



ZAVARIVANJE I ZAVARENE KONSTRUKCIJE

WELDING & WELDED STRUCTURES

God. 63 Vol. 63	Br. 1 No. 1	1-48 1-48	Beograd Belgrade	Srbija Serbia	2018. 2018.
--------------------	----------------	--------------	---------------------	------------------	----------------

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

Milica Antić, dipl.ing. EWE

duzs@eunet.rs, milicamantic@yahoo.com

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 Miroslav Đurđanović, dipl.ing.

Prof.dr Vukić Lazić, dipl.ing.

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

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

Prof. dr Aleksa Blagojević, 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 - Каталогизација у публикацији
Народна библиотека Србије, Београд
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 = editor-in-chief Milica Antić. –
Vol. 41, no. 1 (1996)- . - Beograd :
Društvo za unapređivanje zavarivanja u Srbiji,
1996-. (Beograd : VIS studio).-29 cm

Tromesečno.

ISSN 0354-7965 = Zavarivanje i zavarene konstrukcije
COBISS.SR-ID 105396743

CENE I NARUDŽBINA ZA 2018.

Cena pojedinačnog broja 825,00 dinara

Godišnja pretplata 2500,00 dinara

Tekući račun: 355-1025530-87

PRICE AND ORDER

Annual subscription: EUR 100

Account No. 000200073783

VBUBRS22 (Vojvođanska banka Novi Sad, Srbija)
IBAN CODE RS35 3550 0000 0200 0737 83

ŠTAMPA / PRINTED

“VIS STUDIO” d.o.o.

Aleksinačkih rudara 35, Beograd

Tiraž: 400 kom.

1/2018

SADRŽAJ

CONTENTS



NAUKA • ISTRAŽIVANJE • RAZVOJ

SCIENCE • RESEARCH • DEVELOPMENT

05

**ZAVARIVANJE I ISPITIVANJE ZAVAREN OG
SPOJA ČELIKA HARDOX 400**

**WELDING AND TESTING OF WELDED JOINTS
MADE OF HARDOX 400**

Radimir Jovičić, Dejan Jovičić, Simon Sedmak, Svetlana Štrbački, Milorad Zrilić, Andreas Gartner



NAUKA • ISTRAŽIVANJE • RAZVOJ

SCIENCE • RESEARCH • DEVELOPMENT

17

**ANALIZA TRENUTNOG STANJA I OCENA ČVRSTOĆE
CEVOVODA NA HIDROELEKTRANI PIROT**

**ANALYSIS OF CURRENT STATE AND STRENGTH
EVALUATION OF THE PIPELINE AT HYDRO POWER
PLANT 'PIROT'**

Miodrag Arsić, Vencislav Grabulov, Mladen Mladenović, Zoran Savić



PRAKSA

PRACTICE

23

**ZAVARIVANJE TRAMVAJSKE ŠINE 54 G2 R260 ZA
BLOK OD COGIDURA SAMOZAŠTITNOM ŽICOM -
POSTUPAK 114**

**WELDING TRAM-RAIL 54 G2 R260 FOR BLOC FOR
BLOC COGIDUR SELF-SHIELDED WIRE –PROCESS
114**

Dragan Mitić dipl.maš.inž., Nikola Jović dipl.inž.zaš., Davor Gruber dipl.maš.inž.



IZ STRANIH ČASOPISA

FROM FOREIGN JOURNALS

29

**WELDING DUPLEX STAINLESS STEELS – A REVIEW OF
CURRENT RECOMMENDATIONS**

**ZAVARIVANJE DUPLEKS ČELIKA- PREGLED
SADAŠNJIH PREPORUKA**

Dr. Leif Karlsson



PRAKSA

PRACTICE

37

**SANACIJA ZAVARIVANJEM PRSLINA SFERNOG
REZERVOARA ZA ETILEN**

**WELDING REPAIR OF CRACKS ON SPHERICAL TANK
FOR ETHYLENE STORAGE**

Dragan Mitić dipl.maš.inž. IWE, IWI, Mr Miloš Ristić dipl.maš.inž



VESTI

NEWS

4
36
46
43
48

**4. IIW KONGRES ZAVARIVANJA JUGOISTOČNE EVROPE – PRVI POZIV
PREGLED RADOVA OBJAVLJENIH U 2017**

GODIŠNJI SASTANAK RADNIH GRUPA MEĐUNARODNOG INSTITUTA ZA ZAVARIVANJE (IIW)

**4. IIW KONGRES ZAVARIVANJA JUGOISTOČNE EVROPE – PRVI POZIV -nastavak
MARKETING**

Poštovani čitaoci,

Poštovani čitaoci,

u prvom ovogodišnjem broju želimo da vam ukažemo na već najavljivani prvorazredni događaj koji nam predstoji u oktobru. Dakle, prvi put na našim prostorima imamo priliku da budemo domaćini Kongresa Međunarodnog Instituta za zavarivanje. Postarajmo se, svi zajedno, da to i bude događaj za pamćenje. Kako da to učinite, možete pročitati na stranicama ovog broja.

Pored toga, imaćete priliku da pročitate i još poneki rad koji je izlagan na našem prethodnom savetovanju.

I za kraj, nadam se poslastica...

Uvećali smo broj članova našeg Redakcijskog odbora. Naš uvaženi kolega, Dr Radomir Jovičić, dipl.ing. je to naše pojačanje a kao „ulaznica“ poslužiće rad u kojem se on, pored koautora, potrudio da nam saopšti još novih informacija o zavarivanju i ispitivanju zavarenog spoja čelika HARDOX 400.

Do narednog broja u ovoj godini ogromnih iskušenja i očekivanja,

***Glavni i odgovorni urednik
Milica Antić, dipl.ing, EWE***

Podsećamo vas da je sada vreme da obnovite vaše članstvo u DUZS i pretplatu za naš časopis.





The 4th IIW South-East European Welding Congress



First Announcement & Call for Papers

Topic: *Safe Welded Construction by High Quality Welding*



Belgrade, Serbia, October 10 – 12, 2018

Main topics:

- High Quality Welding (all regard welding technology, metallurgy and Joining Processes)
- Structural Integrity and Life of Welded Joints/Structures
- Welding of pipelines
- Education, qualification, certification of personal

Papers submission schedule:

- Submission of abstracts: **April 30, 2018**
- Acceptance of abstracts: **May 20, 2018**
- Submission of papers: **July 10, 2018**
- Acceptance of papers: **Sept. 10, 2018**
- Circular 2: **July, 2018**

Organizers:



Serbian Welding Society – DUZS, Serbia

In cooperation with:



**Bulgarian Welding Society –
BWS, Bulgaria**



**Romanian Welding Society –
ASR, Romania**



**National R&D Institute for
Welding and Material Testing**

**All information regarding the Congress can be found on the congress website:
seeiiw2018.duzs.org.rs**



Radomir Jovičić¹, Dejan Jovičić², Simon Sedmak³, Svetlana Štrbački⁴, Milorad Zrilić⁵, Andreas Gartner⁶

WELDING AND TESTING OF WELDED JOINTS MADE OF HARDOX 400 ZAVARIVANJE I ISPITIVANJE ZAVAREN OG SPOJA ČELIKA HARDOX 400

Originalni naučni rad / Original scientific paper

UDK / UDC: 621.791.05:669.14.018.62

Rad primljen / Paper received:

Januar 2018.

Ključne reči: Hardox 400, tehnologija zavarivanja, mehaničke osobine spoja, mikrostruktura

Izvod

Čelici HARDOX imaju široku primenu za izradu opreme izložene habanju. Visoku otpornost na habanje ovi čelici postižu zahvaljujući velikoj tvrdoći i čvrstoći uz odličnu žilavost. Povećanje tvrdoće i čvrstoće čelika je obično praćeno pogoršanjem njihove zavarljivosti. Međutim, čelici HARDOX se odlikuju dobrom zavarljivošću, zahvaljujući relativno niskoj vrednosti njihovog ugljeničnog ekvivalenta. U radu su date preporuke za izradu tehnologije zavarivanja čelika HARDOX 400 i prikazani su rezultati ispitivanja spoja namenjenog za kvalifikaciju tehnologije zavarivanja. Spoj je zavaren dodatnim materijalom niže čvrstoće od čvrstoće osnovnog materijala, zbog čega tehnologija zavarivanja i procedura njene kvalifikacije imaju specifičnosti.

1. UVOD

HARDOX čelici su čelici švedskog proizvođača SSAB Oxelösund AB, namenjeni za rad u uslovima visokih opterećenja na habanje, u različitim klimatskim uslovima i u različitim okruženjima. Ovi čelici se koriste za izradu delova mašina i opreme koji su izloženi habanju, npr. delova bagera, utovarivača, kiperu, transportera, miksera i drobilica. Čelici HARDOX produžavaju vek upotrebe ove opreme i smanjuju troškove njenog održavanja. Visoku otpornost na habanje ovi čelici postižu zahvaljujući velikoj tvrdoći i čvrstoći uz

Adresa autora / Author's address:

^{1,3} *Inovacioni centar Mašinskog fakulteta u Beogradu, Beograd, Srbija. Innovation Center of Faculty of Mechanical Engineering, Belgrade, Serbia*

² *MFGO, Fabrika građevinske opreme, Mladenovac, Srbija MFGO, Construction equipment manufacturer, Mladenovac, Serbia*

⁴ *KonMat, Beograd, Srbija. KonMat, Belgrade, Serbia*

⁵ *Tehnološko metalurški fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd, Srbija. Faculty of Technology and Metallurgy, University of Belgrade, Serbia*

⁶ *Stetter GmbH, Memmingen, Nemačka. Stetter GmbH, Memmingen, Germany*

Key words: Hardox 400, welding technology, mechanical properties of welded joints, micro-structure

Abstract

HARDOX steels are widely used in manufacturing of equipment exposed to wear. High wear resistance of these steels is achieved by their increased hardness and strength, along with exceptional toughness. Increased hardness and strength of such steels is usually accompanied by decreased weldability. However, HARDOX steels have good weldability, thanks to a relatively low carbon equivalent value. In this paper, recommendations for developing a welding technology for steel HARDOX 400 are presented, along with the results of tests performed on a welded joint made for the purpose of welding procedure qualification. The joint was welded using additional materials with strength below that of the parent material, and due to this, the welding technology and the procedure of determining its qualification were specific.

1. INTRODUCTION

HARDOX steels are manufactured by Swedish company SSAB Oxelösund AB, and are meant to work under considerable wear loads, in varying climate conditions and different environments. These steels are used for manufacturing of machine and equipment parts subjected to wear, such as dredges, loaders, tip lorries, transporters, mixers and grinders. HARDOX steels increase the work life of such equipment and reduce its maintenance costs. High wear resistance of these steels is achieved due to their increased hardness,



odličnu žilavost. Tvrdća čelika HARDOX se kreće od 370 do 640 HB, napon tečenja od 850 do 1250 MPa, a žilavost od 20 do 95 J na -40°C , zavisno od klase čelika. Povećanje tvrdoće i čvrstoće čelika je obično praćeno pogoršanjem njihove zavarljivosti. Međutim, i pored visoke tvrdoće i čvrstoće, čelici HARDOX se odlikuju dobrom zavarljivošću, što je posledica relativno niske vrednosti njihovog ugljeničnog ekvivalenta. Ovi čelici se mogu zavariti svim konvencionalnim postupcima zavarivanja ukoliko se izabere odgovarajući dodatni materijal i obezbede dovoljno nizak sadržaj vodonika u spoju, odgovarajuće vreme hlađenja u temperaturnom intervalu $800 - 500^{\circ}\text{C}$ i spreči nastanak većih zaostalih napona.

2. EKSPERIMENT

Ispitni spoj je zavaren kao sučeoni spoj između ploča dimenzija $350 \times 300 \times 4$ mm, izrađenih od čelika HARDOX 400. U tabeli 1. je dat hemijski sastav ovog čelika [1, 2], a u tabeli 2. su date njegove mehaničke osobine [1, 2]. Na slici 1. je prikazana mikrostruktura čelika HARDOX 400.

strength and exceptional toughness. HARDOX steel hardness ranges between 370 and 640 HB, its yield stress ranges between 850 and 1250 Mpa, whereas its toughness is between 20 and 95 J at -40°C , depending on steel class. Increased hardness and strength of such steels is usually accompanied by decreased weldability. However, HARDOX steels have good weldability, thanks to a relatively low carbon equivalent value. These steels can be welded using all of the conventional procedure assuming the additional material is properly selected, and that low hydrogen content is ensured in the welded joint, along with adequate cooling time for the temperature interval of $800 - 500^{\circ}\text{C}$, in order to prevent significant residual stresses from occurring.

2. EXPERIMENT

The joint that was tested was welded as a butt joint between plates with dimensions of $350 \times 300 \times 4$ mm, made of HARDOX 400 steel. Table 1 shows the chemical composition of this steel [1,2], whereas table 2 shows its mechanical properties [1,2]. Shown in figure 1 is the micro-structure of this steel.

C	Si	Mn	P	S	Al	Cu	Cr	Ni	Mo	N	B	CET
\leq 0,15	\leq 0,70	\leq 1,60	\leq 0,025	\leq 0,010	-	-	\leq 0,50	\leq 0,25	\leq 0,25	-	\leq 0,004	-
0,147	0,22	1,21	0,010	0,001	0,031	0,011	0,75	0,04	0,005	0,004	0,0018	0,31

Tabela 1. Hemijski sastav čelika HARDOX 400 (%)

Table 1. Chemical composition of steel HARDOX 400 (%)

Napomena: prvi red se odnosi na literaturu [1], a drugi na literaturu [2]

Note: first row refers to literature [1], whereas the second one is from [2]

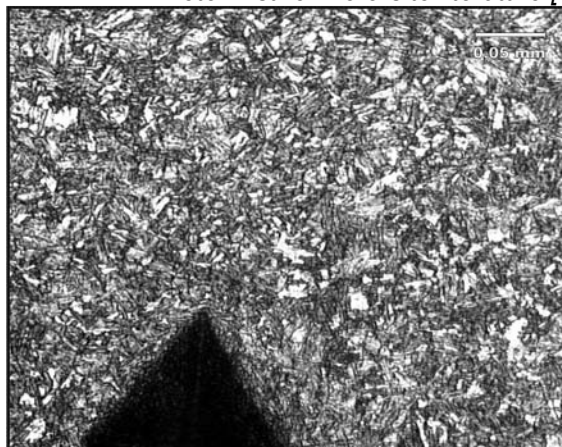
Tvrdoća HB	Napon tečenja σ_p MPa	Izduženje A %	Udarna žilavost ISO - V
370 - 430	1000	10	45 J na -40°C
389	-	-	-

Tabela 2. Mehaničke osobine čelika HARDOX 400

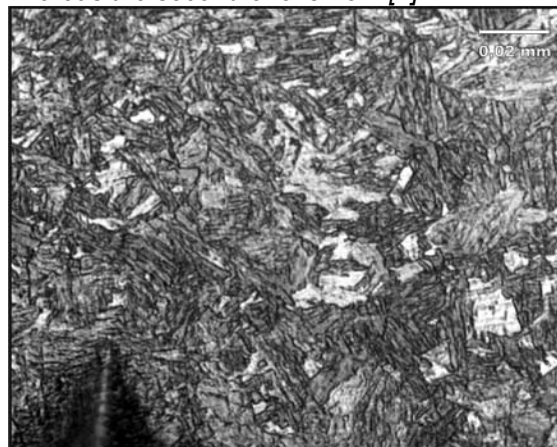
Table 2. Mechanical properties of steel HARDOX 400

Napomena: prvi red se odnosi na literaturu [1], a drugi na literaturu [2]

Note: first row refers to literature [1], whereas the second one is from [2]



a) 200 X



b) 500 X

Slika 1. Mikrostruktura čelika HARDOX 400, struktura otpuštenog martezića
Figure 1. Micro-structure of steel HARDOX 400, tempered martensite structure



Čelik HARDOX 400 spada u čelike koji, zbog visoke tvrdoće i čvrstoće i martenzitne mikrostrukture, pokazuju sklonost ka nastanku hladnih prslina u zoni uticaja toplote (ZUT). Rizik od nastanka ovih prslina se smanjuje upotrebom dodatnih materijala (DM) čiji napon tečenja ne prelazi 500 MPa [1]. Upotrebom DM, koji imaju znatno manju čvrstoću od čvrstoće osnovnog materijala (OM), smanjuju se zaostali naponi u spoju na račun plastične deformacije metala šava (MŠ). To smanjuje rizik od nastanka hladnih prslina. Prema literaturi [3, 4] maksimalna vrednost zaostalih napona, u ovom slučaju, je jednaka naponu tečenja MŠ. Za zavarivanje čelika HARDOX 400 mogu se upotrebiti i niskougljenični i visokolegirani austenitni DM, koji imaju napon tečenja manji od 500 MPa. Prednost upotrebe austenitnih DM je u daljem smanjenju rizika od nastanka hladnih prslina na račun povećane rastvorljivosti vodonika u austenitnom MŠ. Na taj način se smanjuje njegova koncentracija u ZUT i time i rizik od nastanka hladnih prslina. Nedostatak austenitnih DM je oko pet puta veća cena u odnosu na niskougljenične. Ako je MŠ izložen intenzivnom habanju potrebna otpornost na habanje i potreban radni vek spoja se postižu zavarivanjem poslednjeg sloja DM koji obezbeđuje visoku tvrdoću. U ovom eksperimentu, za zavarivanje je odabran MAG postupak, a na osnovu iznetih smernica je izabran DM EMK 8 (G 46 4 M 21 4 Si1- klasifikacija po EN ISO 14341 A) proizvođača BOHLER. Hemijski sastav DM je dat u tabeli 3., a u tabeli 4. su date mehaničke osobine njegovog čistog MŠ [5].

HARDOX 400 steel belongs to a group of steels that, due to their high strength, toughness and martensitic structure, exhibit vulnerability to cold crack initiation in the heat affected zone (HAZ). The risk of such cracks is reduced by using additional materials whose yield stress does not exceed 500 MPa [1]. By using additional materials whose strength is significantly below that of the parent material (PM), residual stresses are reduced at the expense of plastic strain in the weld metal. This reduces the risk of cold crack initiation. According to literature [3,4], maximum value of residual stresses is, in this case, equal to the WM yield stress. Both low and high-alloyed austenitic additional materials can be used for the purpose of welding HARDOX 400 steel, as long as their yield stress is below 500 MPa. The advantage of using austenitic materials is reflected in additional decrease of risk of cold crack initiation at the expense of increased hydrogen solubility in the austenitic weld metal. In this way, its concentration in the HAZ is reduced, resulting in decreased risk of cold crack initiation. The disadvantage of austenitic additional materials is that they are about five times more expensive than low-alloyed steels. In the case that the WM is subjected to considerable wear, required wear resistance and work life of the welded joint are achieved by welding of the final additional material layer, which provides increased hardness. In this experiment, welding was performed using the MAG procedure, and based on the guidelines presented here, EMK8 (G 46 4 M 21 4 Si1 according to EN ISO 14341 A), manufactured by BOHLER was selected as the additional material. Chemical composition of the additional material is given in table 3, whereas table 4 contains the mechanical properties of its pure WM [5].

C	Si	Mn
0,1	1,0	1,7

Tabela 3. Hemijski sastav dodatnog materijala EMK 8 (%)
Table 3. Chemical composition of the additional material EMK 8 (%)

Napon tečenja σ_p MPa	Zatezna čvrstoća σ_m MPa	Izduženje A %	Udarne žilavost ISO – V (J)	
≥ 460	530 - 680	≥ 20	+ 20°C 150	- 40°C ≥ 47

Tabela 4. Mehaničke osobine čistog metala šava dodatnog materijala EMK 8
Table 4. Mechanical properties of pure weld metal made of additional material EMK 8

Vreme hlađenja između 800 i 500°C ($t_{8/5}$) ima presudnu ulogu na formiranje konačne mikrostrukture u ZUT čelika. Proizvođač čelika HARDOX 400 preporučuje da ovo vreme ne bude kraće od 3 sec. [6], jer se kraće vreme hlađenja negativno odražava na udarnu žilavost ZUT. Na veličinu vremena $t_{8/5}$ utiču temperatura OM,

Cooling time for the temperature interval between 800 and 500°C ($t_{8/5}$) is of crucial importance for the forming of the final HAZ micro-structure. HARDOX 400 steel manufacturer recommends that this time should not be shorter than 3 s [6], since short cooling time decreases the impact toughness HAZ. The duration of $t_{8/5}$ is affected by the temperature



njegova debljina i pogonska energija zavarivanja tj. količina unete toplote. Preporuka proizvođača [6] je da se čelik HARDOX 400 ne predgreva do debljina od 20 mm, ukoliko je ambijentalna temperatura približno 20°C. U tim uslovima preporučena pogonska energija zavarivanja, za lim debljine 4 mm, iznosi 0,5 KJ/mm. U slučajevima da je ambijentalna temperatura niža od + 5°C, da je relativna vlažnost vazduha viša od 40% i da se zavaruju uklješetni spojevi tj. spojevi koji se ne mogu slobodno skupljati pri hlađenju, potrebno je predgrevanje OM. Predgrevanjem se vreme $t_{8/5}$ produžava i dovodi na preporučenu vrednost, uklanja se vlaga adsorbovana na površini OM čime se smanjuje sadržaj vodonika u spoju i smanjuju se zaostali naponi. Navedene preporuke važe i za zavarivanje pripoja pod uslovom da im dužina nije manja od 50 mm.

Kao zaštitni gas za zavarivanje čelika HARDOX 400, MAG postupkom mogu se koristiti CO₂ ili mešavine Ar sa 15-25% CO₂. Mešavine Ar i CO₂, u odnosu na čist CO₂ imaju višu cenu, ali daju stabilniji luk, lepši vizuelni izgled šava i smanjuju razbrizgavanje. Prednosti CO₂, kao što su sigurnije provarivanje i sigurnije bočno uvarivanje, kod lima debljina 4 mm, što je slučaj u ovom eksperimentu, ne dolaze do izražaja.

Ispitni spoj je zavaren MAG postupkom u zaštitnom gasu 82% Ar – 18% CO₂, pri protoku od 10 – 12 l/min. Ivice žleba i njihova okolina su prethodno očišćene brušenjem. Da bi se uklonila vlaga apsorbovana na površini OM, ivice žleba su osušene plamenom kiseonika i acetilena. Osnovni materijal nije predgrevan jer je zavarivanje izvedeno pri ambijentalnoj temperaturi od oko 20°C. Spoj je zavaren kao jednoprolazni u I žlebu sa zazorom od 1 mm. Parametri zavarivanja su dati u tabeli 5. Korišćena je tehnika zavarivanja ulevo.

and thickness of the PM and welding energy, i.e. heat input. Manufacturer recommendation [6] is to not preheat steel HARDOX 400 if its thickness is up to 20 mm and the ambient temperature is approximately 20°C. Under these conditions, recommended welding energy, for a 4 mm thick sheet, is 0.5 kJ/m. In the case that the ambient temperature is below +5°C, relative humidity is above 40%, and the welded joints are fixed, i.e. they cannot freely contract during the cooling, preheating of the PM is necessary. By preheating, the $t_{8/5}$ duration is extended and reaches the recommended value. In addition, moisture adsorbed on the PM surface is removed, thus decreasing the hydrogen content of the weld, along with the residual stresses. Recommendations mentioned previously apply to tack welds, assuming that their length is no less than 50 mm.

During MAG welding of HARDOX 400 steel, a mixture of Ar and 15-25% CO₂, or pure CO₂ are used as shielding gases. Compared to pure CO₂, Ar and CO₂ mixture provides a more stable arc, smoother weld and fewer spatters, but are also more expensive. The advantages of CO₂, such as safer penetration are not noticeable in the case of sheets with a thickness 4 mm. Tested welded joint was made using MAG procedure with 82% Ar – 18 CO₂ mixture as the shielding gas, with the flow rate of 10-12 l/min. Groove edges and their vicinity were previously cleaned by grinding. In order to remove the moisture absorbed by the PM surface, groove edges were cleaned using oxygen and acetylene flame. The parent material was not preheated since welding was performed at an ambient temperature of around 20°C. The joint was welded in a single pass, with an I groove that had a 1 mm gap. Welding parameters are given in table 5. Welding was performed in the left direction.

Prečnik dodatnog materijala (mm)	Struja A	Napon V	Vrsta struje/polaritet	Brzina zavarivanja mm/min	Uneta toplota KJ/mm
1,0	185-190	22-23	DC +	390 - 410	0,51

Tabela 5. Parametri zavarivanja ispitnog spoja
Table 5. Welding parameters for the tested welded joint

3. REZULTATI ISPITIVANJA I DISKUSIJA

Ispitivanje spoja i ocena rezultata ispitivanja su urađeni u skladu sa standardom za kvalifikacije tehnologije zavarivanja [7] i sa standardima na koje se poziva ovaj standard. Vizuelno dimenzionom kontrolom i radiografskim ispitivanjem, u spoju, nisu otkrivene neprihvatljive greške za nivo kvaliteta B [8].

Zatezne karakteristike spoja u celini su određene ispitivanjem tri glatke pljosnate epruvete sa paralelnim bokovima. Oblik i dimenzije epruveta su

3. TEST RESULTS AND DISCUSSION

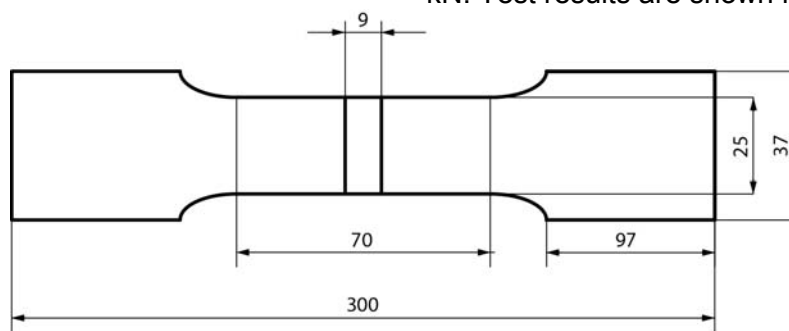
Testing of the welded joint and the evaluation of results were performed in accordance with the standard for welding technology qualification [7], as well as with standards that are referenced in it. Visual dimension control and radiographic testing of the welded joint did not reveal defects unacceptable for B level quality [8].

Tensile properties of the welded joint as a whole are determined by testing of three smooth flat specimens with parallel sides. Shape and



dati na slici 2. Epruvete su ispitane na kidalici INSTRON 1332 maksimalne sile 100 kN. Rezultati ispitivanja su dati u tabeli 6.

dimensions of these specimens are shown in figure 2. Specimens were tested using an INSTRON 1332 tensile test machine with a maximum force of 100 kN. Test results are shown in table 6.

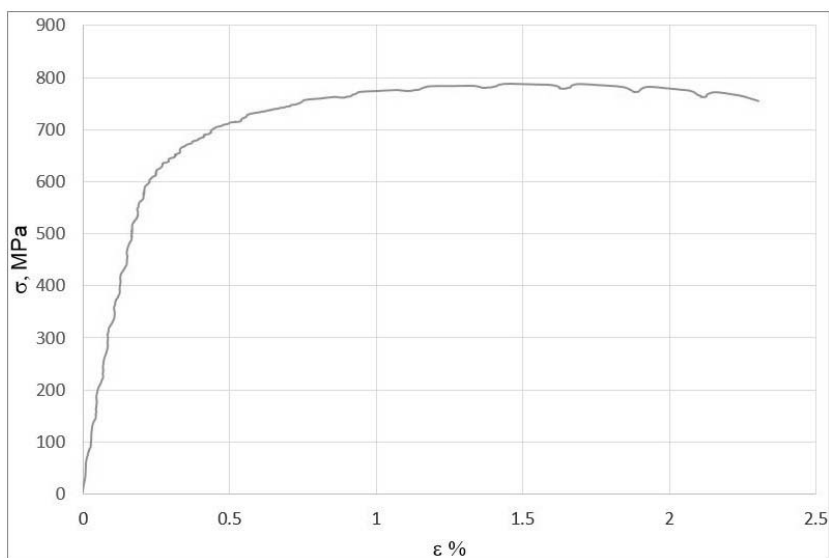


Slika 2. Oblik i dimenzije epruveta za ispitivanje zatezanjem spoja u celini

Figure 2. Shape and dimensions of specimens used for tensile testing of the welded joint as a whole

Na slici 3. je dat dijagram $\sigma - \epsilon$, dobijen pri ispitivanju epruvete br. 1. Dijagram je karakterističan za sve tri epruvete. Na slici 4. je prikazana epruveta br. 1. nakon loma. Sa slike se vidi da je celokupna deformacija skoncentrisana u MŠ. Tamne linije na slici predstavljaju linije stapanja tj. granice MŠ. Lom se, na ovakav način, odvijao u sve tri epruvete.

Shown in figure 3 is the $\sigma - \epsilon$ diagram, obtained by testing of specimen no. 1. The diagram is characteristic of all three specimens. Figure 4 shows specimen no. 1 after fracture. It can be seen from this figure that the total strain was concentrated in the WM. Dark lines in the figure represent fusion lines, i.e. the boundaries of the WM. The fracture occurred in this way in all three specimens.



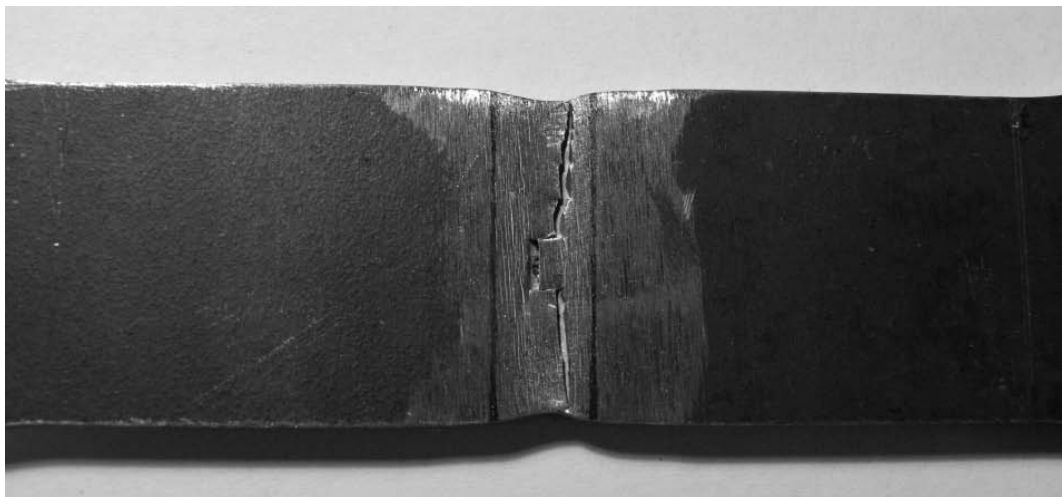
Slika 3. Dijagram $\sigma - \epsilon$, dobijen pri ispitivanju epruvete br. 1.

Figure 3. $\sigma - \epsilon$ - diagram, obtained from test specimen no. 1.

Epruveta broj	Napon pri 0,2% deformacije MPa (nije garantovano)		Zatezna čvrstoća σ_m MPa		Izduženje A % (nije garantovano)		Mesto loma
	pojedinačno	srednja vrednost	pojedinačno	srednja vrednost	pojedinačno	srednja vrednost	
1	673	682	787	779	2,3	2,2	metal šava
2	683		764		2,2		"
3	690		787		2,1		"

Tabela 6. Vrednosti napona u karakterističnim tačkama dijagrama $\sigma - \epsilon$

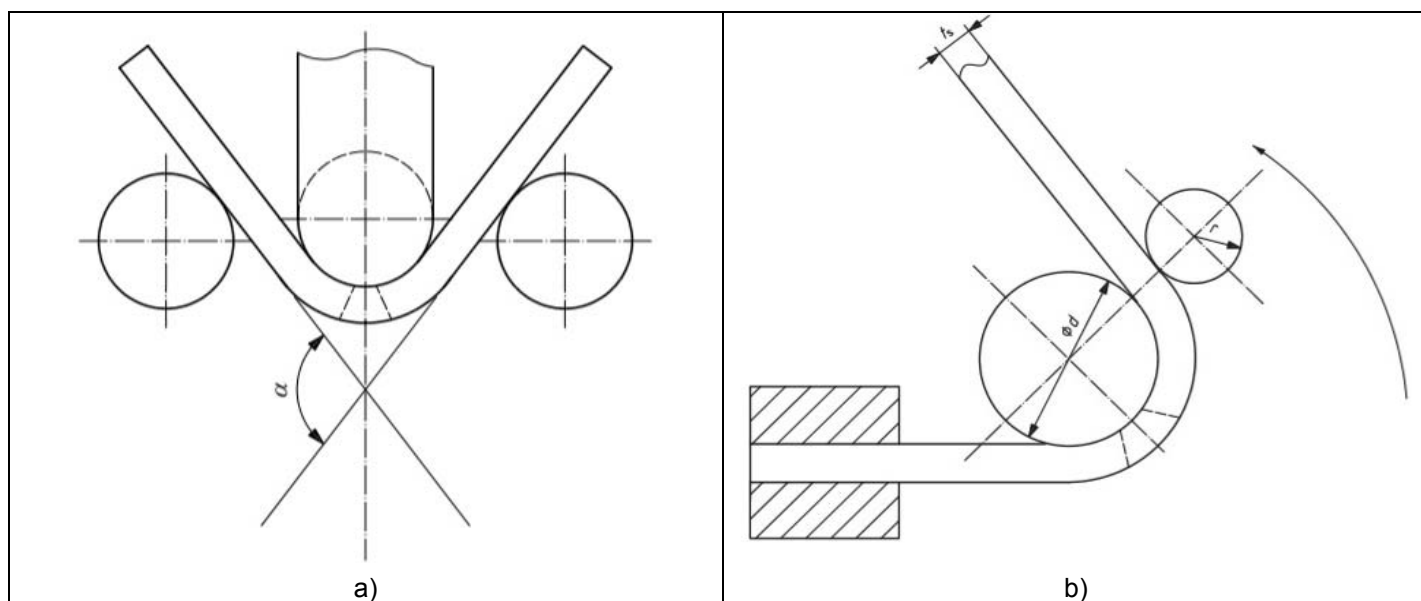
Table 6. Stress values in characteristic points on the $\sigma - \epsilon$ diagram



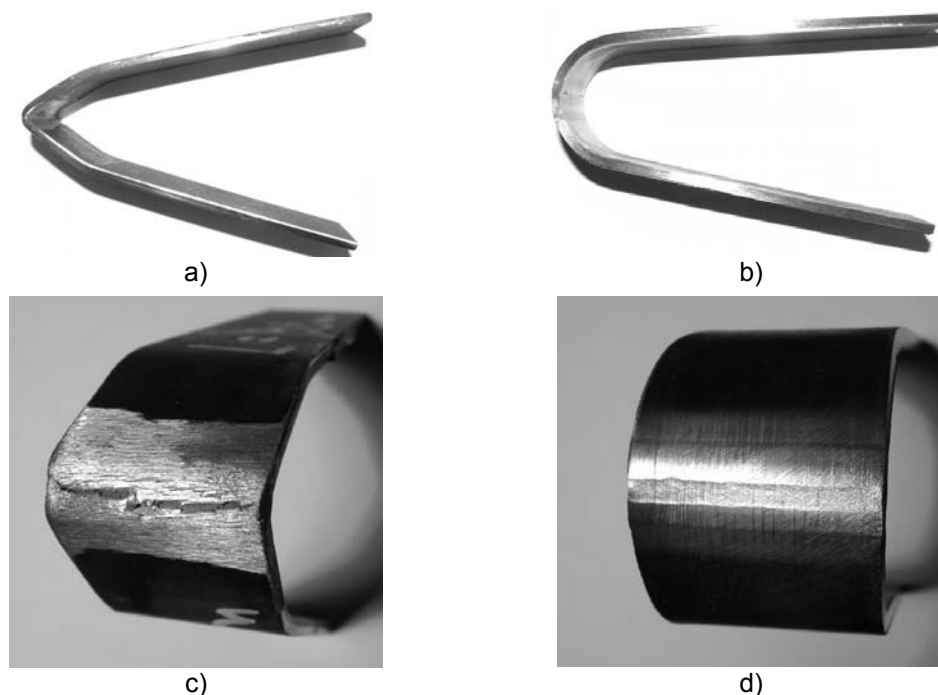
Slika 4. Izgled epruvete br. 1. nakon loma
Figure 4. Appearance of specimen no.1 after fracture

Ispitivanje savijanjem je urađeno prema zahtevima standarda [9]. Ispitane su tri epruvete savijanjem oko trna radijusa 36 mm, slika 5.a). Slika 6.a) prikazuje epruvetu br. 4. nakon savijanja. Sa slike se vidi da je deo epruvete između oslonaca nejednako deformisan i da je deformacija skoncentrisana u MŠ. Ovakva deformacija dovodi do pojave neprihvatljivih grešaka pri uglu savijanja manjem od 180° [7], slika 6.c). Zbog toga je ispitivanje savijanjem ponovljeno, na tri epruvete, savijanjem valjkom oko trna, slika 5.b) [9]. Na slici 6.b) je prikazana epruveta br. 7. nakon savijanja. Sa slike se vidi da je deformacija epruvete ravnomerna. U ovom slučaju se u MŠ nisu pojavile neprihvatljive greške do ugla savijanja od 180° , slika 6.d).

Bending tests were performed in accordance with the standard [9] requirements. Three specimens were tested by bending around a mandrel with a radius of 36 mm, figure 5.a). Figure 6.a) shows specimen no. 4 after bending. It can be seen from this figure that the part of the specimen between the supports is unequally deformed and that the strain is concentrated in the WM. Such strain leads to the occurrence of unacceptable defects for bending angles less than 180° [7], figure 6.c). Due to this, the tests were repeated, with three specimens, by bending around the mandrel, using a roller, figure 5.b). Figure 6.b) shows specimen no. 7 after bending. It can be seen from this figure that the strain in the specimen was uniform. In this case, no unacceptable defects have occurred in the WM for bending angles up to 180° , figure 6.d).



Slika 5. Ispitivanje savijanjem: a) oslanjanjem u tri tačke, b) valjkom oko trna
Figure 5. Bending tests: a) supported in three points, b) by roller around the mandrel



Slika 6. Izgled epruveta nakon savijanja: epruveta br.4 a), epruveta br.7 b), izgled zategnute zone: epruveta br. 4.c), epruveta br.7 d)

Figure 6. The appearance of specimens after bending: specimen no. 4. a), specimen no. 7. b), The appearance of the tensile zone: specimen no.4 c), specimen no.7 d)

Slika 7. prikazuje makrostrukturu zavarenog spoja. Sa slike se vidi da spoj zavaren kao jednoprolazni i da u spoju nema grešaka kao što su ivični zajedi, poroznost, uključci troske i prsline.

Figure 7 shows the macro-structure of the welded joint. From this figure it can be seen that the joint was welded in a single pass and it does not contain defects such as edge notches, porosity, slag inclusions and cracks.



Slika 7. Makrostruktura i raspored mesta merenja tvrdoća u ispitnom spoju

Figure 7. Macro-structure and distribution of hardness measuring locations in the tested welded joint

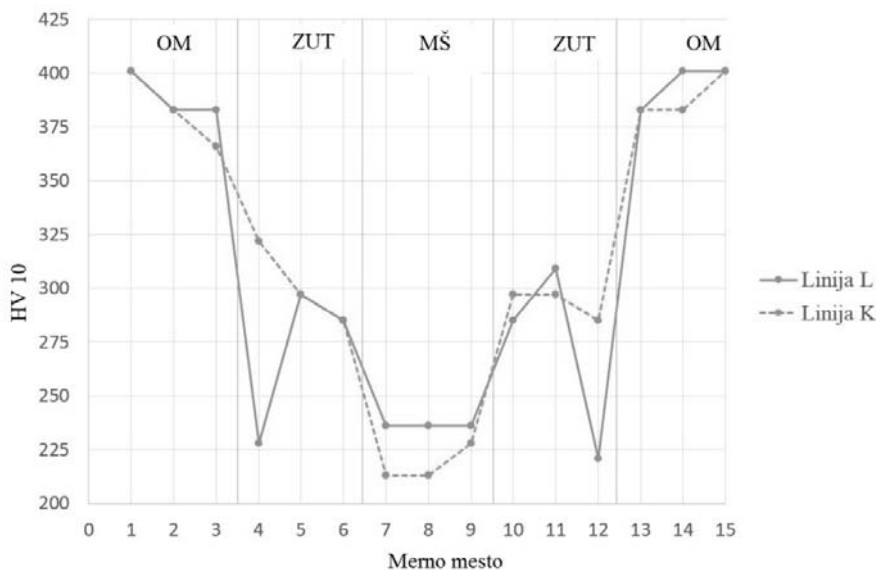
Tvrdoće u spoju i u OM su određene na uzorku, koji je korišćen za ispitivanja makro i mikrostruktura. Tvrdoće su određene Vickersovom metodom pri opterećenju 10 daN (15s). Pošto je uzorak pre određivanja tvrdoća bio nagrižen na njemu su se jasno razlikovali OM, ZUT i MŠ, čime je omogućeno da se tačno odredi u koju zonu spoja pada svaki pojedinačni otisak. Raspored mesta merenja tvrdoća je prikazan na slici 7., a rezultati merenja su dati u tabeli 6. i na slici 8.

Hardness of the welded joint and the parent material were determined using the specimen for macro and micro-structure testing. Hardness was determined using the Vickers method, with a load of 10 kN (15s). Since the specimen was corroded prior to hardness testing, it was possible to clearly distinguish between the PM, HAZ and WM, which enabled the accurate determining of which individual imprint corresponds to which zone. Distribution of hardness measuring locations is given in figure 7, whereas the results can be seen in table 6 and figure 8.

	OM 1	OM 2	OM 3	ZUT 4	ZUT 5	ZUT 6	MŠ 7	MŠ 8	MŠ 9	ZUT 10	ZUT 11	ZUT 12	OM 13	OM 14	OM 15
Linija L	401	383	383	228	297	285	236	236	236	285	309	221	383	401	401
Linija K	401	383	366	322	297	285	213	213	228	297	297	285	383	383	401

Tabela 7. Rezultati merenja tvrdoća u ispitnom spoju (HV10)

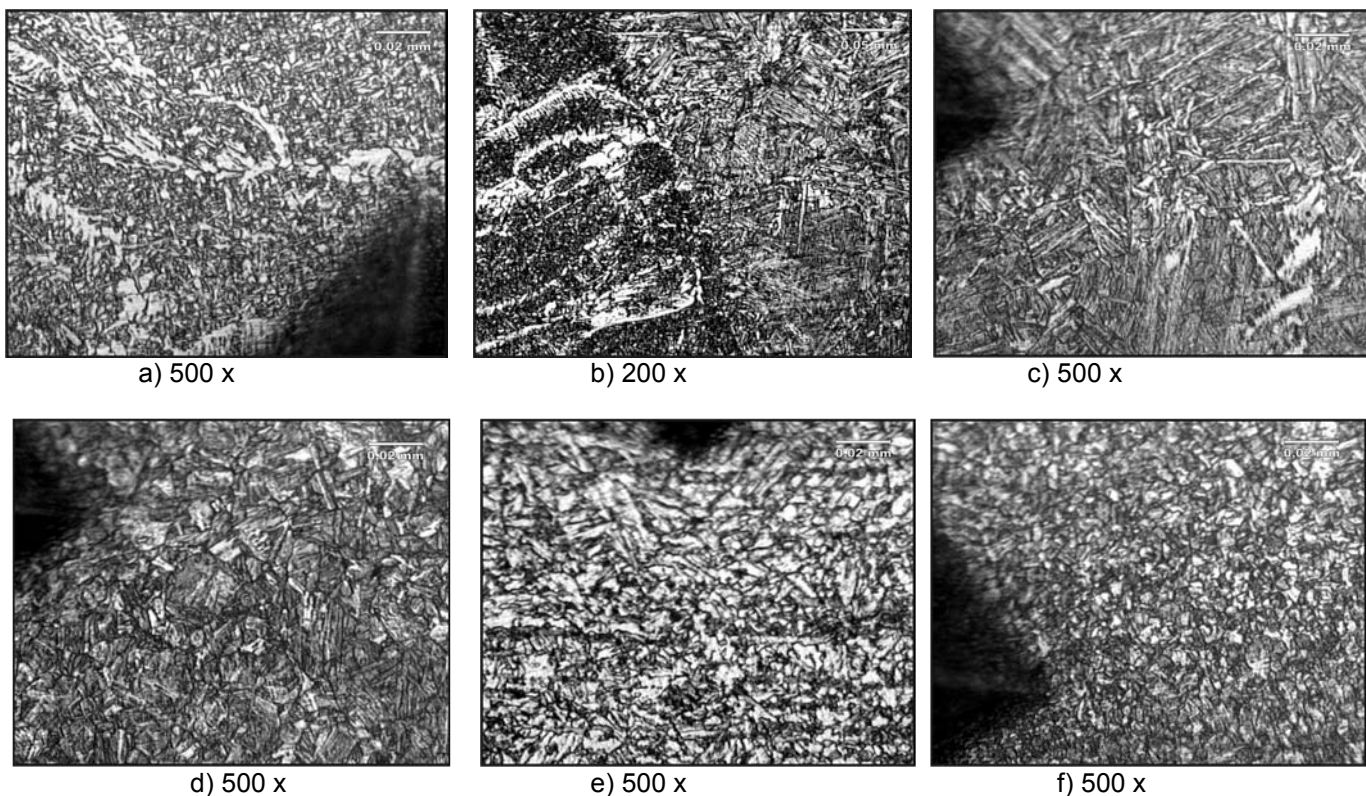
Table 7. Results of hardness measuring in the tested weld joint (HV10)



Slika 8. Dijagram raspodele tvrdoća po poprečnom preseku spoja
Figure 8. Diagram of hardness distribution along the welded joint lateral cross-section

Mikrostrukture su ispitane na svetlosnom metalografskom mikroskopu Jenavert Carl Zeiss Jena pri povećanjima 200X i 500X, tehnikom svetlosnog polja. Karakteristične mikrostrukture OM su prikazane na slici 1., a karakteristične mikrostrukture ZUT i MŠ su prikazane na slikama 9. a do f. Tamna polja na slikama 9. a do f predstavljaju tragove otisaka od merenja tvrdoća.

Micro-structures were tested using a light metallographic microscope Jenavert Carl Zeiss Jena, with magnifications of 200X and 500X, via light field technique. Characteristic WM micro-structures are shown in figure 1, whereas the characteristic micro-structures of the HAZ and WM are shown in figures 9.a-f. Dark fields in these figure represent the traces of hardness measuring imprints.



Slika 9. Mikrostrukture: a) metal šava, b) linija stapanja - metal šava, c - f) zona uticaja toplote
Figure 9. Micro-structures: a) weld metal, b) fusion line – weld metal, c - f) heat affected zone



Metalografskim ispitivanjem je konstatovano da OM ima strukturu otpuštenog martenzita koja je homogena po celoj debljini materijala. Ovom strukturnom stanju odgovaraju izmerene vrednosti tvrdoća u OM, koje se kreću od 366 do 401 HV, tabela 7. Metal šava ima strukturu fino dispergovanog perlita sa prisutnim feritom, koja je homogena po celom preseku. Tvrdoće MŠ se kreću od 213 do 236 HV i odgovaraju uočenoj mikrostrukтури. Struktura ZUT je složenija. Mikrostruktura na pozicijama mernih tačaka 5, 6, 10 i 11, slika 7., je grubozrna i uglavnom je beinitna. Ove mikrostrukture su prikazane na slikama 9.c) merno mesto L10 i 9.d) merno mesto L11. Ispitivanjem je konstovano da je metalno zrno krupnije u blizini linije stapanja i da se usitnjava udaljavanjem od ove linije ka OM. Tvrdoće izmerene u ovom delu ZUT se kreću od 285 do 309 HV i odgovaraju uočenim mikrostrukturama. U sitnozrnom delu ZUT uz OM, merna mesta L4 i L12, se u strukturi pojavljuje i perlitni mikrokonstituent, slika 9.e). U ovom delu ZUT su izmerene najniže tvrdoće, 221 do 228 HV. Slika 9.f) prikazuje mikrostrukturu karakterističnu za merna mesta K4 i K12, koja se nalaze na samom kraju grubozrnog ZUT. Ovde je uglavnom prisutna sitnozrna beinitna mikrostruktura, čije se tvrdoće kreću od 285 do 322 HV. Mikrostrukture u zonama od mernih mesta K4 i K12 ka OM, su sitnozrne sa perlitnim mikrokonstituentom i iste su kao strukture koje su opisane na mernim mestima L4 i L12.

Pri ispitivanju zateznih karakteristika spoja u celini, u slučajevima kada DM ima veću čvrstoću od čvrstoće OM, zahteva se da se lom epruvete odvije u OM [7]. Međutim, kada se koristi DM niže čvrstoće od čvrstoće OM, kao u ovom eksperimentu, prihvatljiv rezultat je lom u MŠ [7]. Sa slike 4. se vidi da je do loma epruvete došlo u MŠ, a iz tabela 2, 4 i 6 se vidi da je do loma došlo pri naponu koji je veći od deklarisanе zatezne čvrstoće DM (čist MŠ), a manji od napona tečenja OM. Veća čvrstoća MŠ u odnosu na deklarisanе osobine DM se može objasniti povećanjem sadržaja ugljenika u MŠ. S obzirom da OM ima veći sadržaj ugljenika u odnosu na DM i da je, zbog l oblika žleba i malog zazora u korenu udeo OM u MŠ veliki (40 – 50%), može se očekivati značajniji porast sadržaja ugljenika u MŠ, što dovodi do povećanja njegove čvrstoće. l napon pri kome je u MŠ zabeležena trajna plastična deformacija od 0,2% je znatno veći od napona tečenja DM (tabele 4. i 6). Veličinu napona pri kome se odvija trajna plastična deformacija u MŠ treba prihvatiti uslovno zbog toga što merni deo epruvete čine materijali različitih karakteristika (OM, ZUT i MŠ).

Metalographic tests determined that the PM has a tempered martensite structure which is homogeneous along the whole thickness. Measured hardness values in the PM correspond to this structural state, ranging from 366 to 401 HV, table 7. Weld metal has a finely dispersed pearlite with ferrite structure, homogeneous along the whole cross-section. Hardness of the WM ranges from 213 to 236 HV and correspond to the observed micro-structure. The structure of the HAZ is more complex. Micro-structure at measuring locations 5, 6, 10 and 11, figure 7, is coarse-grain and mostly beinite. These micro-structures are shown in figures 9.c) for measuring location L10 and 9.d) for measuring location L11. Tests have determined that the metallic grain is larger near the fusion line and that its size decreases with distance from this line, towards the PM. The hardness measured in this part of the HAZ ranges from 285 to 309 HV, which corresponds to the observed micro-structures. In the fine-grain part of the HAZ, adjacent to the PM, measuring locations L4 and L12, micro-structures also contain pearlite micro-constituents, figure 9.e). The lowest values of hardness were measured in this part of the HAZ, ranging from to 221 to 228 HV. Figure 9.f) shows the micro-structure characteristic of measuring locations K4 and K12, which are located at the very end of the coarse-grain HAZ. A fine-grain beinite micro-structure is mostly present in this part, with hardness ranging from 285 to 322 HV. Micro-structures in the zones from measuring locations K4 and K12 towards the PM, are fine-grain with pearlite micro-constituents and are the same as the structures described at measuring locations L4 and L12. During the testing of tensile properties of the welded joint as a whole, in the case when the additional material's strength is above that of the PM, it is required that fracture take place in the PM [7]. However, when using additional materials with lower strength compared to the PM, as in this experiment, fracture in the WM is also acceptable [7]. From figure 4, it can be seen that fracture occurred in the WM, and tables 2, 4 and 6 indicate that it occurred at stress levels above the declared tensile strength of the additional material (pure WM) and below the PM yield stress. Higher WM strength compared to the declared properties of the additional material can be explained by the increased carbon content in the WM. Taking into account that the PM has higher carbon content compared to the additional material and that, due to the shape of the groove and a small gap in the root, the percentage of PM in the WM is considerable



Međutim, ovaj podatak i raspodela deformacija duž mernog dela epruveta, slika 4., omogućavaju da se razume tok deformacije spoja.

Povećanje napona pri kome započinje plastična deformacija MŠ, utiče na povećanje nivoa zaostalih napona u spoju što povećava njegovu sklonost ka pojavi hladnih prslina. Zaostali naponi se, u ovom slučaju, mogu smanjiti smanjenjem stepena mešanja OM i DM, povećanjem zazora u žlebu i delimičnim zakošenjem ivica žleba (Y - žleb). Na taj način bi se dobilo i nešto manje nadvišenje lica šava.

Prema literaturi [7], pri ispitivanju epruveta sa spojem u celini, ugao savijanja manji od 180° nije prihvatljiv. Pri ispitivanju spojeva zavarenih DM veće čvrstoće od čvrstoće OM deo epruvete između oslonaca, slika 5.a), se ravnomerno deformiše. Međutim, u slučajevima kada DM ima čvrstoću koja je niža ili je približno jednaka čvrstoći OM, deformacija dela epruvete između oslonaca je neravnomerna i uglavnom je skoncentrisana u MŠ, slika 6.a). U tom slučaju MŠ ima veliki stepen deformacije pri malom uglu savijanja epruvete, što dovodi do pojave prslina u spoju, slika 6.c). U ovom slučaju ravnomernu deformacije mernog dela epruvete moguće je ostvariti savijanjem valjkom oko trna, slika 5.b). U tom slučaju je stepen deformacije MŠ, pri uglu savijanja epruvete od 180° znatno manji, slika 6.b) pa se prslina u MŠ ne pojavljuju, slika 6.d). U slučajevima kada se savijanjem ispituju spojevi zavareni DM niže čvrstoće od čvrstoće OM ispitivanje treba izvesti savijanjem valjkom oko trna. Rezultati merenja tvrdoća pokazuju da je u ZUT došlo do pada tvrdoća u odnosu na tvrdoću OM. Sa slike 1. se vidi da OM ima strukturu otpuštenog martenzita. Ova struktura je dobijena kaljenjem i otpuštanjem čelika. U literaturi nisu pronađeni podaci o visini temperature otpuštanja čelika HARDOX 400.

Međutim, na osnovu preporuke o maksimalnoj međuprolaznoj temperaturi [6] od 225°C , može se zaključiti da je temperatura otpuštanja čelika bila niska, verovatno oko 250 do 300°C . Zagrevanje OM iznad ovih temperatura vodi nastavku procesa otpuštanja, zbog čega tvrdoća OM opada. Tokom zavarivanja temperatura OM duž spoja raste zbog zagrevanja toplotom električnog luka. Da bi se sprečio pad tvrdoće u ZUT, tokom zavarivanja se mora voditi računa da temperatura OM ne prelazi 225°C .

Uvođenjem predgrevanja OM skraćuju se deonice spoja na kojima se u ZUT dostiže temperatura 225°C , proširuje se ZUT i time i zona u kojoj opada tvrdoća. Zbog toga predgrevanje čelika HARDOX 400 manjih debljina nije poželjno. Međutim, u ovom

(40-50%), a significant increase in the carbon content of the WM is expected, leading to an increase in its strength. In addition, the stress corresponding to plastic strain of 0.2% in the WM is significantly higher than the additional material yield stress (tables 4 and 6). Stress magnitudes corresponding to permanent plastic strain in the WM should be accepted at a conditional level, since the measured part of the specimen is made of materials with different properties (PM, HAZ and WM). However, this information, as well as strain distribution along the measured part of the specimen, figure 4, provide insight into the development of strain in the welded joint. The increase in stress levels at which plastic strain of the WM initiates affects the increase of residual stresses in the weld, which results in increased risk of cold crack initiation. Residual stresses in this cases can be reduced by reducing the level of mixing between PM and additional material, increasing the gap in the groove and partial slanting of groove edges (Y – groove). This would also result in a slightly smaller weld face overhang.

According to literature [7], during the testing of specimens as a whole, bending angles less than 180° are not acceptable. During the testing of welded joints in which the additional material is stronger than the PM, the part of the specimen between the supports deforms uniformly (figure 5a.). However, in the case that the strength of the additional material is equal to or below the strength of the PM, the strain between the supports is non-uniform and mostly concentrated in the WM, figure 6.a). In this case, the WM deforms significantly at small bending angles, which leads to cracks occurring in the weld, figure 6.c), In this case, uniform strain distribution of the measured part of the specimen is possible to achieve by bending around the mandrel using rollers, figure 5.b). In this case, the strain level of the WM, for the bending angle of 180° , is significantly lower 6.b), thus the cracks do not occur in the WM, figure 6.d). In the case where bending is used to test welded joints with additional material whose strength is lower than that of the PM, testing should be performed by bending around the mandrel using a roller. Hardness measuring results indicated that there was a drop in hardness in the HAZ compared to the PM. It can be seen from figure 1 that the PM has a tempered martensite structure. Such structure is obtained by quenching and tempering of steel. Information about the temperature used for HARDOX 400 steel tempering were not found in the literature.



slučaju je, pred zavarivanje, potrebno sušenje ivica žleba i njihove okoline naročito ako je ambijentalna vlažnost veća od 40%. Ovo sušenje treba izvoditi plamenom kiseonika i acetilena i ima za cilj uklanjanje vlage adsorbovane na površini metala čime se smanjuje verovatnoća nastanka hladnih prslina.

Međutim, predgrevanje ima pozitivan uticaj na smanjenje zaostalih napona u spoju i time i na smanjenje njegove sklonosti ka pojavi hladnih prslina. Zbog toga se zaostali naponi moraju smanjiti preduzimanjem drugih mera npr. zavarivanjem povratnim korakom i ograničavanjem širine žleba. U ovom slučaju, dužina povratnog koraka ne treba da bude veća od dužine spoja na kojoj se, u datim uslovima (količina unete toplote, debljina čelika), u ZUT postiže temperatura od 225°C. Povećanje dužine koraka vodi smanjenu tvrdoće u ZUT, a smanjenje dužine koraka nepotrebno povećava broj mesta početaka i završetaka zavara što povećava verovatnoću pojave grešaka u spoju.

Optimlni zazor u žlebu je 3 mm. Manji zazor onemogućava pouzdano provarivanje, a veći zazor povećava širinu MŠ. Naponi koji nastaju usled poprečnog skupljanja MŠ su utoliko veći ukoliko je širina žleba veća, pa verovatnoća nastanka prslina raste sa porastom širine žleba.

4. ZAKLJUČCI

Zbog martenzitne mikrostrukture čelik HARDOX 400 ima sklonost ka pojavi hladnih prslina u zavarenim spojevima. Da bi se one izbegle treba koristiti dodatne materijale niže čvrstoće od čvrstoće samog čelika, čime se smanju zaostali naponi u spojevima i time i njihova sklonost ka pojavi hladnih prslina. Pri ispitivanju savijanjem oslanjanjem u tri tačke, epruvete sa spojevima zavarenim dodatnim materijalima niže čvrstoće u odnosu na čvrstoću čelika HARDOX 400 se neravnomerno deformišu.

Pri ispitivanju savijanjem oslanjanjem u tri tačke, epruvete sa spojevima zavarenim dodatnim materijalima niže čvrstoće u odnosu na čvrstoću čelika HARDOX 400 se neravnomerno deformišu.

Zbog toga nije moguće postići potreban ugao savijanja bez pojave prslina. Ravnomernu deformaciju mernog dela epruvete i potreban ugao savijanja je, u ovim slučajevima, moguće postići savijanjem valjkom oko trna.

Pri zavarivanju čelika HARDOX 400 dolazi do strukturnih promena u zoni uticaja toplote koje su praćene padom tvrdoće. Zbog toga su količina unete toplote i maksimalna temperatura do koje se sme zagrevati osnovni materijal ograničeni.

However, based on the recommendation for maximum interpass temperature [6] of 225°C, it can be concluded that the steel tempering temperature was low, probably around 250 to 300°C. Heating of the PM above these temperatures allows the tempering process to continue, thus reducing the WM hardness. During the welding, the temperature of the PM along the welded joint increases due to the heat generated by the electric arc. In order to prevent the hardness drop in the HAZ, it should be ensured that the temperature in the PM does not exceed 225°C during the welding process. Preheating of the PM reduces the size of welded joint sections within the HAZ wherein the temperature reaches 225°C, expands the HAZ, which also increases the zone in which the hardness decreases. Due to this, preheating of thin HARDOX 400 steels is not recommended. However, in this case, it was necessary to dry the groove edges and their surrounding area prior to welding, especially if the ambient humidity is above 40%. This drying should be performed using oxygen and acetylene flame, and its purpose is to remove humidity adsorbed by the metal surface, which reduces the probability of cold crack initiation. However, preheating positively affects the reduction of residual stress in the welded joint, which results in decreased vulnerability to cold crack initiation. Hence, residual stresses must be reduced by other means, such as reverse step welding and groove edge limiting. In this case, the reverse step length should not be greater than the welded joint length wherein, under given condition (amount of heat input, steel thickness), the temperature in the HAZ reaches 225°C. Increase in step length leads to reduced HAZ hardness, and reducing this length leads to an unnecessary increase in the number of start and end locations in the welded joint, which in turn increases the probability of defects occurring in the weld. Optimal gap in the groove should be 3 mm. Smaller gaps disable reliable penetration, whereas larger ones increase the WM width. Stresses that occur due to lateral WM contraction increase with groove width, hence the probability of crack initiation increases as well.

4. CONCLUSIONS

Due to its martensitic micro-structure, HARDOX 400 steel has a tendency toward cold crack initiation in welded joints. In order to avoid them, additional materials whose strength is lower than the steel itself should be used, since this reduces the residual stresses in the weld, thus decreasing the risk of cold cracks.



U tehnologijama zavarivanja, najčešće se definiše minimalna međuprolazna temperatura koja treba da obezbedi dovoljno sporo hlađenje da se, u zoni uticaja toplote, spreči obrazovanje tvrdih i krutih struktura. Međutim, u slučaju čelika HARDOX 400 definisana je maksimalna međuprolazna temperatura čije preležanje izaziva pad tvrdoće i otpornosti na habanje. Zbog toga je pri zavarivanju ovog čelika nepohodna stalna kontrola temperature duž spoja.

Predgrevanje čelika HARDOX 400 do debljina od 20 mm nije potrebno. Zagrevanje čelika navedenih debljina, pre zavarivanja se u ovom slučaju odnosi isključivo na uklanjanje adsorbovana vlaga, čime se smanjuje sadržaj vodonika u metalu šava i njegova osetljivost na pojavu hladnih prslina.

Pri zavarivanju čelika HARDOX 400 treba preduzeti sve raspoložive mere za smanjenje zaostalih napona, kao što su npr. zavarivanje povratnim korakom, optimalni zazor u žlebu i izbegavanje zavarivanja ukrućenih spojeva.

During the three point bending tests, the specimens with welded joints whose additional materials had lower strength than the HARDOX 400 steel, these specimens deformed non-uniformly. Thus, it was impossible to achieve the necessary bending angle without crack initiation. Uniform strain distribution of the measured part of the specimen, as well as the required bending angle can be achieved, in this case, by bending around the mandrel using a roller. During the welding of HARDOX 400, microstructural changes in the HAZ occur and result in a drop in hardness. Due to this, the amount of heat input and maximum heating temperature of the parent material are limited. In welding technologies, it is common practice to define the minimum interpass temperature that should ensure sufficiently slow cooling, in order to avoid the forming of hard and brittle structures in the HAZ. However, in the case of HARDOX 400 steel, maximum interpass temperature was defined instead, since exceeding this temperature would lead to a drop in hardness and, consequently, wear resistance. Because of the above, constant control of temperature along the welded joint is necessary during the welding of this steel.

Preheating of HARDOX 400 steel with thickness up to 20 mm is not necessary. Heating of such steels prior to welding is, in this case, related entirely to the removal of adsorbed humidity, which reduces the hydrogen content in the weld metal, thus reducing its vulnerability to cold crack initiation.

During the welding of HARDOX 400 steels, all available means of residual stress reduction should be utilized, including, e.g. reverse step welding, optima groove gaps and avoiding of welding of fixed joints.

LITERATURA

[1] Welding of Hardox, SSAB, Oxelösund AB, Sweden, 2014.

[2] Inspection certificate No 79198K, HARDOX 400, SSAB Europe Oy, 2016.

[3] S. Sedmak: Uputstvo za ocenu prihvatljivosti grešaka u zavarenim konstrukcijama PD 6493, Seminar za specijaliste za posude pod pritiskom, Tehnološko metalurški fakultet u Beogradu, Beograd, 1996.

[4] R. Jovičić, M. M. Algoal, U. Tatić, O. Popović, U. Lukić, M. Burzić: Storage Tank Integrity Assessment after the Removal of Weld Cracks, časopis Structural Integrity and Life, Vol 14, No 1 (2014), str. 35-38, ISSN/ISBN 1451-3749, COBIS SR-ID 181616135

[5] Bohler Welding Handbook, Voestalpine Böhler Welding Austria GmbH Böhler, Kapfenberg, Austria, 2014.

[6] Welding Weldox and Hardox, SSAB, Oxelösund AB, Sweden, 2007.

[7] SRPS EN ISO 15614 – 1/2017: Specifikacija i kvalifikacija tehnologije zavarivanja metalnih materijala – Kvalifikacija tehnologije zavarivanja – Deo 1: Elektrolučno i gasno zavarivanje čelika i elektrolučno zavarivanje nikla i legura nika

[8] SRPS EN ISO 5817/2015: Zavarivanje – Zavareni spojevi topljenjem na čeliku, niklu, titanu i njihovim legurama – Nivoi kvaliteta nepravilnosti

[9] SRPS EN ISO 5173/2013: Ispitivanje sa razaranjem zavarenih spojeva metalnih materijala — Ispitivanje savijanjem



Miodrag Arsić¹, Vencislav Grabulov¹, Mladen Mladenović¹, Zoran Savić¹

ANALYSIS OF CURRENT STATE AND STRENGTH EVALUATION OF THE PIPELINE AT HYDRO POWER PLANT 'PIROT' ANALIZA TRENUTNOG STANJA I OCENA ČVRSTOĆE CEVOVODA NA HIDROELEKTRANI PIROT

Originalni naučni rad / Original scientific paper

Rad je u izvornom obliku objavljen u Zborniku sa savetovanja „ZAVARIVANJE 2016“ održanog na Srebrnom jezeru 14-17. Septembra 2016

Rad primljen / Paper received:

Januar 2018.

Adresa autora / Author's address:

¹Institut za ispitivanje materijala, Bulevar vojvode Mišića 43, Beograd, Srbija

E-mail: miodrag.arsic@institutims.rs

Ključne reči: hidroelektrana, prslina, tehnologija sanacije, čvrstoća cevovoda

Key words: hydroelectric generating plant, crack, repair technology, pipeline strength

Rezime

Hidroelektrana Pirot, koja je izgrađena 1990 godine, je akumulaciona elektrana derivacionog tipa, koja se sastoji od dva nadzemna vertikalna agregata sa Francis turbinama nominalne snage 41,5 MW, proizvedene u Češkoj Republici, tunela i ukopanog cevovoda ukupne dužine 2030 m i prečnika od Ø 3000 mm do Ø 3500 mm. Cevovod debljine lima 22 mm je izrađen od čelika kvaliteta S275J2G3 (stara oznaka Č.0462). Maksimalni pritisak u njemu ispred turbinskog zatvarača je 2,5 MP.

Na cevovodu se u kontinuitetu od završetka izgradnje i puštanja u rad sprovode geodetska merenja kada je cevovod prazan i neopterećen hidrostatičkim pritiskom i kada je cevovod pun. Pregledom i analizom dobijenih podataka o pomeranjima duž trase cevovoda utvrđeno je da od 2003-2004 godine postoje znatno veće razlike u pomeranjima za pun i prazan cevovod, nego u prethodnom periodu.

U radu je izvršena analiza trenutnog stanja i ocena čvrstoće cevovoda kao celine na osnovu rezultata ispitivanja sučeonih zavarenih spojeva i ukrasnih masta metodama bez razaranja u zoni preloma na stacionaži - dužini cevovoda 1+263m (vizuelno ispitivanje, ispitivanje magnetnim česticama, ispitivanje penetrantima, ispitivanje ultrazvukom, radiografsko ispitivanje, metalografsko ispitivanje metodom replika).

Abstract

Hydro power plant Pirot, which was built in 1990, is an accumulation-derivative power plant, which consists of 2 above-ground vertical hydroelectric generating sets that contain Francis turbines with nominal power of 41,5 MW, manufactured in Czech Republic, a tunnel and a sunken pipeline with overall length of 2.030 m and diameter that ranges from 3.000 to 3.500 m. Pipes have been made of S275J2G3 steel. Pipe wall is 22 mm thick. Maximum pressure of 2.5 MPa occurs in front of the turbine cover.

Geodetic measurements have been conducted permanently from the day the assembly was finished and pipeline was put into service, both when pipeline is empty and unloaded by hydrostatic pressure and when it is full. Analysis of obtained data regarding the movements along the pipeline route showed that from year 2003 there are significantly higher differences in movements comparing the situations when the pipeline is full and when it is empty in comparison with the previous period.

This paper contains the analysis of current state and strength evaluation of the pipeline as a whole on the basis of results of non-destructive tests performed on the vital butt - welded joint in the curvature area at chainage 1+263 m (visual testing, magnetic particle testing, penetrant testing, ultrasonic testing, radiographic testing, metallographic replication testing).



1. UVOD

Hidroelektrana Pirov je locirana neposredno u blizini grada Pirota i koristi vode Visocke reke na profilu brane Zavoj. Izgrađena je 1990 godine kao akumulaciona elektrana derivacionog tipa, koja se sastoji od dva nadzemna vertikalna agregata sa Francis turbinama nominalne snage 41,5 MW (sl. 1) proizvedene u Češkoj Republici [1], tunela i ukopanog cevovoda pod pritiskom ukupne dužine 2030 m i prečnika od \varnothing 3000 mm do \varnothing 3500 mm. Maksimalni pritisak u cevovodu je 2,5 MP. Cevovod debljine lima 22 mm je izrađen od čelika kvaliteta S275J2G3 (stara oznaka Č.0462) [2], za koji su hemijski sastav i mehaničke osobine date u tab. 1 i u tab. 2.

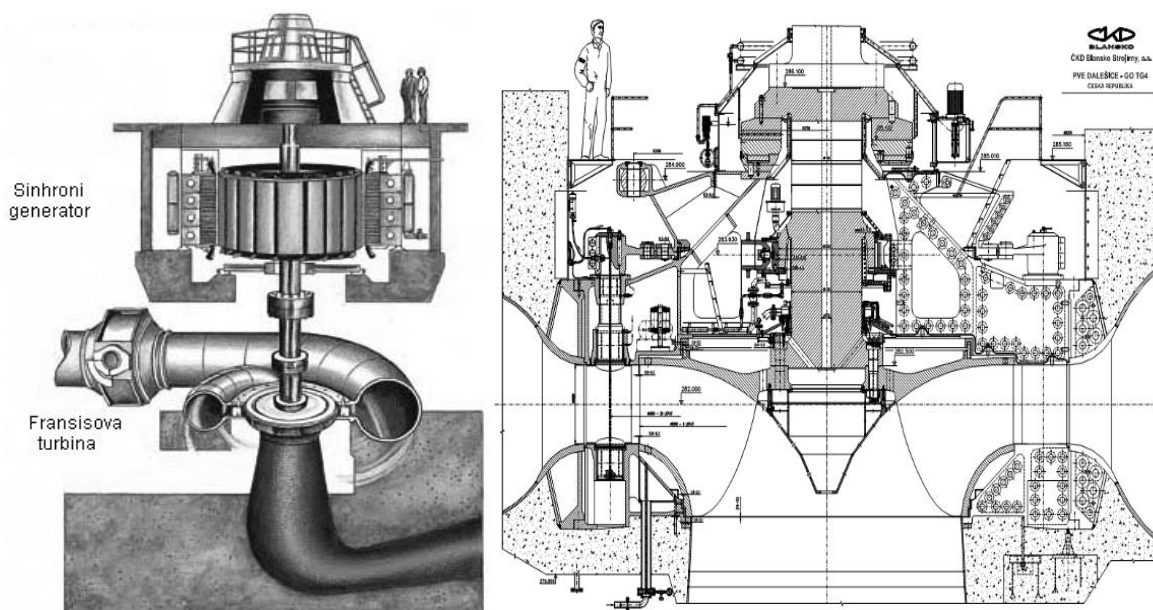
Cevovod je projektovan i izgrađen bez ankernih blokova na prelomima, što predstavlja retkost u svetu. U cilju analiza trenutnog stanja i ocene integriteta cevovoda kao celine izvršena su ispitivanja, metodama bez razaranja, vitalnih sučeonih zavarenih spojeva (ZS) i ukrasnih mesta u zoni preloma na stacionaži – dužini cevovoda 1+263 m, sl. 2. Na tom delu cevovoda, prema projektnoj dokumentaciji, vertikalni prelom cevovoda iznosi $7,18^\circ$, a horizontalni $9,82^\circ$ i prelaz cevi sa prečnika \varnothing 3500 mm na prečnik \varnothing 3340 mm. Na sl. 3 prikazana je priprema cevovoda za predviđena ispitivanja.

Materijal	C	Si	Mn	Cu	S	P
S275J2G3	0.210	–	1.60	0.060	0.035	0.045

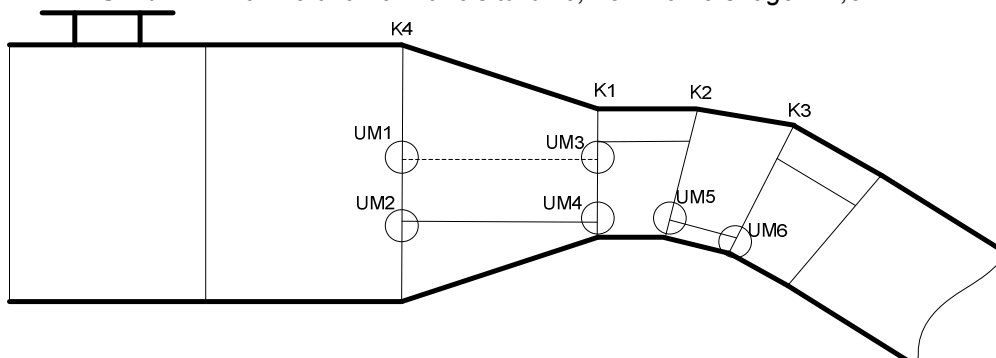
Tabela 1. Hemijski sastav, vrednosti u [%]

Materijal	Napon tečenja $R_{0.2}$ [N/mm ²]	Zatezna čvrstoća R_m [N/mm ²]	Izduženje A5 [%]	Energija udara $KV_{300/2}$ [J/cm ²]
S275J2G3	min 275	430 – 560	21 - 23	27 (- 20 °C)

Tabela 2. Mehaničke osobine, vrednosti za normalizovano i otpušteno stanje



Slika 1. Prikaz vertikalne Francis turbine, nominalne snage 41,5 MW



Slika 2. Skica ispitanih ZS i ukrasnih mesta na prelomu trase cevovoda na stacionaži 1+263 m



a) Brušenje spoljašnjeg dela cevovoda



b) Brušenje unutrašnjeg dela cevovoda

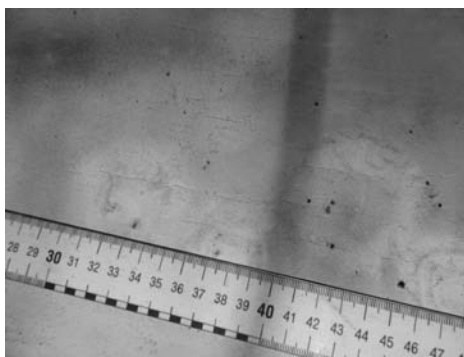
Slika 3. Prikaz pripreme brušenjem vitalnog zavarenog spoja na cevovodu radi ispitivanja

2. ISPITIVANJA METODAMA BEZ RAZARANJA VITALNOG ZAVARENOG SPOJA

Za potrebe analize trenutnog stanja i ocene integriteta cevovoda kao celine izvršena su sledeća ispitivanja metodama bez razaranja: vizuelno ispitivanje (VT), ispitivanje magnetnim česticama (MT), ispitivanje penetrantima (PT), ispitivanje ultrazvukom (UT), radiografsko ispitivanja (RT) i metalografsko ispitivanje metodom replika.

2.1 Vizuelno ispitivanje

Vizuelnim ispitivanjem [3] vitalnog sučeonog zavarenog spoja (ZS) u zoni najvećeg geometrijskog preloma cevovoda, u gornjoj zoni na spoljašnjoj strani cevovoda, utvrđene su površinske indikacije (prslina) u metalu šava (MŠ) na 5 mesta i veći broj prslina u zoni uticaja toplote (ZUT) i u osnovnom materijalu (OM). Međutim, u donjoj zoni sa unutrašnje strane cevovoda utvrđene su površinske indikacije (prslina) samo u OM. Najveća utvrđena dobina prslina je veličine 2,5mm, a njihove duzine variraju pri čemu je najduža utvrđena u OM po obimu ZS i iznosi 540 mm, sl. 4.



Slika 4. Prikaz ispitane površine OM po obimu sučeonog zavarenog spoja K2 (zona 800 mm x 250 mm)

2.2 Ispitivanje magnetnim česticama

Ispitivanja magnetnim česticama [4] ZS, sa spoljnje i unutrašnje strane cevovoda, izvršena su da bi se proverilo postojanje površinskih prslina, sl. 5.



a) Prikaz površinskih prslina u OM



b) Prikaz površinske prsline dužine 70 mm u MŠ

Slika 5. Prikaz ispitivanja magnetnim česticama zone zavarenog spoja K2 sa spoljašnje strane cevovoda



2.3 Ispitivanje penetrantima

Ispitivanja penetrantima ZS [5], sa spoljašnje i unutrašnje strane cevovoda, izvršena su da bi se proverilo postojanje površinskih prslina, sl. 6.



a) Prikaz površinske prslina u ZUT



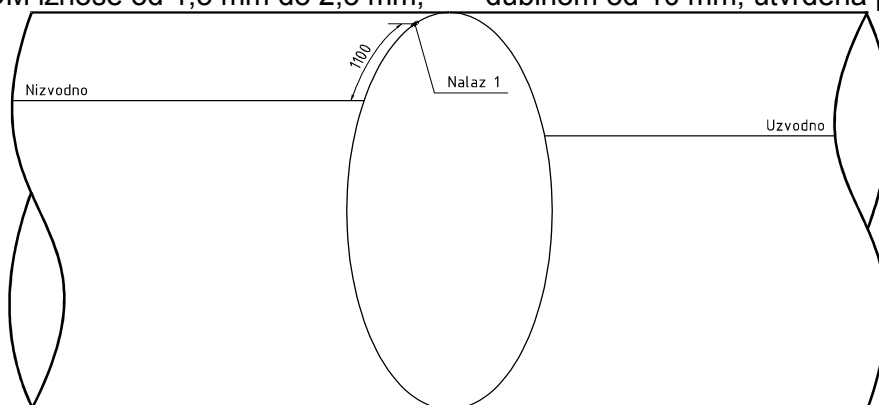
b) Prikaz površinskih prslina u OM

Slika 6. Prikaz ispitivanja penetrantima zone zavarenog spoja K2 sa spoljnje strane cevovoda

2.4 ispitivanje ultrazvukom

Ispitivanja ultrazvukom OM i ZS [6], sa spoljašnje i unutrašnje strane cevovoda, izvršena su da bi se utvrdile dubine površinskih prslina. Utvrđeno je da dubine prslina u OM iznose od 1,5 mm do 2,5 mm,

a dubine prslina u MŠ od 3,5 mm do 10,0 mm. Na sl. 7 prikazana je lokacija jedne od površinskih prslina u sučeono ZS cevovoda sa najvećom dubinom od 10 mm, utvrđena pri UT ispitivanju.



Slika 7. Ispitivanja UT dubina površinskih prslina u zoni ZS sa spoljašnje strane cevovoda

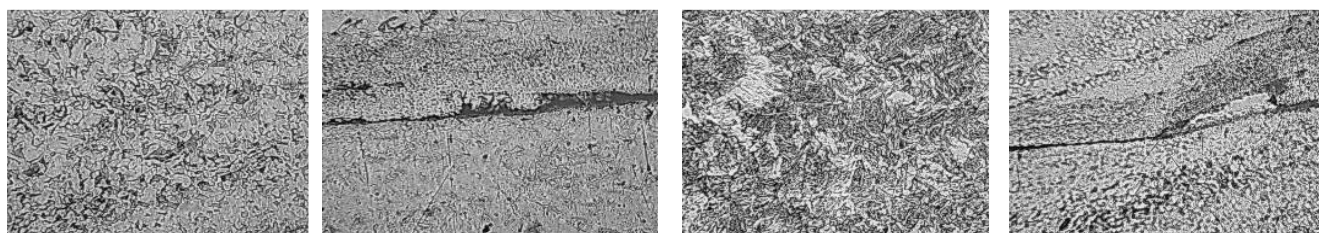
2.5 Radiografsko ispitivanja

Radiografskim ispitivanjem [7] utvrđene su mestimične greške tipa zajedaja u korenom delu sučeonog ZS, dužina: 30mm, 35 mm, 65 mm, 75 mm, 100 mm i 240 mm.

2.6 Metalografsko ispitivanje metodom replika

Metalografskim ispitivanjem metodom replika [8], utvrđeno je mikrostrukturno stanje OM cevovoda. Ispitivanje je izvršeno na metalografskom mikroskopu marke "METAVAL" proizvođača "Carl Zeiss" iz Jene (Nemačka) korišćenjem tehnike

svetlog polja, nakon priprema ispitanih površina (čišćenje, odmašćivanje, niz operacija finog brušenja, završno poliranje, ispiranje, nagrizanje 4%-nim nitalom). Rezultati ispitivanja su pokazali da je mikrostruktura površinskog sloja OM cevovoda feritno-perlitna sa prisutnim sitnim nemetalnim uključcima i produktima korozije, kao i makroprslinama dužina od 12 mm do 15 mm, a da je mikrostruktura MŠ krupnozrnasta feritno-perlitna sa prisutnim sitnim nemetalnim uključcima, produktima korozije i makroprslinama dužina od 30 mm do 35 mm. Karakteristični rezultati ispitivanja prikazani su na sl. 8.



b) Mikrostruktura OM c) Jedna od prslina u OM d) Mikrostruktura MŠ e) Prslina u ZS
Slika 8. Karakteristični rezultati metalografskog ispitivanja mikrostruktura (metoda replika)

3. TEHNOLOGIJA SANACIJE PRSLINA U OSNOVNOM MATERIJALU I ZAVARENOM SPOJU

Analizom parametara od kojih zavisi izbor postupka reparaturnog zavarivanja/navarivanja (zavarljivost materijala, energetske mogućnosti postupaka zavarivanja, geometrijska složenost konstrukcije, ekonomski pokazatelji) utvrđena je celishodnost primene postupak 111. Zbog ograničenih mogućnosti izvođenja predgrevanja i termičke obrade nakon reparaturnog zavarivanja/navarivanja, optimalno rešenje je korišćenje elektroda sa bazičnom oblogom. Površinske prsline u OM sanirane su finim brušenjem, a

prslina u zonama vitalnog ZS reparaturnim zavarivanjem/navarivanjem primenom postupak 111 sa elektrodom E42 4 B 32 H5, komercijalne oznake EVB 50 (Elektrode Jesenice), klasifikovan prema standardu [9]. Hemijski sastav čistog metala šava elektrode dat je u tab. 3, a mehaničke osobine u tab. 4. Na sl. 9 prikazana je priprema prsline sa najvećom dužinom i dubinom za sanaciju. U toku i posle sanacija prslina u OM i vitalnom ZS cevovoda sprovedena su ispitivanja metodama VT i MT/PT.

Elektroda	C	Si	Mn	Mo
EVB Mo	0.10	0.50	0.80	0.50

Tabela 3. Hemijski sastav, vrednosti u [%]

Elektroda	Napon tečenja Rp0.2% [N/mm ²]	Zatezna čvrstoća R _m [N/mm ²]	Izduženje A5 [%]	Energija udara KV _{300/2} [J/cm ²]
EVB Mo	> 450	530 – 630	> 22	47 (- 20 °C)

Tabela 4. Mehaničke osobine čistog metala šava



a) Priprema jedne od prslina za sanaciju



b) Prslina u zavarenom spoju K2 priprmljena za sanaciju

Slika 9. Sanacija prsline u ZS sa spoljašnje strane cevovoda, utvrđene ispitivanjima PT i UT

4. PRORAČUN ČVRSTOĆE CEVOVODA

Prema direktivi za opremu pod pritiskom [10], za projektovanje i ocenu integriteta cevovoda u eksploataciji predviđene su proračunske metode zasnovane na empirijskim formulama, analitičkim postupcima i mehanici loma. Ocena integriteta cevovoda u eksploataciji na osnovu rezultata ispitivanja bez razaranja i nakon izvršene sanacije

finim brušenjem i zavarivanjem/navarivanjem izvršen je analitički proračun čvrstoće cevovoda. Proračun čvrstoće omotača i danca u odnosu na unutrašnji pritisak sproveden je u skladu sa standardom EN 13445-3 [11]. Prema dokumentaciji proizvođača, osnovne tehničke karakteristike cevovoda su sledeće:



- napon tečenja za materijal omotača i danca na sobnoj temperaturi $R_{p0,2} = 275$ [MPa]
- zatezna čvrstoća za materijal omotača i danca na sobnoj temperaturi $R_m = 430$ [MPa]
- spoljašnji prečnik omotača $D_o = 3340$ [mm]
- unutrašnji prečnik omotača $D_i = 3308$ [mm]
- nominalna debljina materijala omotača i danca $t_o = 22$ [mm]
- radni pritisak na stacionaži – dužini cevovoda 1+263 m $p = 1.26$ [MPa]
- koeficijent zavarenog spoja $z = 0.8$

$$\frac{D_o}{D_i} = \frac{3340}{3308} = 1.01 < 1.2 - \text{uslov koji dokazuje}$$

primenljivost standarda (1)

4.1 Proračun čvrstoće cevovoda u odnosu na unutrašnji pritisak

Proračunom čvrstoće u odnosu na unutrašnji pritisak (jednačina br. 2) dokazano je da je debljina cilindričnog dela omotača dovoljna, odnosno da izračunata vrednost debljine nije veća od izmerene koja je navedena u paragrafu 2.4.1. Zahtevana debljina loma cevovoda određuje se na sledeći način:

$$t = \frac{D_o \cdot p}{2 \cdot f \cdot z + p} + \delta_e + c = \frac{3340 \cdot 1.26}{2 \cdot 1.37,5 \cdot 0,8 + 1,26} + 0,8 + 1,0 = 20,8 \text{ mm} < 22 \text{ [mm]} \quad (2)$$

U jednačini (2) prema standardu [10], vrednost 0,8 predstavlja dodatak za dozvoljeno odstupanje debljine materijala, a vrednost 1,0 dodatak za korozijska oštećenja. Za koeficijent čvrstoće f se uzima manja vrednost izračunata jednačinom (3):

$$f = \min\left(\frac{YS_{0,2}}{1,5}; \frac{TS}{2,4}\right) = \min\left(\frac{275}{1,5}; \frac{430}{2,4}\right) = (137,5; 180)$$

(3)

S obzirom da površine prsline u OM nisu u potpunosti otklonjene finim brušenjem, da bi se bilo na strani sigurnosti, proračun čvrstoće cevovoda kao celine (proračun minimalno potrebne deljina lima) je izvršen za minimalne vrednosti granice tečenja i zatezne čvrstoće materijala S275J2G3, kao i za koeficijent valjanosti ZS (koeficijent oslabljenja ZS) predviđen za „C” klasu kvaliteta.

5. ZAKLJUČAK

Integritet konstrukcija je relativno nova naučna i inženjerska disciplina, koja u širem smislu obuhvata analizu stanja i dijagnostiku ponašanja i popuštanja, procenu veka i revitalizaciju konstrukcija. To znači da u situaciji kada se ispitivanjem bez razaranja otkrije greška, ova

disciplina obuhvata i proračun čvrstoće konstrukcije.

Analizom stanja vitalnog zavarenog spoja i proračunom čvrstoće, odnosno minimalno potrebne debljine lima, utvrđeno je da integritet konstrukcije cevovoda kao celine nije ugrožen.

ZAHVALNICA

Autori se zahvaljuju Ministarstvu prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Srbije na podršci za realizaciju projekta TR 35002.

LITERATURA

- [1] Dokumentacija proizvođača za hidroagregate ČKD Blansko, Republika Češka, 1990.
- [2] SRPS EN 10025-1, Toplovaljani proizvodi od konstrukcionih čelika – Opšti tehnički zahtevi za isporuku, Institut za ctandardizaciju Srbije, 2014.
- [3] SRPS EN ISO 17637, Ispitivanje zavarenih spojeva metodama bez razaranja – Vizuelno ispitivanje zavarenih spojeva topljenjem, Institut za ctandardizaciju Srbije, 2012.
- [4] SRPS EN ISO 17638, Ispitivanje zavarenih spojeva metodama bez razaranja – Ispitivanje magnetskim česticama, Institut za ctandardizaciju Srbije, 2012.
- [5] SRPS EN ISO 3452-1, Ispitivanje bez razaranja – Penetrantsko ispitivanje – Deo 1: Opšti principi, Institut za ctandardizaciju Srbije, 2014.
- [6] SRPS EN 1714, Ispitivanje zavarenih spojeva metodama bez razaranja – Ispitivanje zavarenih spojeva ultrazvukom, Institut za ctandardizaciju Srbije, 2010.
- [7] EN 1435, Ispitivanje zavarenih spojeva metodama bez razaranja – Radiografsko ispitivanje zavarenih spojeva, Institut za ctandardizaciju Srbije, 2010
- [8] ISO 3057, Non-destructive testing - Metallographic replica techniques of surface examination, International Organization for Standardization, 1998.
- [9] EN 499, E 42 2 Mo B 42, Welding consumables. Covered electrodes for manual metal arc welding of non alloy and fine grain steels. Classification, 1995.
- [10] The Pressure Equipment Directive 97/23/EC, European Parliament, 1997.
- [11] SRPS EN 13445-3, Posude pod pritiskom koje nisu izložene plamenu – Deo 3: Projektovanje - Izmena 2, Institut za ctandardizaciju Srbije, 2008.



Dragan Mitić dipl.maš.inž.¹, Nikola Jović dipl.inž.zaš.², Davor Gruber dipl.maš.inž.³

ZAVARIVANJE TRAMVAJSKE ŠINE 54 G2 R260 ZA BLOK OD COGIDURA SAMOZAŠTITNOM ŽICOM - POSTUPAK 114 WELDING TRAM-RAIL 54 G2 R260 FOR BLOC FOR BLOC COGIDUR SELF-SHIELDED WIRE –PROCESS 114

Stručni rad / Professional paper

UDK / UDC: 621.791:625:143

Rad primljen / Paper received:

Januar 2018.

Adresa autora / Author's address:

¹IWE "Vossloh MIN Skretnice" Niš

²UT nivo 3 "Zavod za IBR " Beograd

³IWE/IWI-C -"NIVAR d.o.o." Niš

Ključne reči: samozaštitna žica, tramvajska šina, blok, ispitivanje na lom

Abstract: Self-shielded wire, tram-rail, block, fatigue test

REZIME:

U radu je data tehnologija zavarivanja tramvajske skretnice, samozaštitnom praškom punjenom žicom, sučeonog spoja tramvajske šine 54 G2 (W.no.1.0623 grupa 11.3) za blok od Cogidura (W.n1.8715 grupa 3.2) sa podloškama od bakra. Takođe je dat pregled ispitivanja tako zavarenog spoja metodama VT, PT, UT, makrostrukture i ispitivanje tvrdoće. Na kraju je zavareni uzorak ispitivan na lom sa promenljivim opterećenjem i frekvencom.

Uvod

Postupci kojima se zavaruju tramvajske šine kvaliteta 54G2 prema standardu EN 14811 (Primenjena na železnici-kolosek-šine sa žlebom, odgovarajući profil šina u skretnicama i ukrštanjima), su :

- Aluminotermitsko zavarivanje AT
- Elektrootporno zavarivanje ET
- Zavarivanje samozaštitnom praškom punjenom žicom FCAW

Elektrootporno zavarivanje šina ET se najčešće se upotrebljava u radioničkim uslovima, mada danas postoje i mobilni uređaji za zavarivanje na terenu, dok se najviše upotrebljava aluminotermitsko zavarivanje šina AT kako u radionici tako i na terenu.

Međutim, od 1996 g. za spajanje šina počinje da se primenjuje zavarivanje samozaštitnom praškom punjenom žicom FCAW. Ovaj postupak razvija

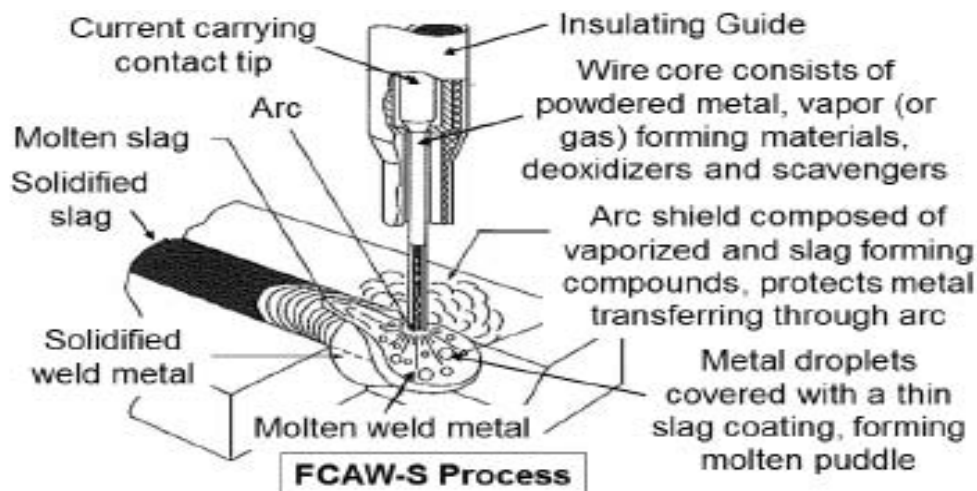
ABSTRACT:

The welding technology of the tram rail, by self-shielded with powder filled wire of 54 G2 tram rail (W.no.1.0623 group 11.3) for a block of Cogidure (W.n.1.8715 group 3.2) with copper backs, is given. It is also given an overview of the testing of the welded joint by the methods of VT, PT, UT, macrostructure and hardness testing. Finally, the welded sample is tested to the fracture with variable load and frequency.

kompanija Lincoln Smitweld GmbH, a odobrenje za upotrebu dobija od strane Deutsche Bahn AG za zavarivanje šinskih skretnica čvrstoća materijala od Rm 685N/mm² do Rm 885N/mm², za pruge sa osovinskim opterećenjem od 10t i brzinom manjom od 80km/h.

FCAW je postupak zavarivanja praškom punjenom žicom i u principu koristi sličnu opremu kao MAG postupak, ali bez zaštitnog gasa, dok su karakteristike procesa zavarivanja slične REL postupku.

Punjena elektrodna žica može se posmatrati kao kontinuirana elektroda sa zaštitnim materijalom unutar čeličnog omotača, pri čemu se ostvaruje neprekidni elektro-kontakt između žice i bakarne vođice pištolja za zavarivanje. Ovako se ostvaruju mnogo veće vrednosti struje nego pri MAG ili REL postupku, a samim tim i velika produktivnost pri zavarivanju i navarivanju materijala većih debljina. Prečnici samozaštitnih žica su od 0,9 do 3,2mm.

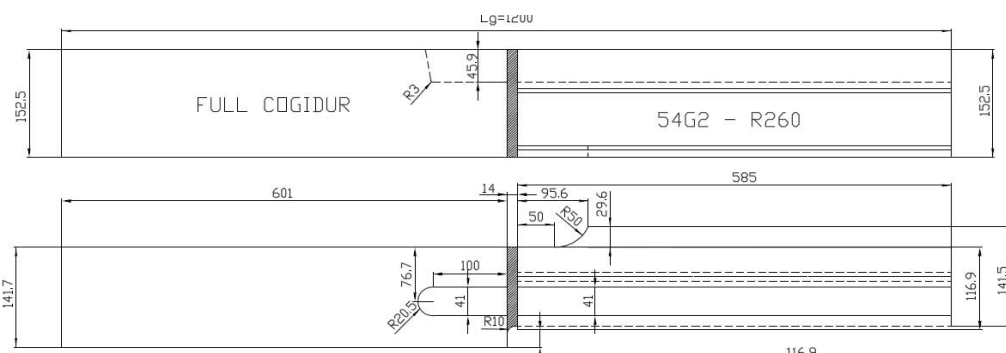


Slika 1. Šematski prikaz postupka zavarivanja samozaštitnom žicom FCAW-S

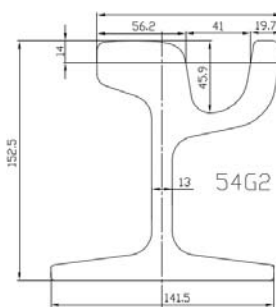
Osnovni materijal

Prilikom izrade tramvajskih skretnica, potrebno je zavariti šinu 54 G2- materijal šine je R260

(EN14811 W.no.1.0623) za blok od Cogidura (EN10083-2 W.no.1.8715). Zavarivanje je urađeno u pogonu fabrike "Vossloh MIN Skretnice" iz Niša.



Slika 2. Crtež pripreme spoja šine i bloka



Slika 3. Crtež preseka šine

Osnovni materijal	C%	Mn%	Si%	Ni %	Cr%	Mo%	Ti %	V %	Cu %
R260	0,62-0,8	0,7-1,2	0,15-0,58						
Cogidur	0,152-0,25	1,305	0,383	0,418	1,653	0,174	0,005	0,002	0,239

Hemijske karakteristike osnovnog materijala

Osnovni materijal	Rm N/mm ²	Rpo,2 N/mm ²	L %	f _v J	Tvrdoća HB
R260	933-947	493-510	12.5-14.4		275 - 284
Cogidur	1355	1005	13	-40°C 53	388-401

Mehaničke karakteristike osnovnog materijala

Zavarivanje šine za blok se postiže tako, što se postave u takav položaj, sa razmakom između njih od 14-17mm u zavisnosti od toga da li se rastojanje meri u predelu šape šine ili na vrhu glave šine. Ivce šina i bloka su obrušene do metalnog sjaja, a nakon provere centričnosti bloka u odnosu na šinu, postavlja se stega koja ih drži na tačnom rastojanju. Nakon toga postavljaju se bakarni podmetači sa strane šine u delu šape, a prethodno je već postavljen bakarni podmetač sa žlebom ispod šine i bloka.

Pre zavarivanja, predgrevaju se propan-butanom, šina i blok u dužini od 500mm levo i desno od spoja, kako bi se materijal progrijao po dubini bloka. Temperatura predgrevanja šina ide i do 350°C a bloka do 250°C, što nije lako izvesti u praksi. Nakon predgrevanja, zavaruje se šapa šine za blok u dva prolaza, a po završetku prolaza skidaju se bakarni podmetači i zavaruje se još jedan prolaz.



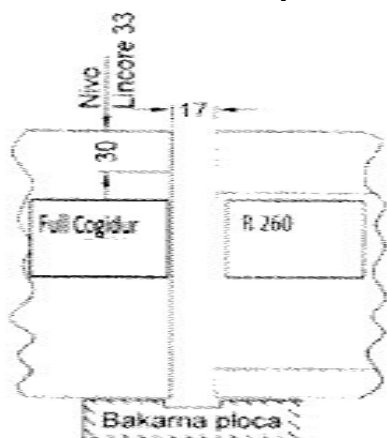
Slika 4. Pripreda za zavarivanje šape III prolaz



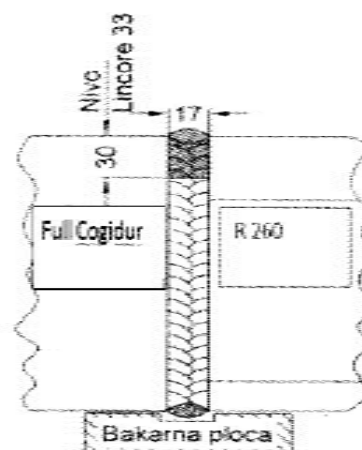
Slika 5. Postavljane bakarnih podmetača za zavarivanje vrata šine za blok

Pošto su postavljeni bakarni podmetači, ponovo se vrši predgrevanje, zato što dolazi do gubitka toplote i podhlađivanja materijala, jer postavljanje podmetača na predhodno zagrejani spoj nije lako izvesti i zahteva veštinu zavarivača. Merenjem temperature materijala šine i bloka i ako ona ne odstupa više od 10% od vrednosti, koja je data u WPS listi, nastavlja se sa zavarivanjem FCAW postupkom, vrata šine za blok i to neprekidno sve dok zavar ne dođe do kraja vrata šine. Tada se

sklanjaju bakarni podmetači, zavar se očisti od šljake pneumatskim uređajem sa vibrirajućim žicama, a nakon toga se zavare još najmanje tri prolaza, pri čemu se ostavi nezavareno zadnjih 30mm glave šine. Ovo zbog toga što se sledećih 30mm navaruje samozaštitnom žicom tvrdoće 33HRC. Sve vreme zavarivanja prate se vrednosti jačine struje koje minimalno odstupaju od vrednosti koje su date u WPS listi.



Slika 6. Pripreda spoja za zavarivanje-presek



Slika 7. Zavareni spoj - presek

Dodatni materijal za zavarivanje i navarivanje spoja tramvajska šina-blok

Za zavarivanje spoja šina-blok FCAW-S postupkom upotrebljava se samozaštitna žica prema EN ISO 17632-A - T 46 Z V N3, komercijalne oznake Innershield NS-3M, proizvođača Lincoln Electric

USA, prečnika žice $\varnothing 2,0\text{mm}$.

Za navarivanje FCAW-S postupkom se koristi samozaštitna žica EN14700 T Fe 1, komercijalne oznake Lincore 33, proizvođača Lincoln Electric USA, prečnika žice $\varnothing 2,0\text{mm}$.

Dodatni materijal	C %	Mn %	Si %	P %	S %	Al %	Cr %
NS-3M	0,23	0,45	0,25	0,006	0,006	1,4	
Lincore 33	0,15	2,0	0,7			1,6	2,0

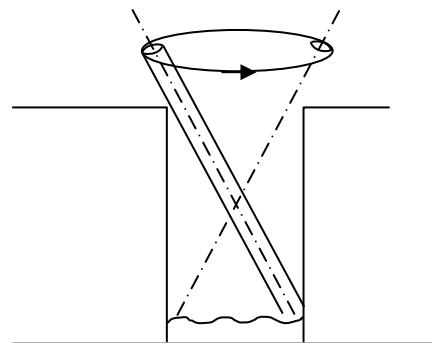
Hemijske karakteristike dodatnog materijala

Dodatni materijal	Rm N/mm ²	Rv N/mm ²	Izduženja %	Tvrdoća HRC
NS - 3M	640	470	27	28-34 HRC
Lincore 33				Tri i više prolaza

Mehaničke karakteristike dodatnog materijala



Slika 8. Izgled spoja šina-blok pre navarivanja



Slika 9. Prikaz tehnika zavarivanja

Zavarivanje

Postoje dve tehnike zavarivanja spoja šina-blok FCAW-S postupkom. Prva se sastoji u tome što se, električni luk vodi po sredini spoja, ali sa većim vrednostima jačine struje i drugi način sa manjim vrednostima jačine struje, ali tako što se električni luk usmerava u prvom prolazu prema šini a u sledećem prolazu prema bloku od Cogidura i tako naizmenično. Prikaz je dat na slici 9. Ova tehnika obezbeđuje veće uvarivanje prema bokovima materijala šine i bloka i ujedno sprečava pojavu

povišene tvrdoće u ZUT-u, a samim tim i pojavu prslina.

Parametri zavarivanja, dati su u WPS listi i vrednosti jačine struje se kreću od 290 do 350A u zavisnosti, da li se zavaruje šapa ili vrat. Napon zavarivanja je od 29-31V, brzina zavarivanja od 30-42cm/min, a unos toplote se kreće od 1.2-2 KJ/mm. Parametri navarivanja su $I = 280A$, $U = 30V$, $v = 28-30cm/min$, $E = 1,5-1,65 KJ/mm$.



Slika 10. Izgled zavarenog spoja šina-blok



Slika 11. Spoj šina-blok nakon PT

Nakon zavarivanja spoja šina-blok FCAW-S postupkom, spoj se dogreva na temperaturi $200^{\circ}C$ u trajanju od 1h, a nakon toga se pokriva vatrostalnim platnom i ostavlja da se lagano hladi.

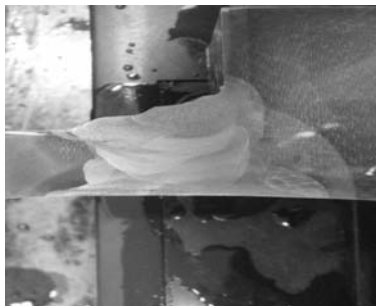
gde se prekida zavarivanje, sklanjaju bakarni podmetači i nakon čišćenja i predgrevanja nastavlja sa zavarivanjem. Tada se mogu javiti greške-nalepljivanja ili nemetalni uključci.

Ispitivanje bez razaranja

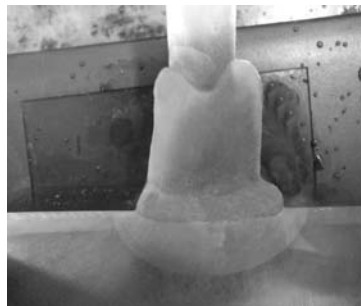
Nakon 24h izvršena je vizuelno dimenzionalna kontrola, kako samog zavarenog spoja, tako i paralelnosti šina i bloka, kao i moguća deformacija –skupljanje. Posle toga, urađena su ispitivanja penetrantskom tečnošću i ultrazvučno ispitivanje spoja. Kritično mesto spoja je kraj vrata šine, mesto

Ispitivanje sa razaranjem

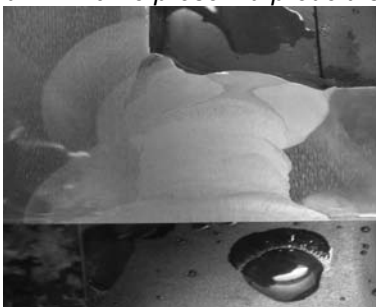
Pošto su rezultati ispitivanja bez razaranja bili zadovoljavajući, pristupilo se ispitivanju sa razaranjem, to jest urađeno je makrostrukturno i ispitivanje tvrdoće. Ispitivanje je obavila laboratorija "RD Dijagnostika d.o.o." Beograd, koja ima ovlašćenje od strane TÜV Thüringen Cert.



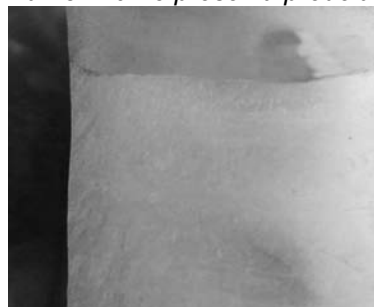
Slika 12. Makro presek u predelu šape



Slika 13. Makro presek u predelu vrata



Slika 14. Makro presek u predelu glave šine



Slika 15. Makro presek navarivanja

Šapa R260(54G2)EN 14811

1	PM	280	5	HAZ	290
2	PM	285	6	HAZ	287
11	WM			345	

Vrat R260(54G2)EN 14811

1	PM	281	5	HAZ	289
2	PM	281	6	HAZ	287
11	WM			342	

Glava R260(54G2)EN 14811

1	PM	282	5	HAZ	291
2	PM	280	6	HAZ	286
11	WM			341	

Cogidur/EN 10083-2

7	HAZ	280	3	PM	408
8	HAZ	288	4	PM	404
13	WM			309	

Cogidur/EN 10083-2

7	HAZ	286	3	PM	405
8	HAZ	287	4	PM	402
13	WM			309	

Cogidur/EN 10083-2

7	HAZ	289	3	PM	401
8	HAZ	288	4	PM	403
13	WM			303	

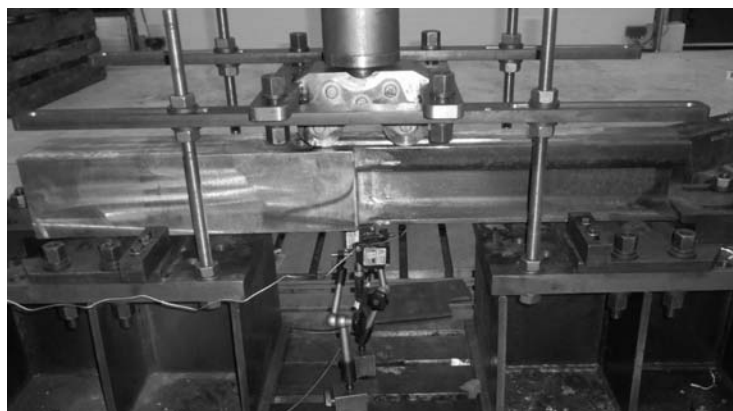
Glava R260/ DIN EN 14811, LINCORE 33

1	PM	281	5	HAZ	285	11	WM	345
2	PM	284	6	HAZ	288	13	WM	341

*Ispitivanje tvrdoće***Ispitivanje na lom**

Test opterećenja je urađen na uzorku AW-RBW (blok Cogidur-šina 54G2 R260), prema proceduri

T15002P01, ukupne dužine 1200mm, koji je zavaren FCAW-S postupkom u preduzeću VOOSLOH MIN SKRETNICE iz Niša.



Slika 16. Uređaj za ispitivanje na lom



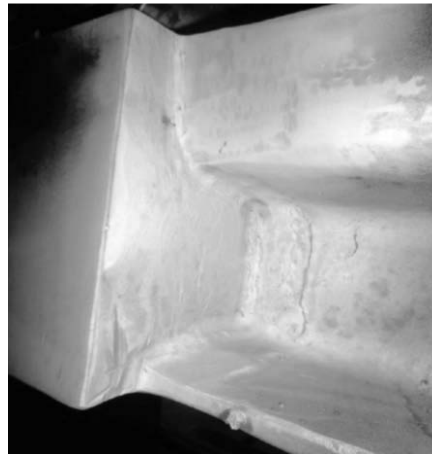
Test savijanja u četiri tačke je obavljen u Tehnološkom Centru Vossloh Cogifer u Reichshoffen-Francuska. Rastojanje između oslonaca je 1000mm, a dva laserska senzora se koriste za merenje amplitude. Pre ispitivanja izvršena je sertifikacija hidrauličkog cilindra i etaloniranje laserskih senzora.



Slika 17. Osa opterećenja se poklapa sa odgovarajućim neutralnim vlaknom nakon 3000000 ciklusa

Maksimalno *opterećenje* je 130MPa sa amplitudom od 13 do 130MPa, broj ciklusa 3.000.000 a frekvencija od 5 do 9 Hz.

Etaloniranje je urađeno direktno na komadu koji se ispituje. Jedan jednosmerni kalibar od 350Ω je zalepljen u centru šape sa strane šine na 5mm od šava.



Slika 18. Izgled uzorka nakon ispitivanja penetrantskom tečnošću

Test opterećenja je urađen u periodu od 02.02.2017. do 22.03.2017.godine Kvalifikacija je

dostignuta za opterećenje 13-130MPa (3000000 ciklusa)

Broj ciklusa	Frekvencija	L1 amplituda (mm)	L3 amplituda (mm)	Opterećenje (MPa)
1000 (étalonnage)	7 Hz	0.91	1.01	12.5 – 129.8
700 000	5 Hz	0.94	0.96	13.5 – 130.1
3 Mo	9 Hz	0.92	0.95	13.2 – 129.6

Merenje amplitude laserskim senzorom

Na osnovu ispitivanja na lom, nakon 3000000 ciklusa promenljivim opterećenjem od 13 do 130MPa, nije došlo do pojave prslina u zavarenom spoju, što se jasno vidi na uzorku nakon ispitivanja penetrantskom tečnošću. Uzorak je urađen u skladu sa proizvođačkom procedurom T15002P1.

ZAKLJUČAK

Iz prethodnih ispitivanja se vidi, da je zavarivanje šina FCAW-S postupkom, veoma pouzdano i da je preterana bojaznost evropskih zemalja prema ovom postupku i njegovim mogućnostima neopravdana.

LITERATURA:

- <http://content.lincolnelectric.com/pdfs/product/s/literature/c4200.pdf>
- Atlas of Fatigue Curves, ASM International" Materials Park, Ohio 44073-0002, www.asminternational.org
- Kralj, S.; Dunđer, M.: Ispitivanje sklonosti zavarenih spojeva čelika 25 CrMo4 i Ck 45 prema nastajanju hladnih pukotina, Zavarivanje (0044-1902) 43 (2000), 1/2; 5-16 43.
- Pitrun, M.: The effect of welding parameters on levels of diffusible hydrogen in weld metal deposited using gas shielded rutile flux cored wires, PhD Thessis, University of Wollongong, 2004
- Kou, S.: Welding Metallurgy Handbook, 2nd ed. New York, USA: John Wiley and Sons, 2002.
- Gadallah, R.; Fahmy, R.; Khalifa, T.; Sadek, A.: Influence of Shielding Gas Composition on the Properties of Flux-Cored Arc Welds of Plain Carbon Steel, International Journal of Engineering and Technology Innovation, vol. 2, no. 1, 2012, pp. 01-12



Dr. Leif Karlsson¹

WELDING DUPLEX STAINLESS STEELS – A REVIEW OF CURRENT RECOMMENDATIONS

ZAVARIVANJE DUPELKS ČELIKA- PREGLED SADAŠNJIH PREPORUKA

Originalni naučni rad / Original scientific paper

Adresa autora / Author's address:

¹ESAB AB, Göteborg (Sweden) (leif.karlsson@esab.se)

Rad je preuzet iz časopisa: WELDING IN THE WORLD (N°06 2012 Vol. 56)

Doc. IIV-2287, recommended for publication by Commission IX "Behaviour of Metals Subjected to Welding."

Rad primljen / Paper received:

Januar 2018.

Ključne riječi: Potrošni materijali; Prsline; Dupleks nerđajući čelici; Uneta toplota; Ferit; Intermetalne faze; Mikrostruktura; Azot; Zaštitni gasovi; Zavarivanje; Metal šava; Zavarljivost

Key words: Consumables; Cracking; Duplex stainless steels; Energy input; Ferrite; Intermetallics; Microstructure; Nitrogen; Shielding gases; Welding; Weld metal; Weldability

ABSTRACT

A steel will not become widely accepted and used unless it can be successfully welded without too many limitations. Contemporary duplex stainless steel grades fulfill these requirements with some grade dependent differences. The duplex stainless steel family has, during the last decade, been extended with new lean grades and recently also highly-alloyed hyperduplex grades. Most welding recommendations are very similar to those of the 1990's. However, the introduction of new grades and the increased use of newer welding methods has somewhat changed the perception of what is possible. This paper discusses the state-of-the-art and trends in welding of duplex stainless steels. It is based on input from the worldwide welding community, including users and producers of steel and welding consumables as well as literature. In most cases, there is consensus on recommendations but variations reflecting differences in practices exist in particular for newer steel grades where limits in e.g. allowable energy inputs are less well documented.

1. Background

Duplex stainless steels play an essential role since many years in industrial sectors such as oil and gas, process industry and fabrication of chemical tankers. They have also found their way into more general transportation and construction applications. There is nowadays a wide range of grades all offering an attractive combination of high strength and good corrosion resistance, thanks to their two-phase microstructure consisting of approximately 50 % ferrite and

REZIME

Čelik neće postati široko prihvaćen i iskorišćen, ako se ne može uspješno zavariti bez previše ograničenja. Savremeni dupleks nerđajući čelici ispunjavaju ove zahteve uz određene razlike zavisno od klase. Porodica dupleks nerđajućih čelika, tokom posljednje decenije, proširena je novim klasama i nedavno visoko-legiranim hiperdupleksima. Većina preporuka za zavarivanje je veoma slična onima iz devedesetih. Međutim, uvođenje novih klasa i povećana upotreba novih metoda zavarivanja donekle je promenila percepciju onoga što je moguće. Ovaj rad govori o najsavremenijim trendovima u zavarivanju dupleks nerđajućih čelika. Zasnovan je na inputima iz svetske zavarivačke asocijacije, uključujući korisnike i proizvođače čelika i potrošnog materijala za zavarivanje, kao i literaturu. U većini slučajeva postoji konsenzus o preporukama, ali varijacije koje odražavaju razlike u praksi postoje, posebno za nove kategorije čelika gde su granice, npr. dozvoljeni unosi toplote manje dokumentovani.

1. Osnova

Dupleks nerđajući čelici igraju ključnu ulogu mnogo godine u industrijskim sektorima kao što su nafta i gas, procesna industriju i izrada hemijskih tankera. Oni su takođe našli svoje mesto u opštem transportu i konstrukcijama. Danas je širok opseg klasa koje nude atraktivnu kombinaciju visoke čvrstoće i dobre otpornosti na koroziju, zahvaljujući njihovoj dvofaznoj mikrostrukturi koja se sastoji od otprilike 50% ferita i 50% austenita. Izrastavši u veliku familiju, dupleks nerđajući čelici variraju od



50% austenite. Having grown to a large family, the duplex stainless steels range from the lean grades to the highly-alloyed superduplex grades and recently also hyperduplex grades for more demanding applications [1-3].

In retrospect, the duplex conference in Beaune in 1991 [4] marks a step change in the image of duplex stainless steels. Earlier often seen as exotic, rarely used and difficult to weld materials they since then have become modern steels considered by many end users as realistic and interesting alternatives to more established stainless steels. At this conference, new grades with increased nitrogen additions and optimized compositions were presented. As a consequence many grades gained in weldability and corrosion resistance. Not only the 2205 grades became better defined but also superduplex steels were promoted and redesigned for better corrosion resistance, weldability and less tendency to formation of unwanted phases [5, 6].

The practical application of any steel on a larger scale is critically dependent on the use of welding for fabrication. Productivity is a key issue in manufacturing and, with increased use of duplex stainless steels, this aspect has become more important. Most welding recommendations are still valid [4, 7] when compared with those in existence at the time of the duplex stainless steel conference in 1991. However, the use of newer welding methods and the accompanying extension of possible heat input ranges both upwards and downwards have changed the welding engineer's toolbox. Examples include methods such as laser and laser-hybrid techniques, as well as lower energy input variants of MIG/MAG welding and welding with or without addition of filler material. Also friction stir welding (FSW) has successfully been applied although productivity and tool life are still limiting factors. Welding recommendations, therefore, need to be critically reviewed and summarized for well-established as well as newer grades.

This paper discusses experiences as well as recent trends in welding of duplex stainless steels based on input from the worldwide welding community, including users and producers of steel and welding consumables, as well as literature. It is intended to assist in designing proper welding procedures and avoiding problems by summarizing important aspects of the state-of-the-art of how to weld duplex stainless steels. Largely there is consensus on recommendations, but variations in recommendation reflecting differences in practices will be highlighted.

običnih u visoko-legirane superdupleks klase a nedavno i hiperdupleks klase za zahtevnije primene [1-3].

U retrospektivi, konferencija o dupleks čelicima u Bonu, 1991. godine [4] označava ključnu promenu u slici dupleks nerđajućeg čelika. Ranije su često smatrali egzotičnim, retko korišćenim i teško zavarivim materijalom koji su od tad postali moderni čelici, koje mnogi krajnji korisnici smatraju realnim i zanimljivom alternativom za dosta odomaćenih nerđajućih čelika. Na ovoj konferenciji su predstavljene nove klase sa povećanim sadržajima azota i optimizovanog sastava. Zbog toga su mnoge klase napredovale sa aspekta zavarivanja i korozijske otpornosti. Ne samo da je klasa 2205 postala bolje definisana, već su i superdupleks čelici promovisani i redizajnirani na bolju korozijsku otpornost, zavarljivost i manju tendenciju ka stvaranju neželjenih faza [5, 6].

Praktična primena bilo kog čelika u većoj meri je kritično zavisna od upotrebe zavarivanja za izradu. Produktivnost je ključno pitanje u proizvodnji i, uz povećanu upotrebu dupleks nerđajućih čelika, ovaj aspekt je postao važniji. Većina preporuka za zavarivanje još uvek važi [4, 7] kada se uporede sa onima koje su postojale u vreme konferencije o dupleks nehrđajućim čelicima, 1991. godine. Međutim, upotreba novih metoda zavarivanja i prateće proširenje mogućeg opsega unete toplote i na gore i na dole promenili su alatke inženjera zavarivanja. Primeri uključuju metode kao što su laserska i lasersko-hibridne tehnike, kao i varijante manjeg unosa energije MIG / MAG zavarivanja i zavarivanja sa ili bez dodatnog materijala. Takođe je uspešno primenjeno i zavarivanje trenjem sa mešanjem (FSW), iako je produktivnost i životni vek alata još uvek ograničavajući faktori. Preporuke za zavarivanje, prema tome, moraju biti kritički pregledane i rezimirane za dobro ustanovljene kao i nove klase.

Ovaj rad govori o iskustvima kao i o najnovijim trendovima u zavarivanju dupleks nerđajućih čelika na osnovu doprinosa svetske zavarivačke asocijacije, uključujući korisnike i proizvođače čelika i potrošnih materijala za zavarivanje, kao i literaturu. Namena je da se pomogne u projektovanju odgovarajućih postupaka zavarivanja, izbegavajući problem, sumiranjem važnih aspekata najsavremenije tehnologije zavarivanja dupleks nerđajućih čelika. U velikoj meri postoji konsenzus o preporukama, ali će se naglasiti varijacije u preporuci koje odražavaju razlike u praksi.



A welding operation can have significant effects on mechanical properties and corrosion performance. For example, excessively high weld metal or heat-affected zone ferrite content impair properties. It is also well-established that the presence of small amounts of secondary phases can have significant deleterious effects [8-11]. Some typical problems are therefore identified and discussed in relation to welding recommendations.

The document does not promote specific grades of steels, specific grades or brands of welding consumables, or the views of a particular company.

2. Duplex stainless steel grades

Duplex (austenitic /ferritic) stainless steels comprise a large family ranging from the lower alloyed lean grades, via the widely used 22 % Cr grades to the highly-alloyed superduplex and hyperduplex grades (Table 1). During recent years a number of so-called lean duplex stainless steels have attracted a lot of interest as cost-efficient alternatives to standard austenitic grades such as 304L (1.4307) and 316L (1.4401). Some of the Ni in these steels is often replaced by a combination of Mn and N in order to keep the alloying cost at a minimum whilst maintaining strength, corrosion resistance and a suitable phase balance. Lean duplex grades typically have a pitting corrosion resistance better or on par with standard austenitic grades [1, 2].

The classification in Table 1 is inevitably somewhat arbitrary, as there is no standardized or generally agreed method of grouping duplex steels. The intention was however to group steels in a manner reflecting composition and properties, indicating which grades can be seen as contemporary and using the common definition of superduplex as steels with a minimum Pitting Resistance Equivalent (PRE_N or PRE_W) of 40. The very recent 24 % Cr LDX 2404 grade was grouped together with the standard 22 % Cr grades based on its PRE_N value.

For the less-alloyed grades "lean" is primarily used for almost Mo-free grades with a low Ni-content [1]. However, also grades with intermediate Mo-content or with significant Cu-additions are here classified as "lean" as they have significantly lower PRE_N than the standard 22 % Cr grades. For the very highly-alloyed grades there is a similar problem in defining the borderline between superduplex and hyperduplex. In the present paper the grades are considered hyperduplex when PRE_N or PRE_W are close to or above 50.

Operacija zavarivanja može imati značajne efekte na mehaničke osobine i performanse korozije. Na primer, preterano visok metal šava ili sadržaj ferita u zoni uticaja toplote ugrožavaju svojstva. Takođe je dobro utvrđeno da prisustvo malih količina sekundarnih faza može imati značajne štetne efekte [8-11]. Stoga se prepoznaju i razmatraju neki tipični problemi u vezi sa preporukama za zavarivanje.

Dokument ne promovise određene klase čelika, specifične klase ili brendove potrošnog materijala za zavarivanje ili poglede određene kompanije.

2. Klase dupleks čelika

Dupleks (austenitno / feritni) nerđajući čelici obuhvataju veliku familiju koja se kreće od slabije legiranih klasa, preko široko rasprostranjenih klasa sa 22% Cr, do visoko legiranih superdupleks i hiperdupleks klasa (Tabela 1). Tokom proteklih godina niz takozvanih dupleks nerđajućih čelika privuklo je veliko interesovanje kao isplativa alternativa standardnim austenitnim klasama kao što su 304L (1.4307) i 316L (1.4401). Deo Ni u ovim čelicima često se zamenjuje kombinacijom Mn i N, kako bi se troškovi legiranja zadržali na minimumu, dok se održava čvrstoća, otpornost na koroziju i odgovarajući fazni balans. Slabije legirane klase obično imaju otpornost na tačkastu koroziju bolju ili na istom nivou kao i standardne austenitne klase [1, 2].

Klasifikacija u tabeli 1 je neizbežno donekle arbitražna, pošto ne postoji standardizovani ili generalno dogovoreni metod grupisanja dupleks čelika. Međutim, namera je bila da se grupišu čelici na način koji odražava sastav i svojstva, ukazujući koje se klase mogu smatrati savremenim i koristeći zajedničku definiciju superdupleksa kao čelika sa minimalnim ekvivalentom otpornosti na tačkastu koroziju (PRE_N ili PRE_W) od 40. Vrlo skoro je klasa 24% Cr LDKS 2404 grupisana zajedno sa standardnom klasom 22% Cr na osnovu svoje vrednosti PRE_N .

Za manje legirane klase "siromašne" se prvenstveno koristilo za klase gotovo bez Mo sa niskim sadržajem Ni [1]. Međutim, i klase sa srednjim sadržajem Mo ili sa značajnim Cu-dodacima ovde su klasifikovane kao "siromašne" jer imaju značajno niže vrednosti PRE_N od standardnih 22% Cr klasa. Za veoma visoko legirane klase, postoji slični problem u definisanju granične linije između superdupleksa i hiperdupleksa. U ovom radu klase se smatraju hiperdupleksom kada su vrednosti PRE_N ili PRE_W blizu ili iznad 50.



UNS No. USN br.	EN No. EN br.	Common designation Uo bičajena oznaka	Main alloying elements Glavni legirjući elementi							PRE _N	PRE _W
			Cr	Ni	Mo	N	Cu	W	Other Ostalo		
Early grades Ranije klase											
S32900	1.4460	329	25	5.5	1.7	0.09				32.0	32.0
S31500	1.4424	3RE60	18.5	4.5	2.6	0.07				28.2	28.2
S32404		UR50	21	6.5	2.5	0.07	1.5			30.4	30.4
Contemporary grades Savremene klase											
Lean duplex, PRE_{N/W} ~ 20-30 Siromašni dupleks, PRE_{N/W} ~ 20-30											
S32001	1.4482	19D	20	1.6		0.13	0.3		5 Mn	22.1	22.1
S32101	1.4162	LDX 2101	21.5	1.5	0.3	0.22	0.3		5 Mn	26.0	26.0
S32202	1.4062	UR2202	22	2	0.3	0.2	0.2			26.2	26.2
S82011		ATI 2102	21.5	1.5	0.3	0.22			2.5 Mn	26.0	26.0
S32304	1.4362	2304	22.5	4.8	0.3	0.1				25.1	25.1
	1.4655	-	23	4.5	0.3	0.1	2			25.6	25.6
S32003		ATI 2003	21.5	3.5	1.8	0.18				30.3	30.3
Standard 22% Cr duplex, PRE_{N/W} ~ 35 Standardni 22% Cr duplex, PRE_{N/W} ~ 35											
S82441	1.4462	LDX 2404	24	3.6	1.6	0.27			3 Mn	34.0	34.0
S31803	1.4462	2205	22	5.3	2.8	0.16				34.0	34.0
S32205	1.4462	2205	22.3	5.7	3.2	0.18				35.7	35.7
25% Cr duplex, PRE_{N/W} ~ 35-40 25% Cr Dupleks, PRE_{N/W} ~ 35-40											
S31200		44LN	25	5	2	0.15				34.0	34.0
S31260		DP3	25.2	7.2	3.2	0.14	0.5	0.3		38.0	38.5
S32506		SD40	25	6.5	3.3	0.17				38.6	38.6
S32550	1.4507	255	26	5.5	3	0.17	1.7			38.6	38.6
S32950		7Mo Plus	26.5	4.5	1.5	0.25				35.5	35.5
Superduplex, PRE_{N/W} ~ 40-50 Superdupleks, PRE_{N/W} ~ 40-50											
S32520	1.4507	2507Cu	25	7	3.5	0.25	1.5			40.6	40.6
S32750	1.4410	2507	25	7	4	0.27				42.5	42.5
S32760	1.4501	Zeron 100	25.4	6.9	3.8	0.27	0.7	0.7		42.3	43.4
S32808		DP28W	27.5	7.7	1	0.35		2		36.4	39.7
S32906	1.4477	SAF 2906 [®]	29	7	2.3	0.35				42.2	42.2
S39274		DP3W	25	7	3.2	0.26	0.5	2		39.7	43.0
S39277		AF918	25.5	7.3	3.8	0.26	1.7	0.9		42.2	43.7
Hyperduplex, PRE_{N/W} ~ > 50 Hiperdupleks, PRE_{N/W} ~ > 50											
S32707		SAF 2707 HD [®]	27	6.5	4.8	0.4			1 Co	49.2	49.2
S33207		SAF 3207 HD [®]	32	7	3.5	0.5				51.6	51.6
<p>^a Average of steel producers' data when available. Otherwise based on standards and specifications. ^a Srednja vrednost podataka proizvođača kada sun a raspolaganju. U suprotnom, zasnovan na standardima ili specifikacijama ^b PRE_N = Cr + 3.3 × Mo + 16 × N. ^c PRE_W = Cr + 3.3 × (Mo + 0.5 × W) + 16 × N.</p>											

Table 1. Typical content [wt. %] of main alloying elements and Pitting Resistance Equivalents (PRE_N^b and PRE_W^c) of common wrought duplex stainless steels

Tabela 1. Tipični sadržaj (tež.%) glavnih legirajućih elemenata i ekvivalenata otpornosti na tačkastu koroziju (PRE_N^b i PRE_W^c) uobičajenih dupleks nerđajućih čelika



3. Welding recommendations

The overall aim of welding recommendations is to assist welding engineers in designing welding procedures. These procedures should reliably and with desired productivity result in weldments fulfilling requirements on mechanical properties and corrosion resistance.

Although it should be made clear that microstructural features are not to be confused with properties, it is important to be aware that they will govern the performance of the weldment. Welding therefore has to be performed in such a way that a suitable ferrite content (Figure 1) and freedom from deleterious phases, such as nitrides or intermetallics, is ensured in the weld metal and the heat-affected zone [7, 12, 13].

Generally speaking, too rapid cooling may result in excessive amounts of ferrite and nitride formation in all duplex stainless steels, although austenite formation occurs at higher temperature and is more extensive in grades with higher nitrogen content. Slow cooling, or repeated heating to temperatures in the range of approximately 600-1000 °C, will on the other hand result in formation of intermetallic phases in particular in the more highly-alloyed grades [11]. In practice intermetallic formation will rarely be a problem in welding of standard or lean grades, whereas strict control of welding procedures is required for highly-alloyed superduplex and hyperduplex grades. Whenever unwanted phases form or the ferrite content is excessively high, toughness and corrosion resistance will suffer. Carbide formation is not discussed here; as modern duplex stainless steels are very low in carbon and chromium-carbide formation is, therefore, not a practical problem.

Recommendations aiming at controlling the microstructure can broadly speaking be divided into two categories:

1. Methods of controlling the cooling rate including pre-heat and interpass temperature and arc energy (heat input).
2. Composition of the fused weld metal that is governed by choice of steel grade, filler material, shielding gas and dilution

3. Preporuke za zavarivanje

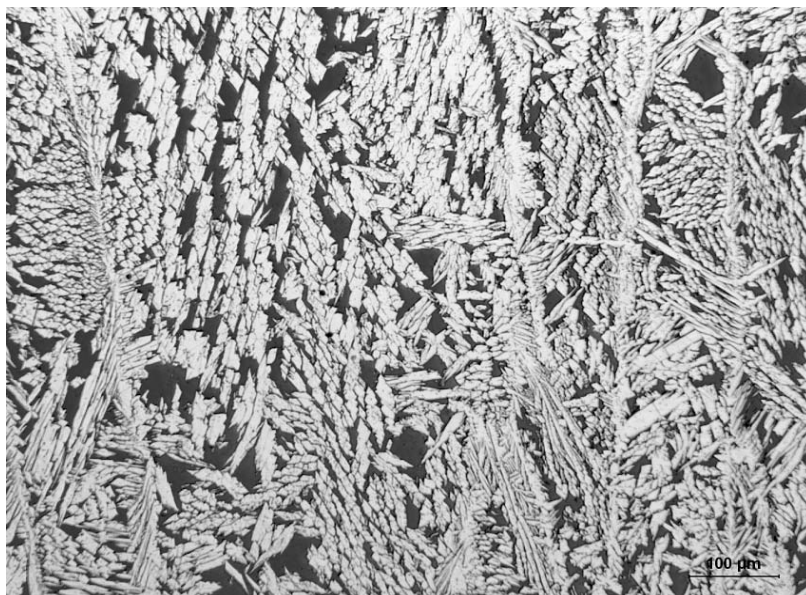
Opšti cilj preporuka za zavarivanje je pomoć inženjerima zavarivanja u izradi tehnologija zavarivanja. Ove tehnologije treba pouzdano i uz željenu produktivnost da rezultuju zavarivanjem koje ispunjava zahteve mehaničkih svojstava i otpornosti na koroziju.

Iako bi trebalo da bude jasno da mikrostrukturne karakteristike ne treba mešati sa svojstvima, važno je imati u vidu da će oni upravljati osobinama zavarenog elementa. Zbog toga, zavarivanje mora biti izvedeno tako da se u metalu šava i zoni uticaja toplote [7, 12, 13] obezbeđuje odgovarajući sadržaj ferita (slika 1) i bez štetnih faza, kao što su nitridi ili intermetalne faze.

Uopšteno govoreći, suviše brzo hlađenje može rezultovati prevelikim količinama ferita i nitrida u svim dupleks nerđajućim čelikama, iako se formiranje austenita javlja na višoj temperaturi i obimnije je kod klasa sa većim sadržajem azota. Sporo hlađenje ili ponovljeno zagrevanje u opsegu temperature od oko 600-1000 °C, s druge strane, će rezultovati stvaranjem intermetalnih faza, naročito kod više visoko legiranih klasa [11]. U praksi, intermetalna faza će retko biti problem u zavarivanju standardnih ili siromašnih klasa, dok je stroga kontrola tehnologije zavarivanja potrebna za visoko legirane superdupleks i hiperdupleks klase. Kad god je oblik neželjene faze ili sadržaj ferita izuzetno visok, žilavost i otpornost na koroziju će trpeti. Ovde se ne govori o formiranju karbida; budući da moderni dupleks nerđajuć čelici imaju vrlo nizak sadržaj ugljenika i nastanak hrom-karbida, praktično i nije problem.

Preporuke koje imaju za cilj kontrolu mikrostrukture mogu se široko razdvojiti u dve kategorije:

1. Metode kontrole brzine hlađenja, uključujući temperaturu predgrevanja i međuslojnu temperaturu i energiju luka (uneta toplota)
2. Sastav metala šava, koji se reguliše odabirom klase čelika, dodatnog materijala za zavarivanje, zaštitnog gasa i stepena mešanja.



*Ferrite is coloured blue and austenite is white.
Ferit je obojen plavo a austenit belo.*

Figure 1. Example of desired duplex weld metal microstructure, free from intermetallic phases and nitrides and with suitable ferrite/austenite balance

Slika 1. Primer poželjne mikrostrukture metala šava, bez intermetalnih faza i nitrida sa pogodnom odnosom ferit/austenit

3.1 Arc energy and interpass temperature

Recommended maximum interpass temperature and arc energy ranges are presented in Table 2. There is sometimes some confusion regarding recommendations as the heat input is often incorrectly used synonymously with arc energy (or energy input). In this paper recommendations are therefore presented as arc energy (alternatively energy input) regardless of the terminology used in the source. Arc energy does not consider the efficiency of individual welding methods and is therefore a somewhat arbitrary guideline but on the other hand practical for general recommendations. The arc energy ranges should obviously be used as indications (see e.g. example in Figure 2), as they consider neither the efficiency of the welding method nor the thickness of the material.

Tables 2 and 3 present a summary of feedback received on a request for information circulated to a number of highly-regarded experts within the worldwide welding community, including users and producers of steel and welding consumables. The replies reflect the opinion as of today. Lack of data on some steel grades appearing in Table 1 indicates less interest and experience of these grades within the group who replied but does not suggest that these steels are less suitable or less weldable than comparable grades. Fortunately replies were received for grades within each of the groups in Table 1 permitting an overview and comparison of welding characteristics as presented in Tables 2 and 3.

3.1 Energija luka i međuslojna temperatura

Preporučena maksimalna međuslojna temperatura i opseg energije luka prikazani su u tabeli 2. Nekoliko je zabuna u vezi sa preporukama, jer se unos toplote često pogrešno koristi kao sinonim za energiju luka (ili unos energije). U ovom radu su preporuke prezentovane kao energija luka (alternativno unos energije) bez obzira na izvornu terminologiju. Energija luka ne uzima u obzir efikasnost pojedinačnih postupaka zavarivanja i stoga je donekle proizvoljna smernica, ali s druge strane je praktična za opšte preporuke. Očigledno je da energetski opseg treba koristiti kao indicaciju (videti primer na slici 2), jer ne uzima u obzir efikasnost postupka zavarivanja ni debljinu materijala.

Tabele 2 i 3 predstavljaju rezime povratnih informacija dobijenih po zahtevu od velikog broja visoko cenjenih eksperata u okviru svetske asocijacije za zavarivanje, uključujući korisnike i proizvođače čelika i potrošnih materijala za zavarivanje. Odgovori odražavaju sadašnje mišljenje. Nedostatak podataka o nekim vrstama čelika koje se pojavljuju u Tabeli 1 ukazuju na manje interesovanja i iskustva sa ovim klasama u grupi koja je odgovorila, ali ne ukazuje na to da su ovi čelici manje pogodni ili manje zavarljivi od uporedivih klasa. Na sreću su dobijeni odgovori za klase unutar svake od grupa u tabeli 1 koja omogućava pregled i upoređivanje karakteristika zavarivanja kao što je prikazano u tabelama 2 i 3.



UNS No. UNS br.	EN No. En br.	Common designation Uobičajena oznaka	Max.interpass [°C] Maksimalna međuslojna	Arc energy ^a [kJ/mm] Energija luka		Comments ^b Komentari ^b
				Min.	Max.	
Early grades/ Ranije klase						
S31500	1.4424	3RE60	250	0.5	2.5	
Contemporary grades/Savremene klase						
Lean duplex, PRE_{N/W} ~20-30/ Siromašni dupleks						
S32101	1.4162	LDX 2101	150/250	0.1/0.5	1.5/2.5	< 1.0 kJ with SAW/sa EPP
S32202	1.4062	UR2202	150	0.5	2	
S82011		ATI 2102	150/250	0.5/1	3	
S32304	1.4362	2304	150/250	0.5	2.5	> 1.5 kJ/mm for SAW, t = 16 mm
S32003		ATI 2003	150/250	0.5/1.0	2/2.5	
Standard 22% Cr duplex, PRE_{N/W} ~35						
S31803	1.4462	2205	150/250	0.5	2/2.5	> 1 kJ/mm for SAW, t = 16 mm
S32205	1.4462	2205	150/250	0.4/0.5	2.5/3.5	
25% Cr duplex, PRE_{N/W} ~35-40						
S32550	1.4507	255	120/150	0.5	1.5/1.8	
Superduplex, PRE_{N/W} ~40-50						
S32520	1.4507	2507Cu	120/150	0.5	1.5/1.8	
S32750	1.4410	2507	100/150	0.2/0.3	1/1.5	> 0.5 kJ/mm for SAW, t= 16 mm, < 2.5 kJ/mm for SAW, >12 mm
S32760	1.4501	Zeron 100	100/150	0.3/0.5	1.5/1.8	
S32906	1.4477	SAF 2906 [®]	100/150	0.2/0.5	1.5	< 2.5 kJ/mm for SAW, t > 12 mm
Hyperduplex, PRE_{N/W} ~> 50						
S32707		SAF 2707 HD [®]	100	0.2	1.5	< 2 kJ/mm for SAW, t > 15 mm
S33207		SAF 3207 HD [®]	100	0.2	1.0	
^a Arc energy (Energy input): $E = (\text{Voltage} \times \text{Current}) / \text{Welding speed (travel speed)}$ / Energija luka (Uneta energija) $E = (\text{Napon} \times \text{Jačina struje}) / \text{Brzina zavarivanja (brzina kretanja)}$ ^b Generally Uočeno < 0.5 kJ/mm if t < 2 mm.						

Table 2. Recommended maximum interpass temperature and arc energy (energy input) intervals for a selection of duplex stainless steel grades

Tabela 2. Preporučeni intervali maksimalne međuslojne temperature i energije luka (unos energije) za izbor klase dupleks nerđajućeg čelika

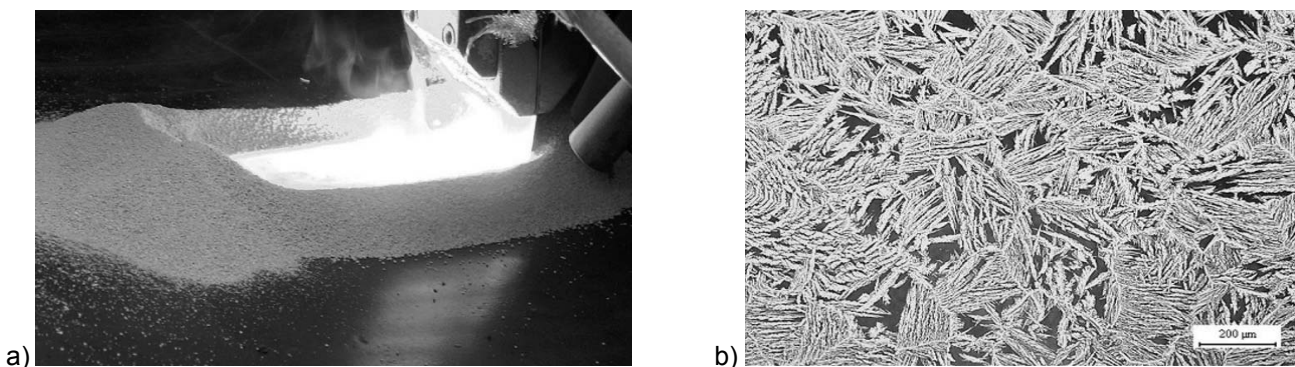


Figure 2. An appropriate ferrite/austenite balance was achieved and the weld metal was free from intermetallics.

Slika 2. Odgovarajući odnos ferit/austenit je postignut i u metalu šava nema intermetalnih faza

a) The cladding was deposited with electroslag strip cladding in one layer using a 60 mm wide strip consumables with a linear energy input of approximately 11 kJ/mm

a) Prevlaka je naneta navarivanjem pod troskom trakom širine 60 mm sa unetom linijskom energijom od približno 11 kJ/mm

b) Microstructure of 22% Cr duplex cladding layer on mild steel

b) Mikrostruktura nanetog sloja od 22% dupleks čelika na ugljenični čelik

Nastavak u sledećem broju

ZAVARIVANJE I ZAVARENE KONSTRUKCIJE 1/2017 WELDING & WELDED CONSTRUCTIONS

NAUKA•ISTRAŽIVANJE•RAZVOJ	SCIENCE•RESEARCH•DEVELOPMENT
NEKI EFEKTI UVOĐENJA AZOTA U ARGON ZAŠTITNI GAS KOD TIG ZAVARIVANJA NERĐAJUĆIH ČELIKA Behar Alić, Sead Pašić, Edin Džih	SOME EFFECTS OF THE NITROGEN INTRODUCTION IN ARGON SHIELDING GAS IN TIG WELDING OF STAINLESS STEELS
MEHANIČKA I STRUKTURNA SVOJSTVA SPOJEVA OD RAZNORODNIH ALUMINIJUMSKIH LEGURA ZAVARENIH FSW POSTUPKOM Igor Radisavljević, Aleksandar Živković, Nenad Radović, Vencislav Grabulov	MECHANICAL AND STRUCTURAL PROPERTIES OF FRICTION STIR WELD OF DISSIMILAR ALUMINUM ALLOYS
EKSPERIMENTALNO MERENJE ZAOSTALIH NAPONA U NAVERENIM SLOJEVIMA KOD TERMOPOSTOJANOG ČELIKA Vukić Lazić, Dušan Arsić, Milorad Zrilić, Srbišlav Aleksandrović, Milan Đorđević, Nada Ratković	EXPERIMENTAL MEASURING OF RESIDUAL STRESSES IN HARD FACED LAYERS OF THE HOT WORK TOOL STEEL
MIZ	IIW
POTENTIAL OF ERROR FOR ARC WELDING PROCESSES - WHERE CAN I MAKE MISTAKES AND HOW THEY AFFECT THE COMPONENT? A. Hälsig, S. Pehle, M. Kusch, P. Mayr	POTENCIJAL GREŠKE KOD ELEKTROLUČNIH POSTUPAKA ZAVARIVANJA - GDE SE MOGU NAPRAVITI GREŠKE I KAKO ONE UTIČU NA KOMPONENTU?
STANDARDIZACIJA I KVALITET	STANDARDIZATION & QUALITY
NOVI STANDARDI U OBLASTI ZAVARIVANJA U SRBIJI	
OBRAZOVANJE	EDUCATION
KRIOGENA TERMIČKA OBRADA ČELIKA	

ZAVARIVANJE I ZAVARENE KONSTRUKCIJE 2/2017 WELDING & WELDED CONSTRUCTIONS

NAUKA•ISTRAŽIVANJE•RAZVOJ	SCIENCE•RESEARCH•DEVELOPMENT
INVESTIGATION PROPERTIES OF HIGH FREQUENCY WELDED STEEL PIPES FOR NATURAL GAS TRANSPORTATION MADE OF X60 STEEL Sveto Cvetkovski	ISTRAŽIVANJE OSOBINA VISOKOFREKVENTNO ZAVARENIH CEVI OD ČELIKA X60 ZA TRANSPORT PRIRODNOG GASA
VEZA IZMEĐU KOROZIONOG POTENCIJALA I RAZLIČITIH VIDOVA KOROZIJE METALA, LEGURA I NJIHOVIH ZAVARENIH SPOJEVA-DEO I Bore V. Jegdić, Biljana M. Bobić i Milica Bošnjakov	REATIONSHIP BETWEEN CORROSION POTENTIAL AND DIFERENT CORROSION FORMS OF METALS, ALLOYS AND THEIRS WELDED JOINTS- PART I
MIZ	IIW
METHOD TO CALCULATE ULTRASONIC WAVE VELOCITY BY USING CHEMICAL COMPOSITION OF AUSTENITIC STAINLESS STEELS Tatsuya Yoshimoto, Hideki Horikawa, Takumi Sugioka, Yoji Wada, Tomiko Yamaguc and Kazumasa Nishio	METODE IZRAČUNAVANJA BRZINE ULTRAZVUČNIH TALASA KORIŠĆENJEM HEMIJSKOG SASTAVA AUSTENITNOG NERĐAJUĆEG ČELIKA
OBRAZOVANJE	EDUCATION
ISTRAŽIVANJE REPARATURE ZAVARENOG SPOJA BEZ NAKNADNE TERMIČKE OBRADJE NA ČELIKU P91	INVESTIGATION OF WELD REPAIR WITHOUT POST-WELD HEAT TREATMENT FOR P91

ZAVARIVANJE I ZAVARENE KONSTRUKCIJE 3/2017 WELDING & WELDED CONSTRUCTIONS

NAUKA•ISTRAŽIVANJE•RAZVOJ	SCIENCE•RESEARCH•DEVELOPMENT
TECHNOLOGY OF WELDING JOINTS MIXED WITH DUPLEX STEEL J. Ślania, R. Krawczyk, D. Masłoń	TEHNOLOGIJA ZAVARIVANJA SPOJEVA MEŠANIH SA DUPELKS ČELIKOM
OBRAZOVANJE	EDUCATION
COMPARISON OF THE USE OF RUTILE AND CELLULOSIC ELECTRODES TYPES OF ELECTRODES AND THEIR COMPOSITIONS	POREĐENJE UPOTREBE RUTILNIH I CELULOZNIH ELEKTRODA TIPOVI ELEKTRODA I NJIHOV SASTAV
STANDARDIZACIJA I KVALITET	STANDARDIZATION & QUALITY
STRUCTURAL STEEL, CE MARKING AND ISO 3834	KONSTRUKCIONI ČELICI, CE OZNAČAVANJE I ISO 3834
MIZ	IIW
METHOD TO CALCULATE ULTRASONIC WAVE VELOCITY BY USING CHEMICAL COMPOSITION OF AUSTENITIC STAINLESS STEELS Tatsuya Yoshimoto, Hideki Horikawa, Takumi Sugioka, Yoji Wada, Tomiko Yamaguc and Kazumasa Nishio	METODE IZRAČUNAVANJA BRZINE ULTRAZVUČNIH TALASA KORIŠĆENJEM HEMIJSKOG SASTAVA AUSTENITNOG NERĐAJUĆEG ČELIKA

ZAVARIVANJE I ZAVARENE KONSTRUKCIJE 4/2017 WELDING & WELDED CONSTRUCTIONS

NAUKA•ISTRAŽIVANJE•RAZVOJ	SCIENCE•RESEARCH•DEVELOPMENT
UTICAJ JAČINE STRUJE ZAVARIVANJA NA SKLONOST PREMA INTERKRISTALNOJ KOROZIJI ZAVARENOG SPOJA NERĐAJUĆEG ČELIKA Bore V. Jegdić, Biljana M. Bobić, Behar Alić	INFLUENCE OF WELDING CURRENT INTENSITY ON SUSCEPTIBILITY TO INTERGRANULAR CORROSION IN WELDED JOINTS OF STAINLESS STEEL
UNAPREĐENJE PROCESA NAVARIVANJA LEGURA KOBALTA PRIMENOM NANO ČESTICA Sebastian Baloš, Petar Janjatović, Miroslav Dramićanin, Danka Labus Zlatanović, Lepasava Šiđanin, Sreto Tomić	IMPROVEMENT OF HARDFACING PROCESS OF COBALT BASED ALLOYS USING NANOPARTICLES
KOROZIONO PONAŠANJE ALMGMN LEGURE ZAVARENE POSTUPKOM TRENJEM ALATOM Ljubica Radović, Igor Radisavljević, Mihael Bučko	CORROSION BEHAVIOR OF FRICTION STIR WELDED ALMGMN ALLOY
MIZ	IIW
DISSIMILAR METAL WELDS BETWEEN MARTENSITIC AND ADVANCED AUSTENITIC HIGH TEMPERATURE CREEP RESISTING STEELS – CREEP RUPTURE TEST RESULTS AND FUSION LINE INVESTIGATION S. Huysmans, J. Vekeman, C. Hautfenne	ZAVARENI SPOJEVI RAZNORODNIH MARTENZITNIH I NAPREDNIH AUSTENITNIH ČELIKA OTPORNIH NA VISOKO TEMPERATURNO PUZANJE - REZULTATI ISPITIVANJA LOMA USLED PUZANJA I ISTRAŽIVANJE LINIJE STAPANJA
PRAKSA	PRACTICE
ŽILAVOST ZAVARENOG SPOJA KAO ASPEKT PRIHVATLJIVOSTI KVALIFIKACIJE TEHNOLOGIJE ZAVARIVANJA NA PRIMERU ČELIKA P91 Stefan Dikić, Milica Antić	THE IMPACT TOUGHNESS OF WELDED JOINT AS WELDING PROCEDURE QUALIFICATION ACCESSABILITY ASPECT ON STEEL P91 EXAMPLE



Dragan Mitić¹ dipl.maš.inž. IWE, IWI, Mr Miloš Ristić² dipl.maš.inž

SANACIJA ZAVARIVANJEM PRSLINA SFERNOG REZERVOARA ZA ETILEN

WELDING REPAIR OF CRACKS ON SPHERICAL TANK FOR ETHYLENE STORAGE

Stručni rad / Professional paper

Rad je u izvornom obliku objavljen u Zborniku sa savetovanja „ZAVARIVANJE 2016“ održanog na Srebrnom jezeru 14-17. Septembra 2016

Rad primljen / Paper received:

Januar 2018.

Adresa autora / Author's address:

1 NIVAR DOO NIŠ, Čarnojevića 11/1, 18000 Niš
2 Visoka Tehnička škola strukovnih studija, A.Medvedeva 20, 18000 Niš

Ključne reči: sferni rezervoar, prslina, sitnozrni čelik, sanacija.

Abstract: spherical storage tank, crack, microalloyed steel, rebuilding/repairs

Rezime:

Posuda pod pritiskom, sfernog oblika, radne zapremine 3000m³ u koji se smešta etilen, izrađena je od finostrukturnog čelika Nioval 47 – P460NL1 (EN 10028:3), debljine zida 18mm i konstrukcijski je rešena sa 12 nosećih stubova. Redovnim pregledima se proveravaju svojstva zavarenih spojeva ali i rezervoara. Redovnim pregledom obavljena su ispitivanja bez razaranja (vizuelno, ispitivanje magnetnim česticama, ispitivanje ultrazvukom) i uočene su indikacije poput: zajeda, gnezda pora, nedostatka zavara, kratera nastalog prilikom izrade posude. Ono što je veoma bitno a ne radi se sa dovoljno pažnje proteklih petnaestak godina, je vizuelno ispitivanje osnovnog materijala sfernog rezervoara, gde su uočene indikacije tipa prslina u ukupnoj dužini preko 6000 mm i dubine od 6 do 12 mm (ispitivano ultrazvukom), koje nisu uočene prilikom ranijih pregleda. U radu je prikazan tehnološki postupak sanacije zavarivanjem 111 postupkom, kao i ispitivanje zavarenih spojeva nakon sanacije. Rezervoar je uspešno saniran i ispitan. Rezultati ovog rada ukazuju na potrebu za detaljnijim ispitivanjem osnovnog materijala.

Abstract:

Pressure vessel, spherical, of 3000 m³ working volume, where ethylene is placed, is made of microalloyed steel Nioval 47 - P460NL1 (EN 10028: 3), with wall thickness 18mm and welded on 12 supporting pillars. Regular tests were performed by non-destructive methods (visual, magnetic particle testing, ultrasonic testing) and the indications such as undercuts, group of pores, the lack of weld, craters formed during vessel manufacturing. What is very important but has not been paid enough attention to over the past fifteen years is the visual inspection of the base material of the spherical storage tank, where the indications such as cracks with a total length of over 6000 mm and a depth of 6 to 12 mm (examined by ultrasound) were observed, which were not observed during previous inspection. This paper presents the technological process of repairing of tank using 111 welding process, as well as testing of welded joints after repair. Tank is successfully repaired and tested. Results of this work indicate the need for more detailed testing of base metal in future.

1. UVOD

Periodična kontrola sfernih rezervoara za skladištenje etilena obuhvata ispitivanje zavarenih spojeva i osnovnog metala metodama bez razaranja, uz uobičajeno veću pažnju posvećenu zavarenim spojevima.

Ispitani sferni rezervoar, slika 1, proizvođača "Đura Đaković", Slavonski Brod, SFRJ, proizveden 1974.godine, je namenjen za skladištenje frakcije C4, a osnovne tehničke karakteristike su prikazane u tabeli 1. Rezervoar je zavaren na 12 nosača, čiji spojevi su obeleženi brojevima B1-B24.



Slika 1. Sferni rezervoar za skladištenje etilena

Radni medijum	Frakcija C4
Zapremina rezervoara	3000 m ³
Materijal rezervoara	Nioval 47
Projektni pritisak	5,51 bar
Ispitni pritisak	10 bar
Projektna temperatura	50oC
Maksimalna radna temperatura	40oC
Debljina rezervoara	18 mm
Unutrašnji prečnik rezervoara	17900 mm
Godina proizvodnje	1974

Tabela 1. Tehnički podaci o sfernom rezervoaru za etilen

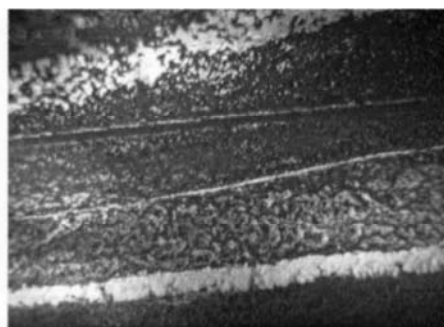
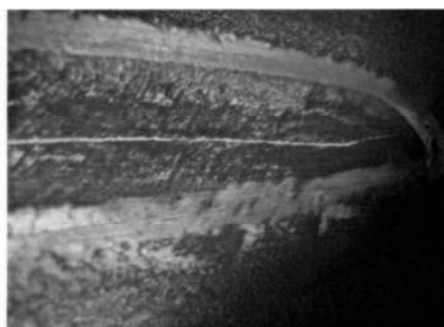
Ispitivanja metodama bez razaranja sfernog rezervoara obavila je akreditovana Laboratorija Zavoda za zavarivanje, Beograd u periodu od 12÷25.09.2015.godine [1-4]. Rezultati ispitivanja su dati u izveštajima o ispitivanjima bez razaranja, koji su podloga za donošenje odluke o sanaciji. U izveštajima o ispitivanjima bez razaranja sfernog rezervoara TK1102A, fabrički br. V-4488, konstatovane su sledeće neprihvatljive indikacije: Uočeno i potvrđeno je prisustvo prslina i to (položaj, veličina i orijentacija uočenih indikacija, dati su u tabeli 2, tipični izgled je dat na slici 2.):

1. zona između zavarenog spoja B3 i B4 , prslina dužina 2100mm

2. zona između zavarenog spoja B9 i B10 , prslina dužine 2400mm

3. zona između zavarenog spoja B15 i B16 , prslina dužine 700mm

Vizuelnim ispitivanjem [1] zavarenih spojeva sfernog rezervoara sa unutrašnje strane, nisu uočene linijske indikacije tipa prslina, ali su uočene indikacije tipa zajedna, gnezda pora, nedostatak zavara, kraterska oštećenja i sl., koja su nastala prilikom izrade posude, a koje ne zadovoljavaju zadati kriterijum prihvatljivosti (SRPS EN ISO 5817 nivo kvaliteta C).



Slika 2. Tipični izgled otkrivenih prslina u osnovnom materijalu; (a) osnovni materijal – nalaz MT8; (b) osnovni metal – nalaz MT9



Ultrazvučnim ispitivanjem [2] su konstatovane indikacije prslina na osnovnom materijalu

segmenata koji se nalaze na sredini pojasa između dva oslonca i izmerene dubine prslina.

Mesto		oznaka	Dužina, mm	Dubina, mm
između zavarenih spojeva B3-B4	OM	MT8	630	7,5
između zavarenih spojeva B3-B4	OM	MT10	1350+40	7,0
Između zavarenih spojeva B9-B10	OM	MT9	2400	10,0
između zavarenih spojeva B15-B16	OM	MT11	700	11,0

Tabela 2. Položaj, veličina i orijentacija uočenih indikacija

Takođe, merenjem debljine omotača sfernog rezervoara ultrazvukom [3] utvrđena je debljina omotača u opsegu 17,8mm do 18,9mm, te je zaključeno da je izmerena debljina zida omotača zadovoljila zahteve, veća je od minimalne potrebne debljine.

Ispitivanja tvrdoće osnovnog materijala i zavarenih spojeva [4] ukazuju da je tvrdoća u granicama očekivanih vrednosti.

Metalografskim ispitivanjem – metodom replika i to dve u donjoj kaloti-OM i na segmentu B11-B10-OM, utvrđeno je prisustvo fino-zrne feritno-perlitne strukture u kojoj nije došlo do promena u odnosu na polazno stanje.

Cilj ovog rada je da prikaže način sanacije prisutnih prslina u osnovnom materijalu ovog sfernog rezervoara za etilen.

2. SANACIJA

2.1. Osnovni materijal

Sferni rezervoar, V=3000 m³ f.br. 4488 je izrađen od sitnozrnog i normalizovanog čelika kvaliteta Nioval 47 ~ ČRN460, debljine limova 18 mm. Hemijski sastav i mehaničke karakteristike osnovnog materijala su date u tabelama 3 i 4 [5].

element	C	Si	Mn	P	S	Nb	V	Al	Nb+Ti+V
%	≤0,2	≤0,4	1.45	≤0,02	≤0,02	0,04	0,06	+	

Tabela 3. Hemijski sastav osnovnog materijala, tež.%

Napon tečenja	Zatezna čvrstoća	Izduženje	Žilavost	
N/mm ²	N/mm ²	%	J	°C
>461	559-735	18	24	-20

Tabela 4. Mehaničke karakteristike osnovnog materijala

2.2. Izbor postupka za zavarivanje

Na osnovu hemijskog sastava i mehaničkih karakteristika osnovnog materijala, a imajući u vidu: vrstu, dimenzije, kao i lokaciju uočenih grešaka, zavarljivost osnovnog materijala, energetska mogućnost postupka zavarivanja i ekonomičnost saniranja defekata, saniranje prslina je izvršeno ručnoelektrolučnim postupkom zavarivanja obloženom elektrodom (111-E).

2.3. Izbor dodatnog materijala

Na osnovu hemijskog sastava i mehaničkih karakteristika osnovnog materijala od koga je

izrađen sferni rezervoar, kao i odabranog postupka zavarivanja, izabran je sledeći dodatni materijal za zavarivanje:

Obložena elektroda sa bazičnom oblogom - EN ISO2560-A: E50 6 1Ni B42 H5 ili oznake prema standardu AWS A5.5.96: E8018-G, komercijalne oznake „EVN NI“ Ø3,25mm proizvođača Železara "Jesenice" - Slovenija. Hemijski sastav i mehaničke karakteristike dodatnog materijala su date u tabelama 5 i 6 [6].

C%	Mn%	Si%	P%	S%	Ni%
0.06	1.3	0.4	0.015	0.010	0.9

Tabela 5. Hemijski sastav dodatnog materijala, tež.%



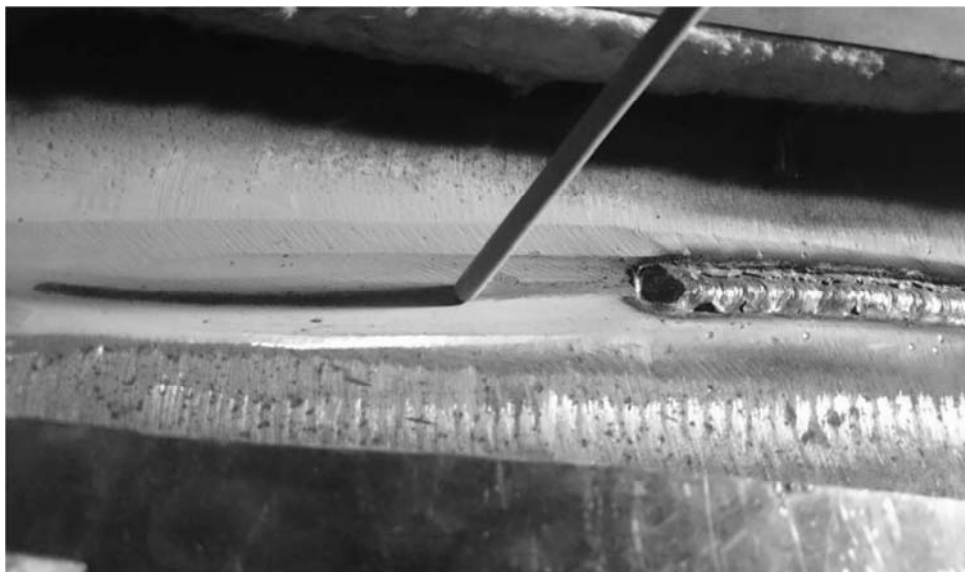
Rm (N/mm ²)	Rv (N/mm ²)	A (%)	žilavost na (J)
570-720	>500	> 22	-60°C>47

Tabela 6. Mehaničke karakteristike osnovnog materijala

2.4. Priprema žljeba za zavarivanje

Mehanička priprema žljeba, slika 3, podrazumeva otklanjanje prsline iz metala šava ili ZUT-a. Za prsline čija dubina ne prelazi 6mm priprema žljeba je izvršena brušenjem, a za sve ostale, većih dubina, otklanjanje je urađeno gorionikom za

žljebljenje, gasnim postupkom, a završna obrada brušenjem. Nakon pripreme žljeba, pripremljeno mesto je ispitano magnetskim česticama. Priprema žljeba i ispitivanje je rađeno više puta, do potpunog uklanjanja prsline.

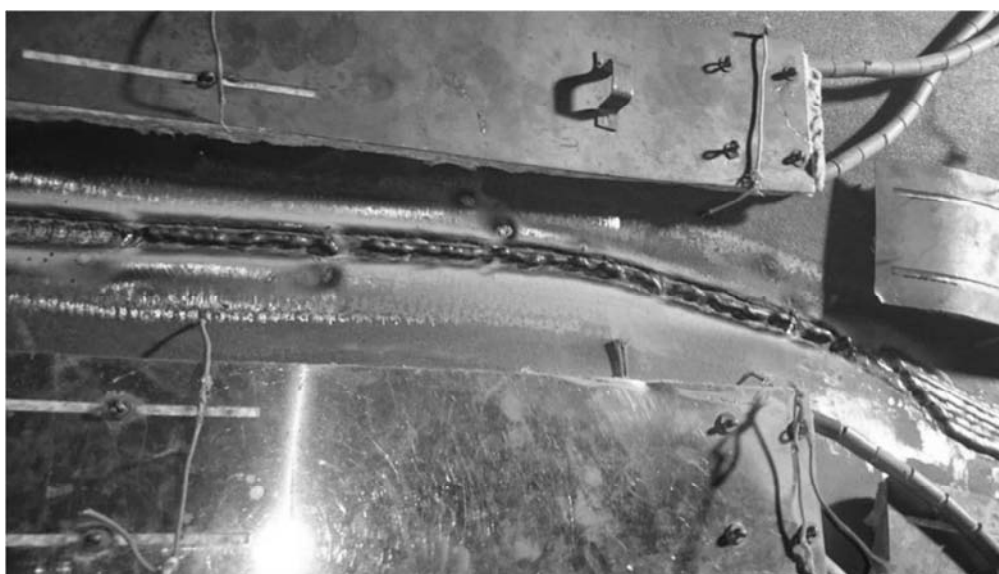


Slika 3. Priprema žljeba

2.5. Priprema za predgrevanje

Predgrevanje mesta koja su zavarivana je rađeno elektrootpornim uređajem sa šest kanala. Termoparovi su postavljeni na udaljenost maksimalno do 50 mm od ivica žljeba, s jedne i druge strane žljeba, slika 4. Temperatura

predgrevanja je održavana u toku zavarivanja i jedan čas posle zavarivanja. Obezbeđen je trajni zapis sa termopisača uređaja, koji je sastavni deo atestno-tehničke dokumentacije o izvršenoj sanaciji. Maksimalna brzina porasta temperature predgrevanja je 80-100°C/h.



Slika 4. Predgrevanje elektrootpornim uređajem



Primena predgrevanja i temperatura predgrevanja pre zavarivanja zavise od faktora:

- temperature okoline zavarivanja;
- ugljeničnog ekvivalenta, sadržaja vodonika u metalu šava i količine unete toplote pri zavarivanju;
- debljine materijala.

Za određivanje temperature predgrevanja (T_p) preko uticaja hemijskog sastava izraženog veličinom ugljeničnog ekvivalenta, kod temperature okoline 0°C , koristi se metoda B koja uzima u obzir veličinu ugljeničnog ekvivalenta po formuli CET%. Izračunavanje T_p uzima u obzir zbir T_p usled svakog uticajnog faktora, prema jednačini:

$$T_p = T_{pcet} + T_{pd} + T_{phd} + T_{pq} \text{ (} ^\circ\text{C)}$$

$$T_p \text{ (} ^\circ\text{C)} = 697 \text{ CET} + 160 \tanh(d/35) + 62 \text{ HD } 0,35 + (53 \text{ CET} - 32) Q - 328$$

koja iznosi = 98°C

Maksimalna dužina zavara zavarena jednom elektrodom prečnika $\varnothing 3,25$

$$S_1 = \frac{UIt}{Q} = \frac{18 \times 130 \times 60}{12800} = 10,98 \text{ cm}$$

Granična debljina lima za zavarivanje elektrodom prečnika $\varnothing 3,25 \text{ mm}$

$$S_{gr} = \sqrt{\frac{Q_1 N^3}{2pc} \left(\frac{l}{500 - T_p} + \frac{l}{800 - T_p} \right)}$$

$$S_{gr} = \sqrt{\frac{12800 \cdot 0,75}{2 \cdot 7,6 \cdot 0,85} \left(\frac{1}{500 - 120} + \frac{1}{800 - 120} \right)} = 1,74 \text{ cm}$$

$d > S_{gr}$ $18 \text{ mm} > 17,4 \text{ mm}$
odvođenje toplote je troosno.

Proračun vremena hlađenja na osnovu granične debljine lima za prečnik elektrode $\varnothing 3,25 \text{ mm}$

$$t_{8/5} = (4300 - 4,3T_o) \times 10^5 \times \frac{Q^2}{d^2} \times \left[\left(\frac{1}{500 - T_o} \right)^2 - \left(\frac{1}{800 - T_o} \right)^2 \right] \times F_2$$

$$t_{8/5} = 16 \text{ s}$$

Očekivana tvrdoća za čisto martenzitnu strukturu
 $H_{vms} = 802xC + 305 = 802 \times 0,2 = 445,4HV$
 $C = 0,2\%$

$$H_{vg} = 350C_E + 101 = 183,95HV$$

Očekivana tvrdoća za čisto beinitnu strukturu

$$C_E = \frac{S_i\%}{11} + \frac{M_n\%}{8} + \frac{C_u\%}{9} + \frac{C_r\%}{5} + \frac{N_i\%}{17} + \frac{M_o\%}{6} + \frac{V\%}{3}$$

$$C_E = \frac{0,4}{11} + \frac{1,45}{8} + \frac{0,06}{3} = 0,237$$

Očekivana tvrdoća za martenzitno-beinitnu strukturu za prečnik elektrode $\varnothing 3,25 \text{ mm}$

$$H_{VS} = 2019[C \cdot (1 - 0,5 \log t_{8/5}) + 0,3CE] + 66(1 - 0,8 \log t_{8/5})$$

$$H_{VS} = 2019[0,2 \cdot (1 - 0,5 \log 16) + 0,3 \cdot 0,345] + 66(1 - 0,8 \log 16)$$

$$H_{VS} = 2019[0,18 \cdot 0,347 + 0,1224] - 2,96$$

$$H_{VS} = 372HV$$

Parametarska jednačina hladnih prslina za izračunavanje temperature predgrevanja je

$$P_{hp} = P_{cm} + \frac{K}{40000} + 0,0015 \log \frac{H}{277}$$

$$K = 70 \times S = 70 \times 18 = 1260$$

$S = 18 \text{ mm}$ debljina zavarivanog materijala
 $H = 5-10 \text{ cm}^3/100 \text{ g}$ sadržaj difundovanog vodonika u metalu šava

$$P_{cm} = C\% + \frac{S_i}{30} + \frac{(M_n + C_u + C_r)}{20} + \frac{N_i}{60} + \frac{(M_o + V)}{15}$$

$$P_{cm} = 0,2 + \frac{0,4}{30} + \frac{1,45}{20} + \frac{0,06}{15} = 0,2825$$

$T_p = 1600P_c - 308$
koja iznosi = 144°C

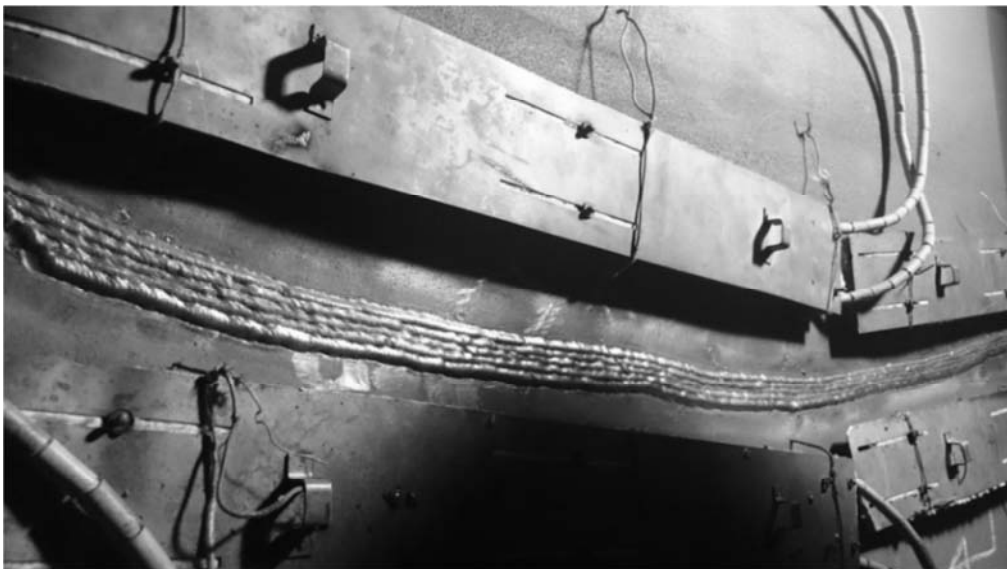
Na osnovu svega napred navedenog usvojena je temperatura predgrevanja $T_p = 120^\circ\text{C}$ sa kojom je i predgrevan osnovni materijal sfernog rezervoara prilikom sanacije zavarivanjem.

2.6. Zavarivanje

Parametri zavarivanja, kao i oblik pripreme žljeba, dati su u WPS listi, koja je sastavni deo tehnologije sanacije horizontalnog rezervoara. Zavari su polagani levo i desno uz ivicu žljeba, nakon toga su spajani navareni slojevi. Zavari su polagani tako da sledeći zavar pokriva trećinu prethodnog. Nakon zavarivanja ispune, navarena su po ivicama spoja dva navara (tehnološki zavari) za žarenje prethodno nanetog sloja. Popravljeni deo je podvrgnut dogrevanju na temperaturu predgrevanja u trajanju od 1 časa, a zatim je prekrivena izolacionim platnom i ostavljena da se polagano hladi. Posle 48 h izbrušeni su navari za žarenje do osnovnog metala.

2.7. Ispitivanje saniranih mesta

Sanirana mesta, slika 5, su ispitana vizuelno i magnetskim česticama. S obzirom da nije bilo površinskih indikacija prslina ili poroznosti, sanirano mesto je ispitano ultrazvukom.



Slika 5. Sanirano mesto nakon zavarivanja

Metalografskom analizom mikrostrukture materijala na mestima sanacije sfere (dve replike po saniranom mestu) u zonama između oslonaca i zavarenih spojeva, sa unutrašnje strane omotača na mestima uzimanja replike, konstatovano je :

- Mikrostruktura osnovnog materijala je sitnozrna feritno-perlitna sa neujednačenom raspodelom perlita.

- Mikrostruktura zone uticaja toplote uz liniju stapanja je nehomogena, grubozrna feritno-perlitna sa manjim procentualnim udelom beinita u mikrostrukтури.

- Mikrostruktura metala šava je perlitno-feritno-beinitna. Ferit je izdvojen po granicama primarnih austenitnih zrna.

Na taj način je ispitivanjem potvrđena uspešnost izvedene sanacije.

3. ZAKLJUČAK

S obzirom na obim i veličinu saniranih zona, predlaže se ispitivanje metodama bez razaranja (vizuelno, magnetskim česticama, ultrazvukom i metalografsko-metodom replika) sa unutrašnje i spoljašnje strane sfernog rezervoara, na mestima sanacije, u roku od godinu dana..

Neophodno je da se za ispitivanje bez razaranja, posuda pod pritiskom-sfera peskari, po celoj unutrašnjosti posude, kao što je rađeno pre dvadesetak godina, a ne samo zavareni spojevi i zone neposredno uz njih. Ovo zbog toga, što postoji mogućnost pojave prslina i na osnovnom materijalu (npr. usled sleganja tla prilikom ispitivanja hladnim vodenim pritiskom).

Bez primene ovih preporuka, se sa pravom postavlja pitanje sveobuhvatnosti i pouzdanosti dobijenih rezultata ispitivanja u proteklom periodu.

LITERATURA

[1] Izveštaj o vizuelnom ispitivanju br.111.269, Zavod za zavarivanje, Beograd (2015).

[2] Izveštaj o ultrazvučnom ispitivanju br.117.119, Zavod za zavarivanje, Beograd (2015).

[3] Izveštaj merenja debljine omotača sfernog rezervoara ultrazvukom br.118.079, Zavod za zavarivanje, Beograd (2015).

[4] Izveštaj merenja tvrdoće osnovnog materijala i zavarenih spojeva br.119.033, Zavod za zavarivanje, Beograd (2015).

[5] Dodatni materijali za zavarivanje, Elektrode Jesenice (2010)

[6] Katalog Železara Jesenice (1985)

[7] Welding, Brazing, And Soldering, ASM Handbook vol.6, ASM International (1993)



The 4th IIW South-East European Welding Congress

Belgrade, Serbia, October 10 – 12, 2018



INVITATION

Dear Colleagues,

On behalf of the Organizing Committee, I am honoured to invite you to participate in the 4th IIW South – East European Welding Congress.

We are pleased to continue our long-lasting cooperation at the regional level. Besides of the three associations that take part in the organization of such a Congress for the fourth time, namely the Serbian Welding Society, Bulgarian Welding Society and the Romanian Welding Society, we are also supported by other countries and institutions from the region.

We expect participation of the most important experts, not only from the region but from the European and international scene as well. Within the Congress and the Workshops, specialists from the industry, academic and research fields will have the opportunity to exchange information on current regional and global topics.

During the Congress, as a great opportunity for sponsors, an International Fair of Welding and allied processes will be organized.

All this indicates that the 4th IIW South – East European Welding Congress will be the largest event in the field of welding to be held on the South – East Region of Europe in 2018 which goes beyond the importance of the region itself.

We would be very grateful if you would forward this invitation to anyone among your appreciate colleagues interested in the subject.

*Dr Vencislav Grabulov, dipl.eng.IWE
Congress Chairman*

CONGRESS THEME

The 4th IIW South – East European Welding Congress has the theme “**Safe Welded Construction by High Quality Welding**” and it is an opportunity for scientists, engineers, technicians, welders, suppliers and customers to meet and share their experiences, ideas, information and acquire new knowledge.

The Congress will be held in conjunction with the Conference **WELDING 2018** which is traditionally held once in two years in Serbia.

Main topics:

- High Quality Welding (all regard welding technology, metallurgy and Joining Processes)
- Structural Integrity and Life of Welded Joints/Structures
- Welding of pipelines
- Education, qualification, certification of personal

OFFICIAL LANGUAGES

The official language of the 4th IIW South – East European Welding Congress is English.

The papers must be prepared in accordance with the IIW document.

Conference WELDING 2018 official languages: Serbian and English

CALL FOR PAPERS

Authors who wish to present their paper at the Congress / Conference should submit the Enrolment Form with the title of the paper, the name(s) of the author(s), key words, and an abstract of approximately 10 printed lines / 200 words.

Papers submission schedule:

Submission of abstracts: **April 30, 2018**
 Acceptance of abstracts: **May 20, 2018**
 Submission of papers: **July 10, 2018**
 Acceptance of papers: **Sept. 10, 2018**
 Circular 2: **July, 2018**



VENUE

Serbia has connected West with East for centuries – a land in which civilisations, cultures, faiths, climates and landscapes meet and mingle.

Located in the centre of the Balkan Peninsula, in south-eastern Europe, Serbia is a crossroads of Europe and a geopolitically important territory. The international roads and railway lines, which run through the country's river valleys, form the shortest link between Western Europe and the Middle East.

From the agricultural regions of the Pannonia Plain in the north, across the fertile river valleys and orchard-covered hills of Šumadija, the landscape of Serbia continues southward, gradually giving way to mountains rich in canyons, gorges and caves, as well as well-preserved forests.



The cultural and historical heritage of Serbia begins with prehistoric archaeological sites and its legacy from classical antiquity. Perhaps its greatest riches, though, are in the many mediaeval Serbian churches and monasteries, some of which are included on the UNESCO World Heritage list.

Today, Serbia is a modern, democratic European country, on the path to membership of the European Union, which a diverse range of visitors – from young backpackers to participants in congresses and fairs – visit every day.

<http://www.serbia.travel/about-serbia.713.html>

Belgrade is the capital of Serbia and also capital of the Serbian culture, education, science and economy. City lies at the confluence of the Sava and Danube rivers

The area around two great rivers has been inhabited as early as Palaeolithic period.

Belgrade is one of the oldest cities in Europe, first settled in the 3rd century BC by the Celts and since ancient times it has been an important traffic focal point, an intersection of the roads of Eastern and Western Europe.



The name **BELGRADE** (meaning white city: beo - white, grad - city) is the Slavic version of its old Celtic name, Singidunum.

There are many things to see in Belgrade such as the Belgrade Fortress and the Kalemegdan Park, the main street and pedestrian zone - Knez Mihailova St., the famous bohemian quarter - Skadarlija, Ada Ciganlija - "Belgrade Sea", the Parliament, St. Mark's Church and the Tašmajdan park, the Church of St. Sava and Karadjordje's Park, the Old Palace, Royal Palace, White Palace (Assembly of the City of Belgrade) and many more impressive historical and tourist attractions from various historical periods, museums, cultural monuments of great importance or even Belgrade underground. The hilltop Avala Monument and Avala Tower offer views over the city.





Congress Venue - The Congress will take place at the **Metropol Palace Hotel**

Originally designed as the venue for a conference in 1960s, the hotel today blends the era's international architectural and interior style with contemporary luxury.



Metropol Palace's central setting next to the grand Tašmajdan park invites you to explore Belgrade's many monuments, palaces, theatres and museums all within a short stroll from the hotel.

<http://www.metropolpalace.com/>

ACCOMODATION

As the congress takes place in the very center of the city, there are many possibilities for accommodation, both in hotels and hostels, apartments, guesthouses etc. Here are some of them:

Metropol Palace <http://www.metropolpalace.com/>

Zira Hotel <http://www.zirahotels.com/>

Hotel ParkBeograd <http://www.hotelparkbeograd.rs/>

Hotel Prag <http://www.hotelprag.rs/>

Hotel Tash <http://www.hoteltash.com/>

Belgrade apartments:

<https://belgrade-apartments.net/>

<https://beoapartman.com/>

CONGRESS SOCIAL PROGRAMME

Beside Welcome reception cocktail and Conference dinner provided for all participants, participants and their accompanying persons can participate in tours such as:

- Belgrade sightseeing tour, ½ day
- Post Congress tour: Vojvodina tour (Sremski Karlovci, Fruska Gora monasteries, Winery visit), 1 day

Vojvodina Tour



Slopes of Fruska Gora and Sremski Karlovci are significant places for Serbia's history, culture and national heritage. For number of visitors of Serbia these places are „a must“, and there is a firm reason for each of them. For some it's a place of spirituality thanks to eighteen living monasteries, for others it's a region of wine with more than 60 wineries and for some it's just a place of beautiful nature in National park of Fruska Gora. The Town of Sremski Karlovci combines all of it: history, religion, wine and beauty.

CONTACT & INFORMATIONS

DUZS – Serbian Welding Society

Office: Gvozdićeva 15/4, Belgrade

Tel/fax: + 381 11 2420-652

Mob: +391 63 107 9553

E-mail: duzs011@gmail.com

www.duzs.org.rs



BBN Congress Management d.o.o.

Deligradska 9, 11000 Belgrade, Serbia

Tel/fax: +381 (0)11 / 3629405

Mob: +381 (0) 63 / 368594

E-mail: bbn@bbn.co.rs

www.bbn.co.rs

All information regarding the Congress can be found on the congress website:

seeiiw2018.duzs.org.rs



GODIŠNJI SASTANAK RADNIH GRUPA MEĐUNARODNOG INSTITUTA ZA ZAVARIVANJE (IIW)

Godišnji sastanci radnih grupa Međunarodnog instituta za zavarivanje ove godine su održani u nedelji od 15. do 19. januara 2018. godine u sedištu Instituta za zavarivanje - Villepinte – Paris.

Predstavnik DUZS-a na ovim sastancima je bio dr Vencislav Grabulov, izvršni rukovodilac DUZS CertPers.

Za DUZS je posebno bio značajan sastanak radne grupe IIW za regionalnu saradnju koji je održan 15. januara. Na dnevnom redu tog sastanka je bila promocija 4. Regionalnog Kongresa međunarodnog instituta za zavarivanje zemalja jugoistočne Evrope. Promocija Kongresa koji će se održati oktobra 2018. godine u Beogradu, obavljena je prezentacijom ciljeva Kongresa, Naslova Kongresa i tema, odnosno sekcija koje će biti sastavni deo. Opisan je Koncept Kongresa, trajanje dva konferencijska dana sa Radionicom o saradnji zavarivačkih asocijacija u regionu u cilju unapređivanja zavarivanja koja bi se održala dan pre početka plenarnog rada, odnosno pre ceremonije otvaranja Kongresa. Prezentacija je sadržala i deo gde je predstavljen Beograd kao grad domaćin i Srbija kao zemlja domaćin.



Promocija Kongresa

Prezentacija je primljena izvanredno, potvrđena je odluka da DUZS da bude organizator prvog IIW Kongresa koji će se održati u Srbiji. Po značaju, to je najveći zavarivački skup ikad održan kod nas. Zbog interesovanja učesnika Sastanaka u Institutu za zavarivanje, prezentacija je ponovljena i 17. januara za vreme sastanka B grupe Međunarodnog tela za ovlašćivanje.

Odluka o dodeli organizacije Kongresa je formalizovana na Bordu direktora IIW, čime je Kongres dobio tretman događaja od najvišeg značaja za Međunarodni Institut za zavarivanje. Kongres će biti organizovan i održan po Pravilima IIW i nosiće logo Međunarodnog instituta za zavarivanje.

Tokom 16. i 17. januara održani su celodnevni sastanci rukovodilaca Nacionalnih tela za ovlašćivanje, i to 16.01. grupe A -Obrazovanje, obuka i kvalifikacija osoblja u zavarivanju a 17.01. sastanak grupe B koja se bavi primenom Pravila i sertifikacijom osoblja.



Predstavnici ANB-ova iz Srbije, Rumunije i USA



Na sastanku grupe A obavljena je revizija dokumenata po kojima se sprovode IIW kursevi, a posebno se diskutovalo o pravilima za Kurseve za međunarodne inspektore i o međunarodnoj bazi pitanja za ispit.

Na sastanku grupe B je obavljena revizija nekih Operativnih procedura, analizirani su izveštaji sa ocenjivanja ANB-a i diskutovano o promenama ili dopuni uslova pristupa članica IAB grupe po njihovom zahtevu.



dr Vencislav Grabulov, Cecile Mayer (Izvršni direktor Međunarodnog Instituta za zavarivanje) i dr. Dorin Dehelean (predsednik Rumunskog društva za zavarivanje)



Dan Tadic iz Kanade, predsednik Grupe IIW za regionalnu saradnju i dr Vencislav Grabulov

Sastanak zemalja članica IAB grupe je održan 18. januara. Pored tekućih obaveza u vezi komunikacije sa sekretarijatom, slanja godišnjih izveštaja i međusobne korespondencije, važno je bilo obraćanje predsednika Međunarodnog instituta za zavarivanje gospodina Douglas Luciani-ja u vezi nove strategije IIW. Na to se nadovezala i diskusija o novoj strategiji IAB grupe.

Dani međusastanaka radnih grupa IIW su završeni radionicom za rukovodioce nacionalnih tela za ovlašćivanje koja je održana 19. januara 2018. godine.

Dr Vencislav Grabulov, IWE
Izvršni rukovodilac DUZS CertPers

Podsećamo Vas da je članarina za 2018.g ostala
nepromenjena i iznosi 3500,00 dinara.

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

Tekući račun DUZS: 355-1025530-87

Informacije:

+ 381 (11) 2420-652

duzs011@gmail.com



ČASOPIS ZAVARIVANJE I ZAVARENE KONSTRUKCIJE**Cenovnik oglasnog prostora u četiri uzastopna broja 2018**

	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%.
- Objavljivanje 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 2018**

	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**

YASKAWA SLOVENIJA

HONEX

ELIMP

MESSER TEHNOGAS

NEMINIK

- | | |
|---|---------------|
| 1. ČLANARINA DUZS za 2018. godinu | 3.500 dinara |
| Članovima DUZS GRATIS godišnje izdanje časopisa "ZAVARIVANJE I ZAVARENE KONSTRUKCIJE" | |
| 2. ČASOPIS "ZAVARIVANJE I ZAVARENE KONSTRUKCIJE" - 2018. 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 2016. godinu | 500 dinara |
| ▪ cena pojedinačnog broja za prethodne godine..... | 250 dinara |
| b) beneficirane cene za članove DUZS: | |
| ▪ cena pojedinačnog broja za 2017. 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 |