



ZAVARIVANJE I ZAVARENE KONSTRUKCIJE

WELDING & WELDED STRUCTURES

God. 67 Vol. 67	Br. 2 No. 2	49-96 49-96	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

53

INICIJACIJA I RAST PRSLINE U ZAVARENOM SPOJU ČELIKA ZA RAD NA POVIŠENIM TEMPERATURAMA
 CRACK INITIATION AND GROWTH IN WELDED JOINT OF STEEL FOR OPERATION AT ELEVATED TEMPERATURE

Zijah Burzić, Srđa Perković, Miodrag Lisov, Vencislav Grabulov, Meri Burzić



NAUKA•ISTRAŽIVANJE•RAZVOJ

SCIENCE•RESEARCH•DEVELOPMENT

63

VIŠE KOMPONENTNE GASNE MEŠAVINE ZA ELEKTRO-LUČNO ZAVARIVANJE KONSTRUKCIJSKIH I SPECIALNIH ČELIKA I NJIHOV UTICAJ NA KOLIČINU I HEMIJSKI SASTAV DIMNIH GASOVA
 MULTI-COMPONENT GAS MIXTURES FOR CONSTRUCTION AND SPECIAL STEEL ARC WELDING AND INFLUENCE ON FFR (FUME FORMATION RATE)

Edvard Bjelajac, Andrej Skumavc, Tomaž Vuherer



NAUKA•ISTRAŽIVANJE•RAZVOJ

SCIENCE•RESEARCH•DEVELOPMENT

71

ANALIZA MAG POSTUPKA ZAVARIVANJA TRANSFORMATORSKOG LIMA I KONSTRUKCIONOG ČELIKA
 MAG WELDING OF ELECTRICAL STEEL AND STRUCTURAL STEEL

Dragan Mitić, Dragan Milčić, Miodrag Milčić, Nenad Radović



PRAKSA

PRACTICE

77

TEHNOLOGIJA ZAVARIVANJA ČELIČNOG LIVA G18CrMo4+QT SA KONSTRUKCIONIM ČELIKOM S355J2+N
 WELDING TECHNOLOGY OF STEEL CAST G18CrMo4+QT WITH STRUCTURAL STEEL S355J2+N

Dragoslav Dobraš, Milisav Marković, Slaviša Savić



STANDARDIZACIJA I KVALITET

STANDARDIZATION & QUALITY

87

PREGLED STANDARDA ZA OBLOŽENE ELEKTRODE
 OVERVIEW OF STANDARDS FOR COATED ELECTRODES

Saša Pejkić



VESTI

NEWS

51

VESTI - 32. SAVETOVANJE SA MEĐUNARODNIM UČEŠĆEM "ZAVARIVANJE 2022"

62

VESTI - 69. GODIŠNJA SKUPŠTINA DUZS

76

VESTI - STAV MEĐUNARODNOG INSTITUTA ZA ZAVARIVANJE – MIZ (IIW) O SITUACIJI U UKRAJINI
 VESTI - 75. GODIŠNJA SKUPŠTINA MIZ (IIW) I MEĐUNARODNA KONFERENCIJA O ZAVARIVANJU I SPAJANJU

76

VESTI - MEĐUNARODNA KONFERENCIJA O LEMLJENJU, VISOKOTEMPERATURNOM LEMLJENJU I DIFUZIONOM SPAJANJU

76

95

UPUTSTVO AUTORIMA I SARADNICIMA

96

MARKETING



32. SAVETOVANJE SA MEĐUNARODNIM UČEŠĆEM “ZAVARIVANJE 2022”



DRUŠTVO ZA UNAPREĐIVANJE ZAVARIVANJA U SRBIJI – DUZS, član *European Federation for Welding, Joining and Cutting* organizuje od 12. do 15. oktobra 2022. godine Savetovanje **ZAVARIVANJE 2022** i poziva autore da prijave radove na teme:

- (1) KONVENCIONALNI I NEKONVENCIONALNI POSTUPCI ZAVARIVANJA
- (2) OSNOVNI, DODATNI I POMOĆNI MATERIJALI
- (3) INTEGRITET KONSTRUKCIJA I OSIGURANJE KVALITETA
- (4) TEHNIČKA REGULATIVA, OBRAZOVANJE, EKOLOGIJA I ZAŠTITA

VAŽNI DATUMI

Prijava rada uz dostavu naziva i apstrakta (do 300 reči, do 5 ključnih pojmova) **23. maj 2022.**
 Obaveštenje autorima o prihvatanju apstrakta uz dostavljanje uputstva za pisanje rada..... **13. jun 2022.**
 Rok za dostavu radova **5. septembar 2022.**
 Obaveštenje o prihvatanju radova i dostava finalnog rada..... **19. septembar 2022.**

UPUTSTVO ZA PRIJAVU RADOVA

Prijavu radova i konačnih radova možete izvršiti putem web aplikacije duzs.bbn.co.rs ili slanjem istih na email bbn@bbn.co.rs.

Na pomenutoj web aplikaciji potrebno je da otvorite nalog (ime, prezime, naziv organizacije, države iz koje dolazite, email i potrebno je da kreirate šifru). Detaljno uputstvo je dostupno na sledećem **LINKU**: "https://duzs.bbn.co.rs/templates/Uputstvo_Srpski.pdf"

Putem pomenute aplikacije će biti vršene recenzije apstrakata i radova.



KOTIZACIJA

Kotizacijom se nadoknađuju: izrađeni materijali savetovanja, troškovi organizacije, koktel dobrošlice, kafe na pauzama savetovanja, svečana večera i iznosi:

Za jednog autora po radu	10.000 dinara (80 EUR) + PDV 20%
Za koautore i članove DUZS	15.000 dinara (120 EUR) + PDV 20%
Za one koji nisu članovi	20.000 dinara (160 EUR) + PDV 20%

SMEŠTAJ

Smeštaj za učesnike obezbeđen je u hotelu Omorika na Tari i uključuje noćenje na bazi punog pansiona. Usluga počinje večerom 12. oktobra i završava se ručkom 15. oktobra.

Kategorije smeštaja po osobi	Cena po danu* (RSD / EUR)
Jednokrevetna soba – standard	5.040,00 / 40,30
Jednokrevetna soba – superior	6.240,00 / 50,00
Dvokrevetna soba – standard	4.200,00 / 33,60
Dvokrevetna soba – superior	5.760,00 / 46,00

**Naznačene cene date su sa uključenim PDV-om, boravišnom taksom i osiguranjem gosta*



DRUŠTVO ZA UNAPREĐIVANJE ZAVARIVANJA U SRBIJI

Gvozdićeva 15/4, 11000 Beograd, Srbija | E-Mail: duzs011@gmail.com; duzs@eunet.rs Web: www.duzs.org.rs
Tel/Fax: +381 11 2420 652

Tehnički organizator savetovanja:

BBN CONGRESS MANAGEMENT D.O.O.

Deligradska 9, 11000 Beograd, Srbija | E-Mail: bbn@bbn.co.rs; bbn.pco@gmail.com | Web: www.bbn.co.rs
Tel: +381 11 3629 405



Zijah Burzić^{1,a}, Srđa Perković¹, Miodrag Lisov¹, Vencislav Grabulov², Meri Burzić³

CRACK INITIATION AND GROWTH IN WELDED JOINT OF STEEL FOR OPERATION AT ELEVATED TEMPERATURE

INICIJACIJA I RAST PRSLINE U ZAVARENOM SPOJU ČELIKA ZA RAD NA POVIŠENIM TEMPERATURAMA

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:

January 2022.

Author's address / Adresa autora:

¹ Military Technical Institute, Ratka Resanovića 1, Belgrade, Serbia,

² IMS Institute, Bul. Živojina Mišića 38, Belgrade, Serbia

³ IC Faculty of Mechanical Engineering, Kraljice Marije 16, Belgrade, Serbia

^aE mail: zijah.burzic@vti.vs.rs

Keywords: Weld joint, fracture toughness, fatigue crack initiation, fatigue crack growth, fatigue threshold

Ključne reči: Zavareni spoj, žilavost loma, stvarenje zamorne prsline, rast zamorne prsline, prag zamora

Abstract

In a paper given, experimental investigations have included the analysis of crack initiation and growth in welded joint of steel for operation at elevated temperatures. For better understanding of the phenomenon of crack initiation and propagation in welded joints of A-204 Gr. A steel, designed for high-temperature and high-pressure application, it is necessary to determine the effect of heterogeneity of microstructural and mechanical properties on fracture toughness and fatigue crack initiation and propagation in welded components. Based on the tests conducted with pre-cracked CT and Charpy size specimens, the effect of heterogeneity of microstructural and mechanical properties of welded joints on fracture toughness and fatigue-crack growth parameters was determined.

1. Introduction

Service behaviour of alloyed steel A-204 Gr. A, designed for manufacture of pressure vessels operating at high temperature and exposed to high pressure, is highly dependent on the properties of critical regions of welded-joint, heat-affected-zone (HAZ) and weld metal (WM), primarily due to their high sensitivity to brittle fracture. Heat affected zone (HAZ) and weld metal (WM) are potential locations of crack initiation, i.e. the locations where local brittle zones may form to whom crack initiation is ascribed [1].

Qualification of specified welding technology of plates, 50mm thick, of steel A-20B Gr. A, is performed according to standard SRPS EN ISO 15614-1 [2].

Rezime

U radu su prikazana eksperimentalna istraživanja koja uključuju analizu stvaranja i rasta prsline u zavarenom spoju čelika za rad na povišenim temperaturama. Za bolje razumevanje fenomena stvaranja i rasta prsline u zavarenim spojevima čelika A-204 Gr. A, namenjenog za rad na visokim temperaturama i pritiscima, potrebno je utvrditi uticaj heterogenosti mikrostrukturnih i mehaničkih svojstava na žilavost loma i stvaranje i rast zamorne prsline u komponentama zavarenog spoja. Na osnovu ispitivanja provedenih na CT i Charpy epruvetama na kojima su prethodno inicirane prsline utvrđen je uticaj heterogenosti mikrostrukturnih i mehaničkih svojstava zavarenog spojeva na žilavost loma i parametre rasta zamorne prsline.

However, this standard requires neither testing of operating temperature (325°C) nor testing of in-service behaviour of basic metal and welded joint constituents at room and operating temperatures.

The problem of determination of fracture toughness, K_{Ic} , is treated as a problem of principle, as fracture mechanics assumes homogeneous material not only near the crack tip but at some distance from it as well, in order to make theoretical assumptions and meanings of fracture toughness as a property measured using some of the methods of fracture mechanics still valid. Welded joint, as an integral part of a structure, has inhomogeneous microstructure and mechanical properties, very often geometry too,



and stress field as well, affected by various factors such as residual stresses after welding. However, these fundamental difficulties do not make experimental determination of fracture mechanics, K_{Ic} , impossible under plane strain conditions, either in certain critical regions of a welded joint or a welded joint as a whole, but they do make interpretation of the measured values difficult. Therefore, great interest in application of investigations of fracture mechanics in case of welded joints is natural [3].

For better understanding of the cause and mechanism of crack initiation and growth in welded joints of steel designed for operation at elevated temperatures and under high pressures, it is necessary to establish the effect of heterogeneity of the structure and mechanical properties of a welded joint on crack initiation and growth and to quantify the parameters affecting the local strain behaviour and crack growth. The aim of this experiment is to study

the effect of heterogeneity of microstructure and mechanical properties on fracture toughness, K_{Ic} , and fatigue crack growth parameters da/dN and ΔK_{th} of A-204 Gr. A steel welded joint constituents at room temperature and at 325°C [4].

2. Experimental

For assessment of the effect of operating temperature on fracture toughness, K_{Ic} , and fatigue-crack growth parameters of A-204 Gr. A steel, sample of 500x200x50 mm with U weld metal in the centre were available. The specimens for qualification of the welded joint, WM and HAZ were machined from a welded sample plate [5]. The standard values and test values chemical composition and mechanical properties of A-204 Gr. A steel are shown in Tables 1 and 2, respectively.

Table 1. Chemical composition of tested material [5]

Tabela 1. Hemijski sastav ispitivanog materijala [5]

Material		Chemical composition, [mass %]						
		C	Si	Mn	P	S	Mo	Fe
A-204 Gr. A	Standard values	≤0.18	0.15-0.40	≤0.90	≤0.035	≤0.035	0.45-0.60	rest
	Test values	0.15	0.33	0.71	0.012	0.009	0.51	rest

Table 2. Mechanical properties of tested material [5]

Tabela 2. Mehaničke osobine ispitivanog materijala [5]

Material		Yield strength $R_{p0.2}$, [MPa], min.	Tensile strength, R_m , [MPa]	Elongation, A, [%]	Impact energy, [J]
A-204 Gr. A	Standard values	255, min.	450-585	23, min.	40, min.
	Test values	319	491	32	155

The plates were welded by two procedures [5]:

- root passes – by metal manual arc welding (MMA) with coated electrode LINCOLN SI 12G (AWS A5.5: E7018-A1-H4R), Ø3.25mm diameter, and
- filler metal passes – by metal manual arc welding (MMA) with coated electrode LINCOLN SI 12G (AWS A5.5: E7018-A1-H4R), Ø3.25 mm diameter.

Chemical composition of coated electrode LINCOLN SI 12G according to certificates is given in Tab. 3. Main mechanical properties according to certificates are given in Tab. 4.

**Table 3. Chemical composition of filler metal [5]****Tabela 3. Hemijski sastav dodatnog metala [5]**

Filler metal	Chemical composition, [mass %]					
	C, min.	Si, max.	Mn, max.	P, max.	S, max.	Mo, max.
LINCOLN SL 12G	0.12	0.60	0.80	0.020	0.020	0.55

Table 4. Mechanical properties of filler metal [5]**Tabela 4. Mehanička svojstva dodatnog metala [5]**

Filler metal	Yield strength $R_{p0,2}$, [MPa], min.	Tensile strength, R_m , [MPa], min.	Elongation, A, [%], min.	Impact energy, [J], min.
LINCOLN SL 12G	355	510	22	47

3. Results and discussion

3.1. Fracture toughness K_{Ic}

The effect of heterogeneity of structure and mechanical properties of welded joint constituents in location of a fatigue-crack tip in the first place, and in properties of the region where fracture develops. Testing of plane-strain fracture toughness of the specimens taken from the welded plate made of steel A-204 Gr. A was conducted. The aim was to determine critical stress-intensity factor, K_{Ic} , i.e. to estimate the behaviour of basic metal (BM) and components of the welded joint, weld metal (WM) and heat-affected zone (HAZ) in presence of a crack-type defect as the most jeopardizing defect in structural materials, especially in welded joints. The tests were conducted using the three-point bend (TPB) and CT specimens, geometry of which is defined by the ASTM E1820 standard [6]. Three-point bend (TPB) specimens were used for testing at room temperature. Due to specific design of the chamber, CT specimens were used for testing at operating temperature of 325°C.

The experiments were conducted using the single-specimen method with successive partial unloading, i.e. the method of single-specimen relaxation. The aim of relaxation with unloading was to register the value of crack propagation, Δa , occurring during testing.

Based on the data collected from tearing machine and COD indicator, the diagrams force, F – crack mouth opening displacement (CMOD), δ , were plotted that are the foundation for plotting the diagram $J - \Delta a$, where regressive line is plotted according to ASTM E1820 [6]. Critical J-integral, J_{Ic} , is obtained from the regressive line obtained. The typical diagrams $F - \delta$ and $J - \Delta a$ for the specimen with a notch in BM, weld metal WM and HAZ is given in Figures 1, 3 and 5 for room temperature, and Figures 2, 4 and 6 for operating temperature respectively. From the very appearance of the diagrams, the effect of structural heterogeneity on toughness of basic metal and welded joint components is obvious [7].

The value of critical stress-intensity factor or plane-strain fracture toughness, K_{Ic} , can be computed when the values of critical J_{Ic} integral are known, using the dependences:

$$K_{Ic} = \sqrt{\frac{J_{Ic} \cdot E}{1 - \nu^2}} \quad (1)$$

One can observe that structural and mechanical heterogeneities of a welded joint significantly affect its resistance to crack propagation, both in elastic and in plastic regions. Heterogeneity of mechanical properties of a welded joint, i.e. the welded-joint components, is obvious from the obtained value of plane-strain fracture toughness, K_{Ic} , determined indirectly through critical J_{Ic} integral.

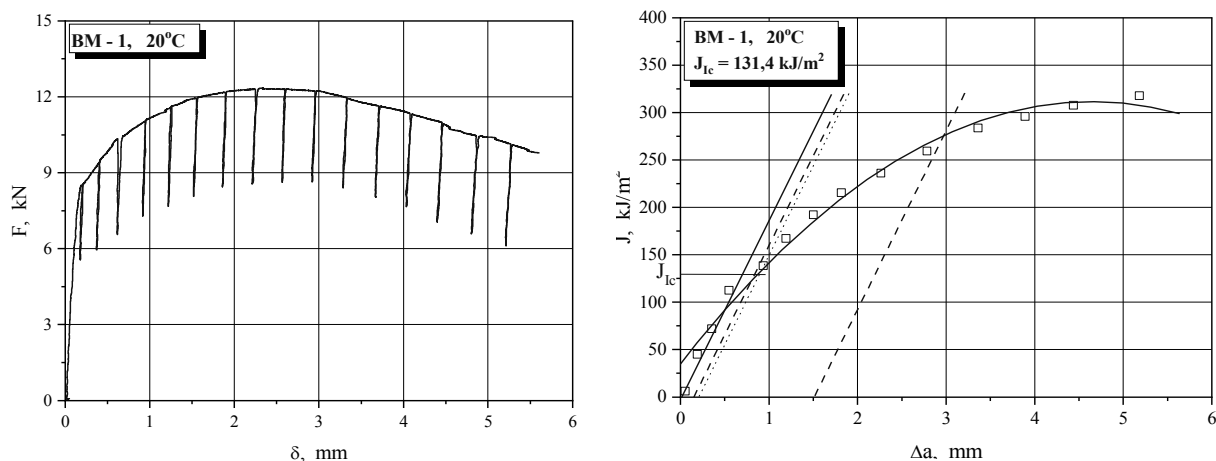


Figure 1. Diagrams $F - \delta$ and $J - \Delta a$ for the specimen with a notch in BM for room temperature

Slika 1. Dijagrami $F - \delta$ i $J - \Delta a$ za uzorak sa zarezom u OM na sobnoj temperaturi

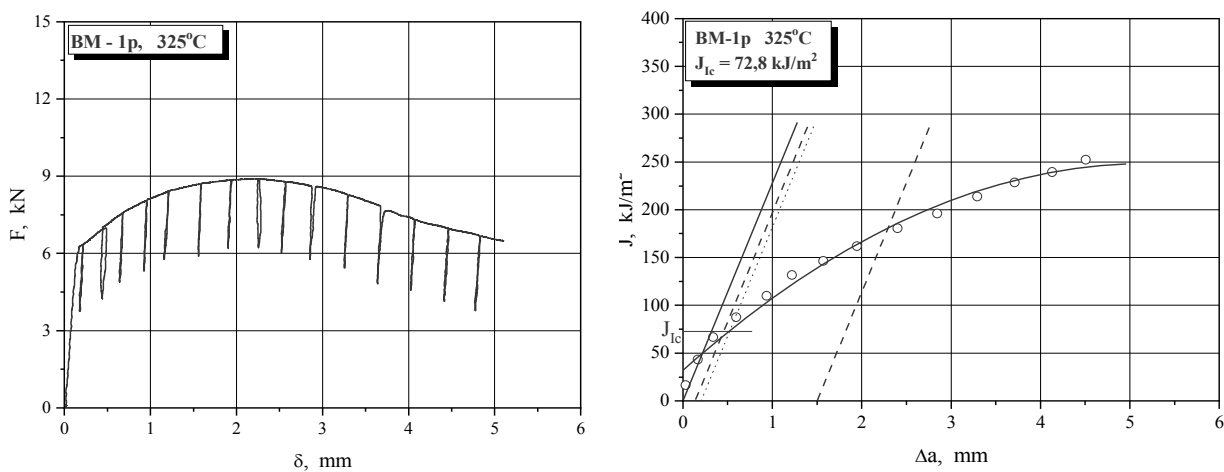


Figure 2. Diagrams $F - \delta$ and $J - \Delta a$ for the specimen with a notch in BM for operating temperature

Slika 2. Dijagrami $F - \delta$ i $J - \Delta a$ za uzorak sa zarezom u OM na radnoj temperaturi

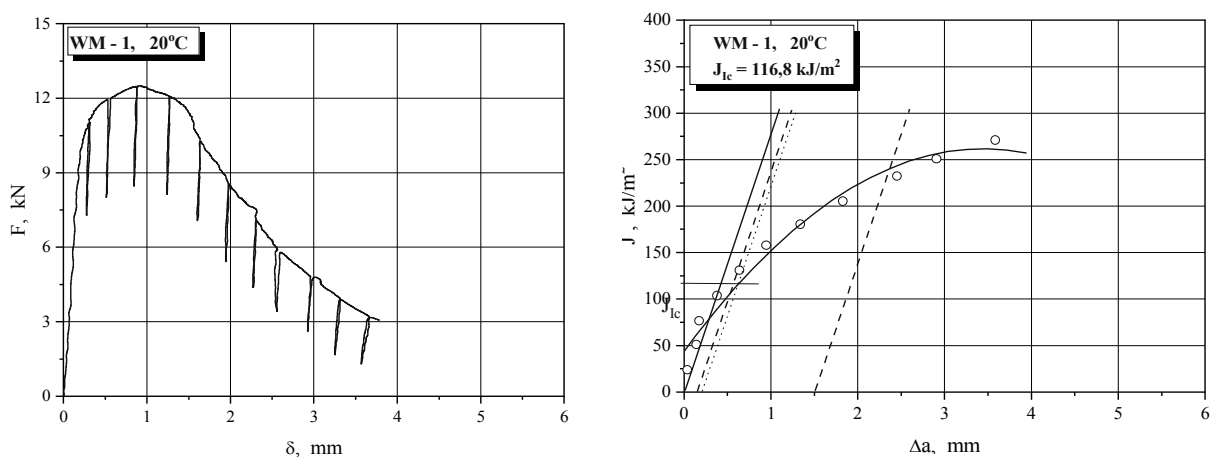


Figure 3. Diagrams $F - \delta$ and $J - \Delta a$ for the specimen with a notch in WM for room temperature

Slika 3. Dijagrami $F - \delta$ i $J - \Delta a$ za uzorak sa zarezom u MV na sobnoj temperaturi

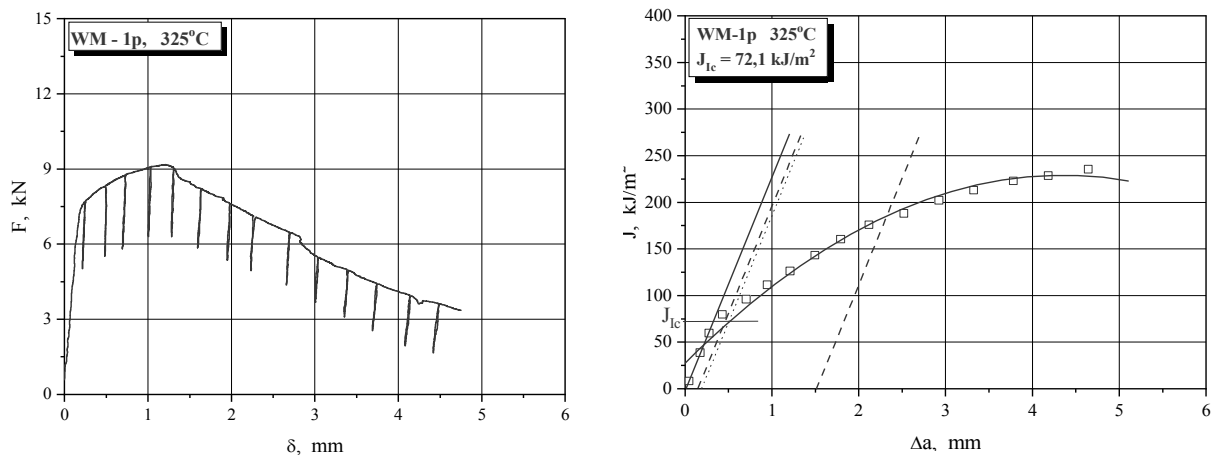


Figure 4. Diagrams $F - \delta$ and $J - \Delta a$ for the specimen with a notch in WM for operating temperature
Slika 4. Dijagrami $F - \delta$ i $J - \Delta a$ za uzorak sa zarezom u MV na radnoj temperaturi

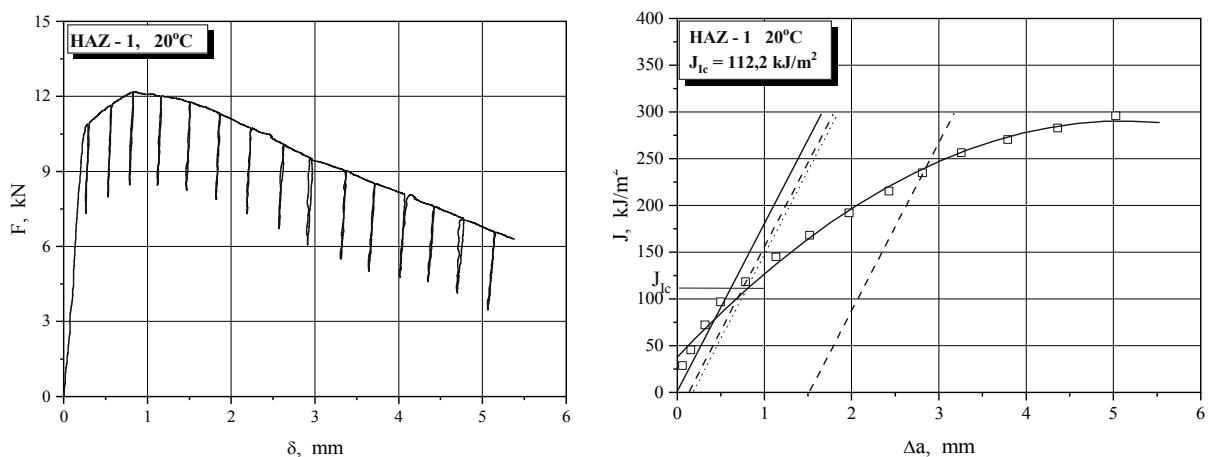


Figure 5. Diagrams $F - \delta$ and $J - \Delta a$ for the specimen with a notch in HAZ for room temperature
Slika 5. Dijagrami $F - \delta$ i $J - \Delta a$ za uzorak sa zarezom u ZUT-u na sobnoj temperaturi

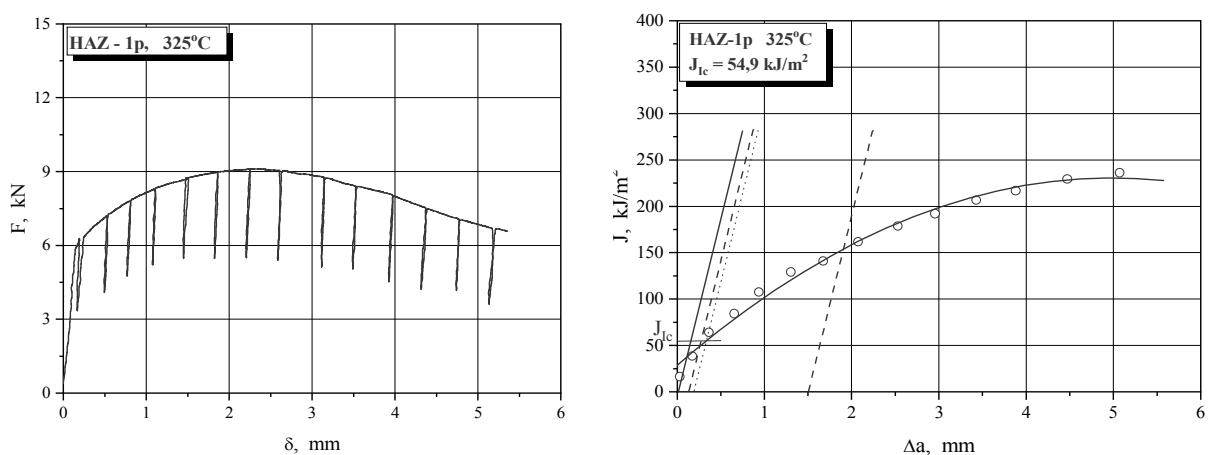


Figure 6. Diagrams $F - \delta$ and $J - \Delta a$ for the specimen with a notch in HAZ for operating temperature
Slika 6. Dijagrami $F - \delta$ i $J - \Delta a$ za uzorak sa zarezom u ZUT-u na radnoj temperaturi



The specimens with a notch in BM have the largest measured value of K_{Ic} . Average K_{Ic} values of $\sim 174 \text{ MPa m}^{1/2}$ that were obtained are within the limits of the values in literature for this group of general structural steels. Somewhat lower K_{Ic} values were obtained for the specimens with a notch in WM, (mean value of K_{Ic} was $\sim 151 \text{ MPa m}^{1/2}$). However, in this particular case the differences are relatively small, ranging from 10 to $15 \text{ MPa m}^{1/2}$ in terms of minimum and maximum value.

These differences do not necessarily affect significantly the structures exposed to static loading in service. However, under conditions where the structural components are permanently exposed to variable loading, the variations in the K_{Ic} values are very important, as the critical crack length, a_c , i.e. resistance to crack propagation, directly depends on the K_{Ic} value. By applying the fundamental formula of fracture mechanics

$$K_{Ic} = \sigma \cdot \sqrt{\pi \cdot a_c} \quad (2)$$

and introducing the value of allowable stress $\sigma_{doz} = \sigma$, assuming that the shape factor equals to one, approximate values of critical crack length, a_{cr} , can be computed.



Figure 7. View of specimen with cemented-foil crack gauge-foil with variable loading bending scheme

Slika 7. Izgled uzoraka sa cementiranom folijom za merenje prslina sa šemom savijanja sa promenljivim opterećenjem

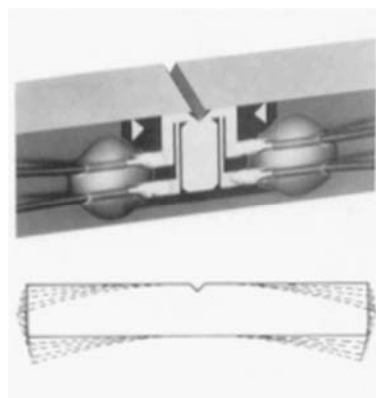
This FRACTOMAT device is based on electrical potential measurement, connected with corresponding instruments. For monitoring of crack growth, foil crack gauges RUMUL RMF A-5, 5 mm long, were cemented on the machined specimens, applying the same procedure as for classical strain gauges.

Both fatigue-crack growth parameters at operating temperature of 325°C and fracture toughness were determined on CT specimens,

3.2. Application of fracture mechanics in study of fatigue

Fatigue crack will initiate and propagate from severe stress raisers under variable loading after determined cycle number if the stress-intensity factor range, ΔK_{th} , for fatigue threshold is achieved. The structure can be used before growing crack reaches critical value, based on performed structural integrity analysis. Substantial data for the decision about extended service of cracked component is crack growth rate and its dependence on acting load. Standard ASTM E647 [8] defines testing of pre-cracked specimen for fatigue crack growth rate measurement da/dN , and calculation of stress intensity factor range, ΔK . Two basic requirements in standard ASTM E647 are crack growth rate above 10^{-8} m/cycle to avoid threshold ΔK_{th} regime, and testing with constant amplitude loading.

Standard Charpy size specimens, pre-cracked in different welded joint regions, were tested under variable loading for determination of stress-intensity factor range at fatigue threshold, ΔK_{th} , and fatigue crack growth rate da/dN . Testing was performed in load control, by three-points bending on high-frequency resonant pulsator CRACKTRONIC, Figure 7.



whose geometry is defined by ASTM E1820. The dependence fatigue-crack growth rate per cycle, da/dN , vs. stress-intensity factor range, ΔK , is determined by the coefficient C and exponent m in the equation of Paris [9]. This relation can be calculated and drawn in a form $\log da/dN - \log(\Delta K)$, based on the results of tests conducted at room and operating temperature (325°C). Obtained relations are presented in Figure 8. for the



specimens pre-cracked in base metal (BM); weld metal (WM) and heat-affected-zone (HAZ).

For comparison, the value of the stress-intensity factor range $\Delta K = 15 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$ is located in the portion of the curve where Paris law applies, as shown in Fig. 8. Corresponding crack-growth rates at room temperature ranged from $4.25 \cdot 10^{-9}$ m/cycle for base metal to $7.18 \cdot 10^{-9}$ m/cycle for weld metal and $6.11 \cdot 10^{-9}$ m/cycle in HAZ,

indicating that WM is critical constituent in welded joint. At 325°C , crack-growth rates are significantly higher when compared to room temperature ($1.37 \cdot 10^{-7}$; $4.28 \cdot 10^{-7}$; $3.11 \cdot 10^{-7}$ for base metal, weld metal and HAZ, respectively), but with smaller differences in constituents that can be explained by better ductility at elevated temperature. Again, WM is most critical constituent in welded joint.

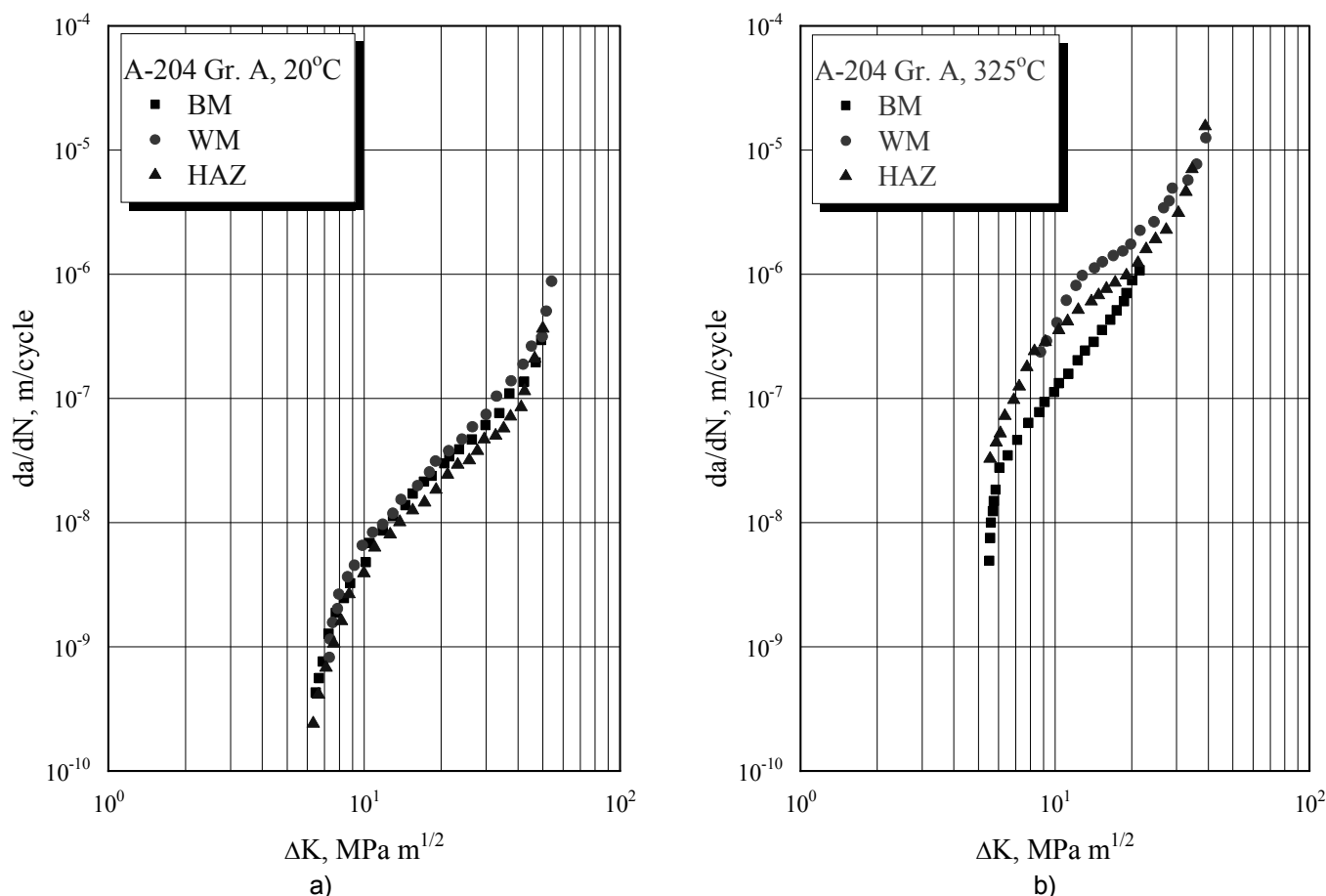


Figure 8. Fatigue-crack growth rate per cycle, da/dN , vs. stress-intensity factor range, ΔK , specimens pre cracked in BM, WM, and HAZ tested: a) at room temperature and b) at 325°C

Slika 8. Brzina rasta zamorne prsline po ciklusu, da/dN , u odnosu na opseg faktora intenziteta napona, ΔK , uzorci sa prethodno nanešenom prslinom u OM, MV i ZUTu testirani: a) na sobnoj temperaturi i b) na 325°C

In spite of significant differences in fatigue-crack growth rates, obtained values are still low and acceptable. That means that tested steel and its welded joint exhibited acceptable level of fatigue-crack growth resistance and can be successfully applied for variable loading in case of detected crack-like defects, primarily for low-cycle fatigue.

The behaviour of welded joint as whole, as well as of their individual constituents, can be connected

with the variation of the slope of valid portion of Paris curve. Lower crack propagation is confirmed on specimens from BM and from HAZ, requiring higher stress-intensity factor range for the same crack growth rate. Maximum fatigue-crack growth rate can be expected at the level of stress-intensity factor approaching to plane-strain fracture toughness - the condition for brittle fracture.



4. Conclusions

Following conclusions can be derived:

Structural and mechanical heterogeneities of a welded joint significantly affect the resistance to crack propagation, both in elastic and in plastic region. The heterogeneity of the mechanical properties of the welded joints, i.e. welded-joint components, is obvious from the values obtained for plane-strain fracture toughness, K_{Ic} , determined indirectly through the critical J_{Ic} integral.

Decisive effect on stress-intensity factor range ΔK and fatigue-crack growth parameters can be attributed to the location of machined notch and following initial crack, as well as to testing temperature.

The highest resistance to crack propagation, expressed by minimum fatigue-crack growth rate, exhibited the specimens pre-cracked in BM, and maximum fatigue crack-growth rate was found in the specimens pre-cracked in WM. This is directly connected with the effect of microstructural heterogeneity of welded-joint constituents on fatigue-crack growth rate da/dN .

The behaviour of pre-cracked specimens taken from different welded joint constituents (basic metal, weld metal, heat-affected-zone), tested at operating temperature (325°C) and under variable loading, regarding fatigue threshold and fatigue crack growth parameters, exhibited higher crack-growth rate when compared to room temperature, which can be explained by reduced properties at elevated temperature.

Acknowledgment

Authors of this paper would like to express their gratitude to the Ministry of Education, Science and Technological Development of Republic of Serbia, for their support through Project 451-03-9/2021-14/200325. Also, the authors would like to express their gratitude to the Military Technical Institute, where experimental tests of fracture mechanics parameters of welded steel joints for work at elevated temperatures were performed.

4. Zaključak

Na osnovu izvršenih ispitivanja mogu se izvesti sledeći zaključci:

Strukturne i mehaničke heterogenosti zavarenog spoja značajno utiču na otpornost širenja prsline, kako u elastičnoj tako i u plastičnoj oblasti. Heterogenost mehaničkih svojstava zavarenih spojeva, odnosno komponenti zavarenog spoja, očigledna je iz vrednosti dobijenih za žilavost loma, K_{Ic} , koja je određena indirektno preko kritičnog J_{Ic} integrala.

Odlučujući uticaj na opseg faktora intenziteta napona ΔK i parametre zamor - rast prsline, može se pripisati lokaciji mašinski obrađenog zarez a i početne prsline, kao i temperaturi ispitivanja

Najveću otpornost na širenje prsline, izraženu minimalnom brzinom rasta zamorne prsline, posedovali su uzorci sa prethodno nanešenom prsline u OM, a maksimalna brzina rasta zamorne prsline utvrđena je kod uzoraka sa prethodno nanešenom prsline u MV. Ovo je direktno povezano sa uticajem mikrostrukturne heterogenosti komponenti zavarenog spoja na brzinu rasta zamornih prsline od da/dN .

Ponašanje uzoraka prethodno sa prethodno nanešenom prsline uzorkovanih iz različitih delova zavarenog spoja (osnovni metal, metal šava, zona uticaja toplote), ispitanih na radnoj temperaturi (325°C) i pod promenljivim opterećenjem, u pogledu praga zamora i parametara rasta prsline od zamora, pokazuju veću brzinu rasta prsline u poređenju sa sobnom temperaturom, što se može objasniti smanjenim osobinama na povišenoj temperaturi.

Zahvalnica

Autori ovog rada žele da se zahvale Ministarstvu prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije na podršci kroz Projekat 451-03-9/2021-14/200325. Takođe, autori se zahvaljuju i Vojnotehničkom institutu - Beograd, gde su izvršena eksperimentalna ispitivanja parametara mehanike loma zavarenih čeličnih spojeva za rad na povišenim temperaturama.



References / Literatura

- [1] Burzić, Z., Sedmak, S., Manjgo, M., (2001), "The application of fracture mechanics in welded joint properties assessment", *RIM 2001*, Bihać, BiH, , 451-460.
- [2] SRPS EN ISO 15614-1, (2017), Specifikacija i kvalifikacija tehnologije zavarivanja metalnih materijala – Kvalifikacija tehnologije zavarivanja – Deo 1: Elektrolučno i gasno zavarivanje čelika
- [3] Argoub, E.O., Sedmak, A., Esasamei, M.A., (2004), "Structural Integrity Assessment of Welded Plate with a Crack", *Structural Integrity and Life*, 4, 1, 39-46
- [4] Burzić, M., Burzić, Z., Kurai, J., Gačo, Dž., (2007), "Fatigue Behaviour of Alloyed Steel for High Temperature", First Serbian (26th YU) Congress on Theoretical and Applied Mechanics, Kopaonik, Serbia, 1085-1090
- [5] Burzić, M., Burzić, Z., Kurai, J., (2006), The prediction of residual life of reactors in RNP, CertLab, Pančevo
- [6] ASTM E1820-20, (2020), Standard Test Method for Measurement Fracture Toughness, ASTM International, West Conshohocken, PA, ASTM Book of Standards Volume 03.01
- [7] Čizmić, Z., (2007), "The Effect of Time Exploitation to the Integrity and Remaining Life of Pressure Vessels", PhD Thesis, University of Ljubljana, Faculty of Natural Science and Engineering, Slovenia
- [8] ASTM E647, (2015), Standard Test Method for Constant-Load-Amplitude Fatigue Crack Growth Rates Above 10^{-8} m/cycle, Annual Book of ASTM Standards, Vol. 03. 01, 714.
- [9] Paris, P., C., and Erdogan, F., (1996), "A Critical Analysis of Crack Propagation Laws", *Trans. ASME, Journal Basic Eng.*, 85, 4, 528.

**Internacionalni inženjeri zavarivanja (IWE) / Evropski inženjeri zavarivanja (EWE);
Internacionalni tehnolozi zavarivanja (IWT) / Evropski tehnolozi zavarivanja (EWT);
Internacionalni inspektori zavarivanja (IWI-C)**

kojima je diplome izdao DUZS-CertPers mogu javno da prikažu nivo kvalifikacije na relevantnim dokumentima korišćenjem IIW/EFW pečata izdatim od strane DUZS-CertPers



Na zahtev kandidata koji imaju IWE / IWT / IWI-C diplome izdate od strane DUZS-CertPers-a, DUZS-CertPers može izdati i IIW pečate (izdaju se na osnovu IIW diploma).

Takođe, na zahtev kandidata koji imaju IWE ili IWT diplome izdate od strane DUZS-CertPers-a, DUZS-CertPers može izdati i evropske ekvivalentne diplome EWE/EWT i EWF pečat (izdaje se na osnovu EWF diplome).

Ukoliko ste zainteresovani za izdavanje EWF diplome/pečata ili IIW pečata, ZAHTEV(E) je potrebno popuniti i dostaviti sekretarijatu DUZS-CertPers – a.

Zahteve za izdavanje pečata možete preuzeti na sajtu DUZS: www.duzs.org.rs tj. putem sledećih linkova:
http://duzs0011.mycpanel.rs/2016/wp-content/uploads/2017/05/Zahtev-za-izdavanje-IIW-pecata_IWE-IWT-IWI-C.pdf
http://duzs0011.mycpanel.rs/2016/wp-content/uploads/2017/05/Zahtev-za-dobijanje-EWF-diplome_pecata.pdf



Informacije:

+ 381 (11) 2420-652

duzs011@gmail.com



69. GODIŠNJA SKUPŠTINA DUZS

Redovna 69. godišnja skupština DUZS zakazana je za sredu 29.06.2022. godine u 14h. u svečanoj sali Instituta IMS u Beogradu, Bulevar vojvode Mišića 43 sa sledećim dnevnim redom:

1. Otvaranje zasedanja Skupštine; izbor radnih tela
2. Verifikacija mandata članova Skupštine
3. Izveštaj o radu DUZS za period 2021 - 2022. godine.
4. Izveštaj o radu DUZS-CertPers za period 2021 - 2022. godine.
5. Izveštaj o finansijskom poslovanju u 2021. godini.
6. Diskusija po podnetim izveštajima i usvajanje izveštaja
7. Predlog plana rada za 2022-2023. godinu; diskusija i usvajanje
8. Izbor upravnog odbora DUZS
9. Izbor nadzornog odbora DUZS
10. Izbor Odbora DUZS-CertPers
11. Predlog Odboru DUZS-CertPers za izvršnog rukovodioca
12. Razno

Članstvo u strukovnoj asocijaciji DUZS

je referenca za Vaš profesionalni status

Članarina za 2022. godinu je 3500,00 dinara

Uplatom članarine stižete pravo na beneficirane cene
pretplate časopisa (strana MARKETING)

Tekući račun DUZS: 325-9500600002588-46

Informacije



+ 381 (11) 2420-652 (10-16 h)



duzs@eunet.rs

www.duzs.org.rs



Edvard Bjelajac^{1,a}, Andrej Skumavc², Tomaž Vuherer³

MULTI-COMPONENT GAS MIXTURES FOR CONSTRUCTION AND SPECIAL STEEL ARC WELDING AND INFLUENCE ON FFR (FUME FORMATION RATE)

VIŠE KOMPONENTNE GASNE MEŠAVINE ZA ELEKTRO-LUČNO ZAVARIVANJE KONSTRUKCIJSKIH I SPECIALNIH ČELIKA I NJIHOV UTICAJ NA KOLIČINU I HEMIJSKI SASTAV DIMNIH GASOVA

Professional paper / Stručni 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:

August 2021.

Paper accepted / Rad prihvaćen:

February 2022.

Author's address / Adresa autora:

¹ Messer Slovenija d.o.o., Brnčičeva 27, 1231 Ljubljana-Črnuče, Slovenija

² SIJ Acroni d.o.o., Cesta Borisa Kidriča 44, 4270 Jesenice, Slovenija

³ Univerza v Mariboru, Smetanova ulica 17, 2000 Maribor, Slovenija

^a E mail: edvard.bjelajac@messergroup.com

Keywords: Arc welding, shielding gas mixtures, fume formation rate, GMAW, GTAW

Ključne reči: Elektrolučno zavarivanje, zaštitne gasne mešavine, dimni gasovi, GMAW, GTAW

Abstract

MIG / MAG welding with solid or flux cored welding wire and TIG welding are most important arc processes for industrial application. In last period, laser welding become more and more important in industrial welding and cladding applications. Optimum selection of welding process for specific application include more important parameters like productivity, demand quality of weld and influence of welding process to health of welder. With shielding gases is possible to influence on productivity, and quantity of welding fumes. Some welding shielding gases include nitrogen.

1. Introduction

The goal of the joining processes is to cause diverse pieces of material to become a unified whole. In the case of two pieces of metal, when the atoms at the edge of one piece come close enough to the atoms at the edge of another piece for interatomic attraction to develop, the two pieces become one. In theory is this much easy to describe. In real situation basic material include imperfection like surface roughness, fitting imperfections, impurities, chemical and mechanical differences. Welding processes and procedures have been developed to overcome these difficulties by incorporating the use of heat or pressure, or both.

Rezime

MIG / MAG zavarivanje sa punom ili punjenom žicom i TIG zavarivanje u praksi su najčešće upotrebljene aplikacije elektrolučnog zavarivanja u industriji. U zadnje vreme i zavarivanje laserom često se upotrebljava u industrijske namene. Izbor procesa zavarivanja za određenu aplikaciju zavisi od više parametara, od kojih među najvažnije spadaju produktivnost, zahtevani kvalitet zavarenog spoja i uticaj procesa zavarivanja na zdravlje zavarivača. Optimizacija zaštitnog gasa za zavarivanje utiče se na produktivnost, količinu i hemijski sastav dimnih gasova. Neki od zaštitnih gasova sadrže određeni deo azota.

The term arc welding applies to a large, diversified group of welding processes that use an electric arc as the source of heat. Industrial wide used are MIG/MAG welding with solid wire or with flux cored wire, TIG welding and in last decades also laser welding for special welding applications and cladding. The arc is burning between the work piece and the tip of the electrode. The concentrated heat melts base material and welding consumables, resulting in the formation of a weld. Arc welding operation is performed by conducting the welding current through consumable electrodes, which take the form of a wire or rod, or non-consumable electrodes, consisting of tungsten rods. Metal arc processes like GMAW utilize



consumable electrodes that combine electrode filler metal with the molten base metal to create the weld. The non-consumable arc process, like GTAW and LBW can generate a weld by melting the base metal only. If filler metal is required in a non-consumable process, it may be added either manually or automatically into the molten weld pool.

Processes GMAW, GTAW and LBW for arc protection are used shielding gas or gas mixture. The selection of the correct shielding gas for a given application influences the quality of the finished weld. The criteria used to make the selection includes, but is not restricted to, the following:

- Alloy of wire electrode,
- Desired mechanical properties of the deposited weld metal,
- Material thickness and joint design,
- Material condition – the presence of mill scale, corrosion, resistant coatings, or oil,
- The mode of GMAW metal transfer,
- The welding position,
- Desired penetration profile,
- Desired final weld bead appearance,
- Cost.

Shielded gases we can divide into universal shielding gases, that can be used in a wide range of application and special shielding gases, which are created for special application or group of special applications. Typical wide range used shielding gas is inert gas Argon, which can be used for GTAW and LBW applications, for all range of commercial interesting metals if purity of gas is 5.0. It is used for non-alloyed steel, high-alloyed steel, aluminium, magnesium, titanium and their alloys. If we focus on GMAW welding of non-alloyed construction steel, Ar + 18 % CO₂ is universal gas mixture. Special gas mixtures were developed like multi-component mixtures. Mostly, they are produced with 2 - 4 components, where basic gases are inert gases like Ar and He and add gases are CO₂, O₂, H₂ and N₂. With special shielding gases it is possible to improve productivity, increase welding speed, influence on weld penetration, influence to microstructural components, reduce height of weld bead, decrease work after welding and overall decrease costs of welding process (Figure. 1). More than 80 % of total costs in arc welding processes in industrial environment are connected to labour, less than 20 % costs are connected to filler material, shielding gas, power.

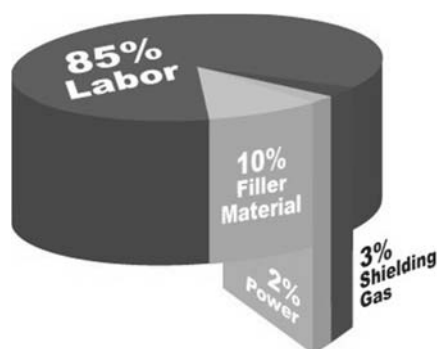


Figure 1. Costs in GMAW welding process [1]

Slika 1. Troškovi u procesu GMAW zavarivanja [1]

In last time is more and more important, that with special multi-component mixtures we can influence on quantity and chemical composition of fume gases during welding. Quantity of fumes decrease, also quantity of Fe-oxides [2].

1.1 Nitrogen in shielding gases

Nitrogen is not common component in shielding gases for arc welding. Use of nitrogen is in connection to base material or influence to the shape of arc in GTAW welding. Nitrogen influence on microstructural components duplex and superduplex high alloyed steel. Gas mixtures with nitrogen are used for GTAW welding of aluminium and aluminium alloys, GMAW welding of duplex

and superduplex high-alloyed steels and for GMAW welding high nitrogen steels (HNS), like Cr20Mn16NiN with low nickel content, where nitrogen alloying improve the strength and corrosion resistance of austenitic steel [3, 4], adding nitrogen to the HNS also improves the ballistic performance of the material. Therefore, the application of HNS as the armour material is receiving a lot of attention in recent years [5]. Escape and accumulation of nitrogen occur during the fusion welding process of HNS. This increases the ferrite content of the weld [6]. In addition, the weld that lacks nitrogen will become the weakness when the structure is impacted, which limits the application of the steel in the defence field.



Most researchers that added N_2 to the shielding gas mainly aims to increase and stabilize the austenite of the weld [7, 8], hardness of the solidified zone [7, 8] and the corrosion resistance of the joint can be enhanced [9]. It is reported by Elmer [9], that the addition of N_2 to the shielding gas can also effectively suppress the formation of pores compared to pure Ar [10].

As shown on Figure.2, when using pure Ar to shielding gas for HNS, the nitrogen of the weld is all derived from the base material and the nitrogen of the molten pool escapes from the lower to the upper. With the application of N_2 -containing shielding gas, the direction of nitrogen diffusion is from the surface of the molten pool to the interior.

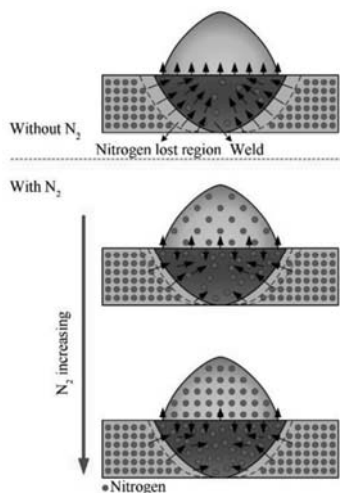


Figure 2. Schematic presentation of the welding with Ar and $Ar+N_2$ gas mixture [11]

Slika 2. Šematski prikaz zavarivanja gasnom smešom Ar i $Ar+N_2$ [11]

1.2. FFR and shielding gases

The development of shielding gases for arc welding applications has been of increasing interest and importance for three main reasons: to improve the productivity of the process, to increase weld integrity and quality, and to reduce the health and safety problems due to fume and particle emissions.

GMAW process has been of great importance for welding constructions all over the world. This fact is related to its high flexibility, which allows the welding of different materials and thicknesses, and to its considerable potential for automation and robotization. The generation of welding fumes during arc welding processes are potentially hazardous to the welder's health. Welding fumes consist of metal oxide particles that can remain suspended in the air and thus, can be inhaled by welders. The chemical composition and particle size of the fume particulates are important parameters in determining the toxicity of welding fumes.

About 90–95 % of the fumes are generated from the filler metal and flux coating/core of consumable electrodes. Since the base metal weld pool is much cooler than the electrode tip, the base metal contributes only a minor amount of the total fumes. The only case when the base metal may be a

significant factor of the fume exposure is if the metal or surface residue contains a highly toxic substance (lead, cadmium, etc.). In addition to the welding technique, studies have shown that the fume generation rate is also influenced by the following factors: electric current, arc voltage, wire diameter, shielding gas, welding speed and steady/current pulsed welding mode [12, 13].

The characterization of welding fume depends on consumables and base material. Most dangerous in steel welding are alloying elements. Typically found in welding fume are aluminium, beryllium, cadmium oxides, chromium, copper, fluorides, iron oxide, lead, manganese, molybdenum, nickel, vanadium, and zinc oxides. Each of these elements has harmful effect on human health.

Manganese: Manganese is basic alloying element in non-alloyed construction steels. Inhalation of fumes with high concentrations of manganese and its oxides may bring "metal fume fever".

Chromium: Chromium is an element present in the consumables and base material of stainless steels, heat-resistant steels, some creep-resistant steels, some high nickel alloys, and armour plate.



Chromium can be present in fume in different forms: chromium in metallic form (valence state 0), trivalent form (Cr III) and hexavalent form (Cr VI). Hexavalent chromium is considered as the most hazardous of all forms, and in welding fume it is a suspected human carcinogen [14]. This is consistent with the classification of hexavalent chromium as a human lung carcinogen [15].

Nickel: Metallic nickel and certain soluble nickel compounds as dust or fume cause sensitization dermatitis and probably produce cancer of the paranasal sinuses and the lung; nickel fume in high concentrations is a respiratory irritant [16].

Aluminium: Long term aluminium exposure is associated with Alzheimer’s disease; recent review identified how aluminium may contribute to the formation of Amyloid proteins in the brain, a marker of Alzheimer’s disease [17].

More research was done to analyse FFR and fume particle composition in GMAW for plain carbon steel using different shielding gas. According to study of K.R. Carpener [18] which standard Ar+18% CO₂ gas mixture was compared with Ar mixtures with 5% O₂, 5-18% CO₂ Ar, 5-18% CO₂ and 2-5% O₂ gas mixtures on fume box design according to ISO15011-1 [19]. Average particle composition was measured, results are in Table 1.

Table 1. Shielding gas mixtures used for robotic GMAW, FFR results, O₂ index and average particle composition [18]

Tabela 1. Smeše zaštitnih gasova koje se koriste za robotizovan MAG, FFR rezultati, O₂ indeks i prosečni sastav čestica [18]

Gas composition	FFR (g min ⁻¹)	O ₂ Index	O (wt%)	Si (wt%)	Mn (wt%)	Fe (wt%)
Ar-5%O ₂	0.274	5%	27.5	0.9	8.7	62.8
Ar-5%CO ₂	0.246	2.5%	27.5	0.7	7.0	64.8
Ar-10%CO ₂	0.298	5%	27.4	0.3	5.9	66.4
Ar-18%CO ₂	0.396	9%	28.1	1.3	4.2	66.3
Ar-5%CO ₂ -2%O ₂	0.242	4.5%	27.5	0.6	7.4	64.5
Ar-12%CO ₂ -2%O ₂	0.312	8%	27.8	1.0	5.8	65.3
Ar-18%CO ₂ -2%O ₂	0.392	11%	28.4	2.3	7.0	62.3
Ar-5%CO ₂ -5%O ₂	0.352	7.5%	28.1	1.6	6.1	64.2
Ar-12%CO ₂ -4%O ₂	0.318	10%	28.1	1.6	6.1	64.2
Ar-12%CO ₂ -6%O ₂	0.332	12%	-	-	-	-

On Table 1. shows the, that quantity of FFR for mixtures with Ar-CO₂-O₂ chemical composition and same O₂ index grove slower than for Ar-CO₂

shielding gas composition. FFR results are present in Figure 3.

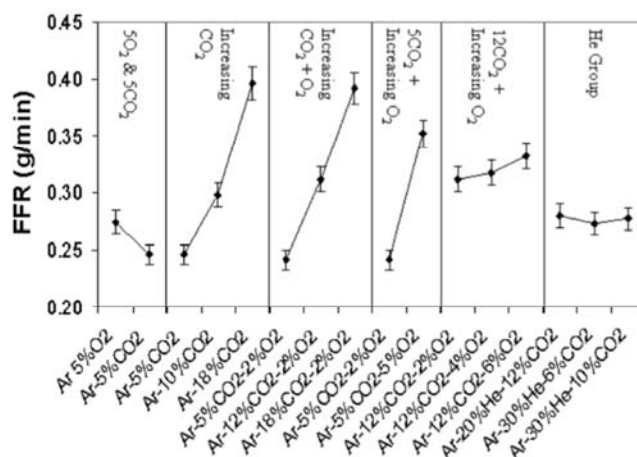


Figure 3. FFR as a function of shielding gas composition under the same welding conditions. Each region on the graph, groups the shielding gas mixtures according to different variables in the composition [18]

Slika 3. FFR kao funkcija sastava zaštitnog gasa pod istim uslovima zavarivanja. Svaki region na grafikonu grupiše smeše zaštitnog gasa prema različitim promenljivim u sastavu [18]

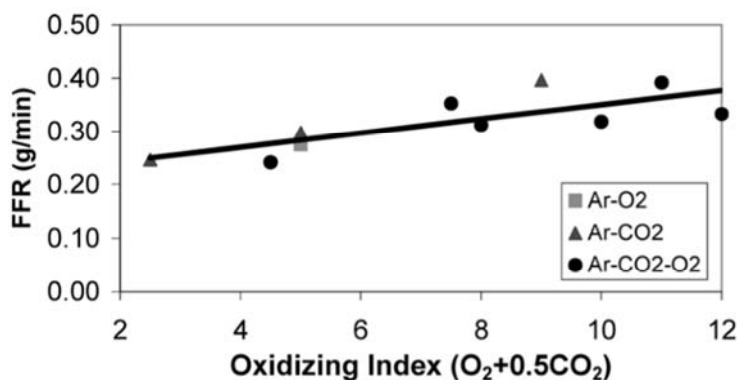


Figure 4. FFR plotted against oxygen index for the Ar–O₂, Ar–CO₂ and Ar–CO₂–O₂ series [18]

Slika 4. FFR prikazan u odnosu na indeks kiseonika za serije Ar–O₂, Ar–CO₂ i Ar–CO₂–O₂ [18]

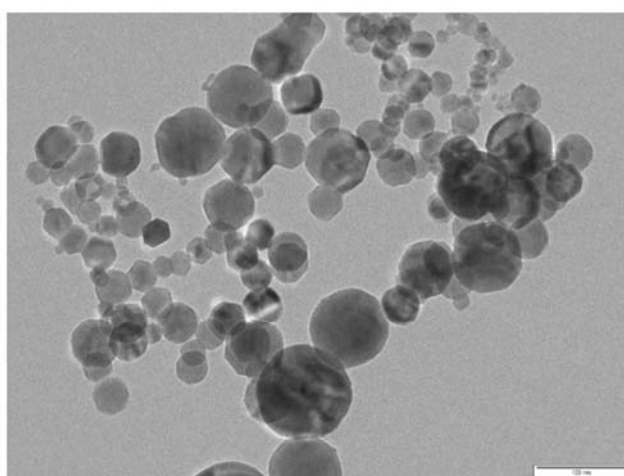


Figure 5. Typical bright field TEM image at 200K times magnification showing welding fumes with a mixture of particle sizes, with either spherical or faceted morphology and often in chain-like structures (shielding gas: Ar–10 CO₂) [18]

Slika 5. Tipična TEM slika svetlog polja na uvećanju od 200K puta, koja prikazuje isparenja od zavarivanja sa mešavinom čestica, sa sferičnom ili fasetiranom morfologijom i često u lančanim strukturama (zaštitni gas: Ar–10 CO₂) [18]

2. Experiment

2.1. GMAW/Manual welding, S235 J2G3/G3Si1

The goal of performed test was to find, how weld and additional work after welding. Welding shielding gas influence to macroscopic view of the parameters for samples are presented in Table 2.

Table 2. Welding parameters for sample A and sample B

Tabela 2. Parametri zavarivanja za uzorak A i uzorak B

	A	B
Base material	S235 J2G3, 8 mm thickness, plasma cutting edge, with oxide on surface	S235 J2G3, 8 mm thickness, plasma cutting edge, with oxide on surface
Welding parameters:	I= 225A, U=27V	I= 225A, U=27V
Welding consumables:	G3Si1, 1,2mm, cooper coated	G3Si1, 1,2mm, cooper coated
Shielding gas:	Ar+18 % CO ₂ , 12 l/min	multi-component mixture, 12 l/min
Welding machine:	Fronious TPS 400	Fronious TPS 400
Mode:	without pulse	without pulse
Welding position:	PA	PA

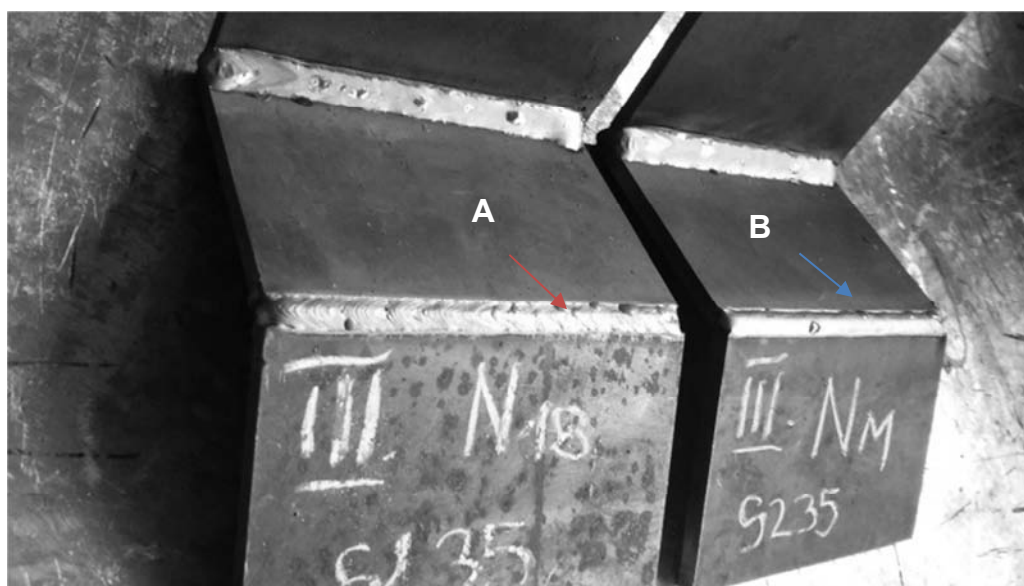


Figure 6. Weld 1, shielded with Ar+18 % CO₂, weld 2 with multi-component mixture
Slika 6. Zavar 1, zaštićen sa Ar+18 % CO₂, zavar 2 sa višekomponentnom mešavinom

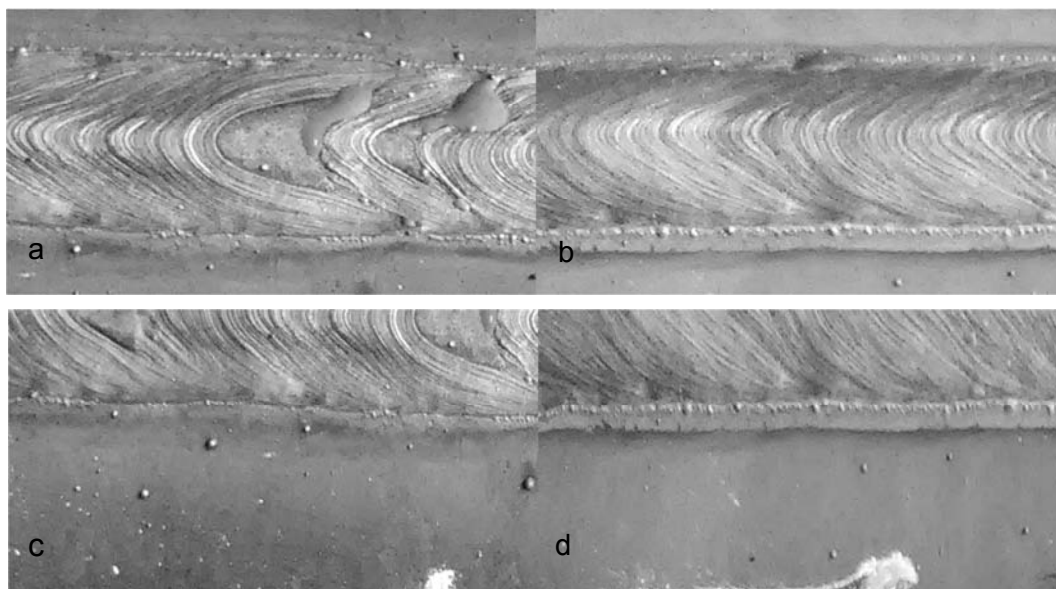


Figure 7. Comparison of bead weld of both samples: a) bead weld A, b) bead weld B,
 c) edge of weld A, d) edge of weld B.

Slika 7. Poređenje šava oba uzorka: a) šav A, b) šav B, c) ivica šava A, d) ivica šava B.

3. Results and discussion

Both samples were welded with same welding parameters, same welding consumable and same welding equipment. Same welder welded all welds. Welding speed was also observed.

3.1. Macroscopic view

3.1.1. Spatters

- On surface of base material near sample A, shielded with standard gas mixture Ar+18 % CO₂ we found more metal drops than on sample B, shielded with multi-component mixture.

- Diameter of drops on sample A was higher than on sample B. Most of them on sample A needed to be removed with grinding after welding. Drops on sample B were much smaller and can be removed without grinding.

3.1.2. Weld bead

Weld bead is smoother in sample B.



3.1.3. Slag on weld surface

Quantity of slag on surface is in connection with percentage of active gas in Ar. On sample A, more slag was observed than on sample B. Slag should be removed before surface protection.

4. Conclusion

To decrease total costs of arc welding process for industrial applications, especially for wide used GMAW welding, suppliers of shielding gases, welding consumables and welding equipment all the time present new solutions from their point of view. Shielding gases influence to weldability and welding speed. They influence on shape of weld bead, penetration depth, amount of slag on surface, quantity of spatters, size of individual spatter and consequently possibility, that spatter bond with basic material. In duplex, superduplex and steels with N, added nitrogen to shielding gas stabilize austenite microstructure. Some of gas mixtures for GMAW also increase welding speed and reduce total time of welding process. Speed can be increased for about 10 % in comparison to Ar+18 % CO₂. With multi-component mixtures is possible to reduce emission of fume gases, which is important for welder health. Multi-component mixtures are less universal than Ar+18 % CO₂, for their optimum use is important close cooperation with specialists from gas supplier company.

References / Literatura

[1] <https://www.millerwelds.com/resources/article-library/understanding-key-welding-business-issues-and-turning-them-into-opportunities> (MILLER)

[2] Z. A. Stroko, (2019), Vir znanja in izkušenj za stroko

[3] V. Ganesan, M. D. Mathew, and K. B. S. Rao, (2009) "Influence of nitrogen on tensile properties of 316LN SS," Mater. Sci. Technol., 25, 5, 614–618

[4] U. Kamachi Mudali, R. K. Dayal, T. P. S. Gill, and J. B. Gnanamoorthy, (1986) "Influence of Nitrogen Addition on Microstructure and Pitting Corrosion Resistance of Austenitic Weld Metals.," Werkstoffe und Korrosion, 37, 12, 637–643

[5] B. Bhav Singh, G. Sukumar, P. Prakasa Rao, K. Siva Kumar, V. Madhu, and R. Arockia Kumar, (2019), "Superior ballistic performance of high-nitrogen steels against deformable and non-deformable projectiles," Mater. Sci. Eng. A, 751, 10, 115–127

3.1.4. Welding speed

No difference in welding speed between both samples was observed.

4. Zaključak

Da bi smanjili ukupne troškove procesa elektrolučnog zavarivanja za industrijsku primenu, posebno za široko rasprostranjeno MAG zavarivanje, dobavljači zaštitnih gasova, potrošnog materijala za zavarivanje i opreme za zavarivanje konstantno nude nova rešenja. Zaštitni gasovi utiču na zavarljivost i brzinu zavarivanja. Oni utiču na oblik šava, dubinu prodiranja, količinu troske na površini, količinu prskanja, veličinu pojedinačnih kapljica i posledično na mogućnost da se prskanje spoji sa osnovnim materijalom. U dupleksu, superdupleksu i čelicima sa azotom, dodatkom azota u zaštitni gas stabilizuje se mikrostruktura austenita. Neke od gasnih mešavina za MAG postupak, takođe povećavaju brzinu zavarivanja i smanjuju ukupno vreme procesa zavarivanja. Brzina se može povećati za oko 10 % u poređenju sa Ar+18 % CO₂. Sa višekomponentnim mešavinama moguće je smanjiti emisiju dimnih gasova, što je važno za zdravlje zavarivača. Višekomponentne smeše su manje univerzalne od Ar+18 % CO₂, a za njihovu optimalnu upotrebu važna je bliska saradnja sa stručnjacima kompanije za snabdevanje gasom.

[6] R. Mohammed, G. Madhusudhan Reddy, and K. Srinivasa Rao, (2017), "Welding of nickel free high nitrogen stainless steel: Microstructure and mechanical properties," Def. Technol., 13, 2, 59–71

[7] B. Varbai, U. Y. Adonyi, R. Baumer, T. Pickle, J. Dobranszky, and K. Majlinger, (2019), "Weldability of Duplex Stainless Steels-Thermal Cycle and Nitrogen Effects", Weld. J., 98, 3, 78-S-87-S

[8] E. G. Betini et al., (2019), "Effect of nitrogen addition to shielding gas on cooling rates and in the microstructure of thin sheets of duplex stainless steel welded by pulsed gas tungsten arc welding process", Mater. Res., vol. 22, 8, 1-9

[9] W. Chuaiphan and L. Srijaroenpramong, "Optimization of gas tungsten arc welding parameters for the dissimilar welding between AISI 304 and AISI 201 stainless steels," (2019), Def. Technol., 15, 2, 170–178



[10] J. W. Elmer, J. Vaja, H. D. Carlton, and R. Pong, (2015), "The effect of Ar and N₂ shielding gas on laser weld porosity in steel, stainless steels, and nickel," *Weld. J.*, 94, 10, 313s-325s.

[11] Z. Liu et al., "Gas metal arc welding of high nitrogen stainless steel with Ar-N₂-O₂ ternary shielding gas," (2021), *Def. Technol.*, 17, 3, 923-931

[12] Yoon CS, Paik NW, Kim JH. (2003), Fume generation and content of total chromium and hexavalent chromium in flux cored arc welding. *Ann Occup Hyg*;47:671–80.

[13] Pires I, Quintino L, Miranda RM, (2006), Gomes JFP. Fume emissions during gas metal arc welding. *Toxicol Environ Chem*; 88, 3, 385–94

[14] Sellappa S, Prathyumn S, Keyan KS, Joseph S, Vasudevan BS, Sasikala K. (2010), Evaluation of DNA damage induction and repair inhibition in welders exposed to hexavalent chromium, *Asian Pac J Cancer Prev*;11, 1, 95–100

[15] U.S. Department of Health and Human Services (2011). Report on carcinogens. Twelfth

edition, Public Health Service, National Toxicology Program

[16] International Agency for Research on Cancer. Agents classified by the IARC monographs, Volumes 1–100.

[17] Kawahara M, Kato-Negishi M. (2011), Link between aluminium and the pathogenesis of Alzheimer's disease: the integration of the aluminium and amyloid cascade hypotheses. *Int J Alzheimer's Dis*:17 (Article ID 276393)

[18] K. R. Carpenter, B. J. Monaghan, and J. Norrish, (2009), "Analysis of fume formation rate and fume particle composition for gas metal arc welding (GMAW) of plain carbon steel using different shielding gas compositions," *ISIJ Int.*, 49, 3, 416–420

[19] Int. standard (2002): 'ISO 15011-1:2002: Health and safety in welding and allied processes—Laboratory method for sampling fume and gases generated by arc welding—Part 1: Determination of emission rate and sampling for analysis of particulate fume.

Podsećamo Vas da je članarina za 2022.g ostala
nepromenjena i iznosi 3500,00 dinara.

Uplatom članarine stičete pravo na GRATIS godišnje izdanje
časopisa "ZAVARIVANJE I ZAVARENE KONSTRUKCIJE"

Tekući račun DUZS: 325-9500600002588-46

Informacije:



+ 381 (11) 2420-652



Dragan Mitić¹, Dragan Milčić², Miodrag Milčić², Nenad Radović^{3,a}

ANALIZA MAG POSTUPKA ZAVARIVANJA TRANSFORMATORSKOG LIMA I KONSTRUKCIONOG ČELIKA

MAG WELDING OF ELECTRICAL STEEL AND STRUCTURAL STEEL

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:

Mart 2022.

Ključne reči: Transformatorski lim, S355, MAG postupak, električne osobine

Rezime

Transformatorski lim je primer čelika specifične namene kod koga je glavni kriterijum za izbor zasnovan na fizičkim osobinama, a ne na mehaničkim osobinama. Ispitani su raznorodni zavareni spojevi S355/trafo lim (dva kvaliteta, sa 1,78 i 2,94%Si), koji su zavareni MAG postupkom sa dva seta parametara zavarivanja. Najbolji rezultat je dobijen za probu broj 4, položaj PF. Da bi se smanjila razlika tvrdoće metala šava i osnovnih metala, predložena je promena dodatnog materijala. Takođe je predloženo smanjenje prečnika žice, kako bi se smanjilo nadvišenje. Ovako dobijeni zavareni spoj tek treba ispitati sa aspekta otpora na vrtložne struje u jezgru koje smanjuju koeficijent korisnog dejstva.

1. Uvod

Transformatorski lim je primer čelika specifične namene kod koga je glavni kriterijum za izbor zasnovan na fizičkim osobinama, a ne na mehaničkim osobinama. Ovi čelici su razvijeni da bi se koristili za jezgra transformatora ili dinamo mašina, a sa ciljem da im povećaju koeficijent korisnog dejstva. Povoljnom strukturom se obezbeđuje usmerenost zrna i domena tako da se obezbeđuje minimalna električna otpornost na indukovane vrtložne struje u transformatoru [1, 2]. Nastalo zagrevanje je gubitak korisnog dejstva. Sa aspekta hemijskog sastava, glavnu ulogu ima legiranje silicijumom, uz veoma preciznu termomehničku preradu. Osnovni zahtev je da se nakon nekoliko režima hladnog valjanja i rekristalizacionog žarenja obezbedi intenzivni rast zrna specifične orijentacije (paralelne pravcu

Adresa autora / Author's address:

¹ NIVAR, Čarnojevića 11/1, Niš, Srbija

² Mašinski fakultet, A. Medvedeva 14, Niš, Srbija

³ Tehnološko metalurški fakultet, Karnegijeva 4, Beograd, Srbija

^a E mail: nenrad@tmf.bg.ac.rs

Keywords: Electrical steel, S355, MAG welding, electrical properties

Abstract

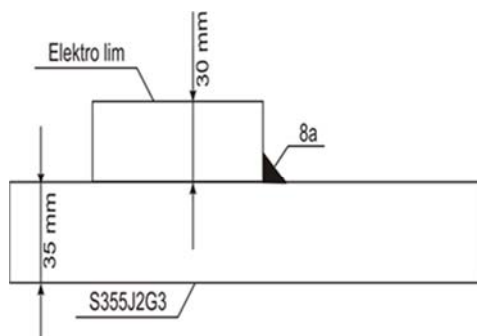
Electrical (high silicon) steels are specifically developed steels for which the principle selection principle was based on physical properties, rather than mechanical properties. Four different MAG welded joints (S355/electrical steel with 1.78 and 2.94%Si) were tested. Best result was obtained for joint 4. Furthermore, in order to decrease difference in hardness between weld metal and base metals, a change of filler material is suggested. Also, in order to reduce overlap, a smaller diameter of wire is recommended. Finally, these joints are yet to be tested on eddy current and magnetic permeability, because they affect efficiency.

valjanja), čime se smanjuje broj granica zrna koje povećavaju električnu otpornost. Ovako dobijena izotropnost je još poznata i kao Goss tekstura [1, 2]. Ovako dobijeni lim (debljine ispod 0,75mm) se naknadno iseca, kroji i slaže u jezgro transformatora.

Sa druge strane, konstruktori često predviđaju da se jezgro spoji zavarivanjem za nosač koji je klasični konstrukcioni čelik [3]. Zavarivanje ovih raznorodnih čelika je izazov jer je u pitanju čelik sa povišenim sadržajem silicijuma i zavarivanje velikog broja složenih limova za ram.

2. Eksperiment

Izvedeno je zavarivanje ugaonih spojeva trafo limova (dva različita sastava) za noseći ram koji je izradjen od čelika klase S355J2G3, prema Slici 1.



Slika 1. Skica ugaonog spoja

Figure 1. Schematic presentation of the fillet weld

Zavarene su 4 probe ugaonih spojeva mešavine gasova, parametri zavarivanja dati u konstrukcionog čelika S355+N debljine 30mm i Tabeli 1. trafolimova 227x0.6mm, MAG postupkom u zaštiti

Tabela 1. Parametri zavarivanja

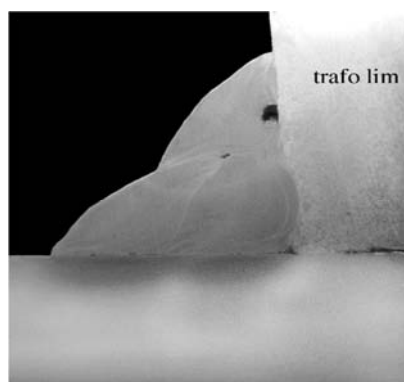
Table 1. Welding parameters

Proba	Ram	Trafo lim	prolaz	I, A	U, V	Brzina dodavanja m/min	Položaj zavarivanja
1	S355J2G3	1,77%Si	1	160	17,5	3,8	PG
			2	155	17,5	3,8	
			3	160	17,5	3,8	
2	S355J2G3	2,95%Si	1	160	17,5	3,8	PG
			2	155	17,5	3,8	
			3	160	17,5	3,8	
3	S355J2G3	1,77%Si	1	125	17,5	3,2	PF
			2	130	17,8	3,2	
4	S355J2G3	2,95%Si	1	125	17,5	3,2	PF
			2	130	17,8	3,2	

Korišćen je dodatni materijal EN ISO14341-A G 46 4 M21 4Si1 OKAristoRod 12.63, prečnika 1.2mm.

3. Rezultati i diskusija

Proba 1. Na Slici 2 je prikazan zavareni spoj probe 1.



Slika 2. Makro presek zavarenog spoja - proba 1

Figure 2. Macro cross section of welded joint - test 1



Vizuelnim pregledom zavarenog spoja, nisu uočene nedozvoljene greške prema standardu SRPS EN ISO 5817 za nivo kvaliteta "B".

Ispitivanjem penetrantskom tečnošću ugaonog zavarenog spoja SPQR1 utvrđeno je da ima

linearnih indikacija na prelazu metala šava i osnovnog materijala rama S355+N i da ne zadovoljava nivo kvaliteta prema standardu SRPS EN ISO 5817 "B"[4]. Rezultati merenja tvrdoće su dati u tabeli 2.

Tabela 2. Prosečne vrednosti tvrdoće u karakterističnim zonama zavarenog spoja - proba 1

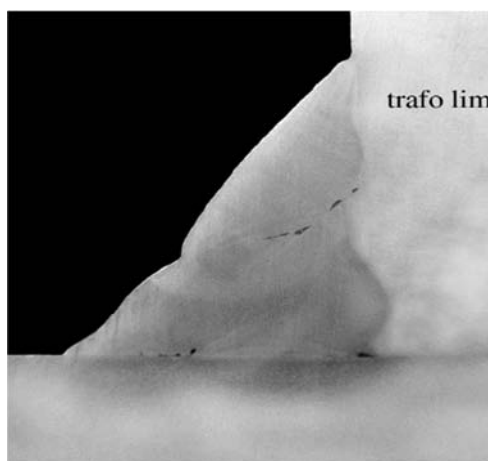
Table 2. Average values of hardness in the characteristic zones of the welded joint - test 1

	S355 OM	ZUT/S355	MŠ	ZUT/Trafo	TrafoOM
Tvrdoća, HV	144	184	249	168	132

Makroskopskim ispitivanjem ugaonog zavarenog spoja SPQR1, konstatovano je da je debljina zavarenog spoja 8mm i da postoje nepravilnosti - nedostatak uvarivanja 402, gasna šupljini 2011 i nedostatak stapanja između slojeva 4012.

Klasifikacija geometrijskih nepravilnosti rađena je prema standardu SRPS EN ISO 6520-1 2008[5].

Proba 2. Na Slici 3 je prikazan zavareni spoj probe 2.



Slika 3. Makro preseki zavarenog spoja – proba 2

Figure 3. Macro cross section of welded joint - test 2

Vizuelnim pregledom zavarenog spoja, nisu uočene nedozvoljene greške prema standardu SRPS EN ISO 5817 za nivo kvaliteta "B" - izmereno nadvišenje ugaonog zavarenog spoja je 5.7mm. Takođe, veoma malo je uvarivanje na strani rama segmenta, što znači da je samim tim nosivost zavarenog spoja nepouzdana.

Ispitivanjem penetrantskom tečnošću probe 2, utvrđeno je da ima linearnih indikacija na prelazu metala šava i osnovnog materijala rama segmenta S355+N i da ne zadovoljava nivo kvaliteta prema standardu SRPS EN ISO 5817 "B"[4].

Rezultati merenja tvrdoće su prikazani u tabeli 3.

Tabela 3. Prosečne vrednosti tvrdoće u karakterističnim zonama zavarenog spoja – proba 2

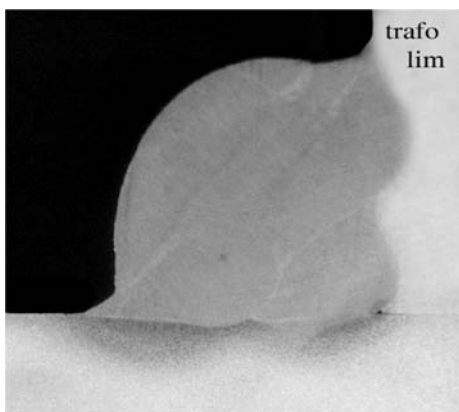
Table 3. Average values of hardness in the characteristic zones of the welded joint - test 2

	S355 OM	ZUT/S355	MŠ	ZUT/Trafo	TrafoOM
Tvrdoća, HV	131	199	239	185	142

Makroskopskim ispitivanjem ugaonog zavarenog spoja probe 2, konstatovano je da je debljina zavarenog spoja 7.4mm i da postoje nepravilnosti - nedostatak uvarivanja 402, nedovoljno provarivanje korena 4021 i nedostatak stapanja između slojeva

4012. Klasifikacija geometrijskih nepravilnosti rađena je prema standardu SRPS EN ISO 6520-1 2008[5].

Proba 3. Na slici 4. je prikazan zavareni spoj probe 3.



Slika 4. Makro presek zavarenog spoja – proba 3

Figure 4. Macro cross section of welded joint - test 3

Vizuelnim pregledom zavarenog spoja probe 3, uočena je prevelika ispupčenost zavarenog spoja. Izmereno nadvišenje ugaonog zavarenog spoja je 7 mm.

Ispitivanjem penetrantskom tečnošću ugaonog zavarenog spoja probe 3 utvrđeno je, da zadovoljava nivo kvaliteta prema standardu SRPS EN ISO 5817 "B"[4].

Rezultati merenja tvrdoće su dati u tabeli 4.

Tabela 4. Prosečne vrednosti tvrdoće u karakterističnim zonama zavarenog spoja proba 3

Table 4. Average values of hardness in the characteristic zones of the welded joint – test 3

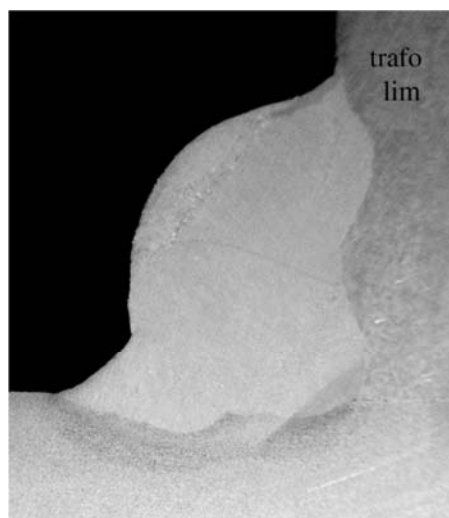
	S355 OM	ZUT/S355	MŠ	ZUT/Trafo	TrafoOM
Tvrdoća, HV	125	168	241	182	134

Makroskopskim ispitivanjem ugaonog zavarenog spoja probe 3, konstatovano je da postoje nepravilnosti - nedostatak uvarivanja - neravnomerno 402, nedovoljno provarivanje korena 4021 i prevelika ispupčenost šava 503. Klasifikacija geometrijskih nepravilnosti rađena je prema standardu SRPS EN ISO 6520-1 2008 [5].

Proba 4. Na slici 5 je prikazan zavareni spoj probe 4

Vizuelnim pregledom zavarenog spoja probe 4, uočena je prevelika ispupčenost zavarenog spoja. Izmereno nadvišenje ugaonog zavarenog spoja je 7mm.

Ispitivanjem penetrantskom tečnošću ugaonog zavarenog spoja probe 4 utvrđeno je, da zadovoljava nivo kvaliteta prema standardu SRPS EN ISO 5817 "B" [4].



Slika 5. Makro presek zavarenog spoja – proba 4

Figure 5. Macro cross section of welded joint - test 4



Tabela 5. Prosečne vrednosti tvrdoće u karakterističnim zonama zavarenog spoja proba 4

Table 5. Average values of hardness in the characteristic zones of the welded joint – test 4

	S355 OM	ZUT/S355	MŠ	ZUT/Trafo	TrafoOM
Tvrdoća, HV	122	187	256	140	119

Makroskopskim ispitivanjem ugaonog zavarenog spoja proba 4, konstatovana je prekomerna asimetričnost ugaonog spoja. Debljina zavarenog ugaonog spoja je 6mm. Klasifikacija geometrijskih nepravilnosti rađena je prema SRPS EN ISO 6520-1 2008 [5].

Probe 3 i 4 pokazuju značajno bolje uvarivanje kako čelika S355, tako i u trafo lim. Pretpostavljeno je da je to posledica promene zavarivanja “na gore” umesto “na dole”. Sa druge strane, tvrdoća metala šava je u svim slučajevima znatno iznad vrednosti osnovnih metala, tako da može da se preporučiti promena dodatnog materijala, čime bi se ova

4. Zaključak

Ispitani su raznorodni zavareni spojevi čelika S355/trafo lim (dva kvaliteta), zavareni MAG postupkom sa dva seta parametara zavarivanja. Najbolji rezultat je dobijen za probu broj 4.

Da bi se smanjila razlika tvrdoće metala šava i osnovnih metala, predložena je promena dodatnog materijala. Takođe je predloženo smanjenje prečnika žice, kako bi se smanjilo nadvišenje. Ovako dobijeni zavareni spoj tek treba ispitati sa aspekta otpora na vrtložne struje u jezgrukoje smanjuju koeficijent korisnog dejstva.

Literatura / References

- [1] Drobnjak, DJ., (2015), Fizička Metalurgija: Fizika čvrstoće i plastičnosti, TMF, Beograd
- [2] Radović, N., (2020), Čelici – struktura i svojstva, interne skripte TMF, Beograd
- [3] Prokić-Cvetković, R., Popović, O., (2020), Metalurgija zavarivanja, MF, Beograd
- [4] SRPS EN ISO 5817:(2015): Zavarivanje — Spojevi zavareni topljenjem na čeliku, niklu, titanu i njihovim legurama (isključujući zavarivanje snopom) — Nivoi kvaliteta nepravilnost, ISS, Beograd

razlika smanjila (npr. G 42 2M G2Si). Da bi se još bolje kontrolisala veličina tečnog kupatila i nadvišenje spoja, može se razmotriti i smanjenje debljine dodatne žice, sa 1,2 na 1,0mm

Na ovaj način će se obezbediti minimalni zahtevi sa aspekta integriteta zavarenog spoja. Sa druge strane, u narednim koracima treba uraditi ispitivanje električnih osobina i magnetne permabilnosti, jer je ZUT sa strane trafo lima nepovratno promenio strukturu. Prema tome, zahtevi sa aspekta mehaničkih osobina su tek potreban uslov za uspešan zavareni spoj [6].

4. Conclusion

Welded joints of different steels S355 and transformer sheet steel (two grades), welded by MAG method with two sets of welding parameters, and were tested. The best result was obtained for the test number 4.

In order to reduce the difference between the hardness of the weld metal and the base metal, a change in the filler metal has been proposed. It is also proposed to reduce the diameter of the wire, in order to reduce the overlap. The weld obtained in this way has yet to be tested from the aspect of eddy current resistance in the core, which reduces the efficiency.

- [5] SRPS EN ISO 6520-1 (2008): Zavarivanje i srodni postupci - Klasifikacija geometrijskih nepravilnosti u metalnim materijalima - Deo 1: Zavarivanje topljenjem, ISS, Beograd
- [6] Cunjuan Xia, Hongze Wang, Yi Wu and Haowei Wang, (2020): “Joining of the Laminated Electrical Steels in Motor Manufacturing: A Review”, Materials 13, 4583-4604



Stav Međunarodnog Instituta za Zavarivanje – MIZ (IIW) o situaciji u Ukrajini

Međunarodni institut za zavarivanje je neprofitna distributivna organizacija koja deluje kao svetska mreža za razmenu znanja o tehnologijama spajanja sa ciljem poboljšanje globalnog kvaliteta života. MIZ se ne bavi komercijalnim aktivnostima i nepolitička je i nevladina organizacija sa sedištem u Italiji.

Međunarodni institut za zavarivanje je duboko zabrinut zbog situacije u Ukrajini jer ona značajno utiče na živote, i solidaran je sa narodom Ukrajine. MIZ čvrsto veruje da kultura nauke nema granica i podržava ulogu naučnika i industrije u pomaganju mirnom rešavanju sukoba.

Međunarodni institut za zavarivanje će nastaviti da deluje kao međunarodna otvorena mreža za međunarodnu zavarivačku zajednicu, bez obzira na nacionalnost.

Međunarodni institut za zavarivanje preporučuje da:

- a. Društva članice MIZ zajedno sa MIZ-om razmotre moguće akcije za podršku svojim kolegama u okviru naučne i tehničke zajednice zavarivača u Ukrajini;
- b. MIZ privremeno obustavlja izdavanje MIZ (IIW) diploma i sertifikata, kao i isporuku MIZ proizvoda Ruskoj Federaciji; i
- c. bilo koji MIZ događaj u Ruskoj Federaciji će biti privremeno suspendovan.

Pored navedenog, snažno se preporučuje da se, tokom MIZ sastanaka i događaja, MIZ zajednica uzdrži od bilo kakve diskusije o situaciji u regionu, osim ako to ne ovlasti Bord direktora MIZ-a.

MIZ će nastaviti da prati situaciju i prilagođava svoju poziciju prema potrebi.

Svaku zvaničnu komunikaciju MIZ-a o ovom pitanju izdavaće samo zvanični predstavnici MIZ-a.

Đenova (Italija), 4. april 2022.

75. godišnja skupština MIZ (IIW) i Međunarodna konferencija o zavarivanju i spajanju

Sa velikim zadovoljstvom MIZ (IIW) i JIW obaveštavaju da će se od 17-22. jula 2022. u Tokiju, održati 75. godišnja skupština MIZ (IIW) i međunarodna konferencija.

MIZ takođe sa zadovoljstvom objavljuje da se događaj konačno vratio svojoj tradiciji ličnih kontakata i sa punim programom godišnje skupštine. U okviru skupštine održaće se i Međunarodna konferencija o zavarivanju i spajanju „Inovativne tehnologije zavarivanja i spajanja za postizanje neutralnosti ugljenika i promovisanje odgovarajućeg razvoja“. Događaj će se takođe održati u blizini Sajma zavarivanja u Japanu, što ga čini događajem koji se ne može propustiti! Više informacija se može naći na linku <https://www.iiv2022.com/>

Međunarodna konferencija o lemljenju, visokotemperaturnom lemljenju i difuzionom spajanju

U Ahenu – Nemačka, će se od 21. do 23. juna 2022. održati 13. Međunarodna konferencija o lemljenju, visokotemperaturnom lemljenju i difuzionom spajanju. Ova konferencija je jedan od vodećih svetskih događaja u ovoj oblasti. Okuplja naučnike, inženjere i tehničko osoblje iz celog sveta koji su uključeni u istraživanje, razvoj i primenu tehnologije spajanja.

Svet se dramatično promenio od prethodne konferencije. Čak i u vremenima globalne pandemije, tehnički razvoj je napredovao. U kompanijama je napredovala digitalizacija, optimizovani su poslovni procesi i ojačani odnosi sa kupcima. Lemljenje, visokotemperaturno lemljenje i difuziono spajanje su složene tehnologije koje se moraju kontinuirano razvijati. Oni su zasnovani na aktuelnim rezultatima istraživanja, važećim standardima i uputstvima, kao i prilagođenim merama obuke. Više informacija o konferenciji se može naći na linku www.dvs-ev.de/loet2022



Dragoslav Dobraš^{1,a}, Milisav Marković¹, Slaviša Savić¹

TEHNOLOGIJA ZAVARIVANJA ČELIČNOG LIVA G18CrMo4+QT SA KONSTRUKCIONIM ČELIKOM S355J2+N

WELDING TECHNOLOGY OF STEEL CAST G18CrMo4 + QT WITH STRUCTURAL STEEL S355J2+N

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:

Mart 2022.

Ključne reči: Čelični liv, konstrukcioni čelik, tehnologija zavarivanja

Rezime

Tehnologija zavarivanja čeličnog liva G18CrMo4+QT sa konstrukcionim čelikom S355J2+N je tehnologija zavarivanja raznorodnih materijala. Problematiku zavarivanja čeličnog liva G18CrMo4+QT predstavlja pojava otvrdnjavanja strukture zbog prisustva neotpuštenog martenzita, što za posledicu ima sniženje žilavosti i nastanak hladnih prslina. S druge strane, konstrukcioni čelik S355J2+N, u zavisnosti od debljine materijala, takođe je sklon pojavi hladnih prslina. Radi sprječavanja nastanka prslina i otklanjanja zaostalih napona potrebno je vršiti predgrijavanje i termičku obradu nakon zavarivanja. U radu su predstavljene tehnologije zavarivanja i naknadne termičke obrade spoja čeličnog liva G18CrMo4+QT sa konstrukcionim čelikom S355J2+N, uz prikaz rezultata ispitivanja provedenih na zavarenom uzorku lima debljine 12 mm, sa V pripremom spoja, zavarenog MAG postupkom u PA položaju zavarivanja.

1. Uvod

Složenost uslova rada i tehnologije izrade pojedinih pozicija uslovlila je primjenu raznorodnih materijala koji se spajaju ili razdvojom vezom ili zavarivanjem. Zavarljivost raznorodnih materijala može biti značajno različita, što bitno usložnjava tehnologiju zavarivanja [1].

Područje primjene čeličnog liva G18CrMo4+QT je na mašinskim pozicijama kao što su na primjer: zupčanici, vijci, čaure, vratila, bregaste osovine, koje trebaju biti otporne na habanje, a izložene su promjenljivom opterećenju, tj. treba da imaju čvrsto i žilavo jezgro uz veliku površinsku tvrdoću. Za razliku od čeličnog liva, konstrukcioni čelik

Adresa autora / Author's address:

¹ Univerzitet u Banjoj Luci, Mašinski fakultet, Vojvode Stepe Stepanovića 71, Banja Luka, BiH

^aE mail: dragoslav.dobras@mf.unibl.org

Keywords: Steel cast, structural steel, welding technology

Abstract

Welding technology of cast steel G18CrMo4+QT with structural steel S355J2+N is a welding of dissimilar steels. The problem of welding cast iron G18CrMo4+QT is the phenomenon of hardening of the structure due to the presence of unreleased martensite, which results in lower toughness and the formation of cold cracks. On the other hand, structural steel S355J2+N, depending on the thickness of the material, is also prone to the appearance of cold cracks. In order to prevent the formation of cracks and eliminate residuals stresses, it is necessary to perform preheating and heat treatment after welding. The paper presents welding technologies and subsequent heat treatment of G18CrMo4+QT cast iron joint with S355J2 + N structural steel with presentation of test results performed on a 12 mm thick welded sample, with V preparation of the joint, welded by MAG process in PA welding position.

S355J2+N pogodan je za izradu različitih konstrukcija u mašinskom, građevinskom, tehnološkom i inženjeringu transportnih sredstava, opterećenih na statička i dinamička opterećenja, ali bez izrazite otpornosti na habanje [2-3].

U skladu sa standardom ISO/TR 15608:2017 čelik S355J2+N pripada grupi 1.2, a čelični liv G18CrMo4+QT grupi 5.1 [4].

Problem pri zavarivanju čeličnog liva G18CrMo4+QT sa konstrukcionim čelikom S355J2+N predstavlja mogućnost pojave hladnih prslina, jer su oba materijala sklona istoj pojavi, ali iz različitih razloga.



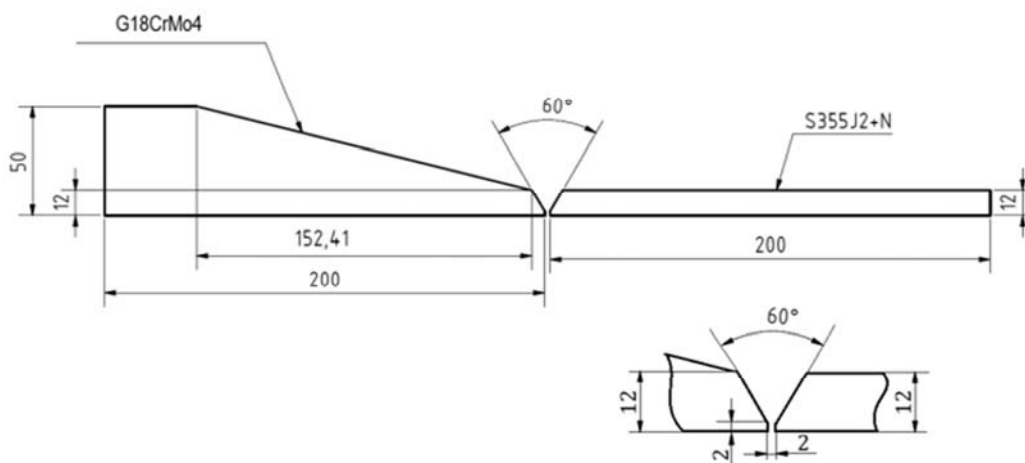
Generalno, hladne prsline pri zavarivanju sitnozrnih čelika i čeličnih livova mogu biti izazvane usljed nastanka grubog zrna, zakaljivanja ili izlučivanja u ZUT-u, te difundovanim vodonikom u metalu šava. Zakaljivanje predstavlja glavni problem kod zavarivanja čeličnog liva G18CrMo4+QT zbog njegove struktura, jer posjeduje jedan dio neotpuštenog martenzita. Da bi termički ciklus zavarivanja bio kontrolisan i umanjio efekat zakaljivanja potrebno je vršiti predgrijavanje i pratiti međuslojnu temperaturu. Nakon zavarivanja potrebno je izvršiti žarenje za smanjenja napona [5-7].

Za razliku od čeličnog liva G18CrMo4+QT kojeg odlikuje nepovoljna struktura za zavarivanje, čelik S355J2+N je pogodan za zavarivanje sa aspekta strukture. Međutim, takođe je sklon pojavi hladnih prsline u zavisnosti od debljine. Da bi se to izbjeglo, potrebno je vršiti predgrijavanje. Kada je u pitanju čelik S355J2+N naknadna termička obrada nije

potrebna, jer zavarivanje istog po strukturi ne predstavlja problem, što nije slučaj kod čeličnog liva G18CrMo4+QT.

2. Eksperiment

Eksperimentalni dio rada proveden je u realnim, radioničkim uslovima zavarivanja, dok su sva ispitivanja provedena u akreditovanim laboratorijama. Za izradu tehnologije zavarivanja korišten je ispitni uzorak sastavljen od priprema od čeličnog liva G18CrMo4+QT i čelika S355J2+N, koji su za zavarivanje pripremljeni prema Slici 1. Priprema sučeonog V žljeba izvršena je mašinskom obradom, bez uticaja toplote nastale pri obradi. Predgrijavanje je vršeno gasnim gorionikom uz primjenu neutralnog plamena, dok su temperatura predgrijavanja i međuslojna temperatura praćene IC termomentrom. Zavarivanje ispitnog uzorka izvedeno je MAG postupkom u PA položaju. Debljina osnovnih materijala na mjestu spoja je 12 mm.



Slika 1. Oblik pripreme sučeonog V spoja

Figure 1. Form of preparation of butt V joint

Hemijski sastav za oba osnovna materijala dat je u Tabeli 1.

Tabela 1. Hemijski sastav osnovnih materijala [u %]

Table 1. Chemical composition of the parent materials [in %]

Broj šarže	Oznaka	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	V	Cu	Fe
29489	G18CrMo4+QT	0.18	0.39	0.89	0.017	0.007	0.83	0.26	0.29	0.007	0.07	ostatak
21EP004009	S355J2+N	0.18	0.2	1.48	0.013	0.006	0.04	0.005	0.02	0.05	0.03	ostatak

Na osnovu hemijskog sastava izračunat je ekvivalent ugljenika za oba materijala, a dobijene vrijednosti su: CE = 0.44 za čelik S355J2+N i CE = 0.55 za čelični liv G18CrMo4+QT. Na osnovu

razlike u vrijednosti ekvivalenta ugljenika potvrđena je otežana i različita zavarljivost ovih materijala.

Mehanička svojstva osnovnog materijala data su u Tabeli 2.

**Tabela 2. Mehanička svojstva osnovnog materijala****Table 2. Mechanical properties of the parent materials**

Oznaka	Rp _{0.2} [MPa]	Rm [MPa]	A [%]	KV [J]
G18CrMo4+QT	632	755	19.6	≥ 24 (-20 °C)
S355J2+N	422	571	28.0	≥ 27 (-20 °C)

Analizom mehaničkih svojstava vidi se da čelični liv ima za 49,8% veći napon na granici tečenja i za 43% manju duktilnost u odnosu na čelik S355J2+N, što takođe ukazuje na razliku u osjetljivosti na lokalni unos toplote i veću osjetljivost čeličnog liva na pojavu unutrašnjih napona.

Kao dodatni materijal korištena je elektrodna žica za MAG postupak zavarivanja oznake G69 4 M Mn3Ni1CrMo, prema standardu EN ISO 16834:2008, trgovačkog naziva EZ-SG 100, prečnika 1.2 mm. Dodatni materijal je legiran sa Mn, Ni, Cr i Mo (Tabela 3) i namijenjen za zavarivanje sitnozrnih čelika čiji napon tečenja ne prelazi 690 MPa (Tabela 4).

Tabela 3. Orjentacioni hemijski sastav dodatnog materijala – elektrodna žica: EZ-SG 100 [u %]**Table 3. Approximate chemical composition of the filler material - filler wire: EZ-SG 100 [in %]**

Oznaka	C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	V	Cu	Fe
EZ – SG 100	0.12	0.4 – 0.7	1.3 – 1.8	0.2 – 0.4	0.2 – 0.3	1.2 – 1.6	0.05 – 0.13	≤ 0.03	ostatak

Tabela 4. Mehanička svojstva čistog metala šava - dodatni materijal – elektrodna žica: EZ-SG 100**Table 4. Mechanical properties of pure weld metal - filler material - filler wire: EZ-SG 100**

Oznaka	Rp _{0.2} [MPa]	Rm [MPa]	A [%]	KV [J]
EZ – SG 100	> 690	750 - 940	> 20	≥ 47 (-40 °C)

Za zaštitu električnog luka i kupke korišten je zaštitni gas klase M21, prema standardu EN ISO 14175:2008, trgovačkog naziva ArC-18 sa ostvarenim protokom od 14 l/min.

Predgrijavanje je vršeno na oba osnovna materijala. Temperatura predgrijavanja čeličnog liva, izračunata prema formuli Seferian-a, iznosi 200 °C.

$$T_{p\ G18CrMo4+QT} = 350 \cdot \sqrt{C_{G18CrMo4+QT} - 0.25} = 350 \cdot \sqrt{0.583 - 0.25} = 201.971\ ^\circ\text{C}$$

$$C_{G18CrMo4+QT} = CE \cdot (1 + 0.005 \cdot t) = 0.55 \cdot (1 + 0.005 \cdot 12) = 0.583$$

Prema istoj formuli, temperatura predgrijavanja čelika S355J2+N iznosi 75 °C, međutim zbog osjetljivosti čeličnog liva na zakaljivost, temperatura predgrijavanja čeličnog liva takođe je vršena na 200 °C.

Prilikom višeprolaznog zavarivanja, praćena je međuprolazna temperatura koja ne smije biti manja od temperature predgrijavanja, odnosno 200 °C, a ne smije preći 300 °C.

Parametri zavarivanja za svih 6 prolaza prikazani su u tabeli 5.

Tabela 5. Parametri zavarivanja**Table 5. Welding parameters**

Zavar	Jačina struje [A]	Napon [V]	Vrsta struje / polaritet	Brzina dodavanja žice [m/min]	Brzina zavarivanja [cm/min]	Unos toplote [kJ/mm]
1	160	26.4	DC+	4.2	18.2	1.184
2	200	28.0	DC+	4.7	22.4	1.275
3	210	28.4	DC+	4.9	23.5	1.294
4	195	27.8	DC+	4.8	21.5	1.286
5	205	28.2	DC+	5.0	23.5	1.255
6	190	27.6	DC+	4.6	24.1	1.110



Nakon zavarivanja izvršeno je žarenje na 580°C, sa zadržavanjem od 1 h, i međužarenje na 450 °C sa zadržavanjem 0.5 h. Brzina zagrijavanja 120°C/h, dok je brzina hlađenja 100°C/h uz kontrolisano hlađenje do 300°C, a zatim hlađenje na vazduhu.

3. Rezultati i diskusija

Nakon zavarivanja i termičke obrade, ispitni uzorak je podvrgnut ispitivanjima bez razaranja i sa razaranjem kojima se potvrđuje kvalitet tehnologije zavarivanja.

Provedenim ispitivanjima bez razaranja: vizuelno u skladu sa standardom EN ISO 17637, penetrantima u skladu sa standardom EN ISO 3452-1 i ultrazvučno u skladu sa standardom EN ISO 17640. Konstatovano je da zavareni ispitni uzorak zadovoljava relevantne zahtjeve prihvatljivosti.

Takođe, i ispitivanja sa razaranjem zadovoljila su pripadajuće zahtjeve prihvatljivosti. Rezultati ispitivanja prikazani su: bočnim savijanjem u Tabeli 6, ispitivanjem energije udara po metodi Šarpi u Tabeli 7, a poprečnim zatezanjem zavarenih epruveta u Tabeli 8.

Tabela 6. Rezultati ispitivanja bočnim savijanjem, prema standardu EN ISO 5173

Table 6. Bending test results, according to standard EN ISO 5173

Dimenzije [mm x mm]	Vrsta testa	Ugao savijanja [°]	Prečnik trna [mm]	Ocjena
10.0 x 12.0	Bočno	180	40	Zadovoljava
10.1 x 12.0	Bočno	180	40	Zadovoljava
10.0 x 12.3	Bočno	180	40	Zadovoljava
9.8 x 12.1	Bočno	180	40	Zadovoljava

Tabela 7. Rezultati ispitivanja energija udara po Šarpiju, prema standardu EN ISO 148-1

Table 7. Charpy impact test results, according to standard EN ISO 148-1

Dimenzije [mm x mm]	Položaj žljeba	Temperatura [°C]	Energija udara [J]	Srenja vrijednost energije udara [J]
10.0 x 10.0	Metal šava	-20	85	66.34
10.0 x 10.0	Metal šava	-20	53	
10.0 x 10.0	Metal šava	-20	61	
10.0 x 10.0	Linija stapanja 1	-20	43	42.67
10.0 x 10.0	Linija stapanja 1	-20	40	
10.0 x 10.0	Linija stapanja 1	-20	45	
10.0 x 10.0	Linija stapanja 2	-20	99	63.67
10.0 x 10.0	Linija stapanja 2	-20	40	
10.0 x 10.0	Linija stapanja 2	-20	52	
10.0 x 10.0	Linija stapanja 1+2	-20	51	72.34
10.0 x 10.0	Linija stapanja 1+2	-20	89	
10.0 x 10.0	Linija stapanja 1+2	-20	77	
10.0 x 10.0	Linija stapanja 2+2	-20	132	125
10.0 x 10.0	Linija stapanja 2+2	-20	112	
10.0 x 10.0	Linija stapanja 2+2	-20	131	



U Tabeli 7, položaj žljeba označen sa „Linija stapanja 1“ predstavlja na ispitnoj epruveti za ispitivanje energije udara urezan žljeb na liniji stapanja metala šava sa čeličnim livom G18CrMo4QT, a „Linija stapanja 2“ sa S355J2+N,

dok „Linija stapanja 1+2“ predstavlja položaj žljeba 2 mm od linije stapanja u zoni uticaja toplote u čeličnom livu G18CrMo4QT, a „Linija stapanja 2+2“ predstavlja položaj žljeba 2 mm od linije stapanja u zoni uticaja toplote u čeliku S355J2+N.

Tabela 8. Rezultati ispitivanja poprečnim zatezanjem, prema standardu EN ISO 4136

Table 8. Results of the transverse tensile test, according to standard EN ISO 4136

Dimenzije [mm x mm]	R _m [MPa]	F _m [kN]	Lokacija preloma
12.0 x 25.2	588	177.8	Osnovni materijal S355J2+N
12.4 x 25.1	555	171.4	Osnovni materijal S355J2+N

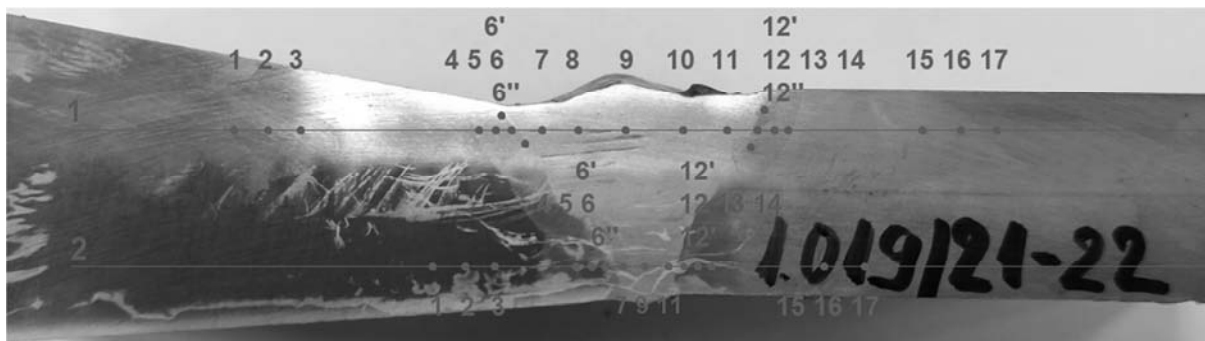
Rezultati ispitivanja tvrdoće na ispitnom uzorku izvršenom u skladu sa standardom EN ISO 9015-1:2011, po metodi HV₁₀, dati su u Tabeli 9, položaj

mjernih tačaka na Slici 2, a dijagram raspodjele tvrdoće na Slici 3.

Tabela 9. Rezultati ispitivanja tvrdoće, prema standardu BAS EN ISO 9015

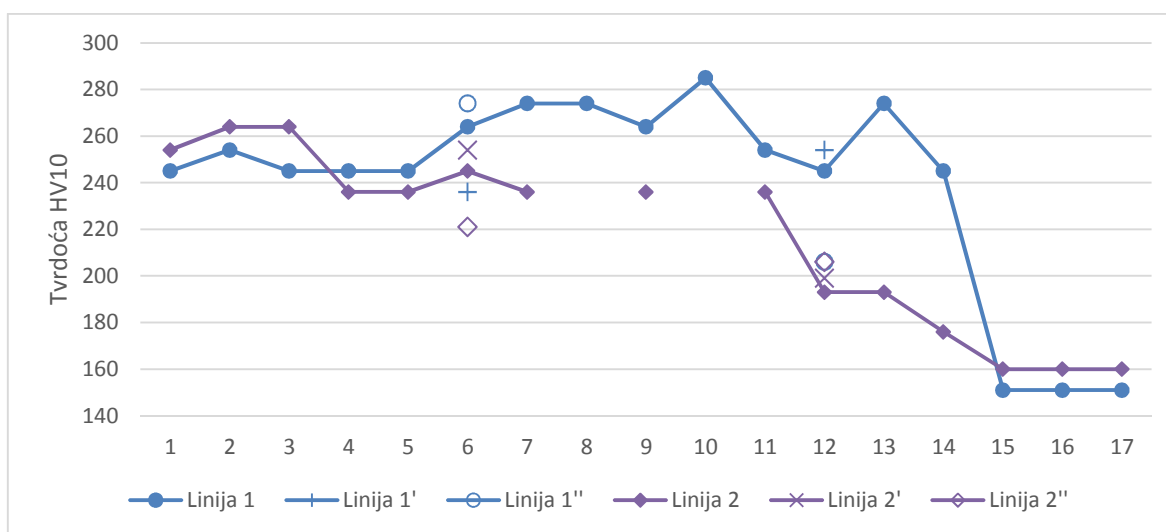
Table 9. Hardness test results, according to standard BAS EN ISO 9015

Materijal	Ispitna tačka	Mjerna linija	
		1	2
G18CrMo4+QT	1	245	254
	2	254	264
	3	245	264
Zona uticaja toplote	4	245	236
	5	245	236
	6	264	245
	6'	236	254
Metal šava	6"	274	221
	7	274	236
	8	274	
	9	264	236
	10	285	
Zona uticaja toplote	11	254	236
	12	245	193
	12'	254	199
	12"	206	206
	13	274	193
S355J2+N	14	245	176
	15	151	160
	16	151	160
	17	151	160



Slika 2. Položaj mjernih tačaka pri ispitivanju tvrdoće zavarenog spoja

Figure 2. Position of measuring points in the hardness testing of a welded joint

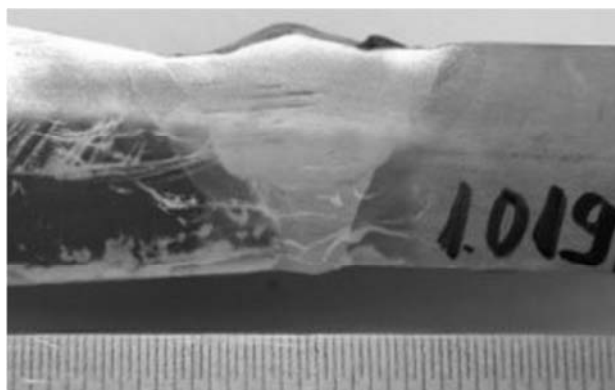


Slika 3. Dijagram raspodjele tvrdoće zavarenog spoja

Figure 3. Diagram of the hardness distribution of the welded joint

Analizom dijagrama raspodjele tvrdoće vidi se da je, nakon termičke obrade zavarenog uzorka, tvrdoća ujednačenija sa strane čeličnog liva u: osnovnom materijalu, zoni uticaja toplote i metalu šava uz zadovoljen uslov da je $HV_{10} < 300$, u odnosu na stranu čelika S355J2+N koja takođe zadovoljava kriterijum prihvatljivosti $HV_{10} < 300$.

Makroskopskom analizom pripremljenog uzorka, koja je izvršena u skladu sa standardom EN ISO 17639:2013 konstatovano je da zavareni spoj zadovoljava u pogledu geometrije, da je bez nesavršenosti na linijama stapanja i po dubini penetracije, uz ujednačenu širinu zone uticaja toplote u oba osnovna materijala.



Slika 4. Makroskopski snimak zavarenog spoja

Figure 4. Macroscopic image of the welded joint



4. Zaključak

Na kvalitet zavarenog spoja utiče niz faktora čiji uticaji mogu biti uzajamno povezani i međusobno zavisni. Pri zavarivanju raznorodnih materijala bitan uticaj na kvalitet zavarenog spoja imaju: izbor dodatnog materijala, parametri zavarivanja, kao i režimi predgrijavanja, održavanja međuprolazne temperature i naknadne termičke obrade.

Analizom prikazanih rezultata ispitivanja, vidljivo je da su izborom dodatnog materijala EZ-SG 100 i režima zavarivanja i termičke obrade, dobijene karakteristike metala šava sa svojstvima sličnijim čeličnom liva G18CrMo4+QT.

Mehanička svojstva ZUT-a sa strane čeličnog liva imaju ujednačena svojstva, uz blagi pad žilavosti na granici stapanja. U ZUT-u na strani čelika S355J2+N u površinskom sloju došlo do ojačanja materijala uz istovremeni porast i tvrdoće i žilavosti, dok svojstva u korjenom prolazu odgovaraju prelaznim vrijednostima između svojstava metala šava i čelika S355J2+N.

Kroz ispitivanja prikazana u radu dokazano je da je izborom dodatnog materijala oznake EZ-SG 100, uz primjenu prikazanih parametara: zavarivanja, predgrijavanja i naknadne termičke obrade, ostvaren zavareni spoj čeličnog liva G18CrMo4+QT i konstrukcionog čelika S355J2+N koji zadovoljava kriterijume prihvatljivosti.

Kroz naredne eksperimente bilo bi zanimljivo uporedi rezultate ispitivanja zavarenog uzorka pri čemu bi se koristio dodatni materijal iste klase ali od drugog proizvođača.

Literatura / References

- [1] Dobraš, D., (2016), Zavarivanje, Univerzitet u Banjoj Luci, Mašinski fakultet, Banja Luka.
- [2] <https://www.slideshare.net/SafeMetal/alloy-data-sheet-g18crmo4>, (8.4.2021.).
- [3] https://medium.com/@palak_69848/en-10025-s355j2-n-steel-plate-characteristics-and-al-2386248eb188, (8.4.2021.).
- [4] Standard ISO/TR 15608:2017 (2017)

4. Conclusion

The quality of the welded joint is influenced by a number of factors whose influences can be interconnected and interdependent. In welding dissimilar materials, the following have a significant impact on the quality of the welded joint: the selection of filler material, welding parameters, as well as preheating mode, maintenance of interpass temperature and post weld heat treatment.

Analysis of the presented test results it is evident that the selection of filler material EZ-SG 100 and the applied mode of welding and heat treatment, the characteristics of the weld metal with properties similar to cast iron G18CrMo4 + QT were obtained

The mechanical properties of HAZ on the steel casting side have uniform properties, with a slight decrease in toughness at the fusion line. In HAZ on the side of steel S355J2 + N in the surface layer there was a strengthening of the material with a simultaneous increase in hardness and toughness, while the properties of the root pass correspond to the transition values between the properties of weld metal and steel S355J2 + N.

Based on the tests results presented in the paper, it was proved that the selection of filler material marked as EZ-SG 100, using the applied parameters: welding, preheating and post heat treatment, it is obtained a welded joint of cast steel G18CrMo4 + QT and structural steel S355J2 + N that meets the acceptance criteria.

Through the further experiments, it would be interesting to compare the test results of a welded sample using filler material of the same class but from a different manufacturer.

- [5] Dobraš, D., Bukejlović, N., (2015), HARDOX 450 - Prilog ocjeni zavarljivosti, Proceedings DEMI 2015, 12th International Conference on Accomplishments in Electrical and Mechanical Engineering and Information Technology, University of Banja Luka, Faculty of Mechanical Engineering, 29 - 30th May 2015, 181 – 187.
- [6] Smiljanić, M., (2006), Zavarljivi finozrni čelici – sposobnost zavarivanja i zavrivanje, Zavarivanje i zavarene konstrukcije 51,4, 155-164.
- [7] Mišina, N., Oršulić, M., Polajnar, I., (2003), Zavarljivost mikrolegiranih poboljšanih čelika rabljenih u brodogradnji, Brodogradnja i strojarstvo, 50, 5-6, 174 – 180.



Republičko takmičenje mladih zavarivača „Mladi zavarivač 2022“, Kragujevac, 13-14. maj 2022

U petak i subotu, 13-14. maja 2022. godine u Srednjoj stručnoj školi u Kragujevcu, u okviru Republičkog takmičenja učenika Mašinskih škola, održano je takmičenje mladih zavarivača.

Prijavljeno je 45 takmičara iz 19 srednjih mašinskih škola, po postupcima: 20 za MAG, 16 za REL i 9 za TIG, a revijalno su učestvovala i dva predstavnika iz SIC Ljubljana u postupcima REL i MAG. Od srednjih škola iz Srbije, učestvovala su škole: Srednja škola Krupanj, Srednja mašinska škola Novi Sad, Tehnička škola Zrenjanin, Tehnička škola "Zmaj" Novi Beograd, TŠ "Mileta Nikolić" Aranđelovac, Mašinska škola Niš, Mašinska škola "Pančevo" Pančevo, Srednja tehnička škola Sombor, Tehnička škola Požega, Prva tehnička škola Kruševac, Tehnička škola Mladenovac, Tehnička škola "Kolubara" Lazarevac, Srednja stručna škola Kragujevac, TŠ "17 septembar" Lajkovac, Srednja škola "Dragačevo" Guča, Tehnička škola Vlasotince, TŠ "1300 kaplara" Ljig, Tehnička škola "9 maj" Bačka Palanka, Tehnička škola Obrenovac.

Takmičenje je organizovano u dva dana, pa je tako petak, 13.05. bio predviđen za dolazak i prijavljivanje takmičara, svečano otvaranje, upoznavanje učesnika sa pravilima bezbednosti i zdravlja na radu i izradu praktičnih radova u tri postupka zavarivanja (111-REL, 135-MAG i 141-TIG). Praktični deo takmičenja obavljen je u kompaniji AMM Manufacturing u MIND Parku.



Otvaranje takmičenja



MIND Park





Članovi DUZS su učestvovali u radu Organizacionog odbora takmičenja i u delu ocenjivanja uzoraka sa praktičnog dela.



Ocenjivanje uzoraka sa praktičnog dela



U subotu, 14.05., takmičari su radili test znanja u Srednjoj stručnoj školi u Kragujevcu, a nakon objavljivanja rezultata i roka za prigovore, upriličeno je proglašenje pobjednika i dodjela nagrada.

Najuspješniji takmičari po postupcima:

Postupak 111 – REL		
Učenik	Mentor	Škola
1. Luka Platanić	Ivan Gajić	Tehnička škola "Kolubara" Lazarevac
2. Gabrijel Vaci	Aleksandra Timotijević	Mašinska škola "Pančevo"
3. Đorđe Živojinović	Miroslav Obradović	TŠ "1300 kaplara" Ljig

Postupak 135 – MAG		
Učenik	Mentor	Škola
1. Marko Radičević	Ivan Gajić	Tehnička škola "Kolubara" Lazarevac
2. Filip Milosavljević	Ranko Radivojević	Tehnička škola "Zmaj" Novi Beograd
3. Marijana Petković	Milovan Vasiljević	TŠ "17 septembar" Lajkovac

Postupak 141 – TIG		
Učenik	Mentor	Škola
1. Aleksandar Stojanović	Dobrosav Jovanović	Srednja stručna škola Kragujevac
2. Saša Janić	Milan Serdar	Tehnička škola Obrenovac
3. Sreten Janković	Dobrosav Jovanović	Srednja stručna škola Kragujevac



Proglašenje pobjednika



Saša Pejkić^{1,a}

PREGLAD STANDARDA ZA OBLOŽENE ELEKTRODE OVERVIEW OF STANDARDS FOR COATED ELECTRODES

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: Standard, obložene elektrode

Adresa autora / Author's address:

¹ EPS Ogranak TENT, Srbija

^aE mail: sasa.pejki@eps.rs

Key words: Standard, coated electrodes

Rezime

Najznačajniji međunarodni i nacionalni standardi koji regulišu nazive, hemijske sastave i mehaničke osobine obloženih elektroda, međusobno se prepliću i dopunjavaju, a pojedini standardi imaju velike sličnosti i često su proistekli jedan iz drugog. Iz tog razloga ne postoji precizno određena granica, koja definiše razliku između obloženih elektroda koje se koriste za zavarivanje određene grupe materijala. U radu će se razmotriti proizvođački način grupisanja obloženih elektroda u zavisnosti od standarda ili u zavisnosti od namene i hemijskog sastava.

Uvod

Potreba da se klasifikuju dodatni materijali za zavarivanje, zahtevala je stvaranje raznih tehničkih upustava koji bi i za obložene elektrode omogućili njihovu klasifikaciju. Tako su nastali nacionalni standardi u SAD i Nemačkoj, iz kojih je proizašao i niz nacionalnih i međunarodnih standarda. Na primer evropski standard EN 499, pre usklađivanja sa međunarodnim standardom, identično su usvojile nacionalne organizacije zavarivanja poput: I.S. EN 499:1995 (Irska); UNE-EN 499:1995 (Španija); DIN EN 499:1995-01 (Nemačk); BS EN 499: 1995 (Engleska) itd.

Kako bi korisniku olakšali prepoznavanje dodatnih materijala za zavarivanje proizvođači su se oslonili na najznačajnije nacionalne i međunarodne standarde i u svojim katalozima ih koriste, bez obzira da li su zamenjeni sa novim. Većina proizvođača obloženih elektroda je izvršio klasifikaciju u katalozima prema spomenutim standardima, što je istovremeno razdvojilo postupke zavarivanja. Međutim, proizvođači poput Bellera, UTP i Thermanit su standarde i postupke prilagodili

Abstract

The most important international and national standards that regulate the names, chemical compositions and mechanical properties of coated electrodes are intertwined and complementary, and some standards have great similarities and often derive from each other. For that reason, there is no precisely defined limit, which defines the difference between coated electrodes that are used for welding a certain group of materials. The paper will consider the manufacturing method of grouping coated electrodes depending on the standard or depending on the purpose and chemical composition

materijalima koji se zavaruju. Tako se u njihovim katalozima može pronaći serija standarda-postupaka za zavarivanje iste ili slične grupe materijala. U radu će se zbog obimnosti, koristiti skraćeni nazivi standarda.

1. Standardi koji opisuju obložene elektrode za zavarivanje ugljeničnih, nelegiranih i fino-zrnih čelika

Nemački nacionalni standardi za klasifikaciju obloženih elektroda su bili osnova iz kojih su nastali evropski standardi, a oni zajedno sa američkim standardima čine osnovu međunarodnih ISO standarda. Tako standard EN 2560 je identično usvojio ANSI (American National Standards Institute) ISO/TC 44/SC 3, pod istim nazivom (Welding consumables — Covered electrodes for manual metal arc welding of non-alloy and fine grain steels — Classification).

Standardi EN ISO 2560-A i EN 499 su suštinski isti i kod izbora elektroda nema razlike. Obeležavanje



obloženih elektroda po jednom ili drugom standardu, smatramo da je isto.

Međunarodni standard EN ISO 2560 (A i B) je kombinacija dva sistema obeležavanja obloženih elektroda. Jedno obeležavanje koristi sistem označavanja zasnovan na granici tečenja i prosečnoj energiji udara metala šava od 47J i obeležavaju se sa sufiksom „A“, koji je proistekao iz standarda EN 499, dok drugi deo standarda koristi sistem zasnovan na klasifikaciji prema minimalnoj zateznoj čvrstoći i prosečnoj energiji

udara metala šava od 27J i obeležavaju se sa „B“. Njega su danas sve evropske asocijacije usvojile kao nacionalne standarde, dodajući svoju nacionalnu oznaku ispred međunarodnog naziva standarda, kao što je usvojio i srpski standard SRPS EN ISO 2560.

Standardi ГOCT 9466/75 i ГOCT 9467/75 – Klasifikacija obloženih elektroda za niskouglenične i niskolegirane čelike, su standardi koji se primenjuju u većini zemalja bivšeg SSSR-a.

Tabela 1. Najčešće korišćeni, zamenjeni i aktivni međunarodni i nacionalni standardi, za klasifikaciju obloženih elektroda za zavarivanje ugljeničnih, nelegiranih i fino-zrnih čelika

Table 1. Most commonly used, replaced and active international and national standards, for the classification of coated electrodes for welding carbon, non-alloy and fine-grained steels

Nacionalni i međunarodni standardi	Redosled godina izdavanja	Skraćeni naziv standarda	Ovaj dokument zamenjuje
DIN 1913	1976, 1984	Klasifikacija obloženih elektroda za zavarivanje nelegiranih i niskolegiranih čelika	Osnovni standard iz kojeg su proistekli ostali evropski standardi
EN 499	1994, 1995	Klasifikacija obloženih elektroda za zavarivanje ugljeničnih, mekih, nelegiranih i fino-zrnih čelika	DIN1913-1: 1984 (06)
EN ISO 2560 (A i B)	2009, 2010, 2013, 2020	Klasifikacija obloženih elektroda za zavarivanje niskolegiranih i fino-zrnih čelika	EN 499
AWS A5.1/A5.1M	1969, 1978, 1981, 1991, 2004, 2012	Klasifikacija obloženih elektroda za zavarivanje ugljeničnih čelika	Osnovni standard proizašao iz serije standarda započetih od 1940. godine
ГOCT 9466/75 i ГOCT 9467/75	1975, 1988, 1990, 2004, 2007	Klasifikacija obloženih elektroda za niskouglenične i niskolegirane čelike	ГOCT 9466-60 i ГOCT 9467-60

American Welding Society, Inc. je izdavač američkih standarda kao što je AWS A5.1/A5.1M. Ovaj standard je naslednik osnovnih standarda iz 1940. godine ASTM A 233-40T pod nazivom: Okvirne specifikacije za elektrode za zavarivanje

gvožđa i čelika. Ove specifikacije su dopunjavane 1942, 1943, 1945, 1948, 1955, 1958, 1964, da bi 1969. godine, kada je došlo do suštinskih promena standarda i forme i naziva kakvog danas poznajemo.

**Tabela 2. Primeri proizvođačke klasifikacije obloženih elektroda prema standardima****Table 2. Examples of manufacturer classification of coated electrodes according to standards**

Proizvođači obloženih elektroda (Primeri)	Najčešće korišćeni standardi za klasifikaciju obloženih elektroda za zavarivanje ugljeničnih čelika						Najčešće korišćeni standardi za klasifikaciju obloženih elektroda za zavarivanje čelika otpornih na puzanje, visokočvrstih i niskolegiranih čelika									
	DIN 1913	EN 499	EN ISO 2560 A i B	AWS A5.1 / A5.1M	FOCT 9466/75 9467/75	JIS Z3211	DIN 8529	DIN 8575	EN 757	EN 1599	EN ISO 18275	EN ISO 2560-A	EN ISO 3580 A i B	AWS A5.5	FOCT 9466/75 9467/75	JIS Z3211
Askaynak			2-A	1							3		2	1		
Abrador			2	1									2	1		
Bremer	1			2				1								
Beller			1	2							1			2		
Castolin	2	1		3												
Cat			2-A	1							2	4	3-A	1		
Ceweld	1			2			1	2						3		
Choson				1		2								1		2
Elga			1-A	2									1	2		
Selectars			1								1		2-A			
Erlicon	1		3	2									3	2		
Esab			2-A	1	3						4	3	2-A	1		
EWM			2-A	1									2-A	1		
GeKa			1-A	2										1		
Kobelko			1	2		3										
Linkoln			2-B	1									2-AB	1		
Metrode													2-AB	1		
TehnoLit		2	1-A	3									1-A			
Thermanit		1		2					3	1				2		

Napomena: 1-3 poređenje od najvažnije ka manje bitnoj klasifikaciji

2. Standardi koji opisuju obložene elektrode namenjene za zavarivanje niskolegiranih visokočvrstih, fino-zrnih i čelika otpornih na puzanje

Od najznačajnijih evropskih i međunarodnih standarda koji se koriste za zavarivanje spomenutih čelika izdvajaju se: standardi EN 757 i EN ISO 18275-A koji su gotovo identični standardi sa same

dve razlike, jer standard EN 757 predviđa samo zaštitnu oblogu bazičnog tipa i sadržaj vodonika od H5 i H10 ml/100 gr metala šava, dok standard EN ISO 18275 ove oblasti proširuje. Ista pravila važe za standarde EN ISO 3580-A i EN 1599. EN ISO 3580 - (A i B) - Klasifikacija obloženih elektroda za čelike otporne na puzanje



Tabela 3. Najčešće korišćeni, zamenjeni i aktivni međunarodni i nacionalni standardi za klasifikaciju obloženih elektroda za zavarivanje niskolegiranih visokočvrstih, fino-zrnih i čelika otpornih na puzanje

Table 3. Most commonly used, replaced and active international and national standards for the classification of coated electrodes for welding low-alloy high-strength, fine-grained and creep-resistant steels

Nacionalni i međunarodni standardi	Redosled godina izdavanja	Skraćeni naziv standarda	Ovaj dokument zamenjuje
DIN 8529	1981 1992	Klasifikacija obloženih elektroda za visokočvrste i fino-zrne čelike	DIN 1913-2
EN 757	1997	Klasifikacija obloženih elektroda za visokočvrste čelike	DIN 8529
EN ISO 18275	2011 2012 2018	Klasifikacija obloženih elektroda za visokočvrste čelike	EN 757
EN ISO 3580-A	2008 2011 2017	Klasifikacija obloženih elektroda za zavarivanje čelika otpornih na puzanje (vatro otpornih čelika)	EN 1599
DIN 8575	1970 1984	Klasifikacija dodatnih materijala za zavarivanje čelika otpornih na puzanje	Osnovni standard
EN 1599	1997	Klasifikacija obloženih elektroda za zavarivanje čelika otpornih na puzanje (vatro otpornih čelika)	DIN 8575
EN ISO 3580-B	2008 2017	Klasifikacija obloženih elektroda za zavarivanje niskolegiranih i fino-zrnih čelika	EN 1599
AWS A5.5/A5.5M	1954, 1964 1969, 1981 1996, 2006	Klasifikacija obloženih elektroda za niskolegirane čelike	AWS A5.5–48T
ГОСТ 9466/75 i ГОСТ 9467/75	1975, 1988, 1990, 2004, 2007	Klasifikacija elektroda za zavarivanje legiranih čelika zatezne čvrstoće veće od 600MPa sa garantovanom žilavošću na niskim temperaturama	ГОСТ 9466-60 i ГОСТ 9467-60

Kod AWS standarda ne postoji precizno određena razlika između obloženih elektroda koje se koriste za zavarivanje samo mekih čelika ili niskolegiranih čelika. Karakteristično je da postoji minimalna zatezna čvrstoća koju moraju obložene elektrode za meke čelike da ispune da bi se koristile za zavarivanje niskolegiranih čelika, pri tome standard AWS A5.5 uzima u obzir sadržaj

metala kako bi se odabrala adekvatna elektroda, za razliku od AWS A5.1, kod koga su te razlike zanemarljive kada se zavaruje većina uobičajenih ugljeničnih čelika. Razlika između standarda koji služe za klasifikaciju obloženih elektroda za niskolegirane čelike, AWS: 5.5 i AWS A5.5M je korišćenju različitog sistema mernih jedinica.

Tabela 4. Najčešće korišćeni međunarodni i nacionalni standardi za klasifikaciju obloženih elektroda za zavarivanje niskolegiranih u zavisnosti od vrste niskolegiranih čelika

Table 4. The most commonly used international and national standards for the classification of coated electrodes for low-alloy welding depending on the type of low-alloy steels

Niskolegirani čelici sledećeg tipa	Uporedne oznake standarda							
	ISO	EU CEN	USA AWS	Japan JIS	Kina GB/T	Rusija ГОСТ	Britanija BS	Nemačka DIN
Srednje čvrsti	14341	EN499	A5.5	Z3212; 14 i 21	5118	9467	2493	8575
Cr-Mo	3580	EN1599		Z3223				
Visoko čvrsti	18275	EN757		Z3212				



3. Standardi koji opisuju elektrode namenjene za zavarivanje visokolegiranih čelika

Na svetskom tržištu, u suštini, postoje dva različita pristupa klasifikaciji dodatnog materijala za zavarivanje nerđajućeg čelika. Prvi je sistem označavanja koji koristi maseni procenat u sastavu legure. Ovaj način u svom nazivu koristi oznake za klasifikacija glavnih legirajućih elemenata u određenom nizu, pri čemu se koristi numerički način označavanja uz pojavu simbola glavnih legirajućih hemijskih elemenata, odnosno zasniva se

pretežno na ISO EN 3581 A i B. Drugi način označavanja je sličan označavanju kvaliteta legure, koji koristi tradiciju, zasnovana na tri ili četiri cifre za određene originalne ocene, ponekad praćena jednim ili više simbola hemijskog elementa koji ukazuju na modifikaciju kompozicije originala. Sistem klasifikovanja ISO EN 3581 A i B, prema tipu legure, uglavnom se zasniva na standardima koji se koriste u državama koje su oslonjene na Pacifik. U oba pristupa, klasifikacija se zasniva na hemijskom sastavu proizvoda.

Tabela 5. Najčešće korišćeni, zamenjeni i aktivni međunarodni i nacionalni standardi za klasifikaciju obloženih elektroda za zavarivanje visokolegiranih čelika

Table 5. Most frequently used, replaced and active international and national standards for the classification of coated electrodes for welding high-alloy steels

Nacionalni i međunarodni standardi	Redosled godina izdavanja	Skraćeni naziv standarda	Ovaj dokument zamenjuje
DIN 8556	1986	Klasifikacija obloženih elektroda za zavarivanje nerđajućih i vatrootpornih čelika	Osnovni standard
EN 1600	1997 2012	Klasifikacija obloženih elektroda za zavarivanje vatrootpornih i nerđajućih čelika	DIN 8556
EN ISO 3581	1976, 2012 2016	Klasifikacija obloženih elektroda za zavarivanje vatrootpornih i nerđajućih čelika	EN 1600
AWS A5.4/A5.4M	1969, 1975, 1978, 1981, 1992, 2006	Klasifikacija obloženih elektroda za zavarivanje nerđajućih čelika	ASTM A298-46T
ГОСТ 10052	1975	Klasifikacija obloženih elektroda za zavarivanje nerđajućih čelika	ГОСТ 10052-62

Tabela 6. Primeri proizvođačke klasifikacije obloženih elektroda prema standardima

Table 6. Examples of manufacturer classification of coated electrodes according to standards

Proizvođači obloženih elektroda (Primeri)	Najčešće korišćeni standardi za klasifikaciju obloženih elektroda za zavarivanje visokolegiranih čelika						Najčešće korišćeni standardi za klasifikaciju obloženih elektroda za navaranje						
	DIN 8556	EN 1600	EN ISO 3581	AWS A5.4 / A5.4M	ГОСТ 10052/75	JIS Z3221	DIN 8555	EN 14700	EN ISO 3581	AWS A5.13/ A5.13M	10051/75 I 10543/75	ГОСТ 984	GB/T 984
Askaynak		2	3	1			1	2					
Abrador			2-A	1									
Afox							1	3		2			
Arcos				1									
Awesta		1		2									
Beller		1		2									
Bremer	1			2			1						
Castolin	1		3	2			1						
Cat		2	3-A	1						1			



Ceweld	1			2			1					
Choson				1		2						
Daiko				1								
Elga			1	2						1		
Selectars			2	1								
Erlicon	1		3	2			1				2	
Esab			1-A	2				1			2	
EWM			2-A	1								
GeKa			1-A	2			2	1			3	
ITW				1								
Linkoln				1							1	
McKayHolbart				1								
Metrode			2	1								
Tehnolit			1-A	2			2	1				
Thermanit		1		2								
UTP		1		2			1	2			3	

Napomena: 1-3 poređenje od najvažnije ka manje bitnoj klasifikaciji

Cilj standarda ISO EN 3581 A i B je da se omogući korišćenje oba principa u zavarivanju. U mnogim slučajevima, čist metal zavarenog spoja može biti klasifikovan sa oba pristupa označavanja elektroda, jer se rasponi hemijskog sastava, iako donekle malo različiti, preklapaju u značajnoj meri.

Oznaka prema jednom ili oba tipa klasifikacije, identifikuje čist metal zavarenog spoja kao klasifikovan prema međunarodnom standardu ISO 3581. Zahvaljujući tome stručnjaci u zavarivanju mogu koristiti oba označavanja, a da pri tome ne odstupe od međunarodnog standarda.

Od ostalih standarda izdvajaju se Japanski JIS: Z3221; Kineski GB/T: 983; Britanski BS: 2926(zamenjen) itd.

4. Standardi koji opisuju obložene elektrode namenjene za navarivanje

Standardi koji opisuju obložene elektrode za zavarivanje namenjene navarivanju samo se u nekoliko segmenata podudaraju. Svako označavanje elektroda u katalogima proizvođača treba posmatrati prema prioritarnom standardu, a naredni se podudaraju u nekim segmentima.

Tabela 7. Najčešće korišćeni, zamenjeni i aktivni međunarodni i nacionalni standardi za klasifikaciju obloženih elektroda za navarivanje čelika

Table 7. Most frequently used, replaced and active international and national standards for the classification of coated electrodes for steel surfacing

Nacionalni i međunarodni standardi	Redosled godina izdavanja	Skraćeni naziv standarda	Ovaj dokument zamenjuje
DIN 8555	1978, 1981 2005, 2013	Klasifikacija elektroda za zavarivanje i navarivanje nelegiranih, niskolegiranih i finoznih (konstrukcionih) čelika	Osnovni standard
EN ISO 14700	2005 2014	Klasifikacija obloženih elektroda za navarivanje	DIN 8555
AWS A5.13	1970, 1980 2000, 2010	Klasifikacija obloženih elektroda za navarivanje	ASTM A 399-56T
ГОСТ 10051/75 ГОСТ 10543/75	1975	Klasifikacija elektroda za navarivanje čelika	ГОСТ 9466-60

5. Standardi koji opisuju elektrode namenjene za zavarivanje livenih gvožđa

Najčešće korišćeni, zamenjeni i aktivni međunarodni i nacionalni standardi za klasifikaciju

obloženih elektroda za zavarivanje livenih gvožđa prikazani su u Tabeli 8, a u Tabeli 9. prikazani su primeri proizvođačke klasifikacije obloženih elektroda prema standardima.



Tabela 8. Najčešće korišćeni, zamenjeni i aktivni međunarodni i nacionalni standardi za klasifikaciju obloženih elektroda za zavarivanje livenih gvožđa

Table 8. Most commonly used, replaced and active international and national standards for the classification of coated electrodes for welding cast iron

Nacionalni i međunarodni standardi	Redosled godina izdavanja	Skraćeni naziv standarda	Ovaj dokument zamenjuje
DIN 8573-2	1978	Klasifikacija obloženih elektroda za zavarivanje livenih gvožđa	Osnovni standard
EN ISO 1071	2001, 2015	Klasifikacija obloženih elektroda za zavarivanje livenih gvožđa	DIN 1736
AWS A5.15	1969, 1982, 1990	Klasifikacija obloženih elektroda za zavarivanje livenih gvožđa	AWS A5.15-54T

Tabela 9. Primeri proizvođačke klasifikacije obloženih elektroda prema standardima

Table 9. Examples of manufacturer classification of coated electrodes according to standards

Proizvođači obloženih elektroda (Primeri)	Najčešće korišćeni standardi za klasifikaciju obloženih elektroda za zavarivanje livenih gvožđa			Najčešće korišćeni standardi za klasifikaciju obloženih elektroda za zavarivanje nikla i njegovih legura				Najčešće korišćeni standardi za klasifikaciju obloženih elektroda za zavarivanje aluminijuma, bakra i njegovih legura			
	DIN 8573-2	EN ISO 1071	AWS A5.15 / A5.5M	DIN 1736	EN ISO 14172	AWS A5.11 / A5.11M	JIS Z3224	DIN 1733	AWS A5.6 / A5.6M	DIN 1732	AWS A5.3 / A5.3M
Askaynak		2	1								
Abrador		2	1		2	1			1	2	1
AS								2	1	2	1
Bremer				1		2					
Beller		1	2		1	2					
Castolin		1	2								
Capila	2	1	3		1						
Cat		2	1		2	1		2	1	2	1
Ceweld				1		2				1	2
Elga		1	2		1	2					
Daiko					2	1					
Selectars	3	2	1		2	1		2	1	2	1
Erlicon				1		2				1	2
Esab		1			2	1		1	2	1	2
EWM		2	1		2	1					
GeKa		1	2		1	2					
Hundai					3	2	1				
Linkoln			1			1					
Tehnolit		1	2								
Thermanit		1	2		1	2					
UTP		1	2		1	2					



6. Standardi koji opisuju elektrode namenjene za zavarivanje nikla i obojenih legura

Najčešće korišćeni, zamenjeni i aktivni obloženih elektroda za zavarivanje nikla i njegovih međunarodni i nacionalni standardi za klasifikaciju legura prikazani su u Tabela 10.

Tabela 10. Najčešće korišćeni, zamenjeni i aktivni međunarodni i nacionalni standardi za klasifikaciju obloženih elektroda za zavarivanje nikla i njegovih legura

Table 10. Most frequently used, replaced and active international and national standards for the classification of coated electrodes for welding nickel and its alloys

Nacionalni i međunarodni standardi	Redosled godina izdavanja	Skraćeni naziv standarda	Ovaj dokument zamenjuje
DIN 1736	1985	Klasifikacija obloženih elektroda za zavarivanje i nikla i njegovih legura	Osnovni standard
EN ISO 14172	2002, 2003, 2005, 2016	Klasifikacija obloženih elektroda za zavarivanje i nikla i njegovih legura	DIN 1736
AWS A5.11	1969, 1975, 1976, 1983, 1990, 1997	Klasifikacija obloženih elektroda za zavarivanje i nikla i njegovih legura	AWS A5.11-54T

7. Standardi koji opisuju elektrode namenjene za zavarivanje aluminijuma, bakra i njihovih legura

Zavarivanje bakra, aluminijuma i njihovih legura kada su u pitanju standardi, vrlo su škrto obrađeni. Međutim, ovoj problematici više proizvođača obraća pažnju, što se može videti iz Tabele 9. Od najznačajnijih standarda za zavarivanje bakra i

njegovih legura izdvaja ju se AWS A5.6 i DIN 1733, jer to su standardi koji su najčešće spomenuti. Pored njih su aktivni i nacionalni standardi JIS Z3231 i GB/T3670. Kada je u pitanju aluminijum i njegove legure najvažniji standardi su AWS A5.3 i DIN 1732, dok ostali nacionalni standardi i ne razmatraju ovu problematiku.

8. Zaključak

Većina proizvođača obloženih elektroda u svojoj klasifikaciji prvenstveno se oslanja na klasifikaciju koju je izdalo Američko društvo za standardizaciju (AWS) ili se ono nalazi na sledećem mestu, kao nezaobilazan deo klasifikacije. Obložene elektrode za aluminijum, bakar i njihove legure nemaju prioritet u zavarivanju aluminijuma. Evropski i ISO međunarodni standardi nisu izradili standarde za obložene elektrode ovog tipa. Analizom dostupnih kataloga može se zaključiti da nacionalni standardi kao što su ruski, kineski i japanski standardi vrlo retko se pojavljuju, ali su oni nezaobilazni u katalogima namenjenim nacionalnim tržištima i katalogima drugih proizvođača koji nastupaju na tim tržištima.

8. Conclusion

Most coated electrode manufacturers in their classification primarily rely on the classification issued by the American Society for Standardization (AWS) or it is in the next place, as an unavoidable part of the classification. Coated electrodes for aluminum, copper and their alloys have no priority in aluminum welding. European and ISO international standards have not developed standards for coated electrodes of this type. An analysis of the available catalogs leads to the conclusion that national standards such as Russian, Chinese and Japanese standards are very rare, but they are indispensable in catalogs intended for national markets and catalogs of other manufacturers appearing in those markets.

Literatura / References

[1] Saša Pejkić: Inženjersko radionički priručnik- Obložene elektrode za zavarivanje, priprema za štampu

[2] Katalogi proizvođača prema tabelama br. 2, 6 i 9.

UPUTSTVO AUTORIMA I SARADNICIMA

Časopis **ZAVARIVANJE I ZAVARENE KONSTRUKCIJE (ZZK)** je naučno-stručni časopis čiji je zadatak afirmacija naučnih istraživanja, razmena stručnih saznanja i praktičkih iskustava, kontinualno obrazovanje i sveobuhvatno informisanje svih onih koji imaju interesovanje za tehniku i tehnologiju zavarivanja, termičkog rezanja i lemljenja. Autorski radovi podležu recenziji i mogu da budu svrstani u jednu od sledećih kategorija:

Originalni naučni rad (Original scientific paper) je neobjavljeni rad koji doprinosi naučnom saznanju ili shvatanju, a omogućava da se na osnovu datih informacija može: ponoviti eksperiment i postići prikazane rezultate sa istom tačnošću ili unutar granica eksperimentalne greške prema navodima autora i ponoviti autorova zapažanja, proračune ili teorijske navode i doneti slične zaključke.

Prethodno saopštenje (Preliminary communication) je rad koji sadrži nova naučna saznanja ili rezultate čiji karakter zahteva hitno objavljivanje. Rad obavezno sadrži jedan ili više novih podataka, naučnih informacija, ali bez dovoljno pojedinosti koje bi omogućile čitaocu proveru iznesene informacije na opisan način.

Pregledni rad (Review) izveštava o nekom posebnom pitanju o kome je već objavljivana informacija, samo je to ovde sakupljeno, analizirano, pogodno prikazano i raspravljeno. Autor preglednog rada dužan je da se u tekstu poziva na svu literaturu koju je koristio u svom radu, i da literaturu navede redosledom onako kako se pojavljuje u tekstu.

Stručni rad (Professional paper) rad sadrži korisne priloge iz područja čija problematika nije vezana za izvorna istraživanja. Materija ne mora da predstavlja novost u svetskim okvirima. To se npr. odnosi na reprodukciju u svetu poznatih istraživanja, koja predstavljaju vredan materijal za širenje znanja, i prilagođavanja izvornih istraživanja potrebama industrije.

Sadržaj rukopisa

Priredjen za štampu rukopis treba da sadrži: naslov rada (na srpskom i engleskom jeziku); podatke o autoru: puno ime prezime autora i koautora, zvanje, adresa ustanove-preduzeća u kojoj je zaposlen, grad, telefon / e-mail, navođenje projekta na kojem se zasniva tema rada, i ko je finansirao projekat (obavezno kod projekata koje finansira Ministarstvo za nauku i tehnologije); predlog autora za kategorizaciju rada; ključne reči (na srpskom i engleskom jeziku); izvod (na srpskom i engleskom jeziku); integralni tekst rada.

Naslov rada treba da je po mogućnosti što kraći, i da jasno odražava suštinu rada.

Autor je idejni tvorac i nosilac aktivnosti u izradi rada. Kod navođenja koautora treba se ograničiti na one koautore koji su direktno učestvovali u stvaranju rada.

Ključne reči (Key words) su reči koje su najkarakterističnije za rad i koje ukazuju na samu suštinu rada. Obično je dovoljno navođenje tri do šest ključnih reči.

Izvod (Abstract) treba da je kratak i informativan i može da sadrži najviše 500 slovnih mesta. On upozorava na zaključke za svaku novu informaciju koju donosi rad. Za radove koji ne daju bitno nove rezultate (pregledni radovi, referativni radovi) dovoljno je napisati indikativni izvod u kojem se kratko opisuje predmet rada. Preko izvoda čitalac treba da lako i brzo oceni da li ga taj rad zanima. Izvod, kao i integralni tekst, se pišu u trećem licu.

Uvod - Iznosi se predmet, svrha i cilj rada, sa kratkim uvidom u materiju prethodnih, objavljenih istraživanja.

Eksperimentalni deo - Eksperimenti i merenja moraju da budu opisani tako da se rezultati mogu reprodukovati. Kada se radi o komercijalnim ili ranije opisanim aparatima ili standardom određenim uređajima, treba navesti odgovarajuću literaturu (standard) i uslove (merila) pod kojima se eksperimentisalo. Ako je razrađen sopstveni eksperimentalni postupak treba ga opisati sa svim detaljima i dati jasne slike ili skice konstruisanog aparata. To se isto odnosi i na oblik i mere eksperimentalnih uzoraka i epruveta za ispitivanje.

Rezultati - Rezultate treba dati pregledno, u obliku tabela ili dijagrama. Suvišno je koristiti oba načina prikaza rezultata. Na dijagrame treba uneti sve rezultate dobijene eksperimentima. Preporučuje se da se rezultati obrade statistički. Ilustrovanje rezultata fotosima (npr. fotosi mikrostrukturnih analiza) treba ograničiti na karakteristične primere, značajne za zaključak ili za poređenja stanja. Poželjno je da autor tekstovi uz tabele i slike daje dvojezično, na srpskom i engleskom.

Diskusija - Analiziraju se dobijeni rezultati, upoređuju sa ranije publikovanim podacima, pronalaze se zakonitosti i granično područje zakonitosti, komentarišu se greške i tačnosti merenja. Daju se eventualne sugestije za dalja istraživanja.

Zaključak - Zaključak sadrži kratak rezime najvažnijih rezultata. Treba ga pisati tako da čitalac koji pročita samo zaključak može dobiti opštu sliku o vrednosti i zanimljivosti rada i za šta ga može koristiti.

Literatura - Literatura se citira hronološkim redom. Na literaturu se poziva navođenjem u uglastoj zagradi rednog broja pod kojim je navedena. Radovi koji nisu objavljeni (interni izveštaji, pravila, procedure) ne mogu da budu navedeni kao reference. Literatura se daje na jeziku originala odgovarajuće reference i mora da bude navedena prema ISO 690:

Citiranje časopisa: prezime autora, zarez, inicijal imena autora (ako ih ima više odvajaju se zarezom) tačka, zarez, dvotačka, ime časopisa ili njegova internacionalna skraćenica, razmak (bez zareza), volumen (boldiranim fontom), broj (u lučnoj zagradi boldiranim fontom), zarez, godina (u lučnoj zagradi), stranica (početna/ završna), tačka.

Citiranje knjige: navođenje autora kao u prethodnom slučaju, dvotačka, naslov knjige, zarez, izdavač, zarez, mesto izdanja, zarez, godina izdanja, zarez, kratica str., zarez, broj stranice, tačka.

Citiranje zbornika radova naučnih skupova: navođenje autora kao u prethodnom slučaju, dvotačka, naziv zbornika radova, mesto i godina održavanja skupa, broj stranice, tačka.

Tehnička priprema

Autori su dužni da tekst rada pripreme prema uputstvu i dostave u elektronskom obliku i dva odštampana primerka. Tekstovi kraćih priloga, koji nemaju status autorskog rada prema kategorizaciji, mogu se dostaviti i elektronskom poštom, bez posebnih zahteva za uređenje teksta.

Opis izgleda teksta - Obim teksta je do 6 strana formata A4 sa veličinom fonta 9 pt. Tekst i tabele, bez slika, uraditi kao fajl u Word document. U tekstu naznačiti mesto slika, sa rednim brojem i nazivom. Sve stranice teksta moraju biti označene. Stil slova je Arial (za naslove svih nivoa Arial Black). Slike visoke rezolucije (pod nazivom i rednim brojem kao u tekstu) *obavezno uraditi kao poseban fajl*, u JPG ili TIF formatu. Veličina znakova i slova na slici i u tabeli treba da u završnoj formi odgovara veličini 8 pt.

Uredništvo časopisa Zavarivanje i zavarene konstrukcije

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 |