [5]

Table 1. Heat input calculation models [5]

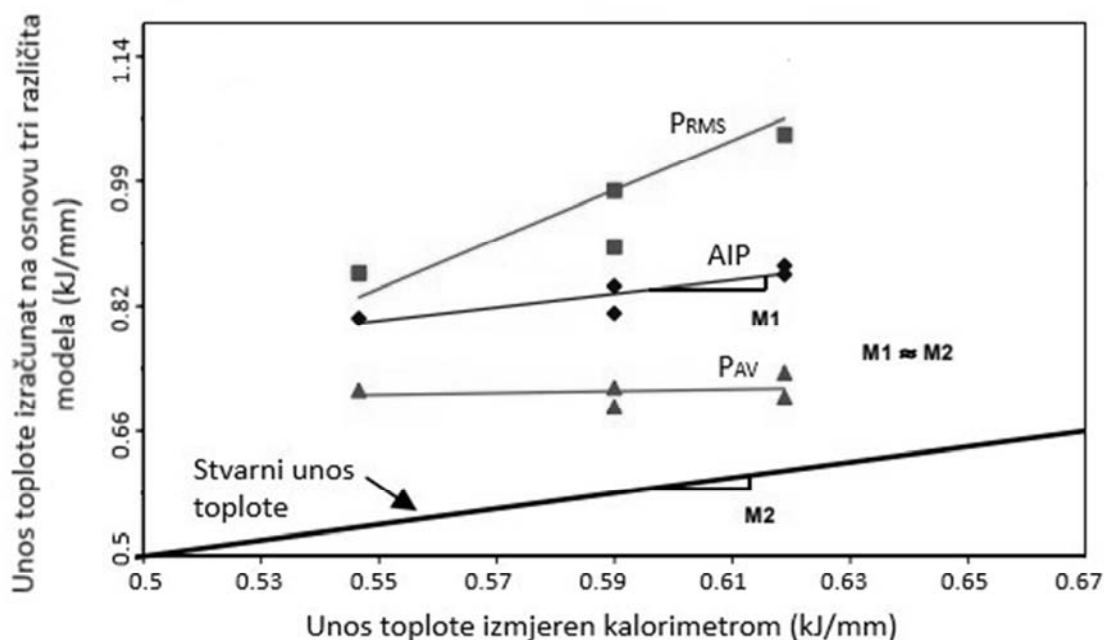
Srednja kvadratna snaga, P_{RMS}	$P_{RMS} = I_{RMS} \cdot V_{RMS}$ $I_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n I_i^2}$ $U_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n U_i^2}$
Prosječna snaga, P_{AV}	$P_{AV} = I_{AV} \cdot U_{AV}$ $U_{AV} = \frac{\sum_{i=1}^n U_i}{n}$ $I_{AV} = \frac{\sum_{i=1}^n I_i}{n}$
Prosječna trenutna snaga, AIP	$AIP = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n I_i \cdot U_i$

Izrazi koji su navedeni u tabeli 1 predstavljaju izraze za izračunavanje snage električnog luka. Dijeljenjem tih izraza sa brzinom zavarivanja se dobijaju izrazi za proračun unosa toplote u idealnim uslovima, a obzirom da se dio toplote preda i okolini, izraz za količinu toplote je potrebno pomnožiti termičkim koeficijentom iskorištenja postupka η , koji za MAG postupak zavarivanja iznosi od 0,65 do 0,85 [5, 6].

Izvršena je provjera izraza koje daje tabela 1. [5] Zavarivanje je izvedeno na niskougličnom čeliku, pri čemu je korišten dodatni materijal prečnika 1,2 mm oznake G 42 4 C/M 3Si1 prema EN ISO 14341-A i mješavina 90% argona i 10% CO₂ kao zaštitni gas. Napon i struja električnog luka mjereni su s visokom frekvencijom, a brza kamera je korištena za održavanje konstantne dužine električnog luka od 3 mm. Unos toplote izmjeren kalorimetrom je iskorišten za poređenje sa izračunatim unosima toplote prema izrazima koje



daje tabela 1. Rezultate mjerenja i izračuna daje slika 2 [5].



Slika 2. Poređenje izračunatih i izmjerenih vrijednosti unosa toplote [5]

Figure 2. Comparison of calculated and measured values of heat input [5]

Posmatrajući sliku 2 može se zaključiti da su odstupanja između vrijednosti dobijenih korištenjem modela i izmjerene vrijednosti unosa toplote kalorimetrom veća ili manja u zavisnosti od modela koji se analizira. Unos toplote izračunat na osnovu prosječne snage (P_{AV}) daje najveću iskoristivost električnog luka od 85%. Također, može se primijetiti da nagib krive koja prikazuje prosječnu snagu (označena s P_{AV}), ne odgovara nagibu krive koja predstavlja stvarni unos toplote, odnosno unos toplote koji je izmjereno kalorimetrom [5].

Unos toplote izračunat na osnovu izraza za srednju kvadratnu snagu (P_{RMS}) daje manju efikasnost električnog luka (60%), a nagib krive još uvijek ne odgovara nagibu krive sa stvarnim unosom toplote. Unos toplote izračunat korištenjem modela prosječne trenutne snage (AIP) daje

efikasnost luka od 70%. Pored toga nagib krive (označena s AIP) najbliže odgovara nagibu krive koja predstavlja stvarni unos toplote. Ovi rezultati ukazuju na to da je AIP najprikladniji (najmjerodavniji) model za izračunavanje vrijednosti unosa toplote pri pulsnom MAG zavarivanju.[5]

3. Eksperiment

Zavarivanje je izvedeno na ugaonim spojevima u dvije pozicije, položenoj (PB) i nadglavnoj (PD), na limovima debljine 4 mm i 8 mm. Zavarivanje je izvedeno u ovim pozicijama jer se iste smatraju kao dvije ekstremne pozicije. Osnovne parametre zavarivanja daje tabela 2, a korišten je dodatni materijal prečnika 1,2 mm oznake G 46 5 M 4Si1 prema EN ISO 1434-1, i mješavina 82% argona i 18% CO₂, oznake M21 prema EN ISO 14175, kao zaštitni gas.

Tabela 2. Parametri zavarivanja

Table 2. Welding parameters

Osnovni materijal	Debljina (mm)	Struja (A)	Napon (V)	Protok gasa (l/min)	Pozicija
P355NL2	4	120	20	20	Položena
P355NL2	4	120	20	20	Nadglavna
S235JR	8	190	23	23	Položena
S235JR	8	160	22	23	Nadglavna



Dinamička karakteristika prikazuje promjenu struje i napona u jedinici vremena u toku zavarivanja. Dinamičkim praćenjem parametara zavarivanja omogućava se procjena stabilnosti samog procesa zavarivanja kao i kontrola parametara. Obzirom da ne postoji jedinstven način na koji bi se opisala dinamička karakteristika nekog uređaja, kao što je to slučaj za statičku karakteristiku (CC – konstantna struja ili CV –

konstantan napon), istu je potrebno mjeriti tokom procesa zavarivanja. Za snimanje dinamičkih karakteristika, odnosno promjene vrijednosti struje i napona tokom vremena korišteni su dvokanalni osciloskop Siglent SHS806 i strujna kliješta Fluke I310S. Na slici 3 je prikazan način povezivanja osciloskopa i strujnih kliješta na uređaj Welbee P500L, koji je korišten pri zavarivanju datih uzoraka.



Slika 3. Povezivanje osciloskopa i strujnih kliješta na uređaj Welbee P500L

Figure 3. Connecting the oscilloscope and current clamps to the Welbee P500L

4. Rezultati i diskusija

Nakon snimljenih profila struje i napona i izvršenog proračuna unosa toplote mogu se dati opšti komentari na stabilnost parametara tokom zavarivanja, kao i procesa zavarivanja generalno. Obzirom da se model AIP pokazao kao najmjerodavniji za proračun unosa toplote kod

pulsnog MAG zavarivanja, isti je upotrijebljen za proračun unosa toplote datih zavarenih uzoraka. Prilikom proračuna unosa toplote za vrijednost termičkog koeficijenta iskorištenja postupka η je uzeta vrijednost 0,75. U tabeli 3 su prikazane vrijednosti unosa toplote i parametri koji su potrebni za njeno izračunavanje.

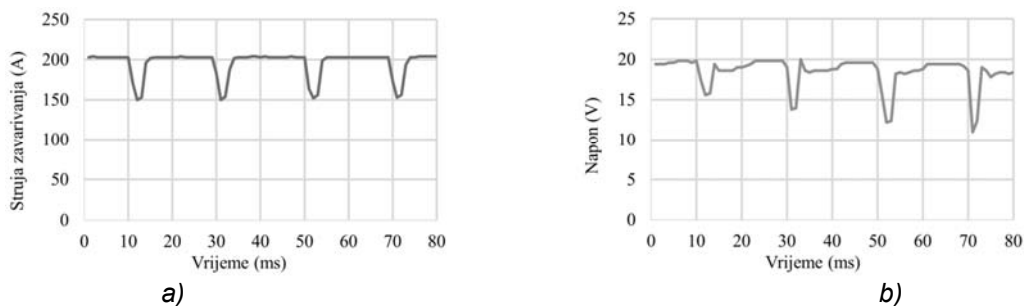
Tabela 3. Vrijednosti unosa toplote na osnovu snimljenih dinamičkih karakteristika

Table 3. Heat input values based on recorded dynamic characteristics

Osnovni materijal	Pozicija	AIP (W)	Brzina zavarivanja (cm/min)	Unos toplote (kJ/mm)
P355NL2	Položena	3.612	20,28	0,80
P355NL2	Nadglavna	3.577	31,20	0,51
S235JR	Položena	3.316	33,72	0,44
S235JR	Nadglavna	3.562	17,88	0,89

Za zavarene uzorke su prikazani profili struje i napona za nekoliko ciklusa, a bili su upotrijebljeni i prilikom proračuna unosa toplote. Za određene uzorke se može konstatovati veoma nizak unos

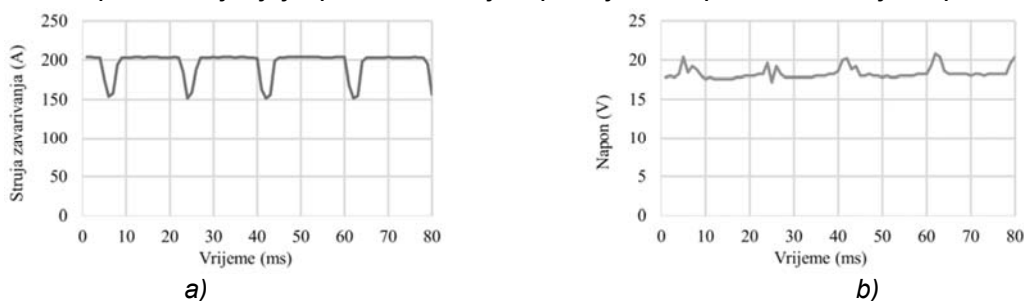
toplote, koji je upravo posljedica promjenjivog profila struje i velike brzine zavarivanja. Analizirajući profil struje na slici 4 može se utvrditi stabilnost procesa, jer se vrijednost struje mijenja pravilno u rasponu od bazne (150 A) do vršne vrijednosti (204 A).



Slika 4. Profil struje (a) i napona (b) za materijal P355NL2, položena pozicija
Figure 4. Current (a) and (b) voltage profiles for material P355NL2, flat position

Kod pulsnog MAG zavarivanja, procesor samog uređaja na osnovu podešene vrste osnovnog materijala, struje zavarivanja i vrste zaštitnog gasa definiše profil po kojem će se mijenjati vrijednost napona. U tom slučaju profil napona ne slijedi profil struje, nego se oba profila mijenjaju po određenoj

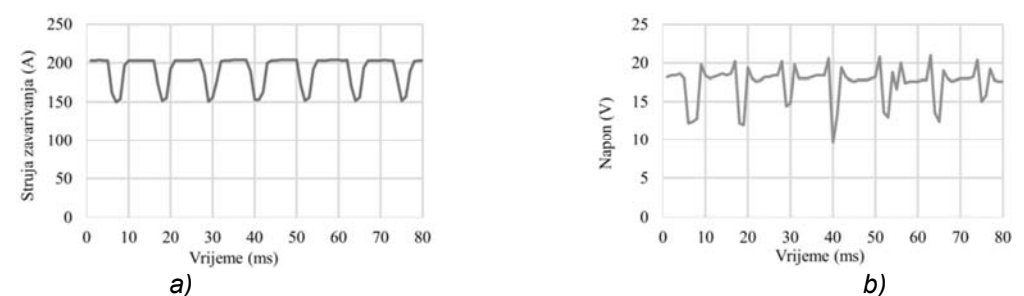
programiranoj zakonitosti na osnovu izabranih prethodno spomenutih parametara. Za određene uzorke vrijednost napona se mijenjala u veoma uskim granicama, kao što je prikazano na slici 5, dok je za druge uzorke karakteristična nestabilnija promjena napona kao što je to prikazano na slici 6.



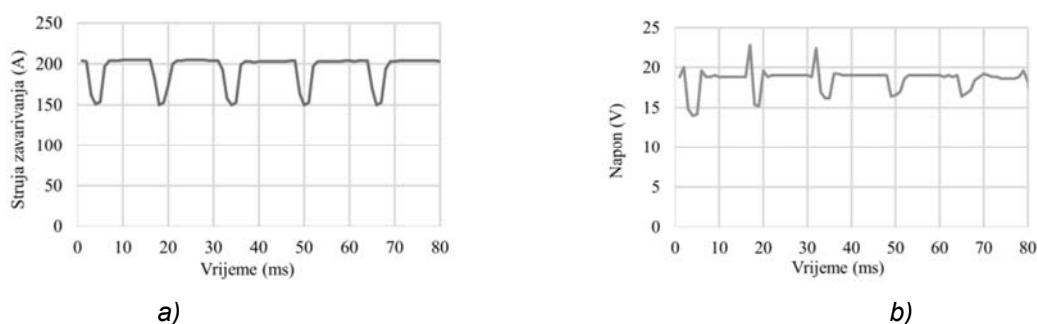
Slika 5. Profil struje (a) i napona (b) za materijal P355NL2, nadglavna pozicija
Figure 5. Current profile (a) and voltage profile (b) for material P355NL2, overhead position

Za profil napona prikazan na slici 6, vrijednost napona u jednom ciklusu je bila ispod 10 V što

upućuje na trenutnu nestabilnost električnog luka.



Slika 6. Profil struje (a) i napona (b) za materijal S235JR, položena pozicija
Figure 6. Current (a) and voltage (b) profiles for material S235JR, flat position



Slika 7. Profil struje (a) i napona (b) za materijal S235JR, nadglavna pozicija
Figure 7. Current (a) and voltage (b) profiles for material S235JR, overhead position



Period jednog ciklusa se može očitati sa profila struje za svaki uzorak, te se na osnovu njega može izračunati vrijednost frekvencije. Za osnovi materijal P355NL2 vrijednost perioda je u obje pozicije iznosila 20 ms, pa je frekvencija 50 Hz. Za osnovi materijal S235JR (položena pozicija), vrijednost perioda je bila 12 ms, pa je frekvencija 83 Hz, a pri zavarivanju u nadglavnoj poziciji period je iznosio 17 ms, tako da je frekvencija 59 Hz.

Generalno za sve uzorke vrijedi da je proces bio stabilan u smislu da se struja mijenjala u rasponu od bazne do vršne struje bez rasipanja vrijednosti i podjednako vrijeme trajanja svakog ciklusa.

Ako se uporede vrijednosti frekvencije, najveća vrijednost iste je za uzorak S235JR zavaren položenoj poziciji (83 Hz), dok je najmanja za uzorke P355NL2 za obje pozicije (50 Hz). Kako je frekvencija recipročna vrijednost perioda, isto se moglo zaključiti i pregledom profila struje. Bitno je napomenuti da se prilikom zavarivanja datih uzoraka, vrijednost frekvencije nije podešavala na uređaju, nego je procesor na osnovu ostalih podešenih parametara sinergijski odredio optimalnu vrijednost frekvencije.

5. Zaključak

Kod elektrolučnih postupaka zavarivanja postavljaju se mnogi zahtjevi pred iste, u smislu održavanja stabilnosti električnog luka, ostvarivanja dovoljne penetracije, kontrole unosa toplote (prvenstveno za tanke limove i materijale osjetljive na visoke temperature) i postizanja velikih brzina zavarivanja. Kada govorimo o MAG pulsnom zavarivanju, prethodno navedeni zahtjevi mogli su biti ispunjeni samo razvojem modernih izvora struje

za zavarivanje, koji omogućavaju visoku kontrolu postupka, precizno podešavanje parametara, kao i što lakši rad za zavarivača. Ovi uređaji su bazirani na izvorima struje tipa invertera, poput uređaja Welbee koji je korišten u eksperimentalnom dijelu za zavarivanje datih uzoraka.

Analiza postojećih modela za proračun unosa toplote je pokazala da mogu postojati velika odstupanja istih u odnosu na izmjereni unos toplote. Tako model srednje kvadratne snage (P_{RMS}) daje unos toplote i do 10% veći od stvarnog (izmjenog), a model prosječne snage (P_{AV}) i do 15% manji od izmjenog. Imajući u vidu da unos toplote značajno utiče na osobine i kvalitet zavarenog spoja, veoma je bitno primjeniti odgovarajući model kojim se dobijaju najrelevantnije vrijednosti.

Istraživanja koja se provedena na drugim uređajima su pokazala da se vrijednost bazne struje kreće od 20 A do 50 A, dok je snimanjem profila struje za date zavarene uzorke na uređaju Welbee ustanovljena minimalna vrijednost iste u iznosu od 150 A. Iz ovog proizilazi zaključak da vrijednost bazne struje prvenstveno zavisi od korištenog uređaja za zavarivanje, kao i izabranih osnovnih parametara na istom na osnovu kojih onda procesor uređaja daje optimalan profil struje i napona.

Ovaj rad prikazuje i da se primjenom pulsno MAG zavarivanja može uspješno zavarivati velikim brzinama, tako da je prilikom zavarivanja jednog od uzoraka postignuta brzina od 33,72 cm/min uz zadržanu stabilnost ostalih parametara i procesa zavarivanja generalno.

Literatura / References

[1] Jurica, M., (2015), Doctoral thesis, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture, Zagreb,

[2] Horvat, M., Kondić, V., (2012), Tehnički glasnik, Vol. 6, 2, 137-140.

[3] Rudan, M., (2007) Zavarivanje nehrđajućih čelika MIG impulsnim postupkom, 4. Seminar "Čelici otporni na koroziju", Pula

[4] Welbee inverter P500L, (2013), Owner's Manual, Daihen Corporation

[5] Joseph, A., Harwig, D. D., Ferson, D., Richardson, R., (2003), Science and Technology of Welding & Joining, The Ohio State University

[6] Joseph, A., Harwig, D. D., Ferson, D., Richardson, R., (2003), Science and Technology of Welding & Joining, Vol. 86, 400-406.

[7] Joseph, A., Harwig, D. D., Ferson, D., Richardson, R., (2005), Science and Technology of Welding and Joining, Vol. 103, 311-318.



Chris Smallbone

SERBIA'S NATIONAL WELDING CAPABILITY (NWC) AND ITS SIGNIFICANCE TO THE UN SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS (SDGS)

NACIONALNI KAPACITET ZAVARIVANJA (NWC) U SRBIJI I NJEGOV ZNAČAJ ZA CILJEVE ODRŽIVOG RAZVOJA UN (SDGS)

Stručni rad / Professional paper

Rad primljen / Paper received:

Januar 2022.

Rad prihvaćen / Paper accepted:

Februar 2022.

Keywords: welding, National Welding Capability (NWC), UN Sustainable Development Goals (SDGs)

Adresa autora / Author's address:

E mail: allbones@iinet.net.au

Executive Officer 1995-2014, IIW President 2005-2008, Fellow of IIW Award 2018. In his 50 year career, Chris Smallbone has received wide recognition from many countries and organisations for his numerous outstanding accomplishments and technical and economic impacts which have advanced the science, technology and application of welding. He is an enthusiastic advocate of the value and benefits of welding. This is based on his experiences in UK, South Africa, Australia and the international community, for improving biodiversity and the global quality of life.

Ključne reči: zavarivanje, nacionalni kapaciteti u zavarivanju (NWC), ciljevi održivog razvoja UN (SDGs)

Abstract

The International Institute of Welding (IIW) through its IIW Board of Directors Working Group Regional Activities and Liaison with Developing Countries (WGRA) introduced in 1994 the unique IIW WeldCare Programme to assist developing countries to improve their national welding capabilities particularly through the establishment and/or growth of a not-for-profit national welding organisation. Since then, IIW WGRA has assisted many countries freely through the holding of IIW technology innovation workshops, governance workshops and International Congresses as well as providing them with information, experiences and documentation on successful activities particularly from experiences in South Africa, Australia and globally.

As an extension and expansion of the IIW WeldCare Programme through IIW WGRA, a project "Establishing a National Welding Capability (NWC)" was created and managed by the author. Several very successful NWC workshops have been held since then to assist not only developing countries but also developed countries which could utilise them to improve their national welding capabilities.

These have included Romania, Bulgaria, Serbia, Greece, Hungary, South Africa, India, New Zealand and Thailand amongst others.

Based on feedback from the workshops and International Congresses held, the need for 11 comprehensive guidance notes with links to a knowledge resource bank were identified.

Rezime

Međunarodni institut za zavarivanje (IIW) je preko svog IIW Upravnog odbora radne grupe za regionalne aktivnosti i veze sa zemljama u razvoju (WGRA) uveo 1994. jedinstveni IIW program WeldCare (Briga o zavarivanju), kako bi pomogao zemljama u razvoju da poboljšaju svoje nacionalne mogućnosti u oblasti zavarivanja, posebno kroz uspostavljanje i /ili rast neprofitnih nacionalnih organizacija za zavarivanje. Od tada, IIW WGRA je bez nadoknade pomagala mnogim zemljama kroz održavanje IIW tehnoloških inovacionih radionica, radionica upravljanja i međunarodnih kongresa, kao i pružajući im informacije, iskustva i dokumentaciju o uspešnim aktivnostima, posebno na osnovu iskustava iz Južne Afrike, Australije, kao i širom sveta.

Kao nastavak i proširenje IIW programa WeldCare kroz IIW WGRAprogrma, kreiran je projekat „Uspostavljanje nacionalnih kapaciteta u oblasti zavarivanja (NWC)“ kojim upravlja autor. Od tada je održano nekoliko veoma uspešnih NWC radionica, kako bi se pomoglo ne samo zemljama u razvoju, već i razvijenim zemljama koje bi mogle da ih iskoriste za unapređenje svojih nacionalnih mogućnosti u oblasti zavarivanja.

Među njima su Rumunija, Bugarska, Srbija, Grčka, Mađarska, Južna Afrika, Indija, Novi Zeland i Tajland.

Na osnovu povratnih informacija sa održanih radionica i međunarodnih kongresa, identifikovana je potreba za 11 sveobuhvatnih smernica za povezivanje sa resursima banke podataka i znanja.



Improving a country's National Welding Capability can make a significant contribution to, and have a very positive effect on, many national and international programmes including the United Nations Sustainable Development Goals (SDGs). When one considers the networks which the IIW, its 50 Member countries, universities, colleges, research organisations and companies involved in welding have, bringing all the available welding resources to assist in achieving the SDGs can have a remarkable positive effect globally on all countries. UNESCO published a report titled "Engineering for Sustainable Development: Delivering on the Sustainable Development Goals". There is no reason why a similar initiative could not be undertaken for the welding field. This paper can serve as a catalyst, and the National Welding Capability Project as the basis, for such a report. It is hoped that this paper will stimulate ideas amongst the international welding community for feedback to the author and dissemination into countries to improve their SDGs.

1. Introduction

As an outcome of a meeting with UNIDO in 1994 in Vienna, the International Institute of Welding (IIW) through its IIW Board of Directors Working Group Regional Activities and Liaison with Developing Countries (WGRA) introduced the unique IIW WeldCare Programme to assist developing countries to improve their national welding capabilities particularly through the establishment and/or growth of a not-for-profit national welding organisation. workshops and International Congresses as well as providing them with information, experiences and documentation on successful activities particularly from experiences in many IIW Member countries and globally. Since then, IIW WGRA has assisted many countries freely through the holding of IIW technology innovation workshops, governance The establishment of the South-East European Technology Transfer Network (SEENET) by the IIW country members from Bulgaria, Greece, Romania and Serbia is a good example of a success story in this regard.

The Chapter entitled "Emerging Nations" in the IIW history book "linking people, joining nations" shows many of these activities. <https://cld.bz/Uz1rh1w>

Poboljšanje nacionalnih kapaciteta u oblasti zavarivanja može značajno tome doprineti i može imati veoma pozitivne efekte na mnoge nacionalne i međunarodne programe, uključujući ciljeve održivog razvoja Ujedinjenih nacija (SDGs). Kada se uzme u obzir povezanost koju IIW ima u okviru 50 njegovih zemalja članica, sa univerzitetima, koledžima, istraživačkim organizacijama i kompanijama koje se bave zavarivanjem, objedinjavanjem svih raspoloživih resursa za zavarivanje, kako bi se pomoglo u postizanju ciljeva održivog razvoja Ujedinjenih nacija (SDG), sve to može imati izuzetno pozitivan efekat i na druge zemlje na globalnom nivou. UNESCO je objavio izveštaj pod nazivom „Inženjering za održivi razvoj: postizanje ciljeva održivog razvoja“. Nema razloga zašto se slična inicijativa ne bi preduzela i za oblast zavarivanja. Ovaj rad može poslužiti kao katalizator, a Nacionalni projekat sposobnosti zavarivanja kao osnova za takav izveštaj. Nadamo se da će ovaj rad podstaći ideje među međunarodnom zavarivačkom zajednicom za povratne informacije autoru i širenje ove ideje u zemljama širom sveta, kako bi poboljšale svoje ciljeve održivog razvoja.

1. Uvod

Kao rezultat sastanka sa UNIDO-om 1994. u Beču, Međunarodni institut za zavarivanje (IIW) je preko IIW Upravnog odbora radne grupe za regionalne aktivnosti i veze sa zemljama u razvoju (WGRA), uveo je jedinstveni IIW WeldCare program za pomoć zemljama u razvoju da poboljšaju svoje nacionalne kapacitete u oblasti zavarivanja, posebno kroz uspostavljanje i/ili rast nacionalnih neprofitnih organizacija iz oblasti zavarivanja. Od tada, IIW WGRA je besplatno pomagala mnogim zemljama kroz održavanje IIW tehnoloških inovacionih radionica, radionica upravljanja i međunarodnih kongresa, kao i pružajući im informacije, iskustva i dokumentaciju o uspešnim aktivnostima, posebno iskustava mnogih zemalja članica IIW i širom sveta.

Uspostavljanje mreže za transfer tehnologija u jugoistočnoj Evropi (SEENET), od strane zemalja članica IIW iz Bugarske, Grčke, Rumunije i Srbije dobar je primer uspešne priče u ovom pogledu.

Poglavlje pod naslovom „Nacije u nastajanju“ u istorijskoj knjizi IIW „Povezivanje ljudi, spajanje nacija“, pokazuje mnoge od ovih aktivnosti. <https://cld.bz/Uz1rh1w>



2. Importance of Welding to a Country

Welding technology is an enabling technology used across almost all industries and a wide range of materials and applications, from micro-joining of medical devices, electronics and photonics, to larger scale applications such as bridges, buildings, ships, rail, road transport, pressure equipment and pipelines.

It encompasses the total life cycle of welded products/structures including design, manufacture, conformity assessment, inspection and testing, operation, maintenance, repair and decommissioning including recycling and other environmental conditions. It is critical to the infrastructure of any country [1], [2].

History shows many examples of the importance of welding to the world. Examples of the value of welding to economies of countries and its contribution to improving quality of life have been shown over many decades.

3. National Welding Capability Project

In 2013, as an extension and expansion of the IIW WeldCare Programme through IIW WGRA, a project "Establishing a National Welding Capability (NWC)" was created and managed by the author. Several very successful NWC workshops have been held since then to assist not only developing countries but also developed countries which could utilise them to improve their national welding capabilities. These have included Romania, Bulgaria, Serbia, Greece, South Africa, India, New Zealand, and Thailand amongst others [1]. Based on feedback from the workshops and International Congresses held, the need for 11 comprehensive guidance notes with links to a knowledge resource bank were identified and are nearing completion. Further feedback has also indicated that some countries may possibly need some direct assistance in implementing improvements to their national welding capabilities.

The Guidance Notes outline recommendations on strategies which could be implemented by a country including implementing a Flagship Programme with the Goal "To Assist the Country to Establish, Sustain and Improve Its National Welding Capability".

4. UN Sustainable Development Goals (SDGs)

The United Nations (UN), has 193 countries as members and with the challenges of improving the quality of life in countries, in 2015, world leaders agreed for the UN to implement 17 Sustainable

2. Važnost zavarivanja za državu

Tehnologija zavarivanja je tehnologija koja omogućava da se koristi u skoro svim industrijama i u širokom spektru materijala i primena, od mikro spajanja medicinskih uređaja, elektronike i fotonike, do aplikacija većih razmera kao što su mostovi, zgrade, brodovi, železnica, drumski transport, oprema pod pritiskom i cevovodi. Ona obuhvata ukupan životni ciklus zavarenih proizvoda/strukture uključujući projektovanje, proizvodnju, ocenjivanje usaglašenosti, inspekciju i testiranje, rad, održavanje, popravku i prestanak rada uključujući recikliranje i druge uslove životne sredine. To je ključno za infrastrukturu svake zemlje [1-2]. Istorija pokazuje mnogo primera važnosti zavarivanja u svetu. Primeri značaja zavarivanja za privredu zemalja i njegov doprinos poboljšanju kvaliteta života pokazani su tokom mnogo decenija.

3. Projekat nacionalnog kapaciteta u oblasti zavarivanja

U 2013. godini, kao nastavak i proširenje IIW programa WeldCare kroz aktivnosti IIW WGRA, kreiran je projekat „Uspostavljanje nacionalnih kapaciteta u oblasti zavarivanja (NWC)” i kojim upravlja autor. Od tada je održano nekoliko veoma uspešnih NWC radionica, kako bi se pomoglo ne samo zemljama u razvoju već i razvijenim zemljama, koje bi mogle da ih iskoriste da unaprede svoje nacionalne mogućnosti u oblasti zavarivanja. Među njima su Rumunija, Bugarska, Srbija, Grčka, Južna Afrika, Indija, Novi Zeland i Tajland [1]. Na osnovu povratnih informacija sa održanih radionica i međunarodnih kongresa, identifikovana je potreba za 11 sveobuhvatnih smernica sa vezama ka banci podataka i resursa znanja i one se privode kraju. Dalje povratne informacije su takođe pokazale da bi nekim zemljama možda bila potrebna direktna pomoć u implementaciji poboljšanja njihovih nacionalnih kapaciteta u oblasti zavarivanja. Smernice daju preporuke o strategijama koje bi pojedine zemlje mogle da primene, uključujući implementaciju glavnog programa sa ciljem „Pomoći zemlji da uspostavi, održi i unapredi svoje nacionalne kapacitete u oblasti zavarivanja“.

4. Ciljevi održivog razvoja UN-a (SDGs)

Ujedinjene nacije (UN), čine 193 države članice i svaka sa izazovima poboljšanja kvaliteta života u njima. Svetski lideri su se složili 2015. godine, da UN implementiraju 17 ciljeva održivog razvoja (SDGs), usmerenih ka zemljama sa niskim i



Development Goals (SDGs) aimed at low and middle income countries.

Each UN country is supposed to measure its progress on an annual basis against the targets and indicators set against each SDG (see Wikipedia) [3]

Serbia has done very well in the latest 2021 rankings being 34th out of 165 countries reporting. Sustainable Development Report 2021 (sdgindex.org) [4].

Improving a country's National Welding Capability can also make a significant contribution to, and have a very positive effect on, many national and international programmes including the UN SDGs. Various IIW Member countries are already producing reports showing how their welding industries and national welding capabilities are making significant impacts on the UN SDGs. In addition to this, mutually beneficial strategies and action plans are being drawn up for the support of governments, industry and aid agencies for implementation to achieve further significant progress in the UN SDGs.

When one considers the networks which the Serbian Welding Society, the IIW, its 50 Member countries, universities, colleges, research organisations and companies involved in welding have, bringing all the available welding resources to assist in achieving the SDGs can have a remarkable positive effect globally on all countries.

srednjim nacionalnim dohotkom.

Svaka država članica UN-a bi trebalo da izmeri svoj napredak na godišnjoj osnovi prema ciljevima i indikatorima postavljenim za svaki od 17 ciljeva održivog razvoja SDG (vidi Wikipedia) [3]. Srbija je to učinila veoma dobro i u najnovijem izveštaju o rangiranju u 2021. godini pozicionirana je na 34. mestu od 165 zemalja. Izveštaj o održivom razvoju 2021 (sdgindex.org) [4].

Poboljšanje Nacionalnih kapaciteta pojedinih država u oblasti zavarivanja, takođe može dati značajan doprinos i imati veoma pozitivan uticaj na mnoge nacionalne i međunarodne programe, uključujući i Ciljeve održivog razvoja UN-a (SDGs). Pojedine zemlje članice IIW već prezentuju izveštaje koji pokazuju kako njihova industrija zavarivanja i nacionalni kapaciteti u zavarivanju čine značajan uticaj na SDGs UN-a. Pored ovoga, korisno je da se strategije i akcioni planovi izrađuju u cilju podrške vladama, industriji i agencijama za pomoć u sprovođenju, kao i da bi se postigao dalji značajan napredak u SDGs-u UN-a. Kada se posmatra da je Društvo za unapređenje zavarivanja u Srbiji (DUZS) povezano mrežom koju čine Međunarodni institut za zavarivanje (IIW) sa svojih 50 zemalja članica, zatim univerziteti, fakulteti, istraživačke organizacije i kompanije koje su uključene u oblast zavarivanja, i svi zajedno donose sve raspoložive resurse u oblasti zavarivanja, a sve to sa ciljem pomoći u postizanju SDG-a. Sve to može imati izuzetan pozitivan efekat i globalno u svim državama.

SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS





5. The Way Forward

On 4th March 2021, UNESCO published a report titled “Engineering for Sustainable Development: Delivering on the Sustainable Development Goals” [5]. Similar initiatives are being undertaken for the welding field in a number of countries in conjunction with the author as well as a global one being prepared for presentation to the United Nations. This paper and the National Welding Capability Project are the basis for such reports and undertakings.

It is hoped that this paper will stimulate ideas amongst the Serbian welding community for feedback to Chris Smallbone allbones@iinet.net.au, and Dr Vencislav Grabulov, vencislav.grabulov@institutims.rs, as well as for dissemination into countries to improve their SDGs.

References/Literatura

- [1] SciELO - Brazil - Establishing and Implementing the Building Blocks of a Country’s National Welding Capability (NWC)
<https://www.scielo.br/j/si/a/tDWHcwCpMB3tFYY4xTXWZwt/?lang=en>
- [2] Your Country’s National Welding Capability (NWC) and its Significance to the UN Sustainable Development Goals (SDGs), Keynote Paper, ASR International Conference “WELDING 2021” Resita, Romania, 22, 23 April 2021
<https://asr.ro/documents/C.Smallbone2021.pdf? t=1639211760>

5. Budući pravci

UNESKO je 4. marta 2021. objavio izveštaj pod naslovom: „Inženjering za održivi razvoj: Postizanje ciljeva održivog razvoja“ [5]. U saradnji sa autorom, slične inicijative se preduzimaju za oblast zavarivanja u nizu zemalja, kao i globalna inicijativa koja se priprema za predstavljanje u Ujedinjenim nacijama. Ovaj rad i Nacionalni projekat Nacionalni kapaciteti u oblasti zavarivanja, su osnova za takve izveštaje i poduhvate. Nadamo se da će ovaj rad podstaći ideje u zajednici zavarivača u Srbiji. Za povratne informacije može se kontaktirati:

Chris Smallbone allbones@iinet.net.au i

Dr. Ing. Vencislav Grabulov,
vencislav.grabulov@institutims.rs.

kao i za širenje i distribuciju u drugim zemljama radi poboljšanja svojih Ciljeva održivog razvoja (SDGs).

[3] https://en.wikipedia.org/wiki/Sustainable_Development_Goals

[4] Sustainable Development Report 2021 (sdgindex.org)

[5] UNESCO Engineering Report, Engineering for Sustainable Development Delivering on the Sustainable Development Goals, Published 4th March 2021

<https://en.unesco.org/reports/engineering>

<https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000375644.locale=en>

VESTI / NEWS

Izložba Zavarivanje u umetnosti 2021

U okviru 74. Godišnje skupštine IIW i Međunarodne konferencije održane on – line u Julu 2021, prikazana je i Izložba zavarivanje u umetnosti 2021. Ovo je treća izložba umetničkih fotografija koju podržava IIW. U okviru izložbe prikazano je preko 40 ekspanata raznih vrsta i nivoa, od strane umetnika iz 15 zemalja. Svi učesnici su pokazali veliki entuzijazam u ostvarenju cilja da se prikažu vrednosti i prednosti zavarivanja i zavarivanja u umetnosti. Prikazana dela mogu se pogledati na internet adresi:

<https://cld.bz/Ztb3kMw>

ZAVARIVANJE I ZAVARENE KONSTRUKCIJE 1/2021 WELDING & WELDED CONSTRUCTIONS	
NAUKA•ISTRAŽIVANJE•RAZVOJ SCIENCE•RESEARCH•DEVELOPMENT	
05	ANALIZA ZAVISNOSTI ZATEZNIH NAPONA - DEFORMACIJA TAČKASTO ELKTROOTPORNO ZAVAREN OG SPOJA PRIMENOM NELINEARNE METODE KONAČNIH ELEMENATA SA EKSPERIMENTALNOM VERIFIKACIJOM <i>M.N.Yusuf, W.E.W.A. Rahaman, Y.HP Manurung, M. Stoschka, M.A. Suhaimi, A.A.A. Rusli</i>
23	KOMPARATIVNA ANALIZA FIZIČKOM SIMULACIJOM OMEKŠAVANJA ZUTA TRI RAZLIČITE ALUMINIJUMSKE LEGURE ZA VOZILA <i>R.P.S. Sisodiaa, J. Kovács</i>
OBRAZOVANJE EDUCATION	
41	KAKVI SU TO „PROHROMSKI“ ČELICI?
ZAVARIVANJE I ZAVARENE KONSTRUKCIJE 2/2021 WELDING & WELDED CONSTRUCTIONS	
NAUKA•ISTRAŽIVANJE•RAZVOJ SCIENCE•RESEARCH•DEVELOPMENT	
53	ISTRAŽIVANJE PROCESA REZANJA UGLJENIČNOG ČELIKA PLAZMOM VODA-VAZDUH <i>S. Hana, D. Caib, Z. Luoc, Y. Yid</i>
PRAKSA PRACTICE	
63	PROUČAVANJE FAZNIH TRANSFORMACIJA U ZONI UTICAJA TOPLOTE ALUMINOTERMIJSKI ZAVARENIH ČELIKA ZA ŠINE EKSPERIMENTALNIM METODAMA I SIMULACIJOM <i>K. Sojiphan</i>
75	SPAJANJE RAZNORODNIH METALA ULTRAZVUČNIM ZAVARIVANJEM <i>T. A. Kovácsa A. Vladár, P. Pinkec, H. L. Jaber</i>
IBR (PRAKSA) NDT (PRACTICE)	
83	KONTROLISANJE ZAOSTALIH NAPONA: RAZVOJ NAJNOVIJIH INŽENJERSKIH METODA ZA MERENJE BEZ RAZARANJA I POVOLJNU PRERASPODELU ZAOSTALIH NAPONA RESIDUAL STRESS MANAGEMENT: RECENT ADVANCES IN ENGINEERING METHODS FOR NON-DESTRUCTIVE MEASUREMENT AND BENEFICIAL REDISTRIBUTION OF RESIDUAL STRESSES
ZAVARIVANJE I ZAVARENE KONSTRUKCIJE 3/2021 WELDING & WELDED CONSTRUCTIONS	
NAUKA•ISTRAŽIVANJE•RAZVOJ SCIENCE•RESEARCH•DEVELOPMENT	
01	UTICAJ BORA I MANGANA NA OTPORNOST KA TOPLIM PRSLINAMA I ŽILAVOST ELEKTROLUČNO ZAVARENIH SPOJEVA PUNJENOM ELEKTRODNOM ŽICOM ČELIKA KLAS E ZATEZNE ČVRSTOĆE OD 550 MPA <i>S.K. Park, Y.H. Cho, C.H. Jee, N. Kang</i>
PRAKSA PRACTICE	
123	HIBRIDNO LASERSKO ELEKTROLUČNO ZAVARIVANJE – PREGLED STANJA TEHNOLOGIJE <i>M. Petreski, D. Runchev, G. Vrtanoski</i>
125	UTICAJ OBRAD E OTPUŠTANJEM NAKON ZAVARIVANJA NA OSOBINE TAČKASTO ZAVAREN OG SPOJA DVOFAZNOG ČELIKA DP DP600 <i>L. Hong, L. Xusheng, W. Bing, L. Zhuoxin</i>
IBR (PRAKSA) NDT (PRACTICE)	
133	KONTROLISANJE ZAOSTALIH NAPONA: RAZVOJ NAJNOVIJIH INŽENJERSKIH METODA ZA MERENJE BEZ RAZARANJA I POVOLJNU PRERASPODELU ZAOSTALIH NAPONA <i>J. Kleiman</i>
ZAVARIVANJE I ZAVARENE KONSTRUKCIJE 4/2021 WELDING & WELDED CONSTRUCTIONS	
NAUKA•ISTRAŽIVANJE•RAZVOJ SCIENCE•RESEARCH•DEVELOPMENT	
149	KARAKTERIZACIJA ZAVARENIH SPOJEVA SA DELIMIČNOM PENETRACIJOM NA KONSTRUKCIONOM ČELIKU S355N <i>D. Milčić, D. Mitić, N. Radović, M. Milčić, A. Đurić</i>
161	UTICAJ UNOSA TOPLOTE NA GEOMETRIJU UGAONIH SPOJEVA PRI MAG ZAVARIVANJU LIMOVA OD NELEGIRANOG ČELIKA <i>P. Tasić, I. Hajro</i>
168	SVOJSTVA I ZAVARLJIVOST NISKOLEGIRANOG ČELIKA VISOK E ČVRSTOĆE S1100QL <i>A. Skumavc, A. Smolej, E. Bjelajac, T. Vuherer</i>
PRAKSA PRACTICE	
176	ZAVARIVANJE, KONTROLA I POPRAVKA MEMBRANSKIH VAROVA <i>M. Samardžić, T. Marsenić, A. Herceg, D. Marić, B. Despotović</i>



Miroslav M. Mijajlović^{1a}, Dušan Z. Ćirić¹

DEFINICIJA, KLASIFIKACIJA, STANDARDIZACIJA I OBELEŽAVANJE POSTUPAKA ZAVARIVANJA, LEMLJENJA I SRODNIH POSTUPAKA PREMA NOVOJ VERZIJI STANDARDA ISO 4063

DEFINITION, CLASSIFICATION, STANDARDISATION AND SYMBOLIC REPRESENTATION OF WELDING, SOLDERING, BRAZING AND SIMILAR PROCESSES ACCORDING TO NEW VERSION OF STANDARD ISO 4063

Stručni rad / Professional paper

Rad je u izvornom obliku objavljen u Zborniku sa 31. Savetovanja sa međunarodnim učešćem "Zavarivanje 2020" održanog u Kladovu, Srbija od 13. do 16. Oktobra 2021.

Rad primljen / Paper received:

Septembar 2021.

Rad prihvaćen / Paper accepted:

Januar 2022.

Ključne reči: Standardizacija, ISO 4063, zavarivanje i srodni postupci, mehaničko spajanje, lepljenje

Adresa autora / Author's address:

¹ Univerzitet u Nišu, Mašinski fakultet Niš, Aleksandra Medvedeva 14, 18000 Niš, Srbija

^aE mail: miroslav.mijajlovic@masfak.ni.ac.rs

Key words: Standardisation, ISO 4063, welding and similar processes, mechanical joining, adhesive bonding

Rezime

Početak 2021. godine, objavljen je nacrt nove verzije standarda ISO 4063 kojim se definišu, klasifikuju, standardizuju i jednoznačno obeležavaju postupci zavarivanja, lemljenja i srodnih postupaka. Ova verzija standarda revidira i drugačije klasifikuje pojedine ranije standardizovane postupke, uvodi novu osnovnu grupu postupaka zavarivanja plastike, a dodatno definiše, klasifikuje, standardizuje i uvodi novi sistem obeležavanja postupaka i metoda mehaničkog spajanja delova, kao i postupaka lepljenja. Rad daje osvrt na ove novine.

1. Uvod

Od početka industrijske revolucije i ubrzanog razvoja postupaka zavarivanja i lemljenja (u periodu 1850-1950) nametnuo se problem definisanja i obeležavanja postupaka spajanja. U tom periodu postupci zavarivanja su klasifikovani kao postupci zavarivanja topljenjem ili kao postupci zavarivanja pritiskom (vrlo neprecizno rečeno: postupci zavarivanja u čvrstoj fazi). Donekle tačna, ovakva klasifikacija postupaka nije mogla da

Abstract

At the beginning of 2021, a draft version of the ISO 4063 standard was published, which defines, classifies, standardises and unambiguously symbolically represents welding, soldering, brazing and similar processes. This version of the standard revises and classifies some previously standardized processes, introduces a new basic group of plastic welding processes and additionally defines, classifies, standardizes and introduces a new system of marking processes and methods of mechanical joining, as well as adhesive bonding. The paper reviews these novelties within the ISO 4063.

obuhvati sve postupke zavarivanja koji su sukcesivno nastajali u različitim delovima sveta.

Poseban problem u tehničkoj komunikaciji predstavljali su nazivi, oznake i akronimi ovih postupaka koji su bili drugačiji od države do države. Taj problem je bio posebno izražen i vidljiv u saradnji anglosaksonskih država, koje ne koriste SI (SAD, Velika Britanija), sa ostalim razvijenim državama Evrope (Francuska, Nemačka). Dva



velika svetska rata u dvadesetom veku su proces usaglašavanja terminologije u zavarivanju dodatno usporili.

Tek aprila 1978. godine objavljena je prva verzija standarda ISO 4063:1978: *Welding, brazing, braze welding and soldering of metals – List of processes, for symbolic representation on drawings* [1] koji je, donekle, uveo sistematičnost u definisanju, klasifikaciji i standardizaciji postupaka zavarivanja, lemljenja i srodnih postupaka. Tada je prvi put uveden jednoobrazni nomenklturni sistem obeležavanja navedenih postupaka zavarivanja. ISO 4063 je prvi međunarodno obavezujući dokument u oblasti zavarivanja koji je do kraja 1979. godine prihvatilo 118 država. Druga verzija standarda ISO 4063:1990: *Welding, brazing, soldering and braze welding of metals – Nomenclature of processes and reference numbers for symbolic representation on drawings* [2] iz 1990. godine ne uvodi značajnije izmene kod postupaka zavarivanja i lemljenja: pojedini postupci su uklonjeni kao zastareli, dodati su neki novi postupci, a pojedini postupci su prekvalifikovani. Treća verzija ISO 4063:1998: *Welding and allied processes – Nomenclature of processes and reference numbers* [3] iz 1998. godine, uvodi, standardizuje i klasifikuje postupke rezanja, sečenja i izrade žleba kao sastavni deo zavarivanja. Kao i u drugoj verziji standarda, pojedini postupci su prekvalifikovani, izbačeni kao zastareli ili ubačeni kao novi. Četvrta verzija standarda ISO 4063:2009: *Welding and allied processes – Nomenclature of processes and reference numbers* [4] iz 2009. godine je redovna revizija treće verzije u kojoj su, opet, pojedini postupci dodati, a pojedini prekvalifikovani. Peta verzija standarda (iz 2011. godine) je prosta revizija četvrte verzije ali u verziji ISO 4063 na nacionalnom nivou (BS, SRPS i sl [5, 6]). U petoj verziji su ispravljene greške u klasifikaciji pojedinih postupaka lemljenja koje su prisutne u četvrtoj verziji ali drugih tehničkih izmena standarda nije bilo. Verzija ISO 4063:2009 je još uvek važeća verzija.

Nacrt šeste verzija standarda ISO/DIS 4063: *Welding, brazing, soldering, cutting, mechanical joining and adhesive bonding – Nomenclature of processes and reference numbers* [7] usvojen je gotovo 10 godina kasnije, krajem 2020. godine i tokom 2021. godine. Ova verzija ne donosi izmene u sistemu označavanja postupaka, ali uvodi nove grupe postupaka zavarivanja, mehaničkog spajanja i lepljenja.

2. Sadržaj nacrta nove verzije standarda iso 4063 iz 2020/2021

Šesta verzija standarda ISO/DIS 4063:2020 je formalno još uvek nacrt ali je u završnoj fazi usvajanja (završeno je glasanje u komitetu) te je standard efektivan/aktivan od 11.03.2021. U istom statusu je i srpska verzija standarda SRPS EN ISO 4063:2020 *Zavarivanje, tvrdo lemljenje, meko lemljenje, rezanje, mehaničko spajanje i adheziono spajanje - Lista postupaka i njihovo označavanje* [8], čiji nacrt je usvojen saglasno EN/ISO verziji standarda ISO 4063 na nemačkom jeziku prEN ISO 4063: *Schweißen, Hartlöten, Weichlöten, Schneiden, Mechanisches Fügen und Kleben – Liste der Prozesse und Ordnungsnummern (ISO/DIS 4063:2020)*[9].

Nova verzija standarda zadržava isti sistem obeležavanja postupaka zavarivanja, lemljenja i postupaka rezanja i sečenja kao prethodne verzije (prethodnih četiri, odnosno, pet verzija), ali definiše 9 osnovnih grupa (za razliku od prethodne važeće verzije gde je definisano 8 grupa):

- ISO 4063 – 1: Postupci zavarivanja električnim lukom,
- ISO 4063 – 2: Postupci zavarivanja električnim otporom,
- ISO 4063 – 3: Postupci zavarivanja sagorevanjem gorivih gasova,
- ISO 4063 – 4: Postupci zavarivanja pritiskom,
- ISO 4063 – 5: Postupci zavarivanja snopom čestica,
- ISO 4063 – 6: Postupci zavarivanja plastike,
- ISO 4063 – 7: Ostali postupci zavarivanja,
- ISO 4063 – 8: Postupci rezanja, sečenja i žlebljenja,
- ISO 4063 – 9: Postupci mekog, tvrdog i zavarivačkog lemljenja.

Prvu novinu predstavlja osnovna grupa ISO 4063 –6; Postupci zavarivanja plastike, ili kako bi bilo preciznije: Postupci zavarivanja prevashodno namenjeni spajanju polimernih materijala.

Kao drugu novinu, standard uvodi dve nove grupe postupaka spajanja:

- ISO 4063 – 1000: Postupci mehaničkog spajanja,
- ISO 4063 – 2000: Postupci lepljenja, odnosno, preciznije: Postupci adhezionog spajanja.



3. Promene i izmene vezane za zavarivanje, lemljenje, sečenje i rezanje u šestoj verziji standarda

U novoj verziji standarda ISO 4063 uvedene su sledeće promene i izmene:

1) Osnovne grupe 2, 3, 5, 8 i 9, grupe i postupci u pripadajućim grupama ostali su nepromenjeni u odnosu na četvrtu, odnosno, petu verziju standarda.

2) Osnovnoj grupi 1 dodata je grupa 18 (ostali postupci zavarivanja), kojoj je priključen postupak zavarivanja 185 (postupak magnetno-elektrolučnog zavarivanja sa rotirajućim lukom), koji je u petoj verziji standarda bio samostalni postupak van ikakve grupe.

3) Osnovnoj grupi 4 je dodata grupa 41 (postupci zavarivanja ultrazvukom), kojoj su dodati postupci 411 (postupak toplog zavarivanja ultrazvukom), 412 (postupak tačkastog zavarivanja ultrazvukom) i 413 (postupak šavnog zavarivanja ultrazvukom). Postojećoj grupi 42 (postupci zavarivanja trenjem), dodati su postupci 424 (postupak linearnog zavarivanja trenjem), 425 (postupak radijalnog zavarivanja trenjem) i 426 (postupak orbitalnog

zavarivanja trenjem). Postojećoj grupi 43 (postupci zavarivanja trenjem sa mešanjem) dodati su postupci 431 (postupak tačkastog zavarivanja trenjem sa mešanjem), 432 (postupak tačkastog zavarivanja trenjem sa mešanjem sa popunom tehnološke rupe), 433 (postupak tačkastog zavarivanja trenjem sa mešanjem kretanjem alata po konturi), 434 (postupak tačkastog zavarivanja trenjem sa mešanjem kretanjem alata po pravoj liniji) i 435 (postupak tačkastog zavarivanja trenjem sa mešanjem ljučanjem alata). Postojećoj grupi 45 (postupci zavarivanja difuzijom) dodat je postupak 451 (izostatički difuziono-pritisni postupak zavarivanja). Postojećoj grupi 48 (postupci zavarivanja pritiskom „na hladno”) dodat je postupak 481 (postupak hladnog ekstruzionog zavarivanja). Postojećoj grupi 49 (postupci zavarivanja pritiskom „na toplo”) dodati su postupci 491 (postupak zavarivanja toplim alatom), 492 (postupak termo-pritisnog zavarivanja) i 493 (postupak koekstruzionog zavarivanja).

4) Formirana je nova osnovna grupa 6 (postupci zavarivanja plastike), sa grupama i postupcima koji su prikazani u Tabeli 1.

Tabela 1. Osnovna grupa ISO 4063 – 6 (postupci zavarivanja plastike) [10]

Table 1. Basic group ISO 4063 - 6 (welding procedures for plastic) [10]

Grupa	Post.	Naziv na nemačkom	Naziv na srpskom (prevod autora)
6		kunststoffspezifische Schweißprozesse	Postupci zavarivanja plastike
61		Schweißen mit verbleibendem Widerstandheizelement	Postupci zavarivanja električnim otporom primenom grejača koji ostaje u šavu
	611	Heizwendelschweißen	Postupak elektrofuzionog zavarivanja
62		Radiofrequenzschweißen, Hochfrequenzschweißen	Postupak radio-frekventnog zavarivanja
63		Quellschweißen	Postupci zavarivanja rastvaranjem
	631	Lösungsmittel	Postupak zavarivanja rastvaračem
64		Warmgasschweißen	Postupci zavarivanja zagrejanim gasom
	641	Warmgasschnellschweißen	Postupak brzog zavarivanja zagrejanim gasom
	642	Warmgas-Runddüsensschweißen	Postupak zavarivanja zagrejanim gasom primenom okrugle mlaznice
	643	Warmgashandschweißen ohne Schweißstab	Postupak ručnog zavarivanja zagrejanim gasom bez dodatnog materijala
	644	Warmgasmaschinenschweißen ohne Schweißstab	Postupak mašinskog zavarivanja zagrejanim gasom bez dodatnog materijala

**Tabela 1.** – nastavak: Osnovna grupa ISO 4063 – 6 (postupci zavarivanja plastike) [10]**Table 1.** – continued: Basic group ISO 4063 - 6 (welding procedures for plastic) [10]

	645	Warmgasmaschinenschweißen mit Schweißstab	Postupak mašinskog zavarivanja zagrejanim gasom sa dodatnim materijalom
	646	Warmgaskonvektionschweißen	Postupak konvektionog zavarivanja zagrejanim gasom
	647	Extrusionsschweißen	Postupak ekstruzionog zavarivanja
65		Heißsiegeln	Postupci termičkog zaptivanja
	651	Impulsschweißen	Postupak impulsnog zavarivanja
	652	Thermodeschweißen Heißbügelschweißen	Postupak zavarivanja toplom polugom
66		Heizelementschweißen	Postupci zavarivanja toplim alatom
	661	Spiegelschweißen	Postupak zavarivanja toplim alatom u obliku ogledala
	662	Heizkeilschweißen	Postupak zavarivanja zagrejanim klinom
	663	Muffenschweißen	Postupak zavarivanja plastičnih fittinga zagrejanim alatom
	664	Sattelschweißen	Postupak zavarivanja cevnih (sedlastih) uboda zagrejanim alatom
67		blitzfreies Schweißen	Postupci zavarivanja bez svetlucanja/varničenja
	671	Fließschweißen	Postupak protočnog/livačkog zavarivanja
69		andere kunststoffspezifische Schweißprozesse	Ostali postupci zavarivanja plastike
	691	Mikrowellenschweißen	Postupak mikrotalasnog zavarivanja

5) U osnovnoj grupi 7 je izvršena samo jedna izmena: iz grupe 78 (elektrolučni postupci zavarivanja vitkih delova), izbačen je postupak 787 (elektrolučni postupak zavarivanja vitkih delova sa izvučenim električnim lukom i topivim oblikačem).

4. Definicija, klasifikacija i standardizacija postupaka mehaničkog spajanja prema ISO 4063

Kao poseban deo standarda, poglavlje 5.5, formirana je osnovna grupa 1000 koja obuhvata standardizovane postupke mehaničkog spajanja. U tabeli 2 prikazan je sistem klasifikacije ovih postupaka, nazivi grupa i postupaka na nemačkom jeziku, kao i prevod ovih postupaka na srpskom jeziku.

Tabela 2. Osnovna grupa ISO 4063 – 1000 (Mehanički spojevi) [10]**Table 2.** Basic group ISO 4063 - 1000 (Mechanical joints) [10]

Grupa	Post.	Naziv na nemačkom	Naziv na srpskom (prevod autora)
1000		Mechanisches Fügen	Mehanički spojevi
1100		Nieten	Postupci zakivanja
	1110	Stanznieten	Postupak zakivanja samoprobijajućim zakovicama
	1111	Stanznieten mit Halbhohlniet	Postupak zakivanja samoprobijajućim polucevastim zakivcima
	1112	Stanznieten mit Vollniet	Postupak zakivanja samoprobijajućim zakivcima punog profila

**Tabela 2.** – nastavak: Osnovna grupa ISO 4063 – 1000 (Mehanički spojevi) [10]**Table 2.** – continued: Basic group ISO 4063 - 1000 (Mechanical joints) [10]

	1120	Blindnieten	Postupak zakivanja slepim zakivcima
1200		Durchsetzfügen (Clinchen)	Postupci spajanja presovanjem
	1210	Clinchen mit rundem Element	Postupak spajanja presovanjem primenom okruglog elementa
	1220	Clinchen mit rechteckigem Element	Postupak spajanja presovanjem primenom četvrtastog elementa
1300		Quetschen (Crimpen)	Postupak krimpovanja
1400		Fügen mit Schließringbolzen	Postupci spajanja sigurnosnim zavrtnjima/zavrtnjima za zaključavanje
	1410	Fügen mit Schließringbolzen mit Sollbruchstelle	Postupak spajanja sigurnosnim zavrtnjima sa oslabljenim vratom
	1420	Fügen mit Schließringbolzen ohne Sollbruchstelle	Postupak spajanja sigurnosnim zavrtnjima sa normalnim vratom
1500		Fügen von Funktionselementen	Postupci spajanja funkcionalnim elementima
	1510	Fügen von Stanzelementen	Postupci spajanja primenom elementa za utiskivanje
	1511	Fügen von Stanzmuttern	Postupci spajanja primenom matica za utiskivanje
	1512	Fügen von Stanzbolzen	Postupci spajanja primenom zavrtnjeva za utiskivanje
	1520	Fügen von Einpresselementen	Postupci spajanja primenom elemenata za napresavanje
	1521	Fügen von Einpressmuttern	Postupci spajanja primenom matica za napresavanje
	1522	Fügen von Einpressbolzen	Postupci spajanja primenom zavrtnjeva za napresavanje
	1530	Fügen von Nietelementen	Postupci spajanja primenom elemenata sličnih zakovicama
	1531	Fügen von Nietmuttern	Postupci spajanja primenom matica-zakovica
	1532	Fügen von Nietbolzen	Postupci spajanja primenom zavrtnjeva-zakovica
1500	1540	Fügen von Blindnietelementen	Postupci spajanja primenom elemenata sličnih slepim zakovicama
	1541	Fügen von Blindnietmuttern	Postupci spajanja primenom matica-slepih zakovica
	1542	Fügen von Blindnietbolzen	Postupci spajanja primenom zavrtnjeva-slepih zakovica
1600		Fügen mit lochformenden und gewindeformenden Schrauben	Postupci spajanja samorežućim zavrtnjevima
1700		Lineares mechanisches Fügen	Postupci linearnog mehaničkog spajanja
1800		Kontaktnieten	Postupci spajanja kontaktnim zakovicama
	1810	Warmstempeln oder Heißverstemmen oder Wärmekontaktnieten - Warmluft	Postupak utiskivanja na toplo, toplo zaptivanje, termičko zakivanje - topli vazduh
	1820	Warmstempeln oder Heißverstemmen oder Wärmekontaktnieten - elektrisch	Postupak utiskivanja na toplo, toplo zaptivanje, termičko zakivanje – električno
	1830	Warmstempeln oder Heißverstemmen oder Wärmekontaktnieten - infrarot	Postupak utiskivanja na toplo, toplo zaptivanje, termičko zakivanje – infracrveno
	1840	Ultraschallstempeln	Postupak ultrazvučnog utiskivanja
1900		andere mechanische Fügeprozesse	Ostali postupci mehaničkog spajanja



5. Definicija, klasifikacija i standardizacija postupaka adhezionog spajanja prema ISO 4063

Kao poseban deo standarda, poglavlje 5.6), formirana je osnovna grupa 2000 koja obuhvata

standardizovane postupke adhezionog spajanja. U tabeli 3 prikazan je sistem klasifikacije ovih postupaka, nazivi grupa i postupaka na nemačkom jeziku, kao i prevod ovih postupaka na srpskom jeziku.

Tabela 3. Osnovna grupa ISO 4063 – 3000 (Adhezioni spojevi) [10]

Table 3. Basic group ISO 4063 - 3000 (Adhesion joints) [10]

Grupa	Post.	Naziv na nemačkom	Naziv na srpskom (prevod autora)
2000		Kleben	Postupci lepljenja/Postupci adhezionog spajanja
2100		Kleben mit Polyadditions-Klebstoffen	Postupci lepljenja poliadiacionim lepkovima
	2110	Kleben mit Klebstoffen auf Epoxidharzbasis	Postupak lepljenja lepkovima na bazi epoksidne smole
	2111	Kleben mit kalthärtenden 2K-Epoxidharz-Klebstoffen	Postupak lepljenja dvokomponentnim termoplastičnim lepkovima na bazi epoksidne smole
	2112	Kleben mit warmhärtenden 1K-Epoxidharz-Klebstoffen	Postupak lepljenja jednodokomponentnim termoreaktivnim lepkovima na bazi epoksidne smole
	2113	Kleben mit warmhärtenden 2K-Epoxidharz-Klebstoffen	Postupak lepljenja dvokomponentnim termoreaktivnim lepkovima na bazi epoksidne smole
	2114	Kleben mit reaktiven Epoxidharz-Schmelzklebstoffen	Postupak lepljenja reaktivnim lepkovima za topljenje epoksidne smole
2100	2120	Kleben mit Klebstoffen auf Polyurethan (PUR)-Basis	Postupak lepljenja lepkovima na bazi poliuretana (PUR)
	2121	Kleben mit feuchtigkeitshärtenden 1K-PUR-Klebstoffen	Postupak lepljenja jednodokomponentnim lepkovima na bazi poliuretana koji otvrdnjavaju u kontaktu sa vlagom
	2122	Kleben mit warmhärtenden 1K-PUR-Klebstoffen	Postupak lepljenja jednodokomponentnim termoreaktivnim lepkovima na bazi poliuretana
	2123	Kleben mit kalthärtenden 2K-PUR-Klebstoffen	Postupak lepljenja dvokomponentnim termoplastičnim lepkovima na bazi poliuretana
	2124	Kleben mit reaktiven PUR-Schmelzklebstoffen	Postupak lepljenja reaktivnim lepkovima za topljenje poliuretana
	2130	Kleben mit Klebstoffen auf Silikonbasis (durch Polyaddition)	Postupak lepljenja lepkovima na bazi silicijuma (poliadiacijom)
	2131	Kleben mit warmhärtenden Silikonklebstoffen	Postupak lepljenja termoreaktivnim lepkovima na bazi silicijuma
	2132	Kleben mit kalthärtenden Silikonklebstoffen	Postupak lepljenja termoplastičnim lepkovima na bazi silicijuma
	2140	Kleben mit warmhärtenden Kautschukklebstoffen	Postupak lepljenja termoreaktivnim lepkovima na bazi gume
2200		Kleben mit Polymerisationsklebstoffen	Postupci lepljenja polimerizujućim lepkovima
	2210	Kleben mit Cyanacrylaten (Sekundenkleber)	Postupak lepljenja lepkovima sa cijanokrilatima (superlepak)
	2220	Kleben mit anaerob härtenden Klebstoffen	Postupak lepljenja lepkovima koji očvršćavaju anaerobno
	2230	Kleben mit Methacrylat-Klebstoffen	Postupak lepljenja metakrilatnim lepkovima



Tabela 3. – nastavak: Osnovna grupa ISO 4063 – 3000 (Adhezioni spojevi) [10]

Table 3. – continued: Basic group ISO 4063 - 3000 (Adhesion joints) [10]

	2240	Kleben mit Polyesterharz-Klebstoffen	Postupak lepljenja lepkovima od poliesterske smole
	2250	Kleben mit strahlungshärtenden Systemen	Postupak lepljenja primenom sistema za očvršćavanje radijacijom/zračenjem
	2251	Kleben mit strahlungshärtenden Klebstoffen auf Acrylatbasis	Postupak lepljenja lepkovima, na bazi akrilata, koji očvršćavaju radijacijom/zračenjem
	2252	Kleben mit strahlungshärtenden Klebstoffen auf der Basis von Epoxidharzen	Postupak lepljenja lepkovima, na bazi epoksidnih smola, koji očvršćavaju radijacijom/zračenjem,
2300		Kleben mit Polykondensationsklebstoffen	Postupci lepljenja polikondenzacionim lepkovima
	2310	Kleben mit Klebstoffen auf Silikonbasis durch Polykondensation	Postupak lepljenja lepkovima na bazi silicijuma (polikondenzacijom)
	2311	Kleben mit feuchtigkeitshärtenden 1K-Silikon	Postupak lepljenja jednodokomponentnim lepkovima na bazi silikona koji otvrdnjavaju u kontaktu sa vlagom
	2312	Kleben mit kalthärtenden 2K-Silikon	Postupak lepljenja dvokomponentnim termoplastičnim lepkovima na bazi silikona
	2320	Kleben mit silanmodifizierten Polymeren	Postupak lepljenja lepkovima na bazi polimera modifikovanog silanom
2300	2330	Kleben mit Polysulfiden	Postupak lepljenja lepkovima na bazi polisulfida
	2340	Kleben mit Polyimiden	Postupak lepljenja lepkovima na bazi poliamida
	2350	Kleben mit Phenolharzen	Postupak lepljenja lepkovima na bazi fenolnih smola
2400		Kleben mit physikalisch härtenden Klebstoffen	Postupak lepljenja lepkovima koji fizički očvršćavaju (čvrstim lepkovima)
	2410	Kleben mit erstarrenden Klebstoffen	Postupak lepljenja očvršćujućim lepkovima
	2411	Kleben mit Schmelzklebstoffen	Postupak lepljenja topljivim lepkovima
	2420	Kleben mit abdampfenden/trocknenden Klebstoffen	Postupak lepljenja lepkovima za napanje/sušenje
	2421	Kleben mit Klebstoffen auf der Basis von Lösemitteln	Postupak lepljenja lepkovima na bazi rastvarača
	2422	Kleben mit Dispersionsklebstoffen	Postupak lepljenja disperzionim lepkovima
	2423	Kleben mit Kolloidalen Systemen	Postupak lepljenja koloidnim sistemima
	2424	Kleben mit Kontaktklebstoffen	Postupak lepljenja kontaktnim lepkovima
	2430	Kleben mit Gel-bildenden Klebstoffen	Postupak lepljenja lepkovima koji formiraju gel
	2431	Kleben mit Plastisolen	Postupak lepljenja plastizolima
	2440	Kleben mit Klebstoffe vorbeschichteten Werkstoffen	Postupak lepljenja materijalima koji su prethodno premazani lepkovima
	2441	Kleben mit druckaktivierbaren Klebstoffen	Postupak lepljenja lepkovima koji se aktiviraju pritiskom
	2442	Kleben mit Haftklebstoff beschichteten Produkten	Postupak lepljenja proizvodima koji su premazani lepkovima osetljivim na pritisak
	2450	Kleben mit wärmeaktivierten Klebstoffen	Postupak lepljenja lepkovima koje aktivira toplota
2460	Kleben mit feuchtigkeitsaktivierten Klebstoffen	Postupak lepljenja lepkovima koje aktivira vlaga	
2900		andere Klebprozesse	Ostali postupci lepljenja



6. Zaključak

Novi nacrt standarda ISO 4063 donosi novine u načinu i sistemu obeležavanja pojedinih postupaka zavarivanja, ali i prve korake ka standardizaciji, lakšem definisanju i obeležavanju postupaka mehaničkog i adhezionog spajanja. Normalno, neophodno je da nacrt standarda postane punovažna verzija kako bi njegova primena postala obavezujuća.

Zahvalnost

Ovaj istraživački rad finansijski je podržalo Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije (Ugovor br. 451-03-9/2021-14/200109).

Literatura / References

[1] ISO 4063:1978: Welding, brazing, braze welding and soldering of metals – List of processes, for symbolic representation on drawings, 1978;

[2] ISO 4063:1990: Welding, brazing, soldering and braze welding of metals – Nomenclature of processes and reference numbers for symbolic representation on drawings, 1990;

[3] ISO 4063:1998: Welding and allied processes – Nomenclature of processes and reference numbers, 1998;

[4] ISO 4063:2009: Welding and allied processes – Nomenclature of processes and reference numbers, 2009;

[5] BS EN ISO 4063:2010: Welding and allied processes. Nomenclature of processes and reference numbers, 2009;

6. Conclusion

The new draft standard ISO 4063 brings novelties in the way and system of marking individual welding procedures, but also the first steps towards standardization, easier definition and marking of mechanical and adhesive joining procedures. Normally, it is necessary for the draft standard to become a valid version in order for its application to become binding.

Acknowledgment

This research work was financially supported by the Ministry of Education, Science and Technological Development of the Republic of Serbia (Agreement No. 451-03-9 / 2021-14 / 200109).

[6] SRPS EN ISO 4063:2013: Welding and allied processes – Nomenclature of processes and reference numbers, 2013;

[7] ISO/DIS 4063: Welding, brazing, soldering, cutting, mechanical joining and adhesive bonding – Nomenclature of processes and reference numbers, 2020;

[8] naSRPS EN ISO 4063:2020 Zavarivanje, tvrdo lemljenje, meko lemljenje, rezanje, mehaničko spajanje i adheziono spajanje - Lista postupaka i njihovo označavanje, 2021;

[9] prEN ISO 4063: Schweißen, Hartlöten, Weichlöten, Schneiden, Mechanisches Fügen und Kleben – Liste der Prozesse und Ordnungsnummern (ISO/DIS 4063:2020), 2020;

[10] Mijajlović, M, Tehnologija zavarivanja 2, ISBN 978-86-6055-148-3, Univerzitet u Nišu, Mašinski fakultet Niš, Grafika Galeb, Niš, 2021;



Sead Avdić^{1a}, Namik Džibrić¹, Azur Mandžukić¹

PRISTUP ZA ODREĐIVANJE TEHNOLOGIJE REPERATURNOG ZAVARIVANJA ZUPČANIKA KRUŽNOG KRETANJA BAGERA EŠ 10/70

APPROACH FOR DETERMINATION OF TECHNOLOGY FOR REPAIR WELDING OF EXCAVATOR GEARS FOR CIRCULAR MOTION EŠ 10/70

Stručni rad / Professional paper

Rad je u izvornom obliku objavljen u Zborniku sa 31. Savetovanja sa međunarodnim učešćem "Zavarivanje 2020" održanog u Kladovu, Srbija od 13. do 16. Oktobra 2021.

Rad primljen / Paper received:

Septembar 2021.

Rad prihvaćen / Paper accepted:

Decembar 2021.

Ključne reči: Bager, reduktor, zupčanik, pukotine, reparaturno zavarivanje

Rezime

Svaka havarija i oštećenje na postrojenju ili mašini uzrokovana je nekom većom postojećom greškom u materijalu, zavarenom spoju, starenjem, korozijom, trošenjem ili preopterećenjem u eksploatacionim uslovima. Uzrok može biti i loše konstrukciono rješenje. Kada postrojenje ili mašina stane radi havarije, obično nastaje panika, naročito ako je od vitalne važnosti za proizvodni proces. U većini slučajeva traži se brzo, makar i privremeno rješenje, što u pravilu produžava vrijeme dovođenja mašine u ispravno stanje. Iskustveno se pokazalo da takvim popravkama treba prilaziti stručno, savjesno i sistemski prema određenom redosljedu, uz povećane napore u organizaciji i izvršenju popravki. U radu je prikazano reparaturno zavarivanje zuba na ozubljenom vratilu reduktora kružnog kretanja bagera EŠ 10/70, u Rudniku mrkog uglja „Đurđevik“ koji posluje u sastavu Elektroprivrede Bosne i Hercegovine.

1. Uvod

Pri nastanku oštećenja u eksploatacionom procesu, ili za potrebe održavanja pojedinih dijelova, uređaja, mašina te čitavih postrojenja, primjenjuju se razne tehnologije popravki reparaturnim zavarivanjem. Redovnim održavanjem i kvalitetnim popravkama produžuje se radni vijek postrojenja, mašine i dr., što omogućava normalan rad do nabavke novog dijela. Uštede kod takvih

Adresa autora / Author's address:

¹ Institut za zavarivanje d.o.o. Tuzla, Bosne Srebrene br.6, 75000 Tuzla, BiH

^aE mail: avdic.inz@gmail.com

Keywords: Excavator, reducer, gear, cracks, repair welding

Abstract

Any breakdown and damage to the plant or machine is caused by a major existing defect in the material, welded joint, aging, corrosion, wear or overload under operating conditions. The cause can also be a bad design solution. When a plant or machine stops due to a breakdown, panic usually occurs, especially if it is vital to the production process. In most cases, a quick, even temporary solution is chosen, which usually prolongs the time of bringing the machine into proper condition. Experience has shown that such repairs should be approached professionally, conscientiously and systematically in a certain order, with increased efforts in the organization and execution of repairs. The paper presents the repair welding of teeth on the toothed shaft of the circular gear reducer of the excavator ES 10/70, in the Brown Coal Mine "Đurđevik", which operates as part of the Electric Power Industry of Bosnia and Herzegovina.

popravki mogu biti ogromne, što zavisi od sposobnosti stručnih radnika koji rješavaju te probleme.

Kod primjene tehnologije popravki značajno mjesto zauzimaju zavarivanje, navarivanje, naštrcavanje i lemljenje. Popravke tim tehnikama praktično se primjenjuju svuda: u energetici, željezarama, valjaonicama, rudarstvu, građevinarstvu, brodogradnji, transportu, hemijskoj,



petrohemijskoj, naftnoj, tekstilnoj, papirnoj i prehrambenoj industriji. Nerijetko se smatra da je popravka nekog dijela privremeno rješenje („krpljenje“), međutim, kvalitetno izvedena popravka može biti rješenje, često bolje od postojećeg, pa čak i novog dijela.

2. Definisanje problema

Bager dreglajn (EŠ 10/70) je konstruktivno predviđen za otkopavanje materijala ispod nivoa platoa na kojem se nalazi tj. za dubinski rad sa otkopavanjem materijala povlačenjem kašike "prema sebi". Bager se postavlja u blizini gornje ivice etažne kosine. Pri opuštenom vučnom užetu, a pomoću užeta za podizanje kašike, kašika se spušta na dno, zatim se vučnim užetom kašika povlači ka strijeli bagera. Kašika se pod dejstvom

sopstvene težine urezuje u materijal i puni se otkopanim materijalom. Dubina odreska se reguliše zatezanjem užeta za dizanje kašike. Kada je kašika puna materijala, nakratko se prikoči vučni doboš i stavlja se u pogon doboš za dizanje kašike. Kao rezultat toga, uže za dizanje kašike, vučno uže i istovarno uže se zatežu, a kašika se diže u horizontalnom položaju. Istovremeno sa podizanjem kašike uključuje se mehanizam za kružno kretanje platforme pa se ista zajedno sa strijelom i kašikom okreće do mjesta pražnjenja kašike. Opuštanjem vučnog užeta kašika se prevrće i prazni. Platforma se zatim, zajedno sa strijelom i kašikom okreće ka mjestu ponovnog utovara materijala i to pri istovremenom opuštanju užeta za podizanje kašike tj. pri istovremenom spuštanju kašike (slika 1).



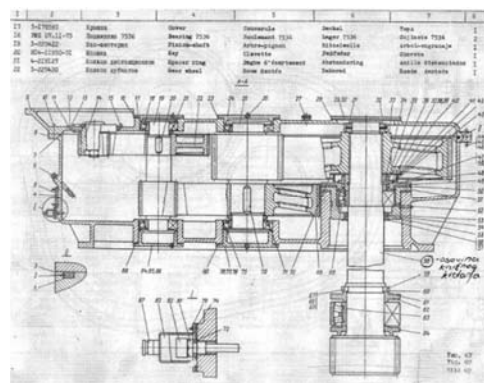
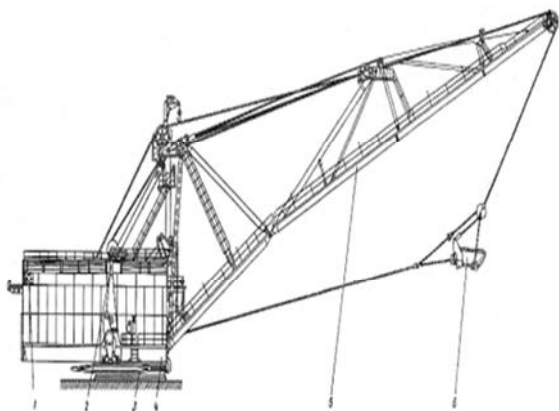
Proizvođač	HKM3 Ukraina
Tip	EŠ 10/70
Godina proizvodnje	1986
Vrsta pogona	Elektro
Instalisana snaga	1370 kW
Masa bagera	680 tona
Priključni napon	6000 V
Specifični pritisak na tlo u radu	9,4 N/cm ²
Specifični pritisak na tlo u kretanju	19,4 N/cm ²
Zapremina kašike	10 m ³
Dužina katarke	70 m
Ugao nagiba katarke	30 °
Dubina kopanja u frontu	35 m
Najveći radijus istresanja	66,5 m
Najveća visina istresanja	27,5 m
Radius okretanja kabine bagera	4,9 m
Prečnik baze	9,7 m
Dužina papuče	11 m
Širina papuče	1,8 m
Bržina premještanja po horiz. putu	0,2 km/h
Širina bagera	13,7 m
Visina bagera	9,6 m

Slika 1. Tehničke karakteristike bagera 10/70

Figure 1. Technical characteristics of the 10/70 excavator

Prilikom svakog punjenja i pražnjenja kašike bagera, mašinski sklopovi trpe velika dinamička i udarna opterećenja, čime se prouzrokuju razna oštećenja i lomovi mašinskih elemenata i sklopova. Mehanizmi za kružno kretanje bagera (slika 2),

često stradaju upravo zbog velikih opterećenja u eksploataciji na površinskim kopovima, a i zbog loše pripremljenih platoa na kojima su bageri locirani.



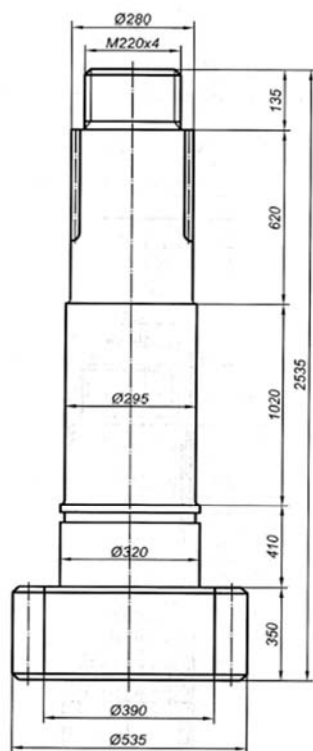
Slika 2. Šematski prikaz bagera 10/70 i sklop reduktora za kružno kretanje bagera

Figure 2. Schematic presentation of the excavator 10/70 and the assembly of the reducer for the circular movement of the excavator



Nakon otkaza bagera i zaustavljanja njegovog rada u eksploataciji, dijagnostikom je utvrđen lom jednog zuba, potpuno kidanje zuba u korijenu. Na slici 3 je prikazano ozubljeno vratilo reduktora kružnog kretanja bagera i stanje polomljenog zuba nakon dva pokušaja popravke. Rudnik je sa sopstvenim stručnim kadrovima i opremom pokušavao riješiti problem koji je postajao sve složeniji. Poslije zavarivanja ponovo su se pojavljivale prsline koje su se širile i na sljedeće zube zupčanika. Izgubljeno je veoma dragocjeno vrijeme koje je uticalo na sam proizvodni proces eksploatacije uglja, a na zupčaniku je došlo do

degradacije materijala u više pokušaja zavarivanja. Preveliki unos toplote u materijal, žlijebljenje, brušenje, pa ponovno zavarivanje je faktički stvorio uslove nemogućnosti ponovnog zavarivanja. Nakon svih neuspjelih pokušaja moralo se pristupiti promjeni tehnologije sanacije zupčanika, trebalo je osmisliti novi pristup problemu i definisati tehnologiju zavarivanja spornog zuba na ozubljenom vratilu. Samo vratilo se može svrstati u gabaritni mašinski element, dužina vratila je 2535 mm, vanjski prečnik zupčanika na tom vratilu je 535 mm, a dužina zubi 350 mm, modul zupčanika je 36.



a)



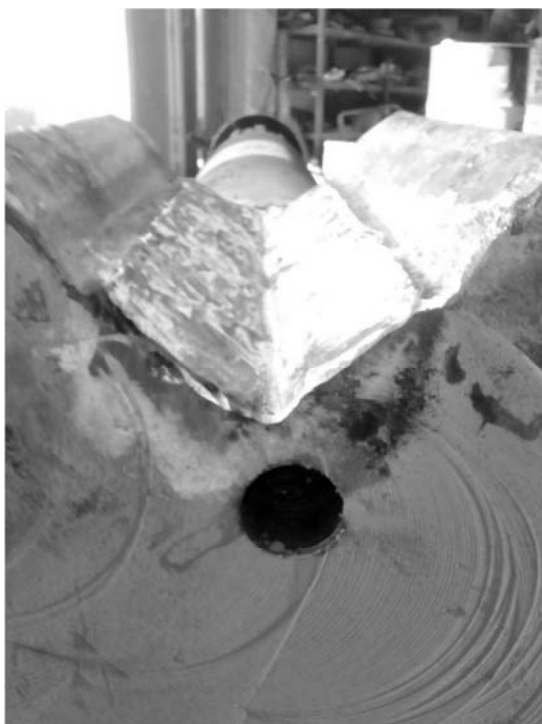
b)

Slika 3. Ozubljeno vratilo reduktora kružnog kretanja bagera 10/70, a) Ozubljeno vratilo, modul 36, b) Stanje polomljenog zuba nakon dva pokušaja popravke

Figure 3. Toothed shaft of the reducer for the circular movement of the excavator 10/70, a) Toothed shaft, module 36, b) Condition of broken tooth after two repair attempts

Nakon svih prikupljenih podataka i konsultacija sa odgovornim inženjerima za bager, donesena je odluka o popravci zuba tehnologijom reparaturnog zavarivanja. Tako se sada ušlo u novi (treći) pokušaj rješavanja problema uz jedan drugačiji i odgovorniji pristup. S obzirom da je proizvođač bagera iz Ukrajine i da nije bilo moguće izvršiti nabavku novog rezervnog ozubljenog vratila, ponuđeni rok za isporuku je bio minimalno 4 mjeseca što rukovodstvu u rudniku nije odgovaralo iz niza razloga, stoga se moralo pokušati osposobiti

bager, bar privremeno dok se ne iznađe trajnije rješenje. Pošto su bila dva neuspješna pokušaja zavarivanja zuba, nije bilo realno ponovo pokušavati zavariti isti zub iz metalurških razloga i degradacije materijala, tako da je na skladištu polomljenih dijelova bagera pronađeno ozubljeno vratilo sa neoštećenim zubima, ali je odbačeno kao neupotrebljivo zbog druge vrste loma. Sa tog vratila je isječen jedan ispravan zub koji bi se zavarilo i na osnovu toga se pristupilo određivanju tehnologije zavarivanja (slika 4).



Slika 4. Priprema zuba za prenos na drugo vratilo kružnog kretanja bagera 10/70

Figure 4. Preparation of teeth for transfer to the second shaft for the circular motion of the excavator 10/70

3. Eksperiment

3.1. Osnovni i dodatni materijal

Za popravku zavarivanjem važno je utvrditi stanje materijala oštećenog dijela. U dokumentaciji postrojenja ili mašine trebalo bi da se nalaze i podaci o ugrađenom materijalu, međutim u ovom

slučaju u dokumentaciji to ne postoji, pa je bilo potrebno ispitivanjem utvrditi vrstu materijala. Za utvrđivanje vrste i stanja materijala uzet je brušenjem uzorak sa polomljenog zupčanika i u laboratoriji je urađeno ispitivanje hemijskog sastava (slika 5).

**Tabela 1. Hemijski sastav osnovnog materijala****Table 1. Chemical composition of the parent material**

MATERIJAL	C [%]	Si [%]	Mn [%]	P [%]	S [%]	Cr [%]	Mo [%]	Ni [%]	V [%]	Cu [%]	Ceq
ISPITNI UZORAK	0,33	0,29	0,66	0,036	0,044	0,81	0,22	3,03	0,00	0,015	0,85
36CRNIMO4 (Č.5430), 1.6511	0,36	0,25-0,35	0,65	0,035	0,035	1,05	0,22	1,05	-	-	

Tabela 2. Mehaničke osobine osnovnog materijala**Table 2. Mechanical properties of the parent material**

OZNAKA	Rp 0.2% [N/mm ²]	Rm [N/mm ²]	A ₅ [%]	Tvrdoća HB
36CRNIMO4 (Č.5430), 1.6511	1000	1200	11	217

Dodatni materijali za zavarivanje korijena su elektrode E 18 8 Mn B 22 prema EN ISO 3581-A ili E 307-15 prema AWS A-5.4 (proizvođač Elektrode Jesenice). Dodatni materijali moraju biti propisno

usklađeni. Obavezno se prije upotrebe vrši vizuelna kontrola dodatnog materijala. Sušenje bazične elektrode je 2 h na 300°C.

Tabela 3. Hemijski sastav čistog metala šava**Table 3. Chemical composition of the weld metal**

OZNAKA	C [%]	Si [%]	Mn [%]	P [%]	S [%]	Cr [%]	Mo [%]	Ni [%]
E 18 8 Mn B 22	0,12	0,8	7,0	-	-	19,0	-	9,0

Tabela 4. Mehaničke osobine čistog metala šava**Table 4. Mechanical properties of the weld metal**

OZNAKA	Rp 0.2% [N/mm ²]	Rm [N/mm ²]	A ₅ [%]	Av [J]
E 18 8 Mn B 22	> 350	590-690	> 40	> 80 J (+20°C)

Analysen - Protokoll															
Probe: Osovina za reduktor kruznog kretanja bagera															
Kunde: Rudnik "Djurdjevik"															
Adresse: Djurdjevik															
Ort: Zivinice															
Programm Nr: 11				Programmbeschreibung: StahI niedriglegiert						Datum: 9.12.2016					
Mittelwert:															
C	Si	Mn	P	S	Cu	Al	Cr	Mo	Ni	V	Ti	Nb	Co	B	Ceq
0,33	0,29	0,66	0,036	0,044	0,015	0,003	0,81	0,22	3,03	0,00	0,003	0,010	0,04	0,010	0,85

Slika 5. Protokol o ispitivanju hemijskog sastava materijala**Figure 5. Protocol on testing the chemical composition of materials**



3.2. Izvođenje reparaturnog zavarivanja

Sanacija prslina, odnosno zamjena polomljenog zuba na ozubljenom vratilu reduktora kružnog

kretanja bagera EŠ 10/70, rađena je reparaturnim zavarivanjem uz primjenu propisane tehnologije zavarivanja, uz strogi nadzor njene primjene.



Slika 6. Predgrijavanje i zavarivanje vršeno simetrično u paru

Figure 6. Preheating and welding performed symmetrically in a pair

Priprema i zavarivanje zuba ozubljenog vratila vršeno je u skladu sa sledećim uputstvima [1]:

- površinu zavarivanja obrusiti do metalnog sjaja, a eksploatacijom orvrđnutu površinu oko zavara takođe ukloniti (obrusiti),
- prethodno pripremljen zub (eksplantiran sa drugog polomljenog vratila) postaviti i centrirati na mjesto zavarivanja te osigurati njegovu geometriju (korak zuba),
- predgrijati materijal na cca 300 °C (koristiti kombinaciju kiseonika sa propan-butanom) (slika 6),
- zavarivanje raditi u paru sa dva zavarivača simetrično sa jedne i druge strane (slika 6),
- za zavarivanje korijenog prolaza koristiti elektrodu ϕ 2,5 mm po dva prolaza sa jedne i druge strane zuba, obavezno „provariti“ korijen (elektroda Jesenice, INOX B 18 8 6 - ISO 3581: E 18 8 Mn B 20+ ili elektroda Zagreb EZ - KROM 20,
- ostatak zavarivanja, tj popunu i završni zavar raditi istim elektrodama prečnika ϕ 3,25 mm i ϕ 4,0 mm,
- prije zavarivanja osušiti elektrode u peći za sušenje istih, uz parametre 2h/300°C,
- nakon zavarivanja obezbijediti lagano hlađenje umotavanjem zavarenog mjesta (koristiti termo vunu „tervol“ ili u nedostatku adekvatnog materijala može se koristiti i azbestno platno, ali nije preporučljivo,
- nakon hlađenja izvršiti ispitivanja zavara metodama bez razaranja u kombinaciji VT, PT i obavezno UT.

4. Rezultati i diskusija

Nakon više pokušaja zavarivanja pukotina zuba došlo je do ponovnog pucanja zavarenih spojeva (slika 7). Uzrok nastanka prslina poslije zavarivanja je primjena neadekvatne tehnologije zavarivanja, sam pristup problemu je bio amaterski, nepovoljni meteorološki uslovi, neadekvatna oprema. Poslije



svih neželjenih dešavanja moralo se napraviti jedan ozbiljniji i profesionalniji pristup uz provođenje

preporuka stručne osobe za zavarivanje.



a)



b)

Slika 7. Prsline nakon neuspješnog zavarivanja a) i ozubljeno vratilo nakon uspješne reparature b)

Figure 7. Cracks after unsuccessful welding a) and toothed shaft after successful repair b)

Priprema žlijeba za zavarivanje je vršena brušenjem, a oblik žlijeba po tehnološkim uputama i tehničkoj dokumentaciji i geometriji zuba (slika 4). Prije početka zavarivanja površine žlijeba sa jedne i druge strane oko zuba, čišćene su do metalnog sjaja. Mjestimično pripajanje (heftanje) izvedeno je istim tehnološkim postupkom kao i zavarivanje korijena. Pripoji prije početka zavarivanja korijena su očišćeni (prebrušeni) i vizuelno pregledani. Predgrijavanje je vršeno na temperaturu cca 300°C, a po završenom zavarivanju obezbijeđeno je lagano hlađenje zavara pod azbestnim dekama.

Nakon izvršenog zavarivanja urađena je kontrola zavarenih mjesta penetrantskom i ultrazvučnom metodom i nisu uočene nove prsline. Odman se pristupilo montaži ozubljenog vratila u reduktor kružnog kretanja bagera, i reduktor je montiran na bager. Bager je ponovo pušten u eksploataciju i od dana sanacije postrojenje je u

radu, a nisu uočene pojave novih prsline, što se pokazalo da je sanacija uspješno obavljena.

5. Zaključak

Postignuti rezultati potvrđuju ispravnost primijenjene tehnologije reparaturnog zavarivanja pri sanaciji složenih pukotina na postrojenjima koja se dugi niz godina nalaze u procesu eksploatacije.

Odabirom najoptimalnijeg postupka reparaturnog zavarivanja uz maksimalno poštovanje parametara zavarivanja i uputa koje su propisane od strane tehnologa zavarivanja moguće je dobiti tehničko rješenje koje će produžiti vijek trajanja postrojenja, odnosno obezbijediti siguran rad i spriječiti eventualni nastanak havarije.

Opravdanost reparaturnog zavarivanja je i u učešću ukupnih troškova koji su daleko manji od cijene novonabavljenog elementa, uz obezbjeđenje jednakih eksploatacijskih uslova.

Literatura / References

[1] Juraga, I., Živčić, M., Gracin, M., "Reparaturno zavarivanje", Zagreb 1994.

[2] Neale, M. J., "Tribology hand Book", Butherworths, London 1973.

[3] Kralj, S., Ivušić, V., Kranjčec, Z., "Navarivanje kao mogućnost produljenja vijeka trajanja elemenata tribosistema", Međunarodno savjetovanje, Zagreb 1988.

[4] Grupa autora, "IT – Zavarivanje", "RAD" Beograd, No.3, 1979.

[5] Kralj, S., Ivušić, V., Jarić, M., Paulić, E., "Izbor dodatnih materijala za navarivanje", Zavarivanje 3-4, Zagreb, 1989.

[6] Lukačević, Z., "Zavarivanje", Slavonski Brod 1998.

[7] Juraga I., Ljubić K., Živčić M.: Pogreške u zavarenim spojevima, Zagreb, 1998.

[8] M.Novosel, D.Krumes: Posebni čelici, Sveučilište u Osijeku, 1998.

ČASOPIS ZAVARIVANJE I ZAVARENE KONSTRUKCIJE**Cenovnik oglasnog prostora u četiri uzastopna broja 2022**

	A4	2/2	1/1	1/2	1/4	1/8
dimenzije (mm)		2 x 210 x 297	210 x 297	180 x 120	90 x 120	90 x 60
DIN	crno/beli	-	39 000	23 000	16 000	10 000
	kolor	105 000	75 000	-	-	-

- U cene nije uračunat PDV 20%.
- Objavljanje oglasa u samo jednom broju iznosi 30% od datih cena.
- Reklamni tekstovi: 25 % od cene površine crno/belih oglasa.
- Dostava materijala:
 - za crno-beli film ili CD (Adobe Photoshop / CorelDRAW);
 - za kolor film ili CD (Adobe Photoshop / CorelDRAW);
 - izrada filma sa CD: 10 % od cene angažovanog prostora.
- Na web prezentaciji DUZS-a, (www.duzs.org.rs), na strani Marketing, objavljuje se pregled firmi-oglašivača sa podacima o glavnim grupama proizvoda/usluga i adresom web prezentacije. Svi posetioci naše web prezentacije mogu da posete i web prezentacije oglašivača, preko aktivnih linkova koji se nalaze na ovoj stranici!

WELDING & WELDED STRUCTURES, Quarterly review**Advertising prices for four successive numbers in 2022**

	A4	2/2	1/1	1/2	1/4	1/8
dimensions (mm)		2 x 210 x 297	210 x 297	180 x 120	90 x 120	90 x 60
EUR	black/white	-	840	432	336	240
	colour	2 640	1 680	-	-	-

- VAT 20% included.
- Advertising in one number only is 35% of the given prices.
- Commercial articles: 30 % of black/white advertising price.
- Print material:
 - for black/white CD (Adobe Photoshop / CorelDRAW)
 - for color CD (Adobe Photoshop / CorelDRAW).
- All the visitors of our web site may be linked to the advertisers' web site.

**INDEKS OGLAŠIVAČA
ADVERTISERS INDEX**

MESSER TEHNOGAS
YASKAWA SLOVENIJA
HONEX
ELIMP
NEMINIK

- | | |
|---|---------------|
| 1. ČLANARINA DUZS za 2022. godinu | 3.500 dinara |
| Članovima DUZS GRATIS godišnje izdanje časopisa "ZAVARIVANJE I ZAVARENE KONSTRUKCIJE" | |
| 2. ČASOPIS "ZAVARIVANJE I ZAVARENE KONSTRUKCIJE" - 2022. godina u slobodnoj prodaji (u cene je uračunat PDV 10%): | |
| ▪ cena pojedinačnog broja..... | 825 dinara |
| ▪ godišnja pretplata za 1 komplet brojeva godišnjeg izdanja..... | 2.500 dinara |
| 3. ČASOPIS - stari brojevi (u cene je uračunat PDV 10%) | |
| a) u slobodnoj prodaji: | |
| ▪ cena pojedinačnog broja za 2020. godinu | 500 dinara |
| ▪ cena pojedinačnog broja za prethodne godine..... | 250 dinara |
| b) beneficirane cene za članove DUZS: | |
| ▪ cena pojedinačnog broja za 2021. godinu (pouzećem ili preuzimanjem) | 400 dinara |
| ▪ cena pojedinačnog broja za prethodne godine (pouzećem ili preuzimanjem) | <u>Gratis</u> |
| 4. Knjiga Organizacija i ekonomika zavarivačkih radova – autor: prof. dr Zoran Radojević (uračunat PDV 10%) | 1.045 dinara |
| 5. Zbirke standarda OBEZBEĐENJE KVALITETA U ZAVARIVANJU, komplet 4 toma | 6.750 dinara |