



ZAVARIVANJE I ZAVARENE KONSTRUKCIJE

WELDING & WELDED STRUCTURES

God. 60 Vol. 60	Br. 2 No. 2	49-96 49-96	Beograd Belgrade	Srbija Serbia	2015. 2015.
--------------------	----------------	----------------	---------------------	------------------	----------------

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 Bore Jegdić, dipl.ing.

Miloš Pavlović, dipl.ing.

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)

Horia Dascau, dipl.ing. (Rumunija)

REDAKCIJA I MARKETING / EDITORIAL OFFICE AND MARKETING



Vesna Jović
Grčića Milenka 67, I sprat
11000 Beograd



Tel / Fax + 381 (11) 2850-794
(10-16h)



duzs@eunet.rs
www.duzs.org.rs

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 2015.

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.

SADRŽAJ:

CONTENTS:



NAUKA • ISTRAŽIVANJE • RAZVOJ

SCIENCE • RESEARCH • DEVELOPMENT

- 53 POVEĆANJE PRODUKTIVNOSTI ZAVARIVANJA ČELIKA WELDOX 700 INCREASED PRODUCTIVITY WELDING OF STEEL WELDOX 700
Dr Aleksandar Živković, Vladimir Milanović, Prof. dr Vukić Lazić
- 61 UNOS TOPLOTE PRI ZAVARIVANJU HEAT INPUT WELDING
Radimir Jovičić, Radica Prokić Cvetković, Branko Zrilić, Katarina Jovičić Bubalo



MIZ

IIW

- 72 ROLE OF INCLUSIONS FOR FORMATION OF ACICULAR FERIT IN LOW CARBON STEEL WELD DEPOSITS ULOGA UKLUČAKA KOD STVARANJA ACIKULARNOG FERITA NA DEPOVANOM METALU ŠAVA NISKOUGLJENIČNOG ČELIKA
Atsushi Takada, Hidenori Terasaki and Yu-ichi Komizo



PRAKSA

PRACTICE

- 83 TIG POSTUPAK ZA ZAVARIVANJE RAZNORODNIH ČELIKA TIG WELDING PROCESS FOR DISSIMILAR STEELS
Dr Bratica Temelkoska dipl.met.inz; Dr Radimir Cvetanoski dipl.mas.inz



STANDARDIZACIJA I KVALITET

STANDARDIZATION & QUALITY

- 90 POSTOJEĆE STANJE STANDARDA U OBLASTI ZAVARIVANJA U SRBIJI CURRENT CONDITIONS OF STANDARDS IN WELDING IN SERBIA
Aleksić Boško, Vlasćislav Bađura, Aleksandar Stefanović, Jano Kurai, Darko Jovanović



VESTI

NEWS

- 52 MEĐUNARODNO TAKMIČENJE „MLADI ZAVARIVAČ 2015”, SLOVAČKA
- 70 SEMINAR SA TEMOM: Sertifikacija zavarivača: Primena novog standarda SRPS EN ISO 9606-1:2014 KVALIFIKACIONO ISPITIVANJE ZAVARIVAČA — ZAVARIVANJE TOPLJENJEM — DEO 1: ČELICI
- 82 SEMINAR SA TEMOM: Sertifikacija zavarivača: Primena novog standarda SRPS EN ISO 9606-1:2014 KVALIFIKACIONO ISPITIVANJE ZAVARIVAČA — ZAVARIVANJE TOPLJENJEM — DEO 1: ČELICI - nastavak
- 96 MARKETING

Poštovani čitaoci,

Konačno je održan seminar vezan za primenu novog standarda SRPS ISO EN 9606, posle više meseci najavljivanja.

O tome i o takmičenju mladih zavarivača u Slovačkoj moći ćete da se bliže informišete u rubrici-Vesti.

Radovi koje objavljujemo ovoga puta, vezani su za uvek aktuelnu temu unosa toplote pri zavarivanju, na zavarivanje materijala weldox 700 kao i na zavarivanje cevi čelika otpornih na puzanje. Uvereni smo da ćete svakako naći podatke koji će unaprediti vaša saznanja.

Uskoro počinje prava sezona godišnjih odmora i želimo vam da ih iskoristite na najbolje moguće načine, a na jesen nas očekuju velike aktivnosti.

No, o tome u narednom broju...

S poštovanjem,

Milica Antić, dipl.ing.



MEĐUNARODNO TAKMIČENJE „MLADI ZAVARIVAČ 2015”, SLOVAČKA (SES, a.s. ul. Továrnská 210, 935 28 Tlmače)



Pod pokroviteljstvom Ministarstva školstva Slovačke, 25.03.2015. u mestu Tlmače u Slovačkoj osmu godinu za redom održano je takmičenje srednjih škola u postupcima REL, MAG i TIG. Ove godine pored 7 srednjih škola iz Slovačke i Češke, učestvovali su i učenici 2 srednje škole iz Srbije, tehnička škola “Kolubara” iz Lazarevca i tehnička škola iz Obrenovca. Ukupno 34 takmičara, TIG 7, REL 11 i MAG 16.

Prvi put za ovih 8 godina na takmičenjima koja su organizovana u Slovačkoj učestvovala je i jedna devojka: Jelena Aćimović iz Lazarevca.

Podsećanja radi, na prvom takmičenju mladih zavarivača koje je održano 2013. u Obrenovcu u organizaciji DUZS-a takođe je učestvovala jedna devojka, Milena Nikolić iz Vranja.

Ekipno, učenici tehnička škola iz Obrenovca su zauzeli peto mesto a učenici tehničke škole “Kolubara” iz Lazarevca šesto. Po postupcima, škola iz Obrenovca četvrta u REL-u, šesta u MAG-u i treća u TIG-u, a škola iz Lazarevca peta u postupcima REL i MAG.

Sve čestitke našim mladim zavarivačima.





**Dr Aleksandar Živković, **Vladimir Milanović, **Prof. dr Vukić Lazić*

INCREASED PRODUCTIVITY WELDING OF STEEL WELDOX 700 POVEĆANJE PRODUKTIVNOSTI ZAVARIVANJA ČELIKA WELDOX 700

Originalni naučni rad / Original scientific paper

UDK / UDC: 621.791.313:669.14

Rad primljen / Paper received:

Mart 2015.

Adresa autora / Author's address:

**Dr Aleksandar Živković, GOŠA FOM a.d. Smed. Palanka*

***Vladimir Milanović, student FIN Kragujevac*

***Prof. dr Vukić Lazić FIN Kragujevac*

Ključne reči: finožrni čelik povišene čvrstoće, zavarivanje, obložena elektroda, punjena žica, koreni prolaz.

Key words: fine grained high strength steel, welding, covered electrode, flux-cored wire, root passes

Izvod: U ovom radu prikazani su rezultati eksperimentalnog ispitivanja dve različite tehnologije zavarivanja čelika povišene čvrstoće S690QL koji je sklon hladnim prslinama. Zavarivanje prve ploče vršeno je kombinacijom postupaka ručnog elektrolučnog zavarivanja (111) i elektrolučnog zavarivanja punom žicom u zaštiti CO₂ (135). Koreni prolaz urađen je postupkom zavarivanja 111, a prolazi popune postupkom 135. Druga tehnologija uključuje postupak elektrolučnim zavarivanjem punjenom žicom u zaštiti CO₂ (136) za koreni prolaz, a postupak 135 je korišćen za prolaze popune.

Eksperiment se zasniva na ispitivanju zavarenog spoja metodama bez i sa razaranjem u cilju pronalaženja adekvatnog postupka zavarivanja sa aspekta postizanja veće produktivnosti rada bez ugrožavanja njegove pouzdanosti.

Abstract: This paper presents the results of an experiment in which two different technologies of welding high strength steel S690QL, prone to cold cracking. Welding of the first panel includes a combination of the manual arc welding (111) and gas metal arc welding (135) process. 111 procedure welds the root passes while the 135 process fills in the passes. The second technology includes the flux-cored arc welding (136) welding process for both the roots and the 135 process fills in of the passes.

The experiment is realized by the examination of welds by non-destructive and destructive methods in order to find a proper welding procedure in terms of achieving greater labor productivity without compromising its reliability

1. UVOD

Čelici povišene čvrstoće imaju povišenu zateznu čvrstoću, napon tečenja, izduženje i žilavost, a ove osobine zadržavaju i pri niskim temperaturama uz odličan odnos težine i cene, pa su stoga izuzetno pogodni za izradu odgovornih čeličnih konstrukcija [1] [3]. Prihvaćeni su kao opšti konstrukcioni materijali za industrijsku primenu, tako da postoji sve veća težnja ka povećanju produktivnosti. Čelici povišene čvrstoće se uslovno smatraju dobro zavarljivim, mada se pri njihovom korišćenju javljaju problemi degradacije osobina ZUT-a [2].

U ovom radu prikazana je analiza zavarivanja čelika S690QL – komercijalne oznake WELDOX 700, na dve ispitne probe,

pri čemu su promenjeni postupci zavarivanja korenog prolaza (postupci 111 i 136), dok su prolazi popune isti za obe probe (postupak 135), sa ciljem dobijanja veće produktivnosti primenom poluautomatskog postupka zavarivanja korenog prolaza. Projektom se zahtevalo da koren zavarnog spoja kompenzuje udarna opterećenja tokom eksploatacije uz primenu austenitnog dodatnog materijala. Prilikom zavarivanja preduzete su sve neophodne mere za smanjenje nepoželjenih pojava, koje se javljaju pri zavarivanju ovih čelika, kao što su: povećanje tvrdoće, smanjenje žilavosti, povećanje prelazne temperature i pojava diskontinuiteta raznih oblika u ZUT-u.



2. EKSPERIMENTALNI DEO

Podaci o osnovnom materijalu

Prema EN 10025-6, hemijski sastav čelika S690QL je definisan za petnaest elemenata, tabela 1., pri čemu je ekvivalent ugljenika maksimalno CEV=0,65.

Zatezne karakteristike su ispitane na elektromehaničkoj kraljici, na sobnoj temperaturi. Izmerene vrednosti prikazane su u tabeli 2.

C	Si	Mn	P	S	N	B	Cr	Cu	Mo	Nb	Ni	Ti	V	Zr
0,20	0,80	1,70	0,02	0,01	0,015	0,005	1,50	0,50	0,70	0,06	2,0	0,05	0,12	0,15

Table 1. Chemical composition S690QL (max. %)

Tabela 1. Hemijski sastav S690QL (max. %)

Broj epruvete	R _{p0,2} , MPa	R _m , MPa	A _{11,3} , %
1.	781,94	797,81	14,19
2.	809,40	839,92	11,3
3.	800,41	835,52	9,98
4.	811,95	842,45	10,92

Table 2. The experimental results of tensile tests – BM (Weldox 700) [5]

Tabela 2. Eksperimentalni rezultati ispitivanja zatezanjem – OM (Weldox 700) [5]

Vrednosti tvrdoće uzorka izmerene su metodom Vikers (HV₁₀). Izmerena tvrdoća osnovnog materijala (WELDOX 700) kretala se od 258 HV₁₀

(ploča I, uzorak 2, linija II – II, tačka 16), do 292 HV₁₀ (ploča II, uzorak 2, linija I – I, tačka 18) tabela 15 [4].

Vrsta materijala	Temperatura, °C	Broj uzorka	Energija loma, J	
			Ploča 1 111/135	Ploča 2 136/135
WELDOX 700	+20	1.	235,17	242,02
		2.	222,44	226,19
		3.	234,68	250,89
	-40	1.	219,59	238,10
		2.	179,78	210,84
		3.	206,08	221,39

Table 3. The experimental results of consumed fracture energy at ambient and low temperature – BM (Weldox 700) [5]

Tabela 3. Eksperimentalni rezultati utrošene energije loma na sobnoj i sniženoj temperaturi OM (WELDOX 700) [5]

3. Podaci o dodatnom materijalu

Prva ispitna ploča je zavarena kombinacijom postupaka 111, primenom austenitne bazične elektrode - INOX B 18/8/6 (EN 1600: E 18 8 Mn B 22) prečnika Ø 3,25 za koreni prolaz i postupka 135, primenom pune žice MIG 75

(EN 12534 Mn3Ni1CrMo), prečnika Ø1,2 za prolaze popune u zaštiti mešavine Ar + 18% CO₂. Dodatni materijali su proizvođača „Jesenice“, Slovenija.



Kataloške vrednosti za korišćenu elektrodu:

C	Si	Mn	Cr	Ni
0,12	0,8	7	19	9

Table 4. Chemical composition pure weld metal in %
Tabela 4. Hemijski sastav čistog metala šava u %

Rp0,2, MPa	Rm, MPa	A5, %	KV (+ 20°C), J
> 350	590-690	> 40	> 80

Table 5. Mechanical characteristics pure weld metal
Tabela 5. Mehaničke karakteristike čistog metala šava

Kataloške vrednosti za korišćenu punu žicu:

C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo
0,08	0,6	1,7	0,25	1,5	0,3

Table 6. Chemical composition pure weld metal in %
Tabela 6. Hemijski sastav čistog metala šava u %

Rp0,2, MPa	Rm, MPa	A5, %	KV (+ 20°C), J
> 690	770 – 940	> 17	> 47

Table 7. Mechanical characteristics pure weld metal
Tabela 7. Mehaničke karakteristike čistog metala šava

Druga ispitna ploča zavarena je kombinacijom postupaka 136, primenom punjene žice A 7 – FD (EN 17633 T 18 8 Mn R C 3), u zaštitnoj atmosferi

CO₂, prečnika Ø1,2 za koreni prolaz, proizvođač BÖHLER i postupka 135 za prolaze popune primenom pune žice MIG 75 Ø1,2 u zaštiti mešavine Ar + 18% CO₂.

Kataloške vrednosti za korišćenu punjenu žicu:

C	Si	Mn	Cr	Ni
0,1	0,7	6,5	18,5	8,8

Table 8. Chemical composition pure weld metal in %
Tabela 8. Hemijski sastav čistog metala šava u %

Rp0,2, MPa	Rm, MPa	A5, %	KV (+ 20°C), J
420	630	39	60

Table 9. Mechanical characteristics pure weld metal
Tabela 9. Mehaničke karakteristike čistog metala šava



4. Postupak zavarivanja

Zavarivanje je izvršeno na dve ispitne ploče na osnovnom materijalu WELDOX 700, dimenzija: $\neq 15 \times 240 \times 390$ mm (dve probe). Prilikom zavarivanja vršeno je predgrevanje gasnim grejačima na temperaturu $T_p = 200^\circ\text{C}$, a temperatura međuprolaza održavana je u intervalu od $200 \div 225^\circ\text{C}$. Kontrola ovih temperatura vršena je bezkontaktnim termometrom. Nakon zavarivanja ploče su hladjene na vazduhu. Priprema žleba ($V-60^\circ$) ispitnih ploča izvršena je mašinskim putem na

glodalici. Pre početka zavarivanja ploče su postavljene pod uglom, radi smanjenja deformacija koje nastaju pri zavarivanju usled unete količine toplote. Parametri zavarivanja koji su korišćeni odabrani su tako da je uneta količina energije u preporučenim granicama, da ne bi došlo do prevelikog ukрупnjavanja zrna u ZUT-u. Zavarene ispitne ploče prvo su ispitane ultrazvukom. Tom prilikom je ustanovljeno da ne postoje nedozvoljene greške u zavarenim spojevima

5. Rezultati ispitivanja sa razaranjem

5.1 Ispitivanje zatezanjem

Ispitivanje zatezanjem je vršeno na standardno pripremljenim epruvetama (SRPS EN 895) za

sučeonni spoj i rezultati [5] su prikazani u tabelama 10 i 11.

Broj epruvete	R_m , MPa	$A_{11,3}$, %	Mesto loma
1.	839,92	11,30	Osnovni materijal
2.	831,08	9,77	Osnovni materijal
3.	812,00	5,49	Osnovni materijal
4.	804,47	5,38	Osnovni materijal

Tabela 10. The experimental results of tensile tests – plate 1. (111 / 135)
Tabela 10. Eksperimentalni rezultati ispitivanja zatezanjem – ploča 1. (111 / 135)

Broj epruvete	R_m , MPa	$A_{11,3}$, %	Mesto loma
1.	834,36	11,59	Osnovni materijal
2.	834,30	9,12	Osnovni materijal
3.	832,90	10,92	Osnovni materijal
4.	837,26	11,48	Osnovni materijal

Tabela 11. The experimental results of tensile tests – plate 2. (136 / 135)
Tabela 11. Eksperimentalni rezultati ispitivanja zatezanjem – ploča 2. (136/135)



5.2 Ispitivanje žilavosti

Ispitivanje je vršeno na standardno pripremljenim epruветama sa „V“ zarezom (SRPS EN 875) za

sučeoni spoj, pri čemu je određivana žilavost u metalu šava, na liniji stapanja i u zoni uticaja toplote [5], tabele 12–14.

Vrsta materijala	Temperatura, °C	Broj uzorka	Energija loma, J	
			Ploča 1 111 / 135	Ploča 2 136 / 135
WELDOX 700	+20	1.	44,54	25,27
		2.	52,05	30,23
		3.	47,31	24,84
		4.	49,21	26,29
		5.	35,95	35,30

Tabela 12. Consumed energy fracture face dolphins at +20°C

Tabela 12. Utrošene energije loma lica šava na +20°C

Vrsta materijala	Temperatura, °C	Broj uzorka	Energija loma, J	
			Ploča 1 111 / 135	Ploča 2 135 / 135
WELDOX 700	+20	1.	30,67	16,94
		2.	27,33	20,36
		3.	45,03	17,65
		4.	26,12	15,32

Tabela 13. Consumed energy fracture root dolphins at +20°C

Tabela 13. Utrošene energije loma korena šava na +20°C

Vrsta materijala	Temperatura, °C	Broj uzorka	Energija loma, J	
			Ploča 1 111 / 135	Ploča 2 136 / 135
WELDOX 700	+20	1.	50,53	18,44
		2.	28,29	25,95
		3.	34,84	18,52
		4.	34,66	24,50
		5.	34,93	29,78

Tabela 14. Consumed energy fracture root – fusion line at +20°C

Tabela 14. Utrošene energije loma koren – linija stapanja na +20°C

5.3 Metalografska ispitivanja

Makrostrukturno ispitivanje vršeno na standardno pripremljenim epruветama za sučeoni spoj [4].

Ispitivanje mikrostrukture je vršeno u skladu sa SRPS EN 1321.

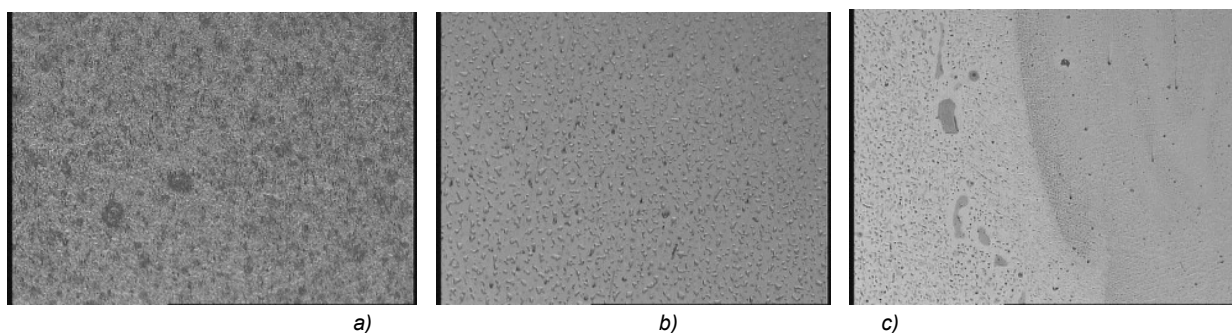


Figure 1. a) material face dolphins, b) material root dolphins plate - I and c) material root dolphins plate - II (exaggerated 200x)
Slika 1. a) materijal lica šava, b) materijal korena šava ploča – I i c) materijal korena šava ploča - II (uvećano 200x)



5.4 Ispitivanje tvrdoće

Ispitivanje tvrdoće vršeno je prema ISO 6507-1 na sva četiri uzorka sa po tri linije (pravca) i po

dvadesetak mernih tačaka. Dobljene su uglavnom ujednačene vrednosti [4], što je prikazano u tabeli 15.

Broj merne tačke	Broj uzorka / Broj ploče											
	PLOČA I (111/135)						PLOČA II (136/135)					
	Uzorak 1			Uzorak 2			Uzorak 1			Uzorak 2		
	I-I	II-II	III-III	I-I	II-II	III-III	I-I	II-II	III-III	I-I	II-II	III-III
1	260	279	276	281	279	279	287	279	279	279	279	279
2	260	279	276	274	276	279	279	279	279	279	281	279
3	260	279	276	279	279	279	279	279	279	279	281	276
4	245	281	270	254	276	279	274	279	276	276	279	276
5	333	276	270	251	276	279	336	279	279	279	279	276
6	333	276	270	342	276	279	376	279	279	376	279	274
7	281	251	336	289	254	266	302	270	283	363	253	383
8	281	314	348	287	256	262	292	319	380	370	327	376
9	281	327	191	281	339	336	354	387	274	370	376	171
10	314	210	193	276	317	336	363	215	182	387	281	179
11	299	327	166	390	319	198	317	180	182	405	185	173
12	270	348	186	299	191	183	319	366	180	405	228	194
13	272	243	376	268	333	186	330	354	376	401	236	387
14	333	262	279	266	325	197	336	274	302	380	287	268
15	339	276	276	294	236	336	351	281	285	376	276	289
16	242	276	276	325	258	342	360	274	283	380	279	283
17	279	276	276	351	281	245	264	281	276	287	279	289
18	279	276	274	276	276	281	279	281	276	292	279	283
19	279	276	276	279	276	279	279	287	279	276	279	283
20	-	-	-	279	270	279	279	279	279	279	279	281

■ osnovni materijal, ■ ZUT, ■ metal šava

Table 15. Hardness value of the sample measured by the method Vikers (HV₁₀)

Tabela 15. Vrednosti tvrdoće uzorka izmerene metodom Vikers (HV₁₀)

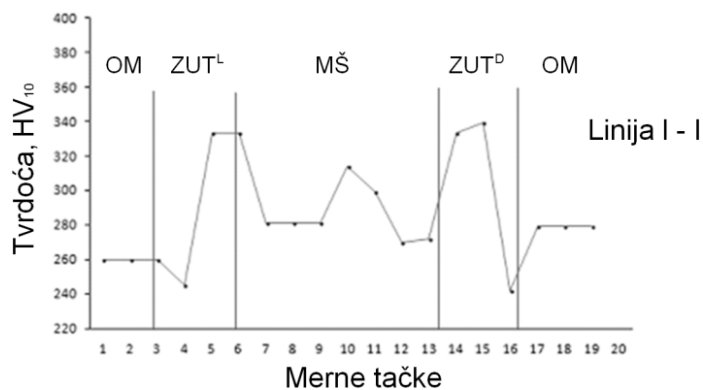


Figure 2. Diagram of distribution of hardness – plate 1, pattern – 1

Slika 2. Dijagrami raspodele tvrdoće: ploča – 1, uzorak – 1

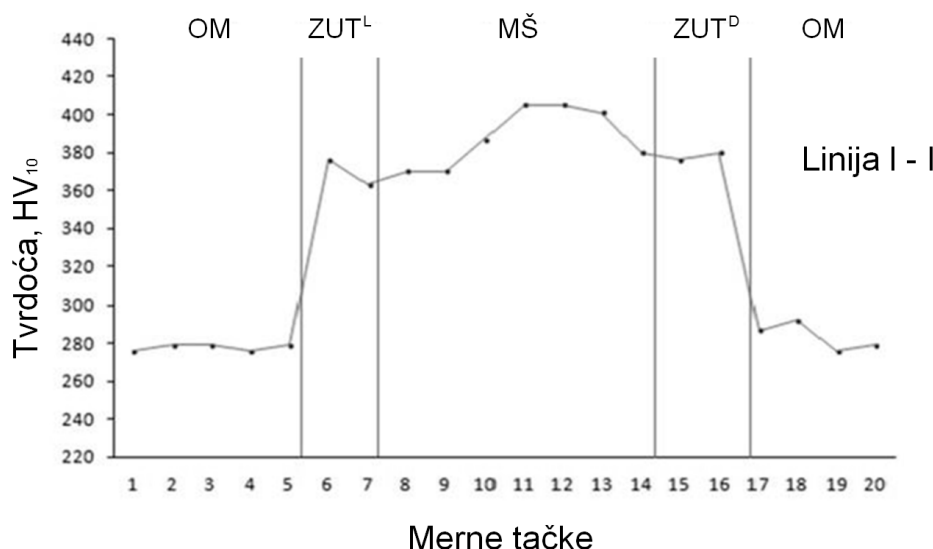


Figure 3. Diagram of distribution of hardness – plate 2, pattern – 2
Slika 3. Dijagram raspodele tvrdoće: ploča – 2, uzorak – 2

6. DISKUSIJA

Prilikom ispitivanja najvažnijih mehaničkih karakteristika kao i mikrostrukturnog ispitivanja osnovnog materijala ispitnih ploča, dobijene su vrednosti slične tabelarnim vrednostima datim u katalozima proizvođača.

Zatezne karakteristike epruveta za ispitivanje zatezanjem zavarenog spoja su veoma bliske ili veće od vrednosti osnovnog materijala. Svi lomovi epruveta su se dogodili u osnovnom materijalu.

S obzirom da je za zavarivanje korenog prolaza korišćen austenitni dodatni materijal, ispitivanje žilavosti vršeno je na +20°C. Vrednosti ispitivanja žilavosti dobijeni pri ispitivanju prve probe, su znatno niže od vrednosti žilavosti za osnovni materijal, ali su ipak iznad standardom propisanih vrednosti. Vrednosti žilavosti druge probe (postupak 136 / 135) ukazuju na pad vrednosti žilavosti u zavarenom spoju u odnosu na osnovni materijal. Ovo je nepovoljan slučaj sa stanovišta homogenosti i sigurnosti zavarenog spoja u celini. Javila su se mesta sa niskim vrednostima energije loma. Ukoliko se uporede vrednosti energije loma na licu metala šava, u korenu šava i na liniji stapanja u korenu za ove dve tehnologije, jasno se uočava da su pri zavarivanju postupkom 111/135, dobijene znatno veće vrednosti nego kod zavarivanja postupkom 136/135.

Analiza tvrdoće kroz presek zavarenog spoja pokazuje da su sve izmerene vrednosti tvrdoće ispod maksimalno dozvoljene vrednosti za čelik

S690QL prema EN 15614-1 (450 HV₁₀). Najviše izmerene vrednosti tvrdoće zabeležene su na linijama I – I kod obe ploče (slike 2 i 3) a maksimalna vrednost tvrdoće (370 ÷ 405 HV₁₀) je zabeležena na liniji I – I drugog uzorka, druge ploče. Najniže vrednosti tvrdoće (180 ÷ 387 HV₁₀) dobijene su u korenim prolazima metala šava primenom obe tehnologije. Ovako izmerene vrednosti na ovom mestu direktno su povezane sa izborom dodatnog materijala, čime je ispunjen zahtev konstrukcije. Dobijene vrednosti tvrdoće ukazuju na pravilan odabir parametara zavarivanja čime je postignuto optimalno vreme hlađenja u temperaturnom intervalu 800÷500°C, $\Delta t_{8/5} = 5\div 20s$. Kod makrostrukturnog ispitivanja, primenom obe tehnologije zavarivanja, nisu otkrivene greške na sva četiri ispitana uzorka, odnosno uzorci su u potpunosti u skladu sa standardom SRPS EN 5817 nivo B.

Mikrostrukturnim ispitivanjem je ustanovljeno da osnovni materijal ima martenzitno beinitnu strukturu, dok je za lice metala šava ustanovljena feritno-martenzitna struktura sa karbidima (slika 1.a), a koren metala šava ima austenitno-feritnu strukturu sa finim karbidima (slika 1.b i c) [4]. Ove strukture su se javile kod obe ispitne ploče na oba uzorka, sa neznatnim razlikama u broju i veličini karbidnih uključaka. Mikrostrukturnim ispitivanjem pokazano je da se primenjenim tehnologijama zavarivanja nije narušila struktura čelika povišene čvrstoće.



7. ZAKLJUČAK

Na osnovu sprovedenih ispitivanja zavarenih spojeva na čeliku WELDOX 700 primenom navedenih tehnologija i prikazanih rezultata mogu se izvesti sledeći zaključci:

- Primenom obe tehnologije zavarivanja vrednosti ispitivanja zatezanjem su slične vrednostima osnovnog materijala;

- Analizom vrednosti tvrdoće, nisu uočene vrednosti tvrdoće izvan standardom zahtevanih veličina. Najveće vrednosti tvrdoće izmerene su na liniji I-I (tačke od 6 do 16) uzorak dva, ploča dva. Kod obe zavarene ploče poslednji prolaz, sa strane lica i korena, nije zavaren po sredini šava pa je izostala naknadna termička obrada prethodnih prolaza. Kada bi se dodatno primenila tehnologija koja obuhvata završni tehnološki prolaz po sredini šava, izvršilo bi se otpuštanje prethodnih prolaza i dobili bi se još povoljniji rezultati. Primenom austenitnog dodatnog materijala za zavarivanje korenog prolaza u navedenim tehnologijama povećava se plastičnost spoja, smanjuju zaostali naponi i apsorbuju eventualne mikroprslin u zavarenom spoju. Metal šava je dobio čvrstoću na osnovu zavara popune.

- Na osnovu ispitivanja zatezanjem, makrostrukturnog i mikrostrukturnog ispitivanja kao i ispitivanjem tvrdoće, nije bilo moguće da se odredi koja je od ove dve tehnologije povoljnija.

- Presudan uticaj na izbor upoređivanih tehnologija zavarivanja, sa aspekta povećanja produktivnosti, dali su rezultati ispitivanja žilavosti. Povoljniju žilavost ima spoj izveden kombinacijom postupaka 111/135.

- Bez obzira što sa aspekta produktivnosti druga tehnologija ima prednost, vrednosti žilavosti kod postupka 136/135 ne zadovoljavaju pouzdanost spoja.

- Veća sigurnost spoja mogla bi da se postigne tehnologijom zavarivanja koja bi podrazumevala završni tehnološki prolaz po sredini lica i korena šava čime bi se izvršilo otpuštanje prethodnih prolaza.

- Dalja ispitivanja sa aspekta produktivnosti zavarivanja čelika S690QL, a u cilju povećanja vrednosti udarne žilavosti, trebalo bi usmeriti na zavarivanje korenog prolaza punjenom žicom uz zaštitu različitih mešavina gasova.

Iako je stalno prisutan zahtev za povećanjem produktivnosti, tehnologija zavarivanja mora da se izabere na osnovu kvalifikacije tehnologije zavarivanja, a vrednosti ispitivanja morale bi da imaju približne vrednosti osnovnog materijala. Osnovni zahtev pri konstruisanju je pouzdanost, pa produktivnost ne sme da ima prednost pri izboru optimalne tehnologije zavarivanja.

REFERENCE

- [1] **Jovanović, M., Lazić V.:** Uputstvo za zavarivanje čelika povišene jačine Čelik: WELDOX 700 (S690 QL), Univerzitet u Kragujevcu, Fakultet Inženjerskih Nauka, Kragujevac, April 2012.
- [2] **Radović, A.:** Metalurški i tehnološki problemi zavarljivosti, Vojnotehnički institut, Beograd.
- [3] **Živković, A.:** "WELDOX" i "HARDOX" čelici, Zavarivanje i zavarene konstrukcije (1/2004), str. 23-28.
- [4] Izveštaji mehaničko-metalografske laboratorije Instituta Goša, Smed. Palanka.
- [5] Izveštaji laboratorije za eksperimentalnu čvrstoću Vojnotehničkog instituta, Beograd.



Radomir Jovičić¹, Radica Prokić Cvetković², Branko Zrilić³, Katarina Jovičić Bubalo⁴

HEAT INPUT WELDING UNOS TOPLOTE PRI ZAVARIVANJU

Originalni naučni rad / Original scientific paper

UDK / UDC: 621.791.75

Rad primljen / Paper received:

Mart 2015.

Adresa autora / Author's address:

¹Inovacioni centar Mašinskog fakulteta Univerziteta u Beogradu, Kraljice Marije 16, Beograd

²Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Kraljice Marije 16, Beograd

³Fin Import DOO, Dobropoljska 39, Beograd

⁴Institut Goša, Milana Rakića 35, Beograd

Ključne reči: količina unete toplote, brzina hlađenja, prsline, struja, napon

Key words: heat input, cooling rate, cracks, current, voltage

Rezime: Jedan od osnovnih parametara koji utiče na osobine spojeva zavarenih elektrolučnim postupcima je količina unete toplote. Obezbeđenje dovoljne pouzdanosti zavarenih konstrukcija pogotovo konstrukcija izrađenih od čelika povišene i visoke čvrstoće i razvoj novih materijala nameću potrebu za preciznijim merenjem parametara na osnovu kojih se izračunava količina unete toplote. U ovom radu je pokazano da je za preciznije izračunavanje količine unete toplote neophodno kontinualno merenje struje i napona tokom zavarivanja. Rezultati merenja su pokazali da jačine struje može značajno da osciluje tokom zavarivanja jednog zavara, da prosečna jačina struje u jednom delu zavara može bitno da se razlikuje od prosečne vrednosti struje u drugom delu istog zavara i da obe mogu da se razlikuju od prosečne vrednosti jačine struje za ceo zavar.

Abstract: One of the main parameters that influence the properties of the welded joints made by arc welding processes is heat input. Providing sufficient reliability of welded structures, especially structures made of high strength steels and development of new materials create a need for more precise measurement parameters on the basis of which to calculate the amount of heat input. In this paper, it is for precisely calculate the amount of heat input necessary to continuously measure the current and voltage during welding. The measured results showed that the current can significantly fluctuate during welding of a weld, that the average current in one part of the weld may vary significantly from the average value of current in the second part of the same weld and that both may be different from the average value for a current for the whole weld.

1. UVOD

Energija koja se, pod dejstvom električnog luka, unese u zavareni spoj predstavlja jedan od najvažnijih faktora koji utiču na osobine novonastalog spoja. Ova energija utiče na oblik i dimezije metala šava i spoja u celini, na intenzitet i stepen završenosti metalurških reakcija u tečnom metalu, na mikro i makrostrukturu metala šava i njegove osobine, na pojavu grešaka u zavarenom spoju, na strukturne promene i osobine zone uticaja toplote (ZUT) osnovnog materijala i na veličinu zaostalih napona [1].

Izrada visokonapregnutih zavarenih konstrukcija i razvoj novih materijala namenjenih za zavarene konstrukcije čine razmatranja količine energije tj. toplote, koja se pod dejstvom električnog luka

unese u zavareni spoj sve važnijim. Da bi zavarene konstrukcije mogle dovoljno dugo i pouzdano da rade u uslovima za koje su projektovane, njihovi zavareni spojevi moraju da imaju odgovarajuće osobine. Ove osobine se mogu postići samo ako je količina unete toplote u području optimalnih vrednosti. Ovo područje je npr. kod niskouglničnih konstrukcijskih čelika nižih čvrstoća dosta široko. Međutim, porast čvrstoća kod čelika povišene i visoke čvrstoće uslovljava sužavanje područja optimalnih količina unete toplote i to utoliko više ukoliko je čvrstoća čelika veća. Zbog toga su tehnolozi često u situaciji da moraju preciznije da definišu minimalnu i maksimalnu dozvoljenu količinu unete toplote [2].



2. KOLIČINA UNETE TOPLOTE

Količina unete toplote je deo energije električnog luka koji se utroši na obrazovanje jedinice dužine zavarenog spoja. Prema literaturi [3] količina unete toplote se određuje iz izraza:

$$Q = k (U I) / v \cdot 10^{-3} \text{ [KJ/mm]} \quad (1)$$

gde je: k – koeficijent toplotne efikasnosti, U – napon električnog luka, V ; I – struja u električnom luku, A ; v – brzina zavarivanja, mm/s .

Koeficijent toplotne efikasnosti predstavlja odnos unete toplotne energije u zavarni spoj i električne energije utrošene za električni luk za vreme izvođenja zavarivanja [3]. Razlika dve navedene energije predstavlja toplotne gubitke koji nastaju usled odvođenja toplote zračenjem, strujanjem i provođenjem i zbog razbrizgavanja dodatnog materijala. Koeficijenti toplotne efikasnosti za različite postupke zavarivanja su dati u tabeli 1. [3,4,5].

Broj postupka	Postupak	Koeficijent
111	Elektrolučno zavarivanje elektrodom sa rutilnom oblogom	0,9
	Elektrolučno zavarivanje elektrodom sa bazičnom oblogom	0,8
131	Elektrolučno zavarivanje u zaštititi inertnih gasova - MIG	0,8
135	Elektrolučno zavarivanje u zaštititi aktivnih gasova - MAG	0,8
114	Elektrolučno zavarivanje samozaštitnom punjenom žicom	0,8
141	Elektrolučno zavarivanje TIG postupkom	0,6
121	Elektrolučno zavarivanje pod praškom - EPP	0,9 – 1,0

TABELA 1. Koeficijenti toplotne efikasnosti za različite postupke zavarivanja

S obzirom da veličina koeficijenta toplotne efikasnosti postupka zavisi od veličine toplotnih gubitaka, može se očekivati da pri zavarivanju u različitim uslovima, zbog razlika u toplotnim gubicima, koeficijent toplotne efikasnosti jednog postupka ima različite vrednosti. Na primer, pri zavarivanju ispitnog uzorka za kvalifikaciju tehnologije zavarivanja u radionici, toplotni gubici usled provođenja toplote će, zbog manje mase uzorka, biti manji nego pri zavarivanju istog spoja na jednoj masivnoj mostovnoj konstrukciji. Zbog toga se mora voditi računa da ispitni uzorci imaju dovoljno veliku masu tj. dovoljno velike dimenzije.

Izraz (1) podrazumeva da su struja, napon i brzina zavarivanja tj. brzina kretanja luka konstantni. Međutim, praćenjem struje i napona na ampermetru i voltmetru uređaja za zavarivanje, u toku zavarivanja, konstatuje se da se ove veličine neprestano menjaju. Ovo je naročito izraženo kod MIG i MAG postupaka. Zbog toga se postavlja pitanje koje vrednosti struje i napona predstavljaju reprezentativne vrednosti za korišćenje u izrazu (1), tj. koje vrednosti omogućavaju tačno izračunavanje količine unete toplote.

Sa ampermetra i voltmetra uređaja za zavarivanje moguće je pouzdano očitavanje samo minimalne i maksimalne vrednosti struje i napona. Izračunavanja količina unete toplote na osnovu ovih vrednosti daju vrednosti koje su manje, odnosno veće od stvarno unete količine toplote. Jasno je da se reprezentativne vrednosti struje i napona nalaze između njihovih minimalnih i maksimalnih vrednosti. Kako će se dalje videti, reprezentativne vrednosti nisu srednje vrednosti minimalne i maksimalne vrednosti struje i napona, nego su njihove prosečne vrednosti tokom zavarivanja. Ove vrednosti je moguće dobiti samo na osnovu rezultata merenja dobijenih tokom zavarivanja.

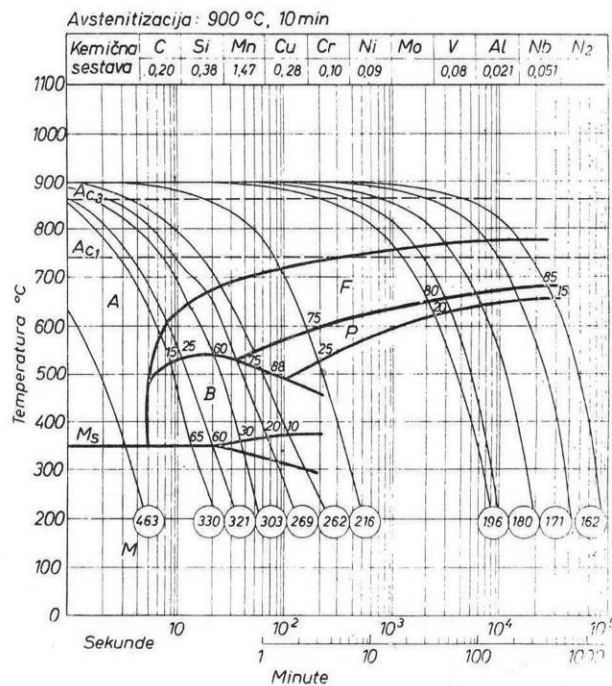
I brzina zavarivanja često nije konstantna. Pripoji u žljebovima i neujednačene dimenzije žljebova uslovljavaju da se brzina zavarivanja menja ili da se zbog uklanjanja pripoja zavarivanje mestimično prekida. Zbog toga, u ovim slučajevima, nije logično očekivati da je količina unete toplote duž zavarenog spoja jednaka. Ovaj problem se može prevazići pozicioniranjem delova u alatima i preciznijom izradom ivica žljebova mašinskom obradom.



3. KOLIČINA UNETE TOPLOTE I BRZINA HLAĐENJA ZONE UTICAJA TOPLOTE

Optimalne mikrostrukture ZUT čelika se biraju pomoću njihovih dijagrama kontinualnog hlađenja tj. pomoću TTT dijagrama. Optimalne mikrostrukture nastaju pri određenim brzinama hlađenja tj. pri određenim vremenima $\Delta t_{8/5}$. Obezbeđenjem odgovarajućeg unosa toplote postižu se željene brzine hlađenja u ZUT.

Na slici 1. [6] prikazan je TTT dijagram čelika P 460 NL1 (Nioval 47). Sa slike se vidi da pri većim brzinama hlađenja tj. pri manjem unosu toplote, u strukturi ZUT raste udeo tvrdih i krutih mikrokonstituenata. Tvrdi i kruti mikrostrukture su nepoželjne, zato što imaju sklonost ka obrazovanju hladnih prslina. Slika 2. prikazuje hladne prsline uz liniju stapanja u ZUT čelika P460 NL1 koje su nastale iz navedenog razloga [7].





merenje vremena $\Delta t_{8/5}$. Međutim, retke su laboratorije koje za to imaju odgovarajuću opremu. Količinu unete toplote je moguće kontrolisati i posredno ispitivanjem mikrostruktura i merenjem tvrdoća na kontrolnim uzorcima.

Pri definisanju potrebne količine unete toplote treba imati u vidu da na brzinu hlađenja ZUT imaju uticaja i debljina osnovnog materijala, izabrani postupak zavarivanja, ugao luka u odnosu na osnovni materijal i način vođenja luka, unapred ili unazad.

4. EKSPERIMENTALNI DEO

Promene jačine struje i napona su snimane tokom zavarivanja uzorka za kvalifikaciju tehnologije zavarivanja jednog sučeonog spoja na čeliku P 460 NL1, debljine 14mm. Spoj je zavaren MIG postupkom. Ostali podaci o tehnologiji zavarivanja su dati u tabeli 2.

Parametar	Veličina
Oznaka postupka zavarivanja	131
Vrsta i dimenzije dodatnog materijala (DIN 8559)	SG 3, Ø 1,2 mm
Oblik žljeba, ugao otvora žljeba, veličina zatupljenja korena, zazor u korenu	V, 60°, 1-2 mm, 3-4 mm
Vrsta i protok zaštitnog gasa	Ar + 5% CO ₂ + 1% O ₂ , 15 l/min
Temperatura predgrevanja i međuprolazna temperatura	150° C
Položaj zavarivanja	PA
Smer zavarivanja i ugao MIG pištolja	ulevo, 70 - 80°
Ukupni broj i raspored prolaza	5, 1. koren, 2. i 3. popuna, 4. i 5. lice šava
Zavarivanje jednostrano bez podloške	

TABELA 2. Parametri zavarivanja uzorka za kvalifikaciju tehnologije zavarivanja

Za snimanje promena struje i napona korišćen je uređaj Data Catch, proizvođača KEMPPI Oy Finska, slika 3. [9]. Uređaj je namenjen za snimanje podataka samo za MIG i MAG postupke.

Pre početka zavarivanja uređaj se priključuje na aparat za zavarivanje. U toku zavarivanja uređaj, u određenim vremenskim intervalima, beleži podatke o jačini struje i naponu zavarivanja, brzini dodavanja elektrodne žice i jačini struje na pogonskom

elektromotoru dodavača žice. Nakon zavarivanja, uređaj se povezuje na računar u kome je instaliran program koji omogućava grafički prikaz svih zabeleženih podataka. Na osnovu izmerenih vrednosti i broja merenja, program izračunava prosečne vrednosti struje i napona u električnom luku. Program takođe omogućava očitavanje veličina struje i napona u svakoj tački dijagrama.

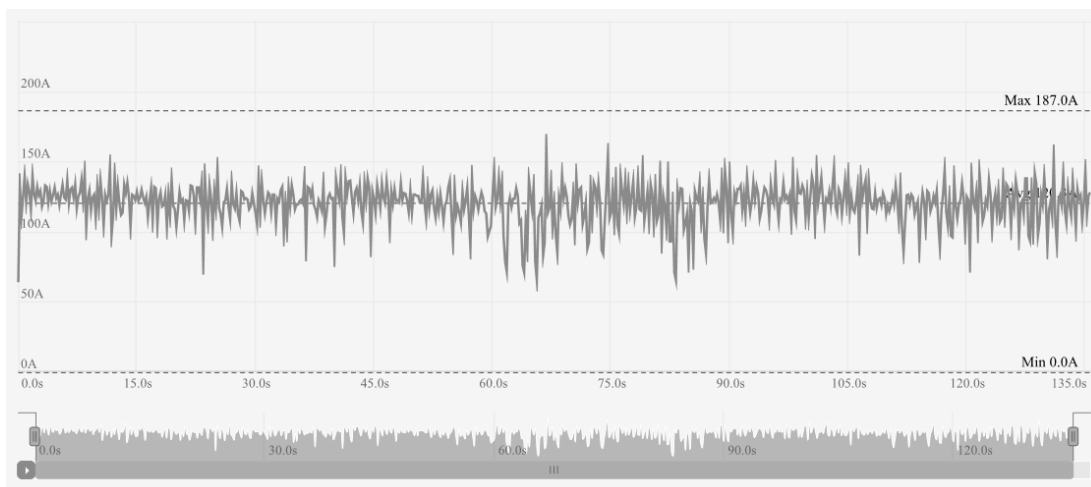


Slika 3. Uređaj DataCatch

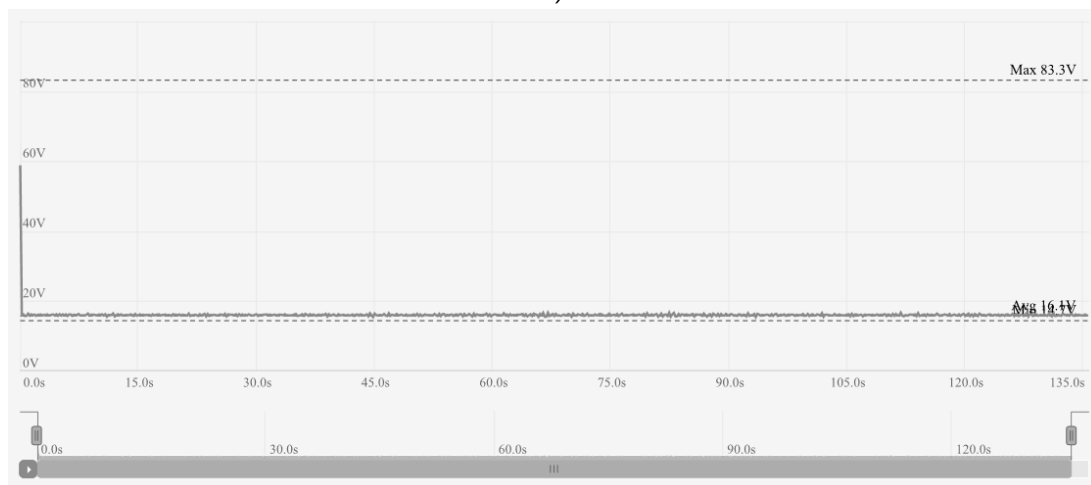


Na narednim slikama su prikazani rezultati merenja struja i napona dobijeni tokom zavarivanja navedenog uzorka. Slika 4. se odnosi na koreni

zavar, slika 5. na jedan od zavara popune, a slika 6. na jedan od zavara u završnom sloju tj. licu šava.

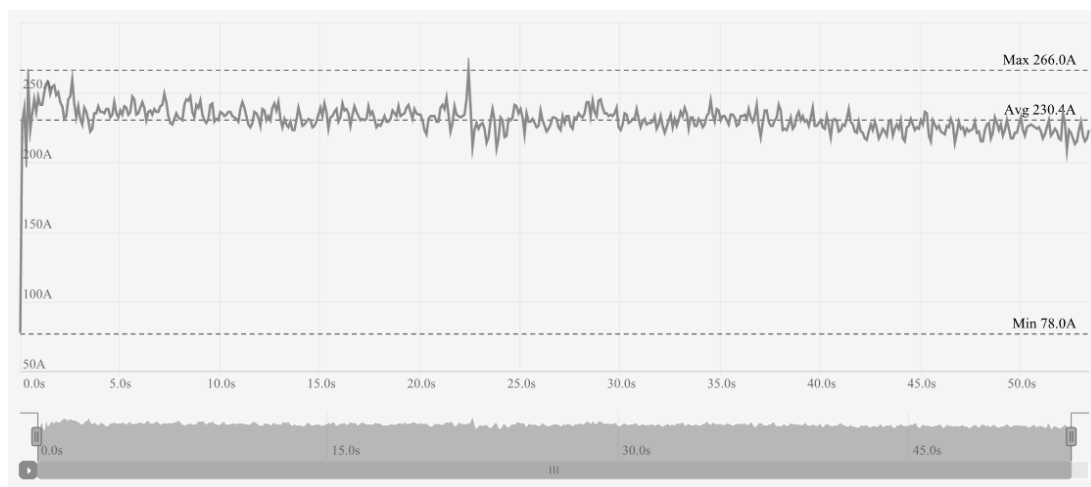


a)

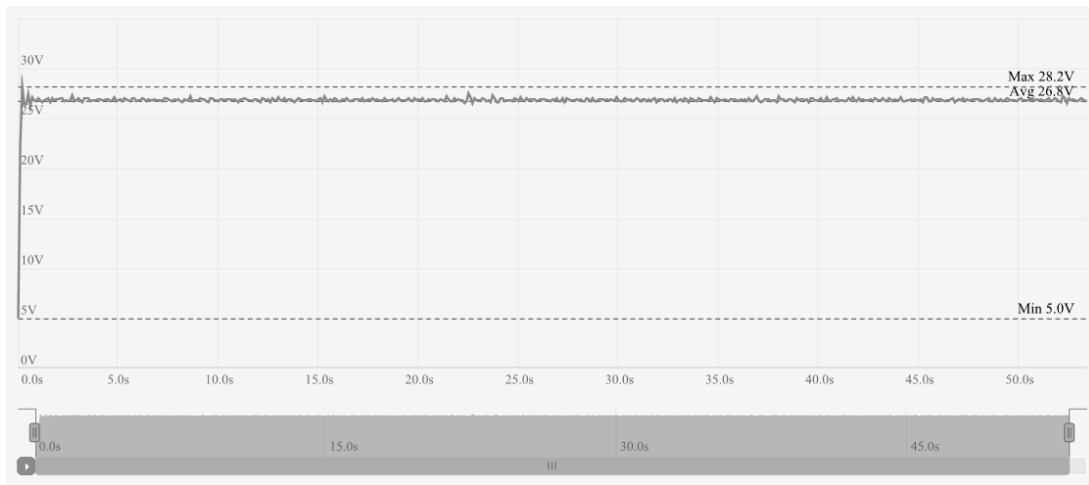


b)

Slika 4. Promene struje a) i napona b) tokom zavarivanja korenog zavara

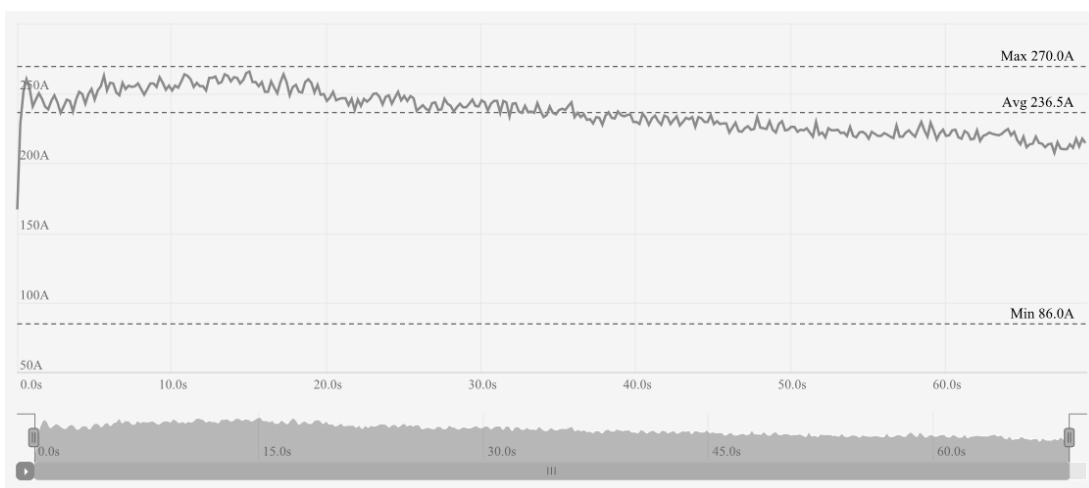


a)

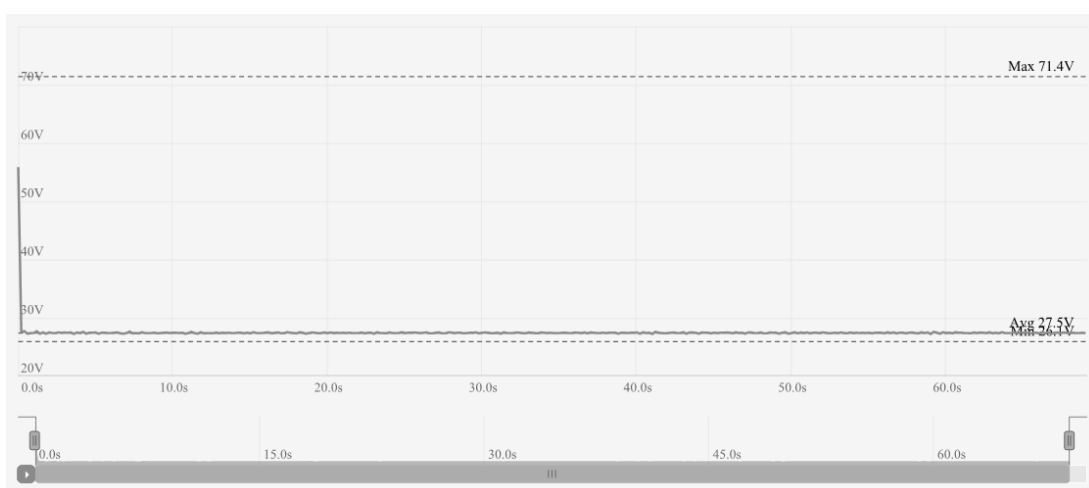


b)

Slika 5. Promene struje a) i napona b) tokom zavarivanja jednog od zavara u popuni



a)



b)

Slika 6. Promene struje a) i napona b) tokom zavarivanja jednog od zavara u završnom sloju, tj. licu šava



5. ANALIZA REZULTATA

Slika 4. se odnosi na zavarivanje dela korenog zavara opisanog spoja. Sa slike 4. a) se vidi da jačina struje osciluje celom dužinom ovog zavara i da se te oscilacije povećavaju od sredine ka kraju zavara. Prosečne jačine struja na svakoj deonici zavara su jednake prosečnoj jačini struje na

celokupnoj dužini zavara. Treba napomenuti da je uređaj za zavarivanje bio dobro pripremljen i potpuno ispravan i da je zavarivanje izveo dobro obučeni zavarivač. Sa slike 4. b) se vidi da je napon bio konstantan tokom zavarivanja. U tabeli 3. su dati podaci na osnovu kojih je izračunata količina unete toplote, a koji su uzeti sa dijagrama na slici 4.

I_{pr}	I_{max}	I_{min}	ΔI	U_{pr}	U_{max}	U_{min}	ΔU	Q	v_z
A	A	A	A	V	V	V	V	KJ/mm	mm/sec
120,0	146	80	66	16,1	16,4	15,7	0,7	0,672	2,3

TABELA 3. Podaci o zavarivanju korenog zavara

Veličine u tabeli 3. predstavljaju: I_{pr} , U_{pr} – prosečne vrednosti struje i napona, slika 4, I_{max} i I_{min} – za reprezentativne vrednosti maksimalne i minimalne struje, slika 4. a), ΔI – rasipanje vrednosti jačina struje, U_{max} , U_{min} – maksimalne i minimalne vrednosti napona, ΔU – rasipanje vrednosti napona, Q – količina unete toplote izračunata iz izraza (1) i usvojene vrednosti za koeficijent efikasnosti 0,8, v_z – brzina zavarivanja.

Slika 5. se odnosi na zavarivanje dela jednog od zavara popune. Sa slike 5. a) se vidi da jačina struje osciluje celom dužinom zavara i da su te oscilacije ujednačenih veličina. Sa slike se vidi i da se prosečna jačina struje postepeno smanjuje od

početka ka kraju zavara tj. da je na prvoj trećini zavara prosečna jačina struje veća od prosečne za ceo zavar, da je na drugoj trećini zavara prosečna jačina struje jednaka prosečnoj za ceo zavar i da je na trećoj trećini zavara prosečna jačina struje manja od prosečne za ceo zavar. Sa slike 5. b) se vidi da je napon luka i u ovom slučaju bio konstantan tokom zavarivanja. U tabeli 4. su dati podaci na osnovu kojih je izračunata količina unete toplote, a koji su uzeti sa dijagrama na slici 5., a u tabeli 5. su na osnovu prosečnih vrednosti za jačine struja u svakoj trećini zavara date i odgovarajuće količine unete toplote.

I_{pr}	I_{max}	I_{min}	ΔI	U_{pr}	U_{max}	U_{min}	ΔU	Q	v_z
A	A	A	A	V	V	V	V	KJ/mm	mm/sec
233,4	261	215	46	26,9	27,1	26,7	0,4	1,617	3,1

TABELA 4. Podaci o zavarivanju zavara popune

$I_{pr I}$	$I_{pr II}$	$I_{pr III}$	U_{pr}	Q_I	Q_{II}	Q_{III}	v_z
A	A	A	V	KJ/mm	KJ/mm	KJ/mm	mm/sec
246	233	222	26,9	1,707	1,617	1,529	3,1

TABELA 5. Promene jačina struje i količina unete energije duž zavara popune

Veličine u tabelama 4. i 5. predstavljaju iste veličine kao u tabeli 3. Iz tabele 5. se vidi da je razlika u količinama unete toplote na početku i na kraju zavara oko 11%. Ona je posledica promena u

prosečnoj vrednosti jačine struje u tim delovima zavara.

Slika 6. se odnosi na zavarivanje jednog od zavara u završnom sloju tj. licu šava. Sa slike 6.a) se vidi da i u ovom slučaju jačina struje osciluje celom



dužinom zavara i da su te oscilacije ujednačene veličine. Sa slike se vidi i da se prosečna jačina struje i u ovom slučaju, postepeno smanjuje od početka ka kraju zavara tj. da je na prvih 35% dužine zavara prosečna jačina struje veća od prosečne za ceo zavar, da je na narednih 20% dužine zavara prosečna jačina struje jednaka prosečnoj za ceo zavar i da je na preostalih 45%

dužine zavara prosečna jačina struje manja od prosečne za ceo zavar. Sa slike 6. b) se vidi da je napon luka bio konstantan tokom zavarivanja. U tabeli 6. su dati podaci sa dijagrama na slici 6., a u tabeli 7. su na osnovu prosečnih vrednosti za jačine struja u pojedinim delovima zavara date i odgovarajuće količine unete toplote.

I_{pr}	I_{max}	I_{min}	ΔI	U_{pr}	U_{max}	U_{min}	ΔU	Q	v_z
A	A	A	A	V	V	V	V	KJ/mm	mm/sec
236,5	264	213	51	27,5	27,6	27,3	0,3	0,913	5,7

TABELA 6. Podaci o zavarivanju zavara u završnom sloju

$I_{pr I}$	$I_{pr II}$	$I_{pr III}$	U_{pr}	Q_I	Q_{II}	Q_{III}	v_z
A	A	A	V	KJ/mm	KJ/mm	KJ/mm	mm/sec
258	236	221	27,5	0,996	0,913	0,853	5,7

TABELA 7. Promene jačina struje i količina unete energije duž završnog zavara

Veličine u tabelama 6. i 7. predstavljaju iste veličine kao u tabeli 3. Iz tabele 7. se vidi da je razlika u količinama unete toplote na početku i na kraju završnog zavara oko 17%. Kao i u prethodnom slučaju ona je posledica promena u prosečnoj vrednosti jačine struje u pojedinim delovima zavara.

U toku zavarivanja navedenih zavara nije menjana regulacija uređaja, pa su promene prosečne jačine struje pojedinih delova zavara, slike 5. a) i 6. a) u odnosu na prosečnu jačinu struje na celokupnoj dužini zavara, posledica promena u načinu vođenja

luka. Sa slika 4. do 6. se vidi da su oscilacije jačina struje najveće kod korenog, a najmanje kod završnog prolaza. Razlog za ovo nije utvrđivan. Može se pretpostaviti da je do smanjenja oscilacija jačina struje došlo zbog promene oblika prenosa dodatnog materijala iz kratkospojenog u krupnokapljičasti, zbog porasta jačine struje zavarivanja. Inače na veličinu oscilacija jačina struja jako utiču uvežbanost zavarivača, ispravno podešavanje dodavača žice, polikabla i pištolja za zavarivanje i kalibracija žice.



Slika 7. Instuktor pokazuje zavarivaču grafički prikaz kretanja parametara zavarivanja tokom obuke



6. ZAKLJUČCI

Količina unete toplote je jedan od osnovnih faktora koji utiču na osobine zavarenih spojeva.

Da bi zavareni spojevi mogli, dovoljno dugo i pouzdano da rade u uslovima za koje su projektovani, moraju da imaju odgovarajuće osobine. Ove osobine se postižu samo ako je količina unete toplote u području optimalnih vrednosti za zavarivani materijal.

Porast čvrstoća čelika povišene i visoke čvrstoće uslovljava sužavanje područja optimalnih količina unete toplote i to utoliko više, ukoliko je čvrstoća čelika veća. Zbog toga se, pri izradi tehnologije zavarivanja, moraju definisati minimalna i maksimalna dozvoljena količina unete toplote. Ako je količina unete toplote suviše mala spoj se hladi većim brzinama. Zato, u strukturi ZUT, raste udeo tvrdih i krutih mikrokonstituenta koji povećavaju njegovu sklonost ka obrazovanju hladnih prslina. Ako je količina unete toplote suviše velika, brzina hlađenja spoja je mala, pa se krupnozrna zona ZUT se širi, zrna postaju veća i kao posledica toga opadaju čvrstoća, plastičnost i otpornost na lom ovog dela ZUT. Zbog toga sklonost ka nastanku prslina u ZUT opet raste.

Parametri za izračunavanje količine unete toplote su koeficijent toplotne efikasnosti postupka

zavarivanja, jačina struje, napon luka i brzina zavarivanja. Koeficijent toplotne efikasnosti postupka zavarivanja se može smatrati konstantnom veličinom. Jačina struje, napon luka i brzina zavarivanja su veličine koje su promenljive tokom zavarivanja. Zbog toga se moraju definisati njihove reprezentativne vrednosti koje se koriste za izračunavanje količine unete toplote.

Reprezentativne vrednosti struje i napona su njihove prosečne vrednosti, ne i srednje vrednosti. Ove prosečne vrednosti se mogu dobiti samo na osnovu rezultata kontinualnog merenja tokom zavarivanja. Ti rezultati pokazuju da jačina struje i napon osciluju u toku zavarivanja, pri čemu su oscilacije struje mnogo veće. Rezultati pokazuju i da se prosečne vrednosti jačina struja u pojedinim delovima istog zavara mogu razlikovati i da se one mogu razlikovati od prosečne vrednosti za ceo spoj. To onda uslovljava da se i količine unete toplote razlikuju u pojedinim delovima istog zavara. U razmatranom slučaju ove razlike su bile posledica promena u načinu vođenja luka.

Rad je proizašao iz istraživanja na projektu TR 35024 "Istraživanje mogućnosti unapređenja tehnologije zavarivanja mikrolegiranih čelika" finansiranom od strane Ministarstva prosvete i nauke Republike Srbije.

LITERATURA

[1] R. Jovičić: Analiza uticaja prslina na integritet feritno – austenitnih zavarenih spojeva, Doktorska disertacija, Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd, 2007.

[2] R. Jovičić: Žilavost zavarenih spojeva mikrolegiranih čelika na niskim temperaturama, Časopis Zavarivač, Vol. 35, No 1 (1990), str. 5 – 13

[3] SRPS EN 1011-1: 2007 Zavarivanje – Preporuke za zavarivanje metalnih materijala – Deo 1: Opšte uputstvo za elektrolučno zavarivanje

[4] M. Jovanović, D. Adamović, V. Lazić: Tehnologija zavarivanja, samostalno autorsko izdanje, Kragujevac 2011.

[5] The procedure handbook of arc welding, The Lincoln electric company, Cleveland, Ohio, USA, 1973.

[6] M. Gabrovšek: Smeri razvoja proizvodnje jekel s povišano mejo plastičnosti in dodajnega materiala za varjenje v Železarni Jesenice, Strokovno posvetovanje "Dodajni materiali Železarne Jesenice", Bled, Republika Slovenija, april 1987. str. 7 -15.

[7] R. Jovičić, S. Petronić, S. Sedmak, U. Tarić, K. Jovičić: *Integrity assessment of tanks with microcracks in welded joints*, Structural Integrity and Life, Vol 13, No 2 (2013), str. 131-136, ISSN/ISBN 1451-3749, COBIS SR-ID 181616135

[8] R. Jovičić: Prsline u zavarenim spojevima, Predavanjenakursa IiW, Beograd, 2006.

[9] Kemppi DataStore concept wins the Quality Innovation of the Year 2010 award, Kemppi ProNews, No 1, 2011. p.p. 6



SEMINAR SA TEMOM

Sertifikacija zavarivača: Primena novog standarda

SRPS EN ISO 9606-1:2014

Kvalifikaciono ispitivanje zavarivača — Zavarivanje topljenjem — Deo 1: Čelici

održan je 13. maja 2015. g. u saradnji sa Institutom za standardizaciju Srbije .



Za učešće na ovom seminaru prijavljeno je 37 osoba, a toliko je bilo i prisutno.

Struktura učesnika seminara

Vrsta organizacije	Broj učesnika	u %
Privredno društvo	32	86,49
Obrazovna ustanova	2	5,41
Naučno istraživačka organizacija	1	2,70
Javna ustanova	1	2,70
Fizičko lice	1	2,70
Ukupno:	37	100

Na kraju seminara učesnici su imali priliku da popune anonimnu anketu i izraze svoje mišljenje o održanom seminaru što je i učinilo 33 učesnika.

U prvom delu ankete, učesnici su unosili ocene od 1 do 5, u skladu sa stepenom zadovoljstva održanim seminarom. Ukupna prosečna ocena za seminar iznosi **4,88**.

U drugoj tabeli davane su ocene za svakog predavača koje se kreću od **4,82 do 4,92**.

U drugom delu ankete učesnici su dali komentare o seminaru.

Nastavak na strani 80

ROLE OF INCLUSIONS FOR FORMATION OF ACICULAR FERIT IN LOW CARBONSTEEL WELD DEPOSITS

ULOGA UKLJUČAKA KOD STVARANJA ACIKULARNOG FERITA NA DEPONOVANOM METALU ŠAVA NISKOUGLJENIČNOG ČELIKA

Originalni naučni rad / Original scientific paper

UDK / UDC: Weld World (2014) 58:491–497;

DOI 10.1007/s40194-014-0132-0

Rad primljen / Paper received:

Mart 2015.

Adresa autora / Author's address:

¹ Graduate School of Engineering Osaka University

² Joining and Welding Research Institute Osaka University

Corresponding author. Tel.: +81 6 6879 4377

E-mail address: takada-a@jwri.osaka-u.ac.jp

Prevod izvornog rada na srpski jezik: Milica Antić, dipl.ing

Key words: Low carbon steel weld deposits, Inclusions, Acicular ferit, Crystallographic analysis

Ključne reči: depoziti metala šava od niskougljeničnog čelika, uključci, acikularni ferit, kristalografska analiza

Abstract

Acicular ferit was investigated from the viewpoint of orientation relationships among acicular ferit, prior austenite, and inclusions. The Baker-Nutting orientation relationship was observed between acicular ferit and a TiO layer forming at inclusion surfaces. Meanwhile, the Kurdjumov-Sachs orientation relationship was observed between acicular ferit and prior austenite. The results indicate that acicular ferit is considered to nucleate due to a low misfit with TiO layers; however, there is still doubt. In case the TiO layer form at molten steel, its orientation would be random with austenite. Thus, acicular ferit nucleating with the Baker-Nutting orientation relationship should have no orientation relationship with austenite. In order to address the issue, the inclusion formation process was investigated by using the liquid-tin quenching technique and the thermodynamic calculation. The results reveal that TiO form not at the high temperature such as molten steel temperature but at below the solid phase temperature such as austenite or ferit temperature. As the result of orientation analysis between prior austenite and TiO, TiO is not considered to form in austenite. It can be assumed that TiO layers form in order to match interface with acicular ferit. Additionally, the Mn depleted zone were also not observed. Therefore, acicular ferit is considered to nucleate not due to the low misfit or the Mn depleted zone but due to another mechanism.

Apstrakt

Acikularni ferit je istraživan s gledišta orijentacije odnosa acikularnog ferita, primarnog austenita i uključaka. Zapažena je Baker-Nutting orijentacija odnosa igličastog ferita i sloja TiO koji se formira na površini uključaka. U međuvremenu, zapažena je Kurdjumov-Sachs orijentacija odnosa igličastog ferita i primarnog austenita. Rezultati pokazuju da se acikularni ferit smatra jezgrom zbog male nepodobnosti sa slojevima TiO; međutim, još uvek postoji sumnja. U slučaju kada se sloj TiO obrazuje iz rastopljenog čelika, njegova orijentacija bi bila slučajna sa austenitom. Dakle, acikularni ferit nastao sa Baker-Nutting orijentacijom ne bi trebalo da ima orijentacijski odnos s austenitom. U cilju rešavanja problema, proces formiranja uključaka, ispitan je pomoću tehnike kaljenja tečnim kalajem i termodinamičkim proračunom. Rezultati su pokazali da se ne stvara TiO pri visokoj temperaturi kao što je temperatura rastopa čelika ali se stvara ispod temperature čvrstih faza, kao što su temperature austenita i ferita. Kao rezultat analize orijentacije primarnog austenita i TiO, smatra se da se TiO ne formira u austenitu. Može se pretpostaviti da stvoreni slojevi TiO čine pogodnu međupovršinu sa acikularnim feritom. Osim toga, nije zapažena zona osiromašena na Mn. Stoga se smatra da se acikularni ferit ne stvara usled male nepodudarnosti ili osiromašenih zona na Mn, već drugim mehanizmom.

1. Introduction

In low carbon steel weld deposits, an acicular ferrite microstructure is considered as the optimum structure in terms of strength and toughness¹⁻³. The microstructure consist of interlocked fine grains and high angle grain boundaries^{4,6}. In general low carbon steel weld deposits, the austenite to ferrite transformation occurs from austenite grain boundaries^{1,2,7}. The ferrites nucleating at austenite grain boundaries such as grain boundary ferrite or ferrite side plate are tendency to form a coarse microstructure. However, when transformation at austenite grain boundaries are suppressed and inclusion compositions are controlled, ferrite nucleates at austenite/inclusion interfaces^{8,9}. The ferrite nucleating at an inclusion interface is referred to as acicular ferrite due to the morphology. It grows radially from each inclusion and impinge another acicular ferrite grains^{4,6}. The formation mechanism of acicular ferrite result in an interlocked fine microstructure with high angle grain boundaries^{5,10}.

Since the late 1970s when the acicular ferrite microstructure was identified, many researches relating to acicular ferrite nucleation mechanisms were carried out¹⁻¹⁸. The role of inclusion has been discussed, and several nucleation mechanisms have been proposed¹¹⁻¹⁸; however, the nucleation mechanism of acicular ferrite has not been established. As one of the possible nucleation mechanisms, it was proposed that acicular ferrite nucleates due to a low misfit with inclusion phases^{14,16}. TiO, TiN, and spinel structures are known to be as the phases having a low misfit with ferrite¹³⁻¹⁵. The minimum misfit is represented when the Baker-Nutting orientation relationship is observed between ferrite and the phases^{16,19}.

In practice, TiO layers have been observed at inclusion surfaces by microscopic observation; moreover, the Baker-Nutting orientation relationship has been identified between the TiO layers and the adjacent ferrite¹⁶.

Meanwhile, the KurdjumovSachs orientation relationship exists between acicular ferrite and prior austenite^{3,4,7,10}. Acicular ferrite has been identified as intragranularly nucleated bainite⁷; thus, the KurdjumovSachs orientation relationship is observed in acicular ferrite as well as bainite or martensite. It is indicated that the two orientation relationships are involved in acicular ferrite nucleation. One is the Baker-Nutting orientation relationship between acicular ferrite and the inclusion, and the other is the Kurdjumov-Sachs orientation relationship between acicular ferrite and prior austenite.

1. Uvod

Kod metala šava niskougličnih čelika, mikrostruktura sa acikularnim feritom se smatra optimalnom sa aspekta čvrstoće i žilavosti¹⁻³. Mikrostruktura se sastoji od međusobno zakačenih finih zrna i granica zrna pod velikim uglom^{4,6}. U opštem slučaju, kod depozita niskougličnih čelika, transformacija austenita u ferit javlja se po granicama austenitnih zrna^{1,2,7}. Ferit koji nastaje na granicama austenitnog zrna kao i zrna po granicama ferita ili strani feritnih ploča imaju tendenciju da formiraju grubu mikrostrukturu. Međutim, kada se transformacija na granici zrna austenita potisne a sastav uključaka kontroliše, ferit nastaje na međupovršinama austenit / uključak^{8,9}. Ferit koji nastaje na međupovršini uključaka naziva se acikularni ferit zbog morfologije. On raste radijalno iz svakog uključaka i utiče na druga zrna acikularnog ferita^{4,6}. Mehanizam formiranja acikularnog ferita, rezultuje u međusobno zaključanoj finoj mikrostrukturi s velikim uglom granica zrna^{5,10}.

Kasnih 1970-ih, kada je identifikovana mikrostruktura acikularnog ferita, sprovedena su mnoga istraživanja koja se odnose na mehanizme nukleacije acikularnog ferita¹⁻¹⁸. Uloga uključaka se raspravlja, a nekoliko mehanizmama nukleacije je predloženo¹¹⁻¹⁸; međutim, mehanizam nukleacije acikularnog ferita nije utvrđen.

Kao jedan od mogućih mehanizama nukleacije, smatrano je da acikularni ferit nastaje zbog niske nepodobnosti sa fazama uključaka^{14,16}. Za TiO, TiN i spinel strukture se zna da kao faze imaju nisku nepodobnost sa feritom¹³⁻¹⁵. Minimalna nepodobnost uočena je kod Baker-Nutting orijentacije odnosa ferita i faza^{16,19}.

U praksi, TiO slojevi su primećeni na površini uključaka pri mikroskopskom posmatranju; štaviše, Baker-Nutting orijentacija odnosa utvrđena je između slojeva TiO_i susednog ferita¹⁶.

U međuvremenu, Kurdjumov-Sachs orijentacija odnosa postoji između acikularnog ferita i primarnog austenita (3, 4, 7, 10). Acikularni ferit je identifikovan kao unutargranularni nastao beinit⁷; dakle, Kurdjumov-Sachs orijentacija odnosa se javlja kod acikularnog ferita, kao i beinita ili martenzita. Pokazano je da su dve orijentacije veza uključenih u nukleaciju acikularnog ferita. Jedna od njih je Baker-Nutting orijentacija odnosa acikularnog ferita i uključaka, a drugi je Kurdjumov-Sachs orijentacija odnosa acikularnog ferita i primarnog austenita.

In this study, crystallographic orientation relationships were investigated among acicular ferrite, inclusions, and prior austenite. Additionally, the formation process of inclusions, which have a dominant influence on acicular ferrite formation, were investigated by using the liquid-tin quenching technique²⁰⁾ and the thermodynamic calculation. In consideration of the results, the acicular ferrite nucleation mechanisms were estimated.

2. Experimental

Specimens were low carbon steel welds fabricated by submerged arc welding process. TiB containing wires were used in order to stimulate acicular ferrite formation. Chemical compositions of the weld deposits are shown in Table 1.

C	Si	Mn	P	S	Ti	Al	B	O	N
0.062	0.26	1.47	0.012	0.004	0.014	0.005	0.0028	0.018	0.0044

Table 1 Chemical compositions of weld metals
Tabela 1 Hemijski sastav metala šava

Microstructures were observed with optical microscopy (OM). Samples were mirror polished and etched by 2% nital. Inclusions were observed with transmission electron microscopy (TEM). Thin foils for TEM observations were prepared by the focused ion beam (FIB) milling.

Elemental compositions of inclusions were analyzed with energy dispersive X-ray spectrometry (EDS). Inclusion phases were identified by selected area diffraction patterns (SADPs). Inclusion and ferrite orientation relationships were investigated by SADP. The orientation relationship between acicular ferrite and prior austenite is investigated using electron backscatter diffraction (EBSD) technique. Samples for EBSD were prepared using across section polisher. The orientation data were measured with a 100nm step size. As reliable data of retained austenite orientations was not obtained, the prior austenite orientations were determined with the prior austenite reconstruction method²¹⁾.

The schematic illustration of the liquid-tin quenching technique is shown in Fig. 1. A coated electrode was set in a welding groove. Tungsten inert gas welding was practiced on the coated electrode. The welding current is 150 A and the welding speed is 2 mm/s. Liquid-tin melted at 300°C were poured onto weld deposits in the welding process, and quenched weld deposits were prepared. The thermal distribution of deposits before quenching was estimated by using heat conduction analysis.

U ovoj studiji, istraživani su odnosi kristalografske orijentacije acikularnog ferita, uključaka i primarnog austenita. Osim toga, procesi stvaranja uključaka, koji imaju dominantan uticaj na stvaranje acikularnog ferita, ispitani su tehnikom kaljenja u rastopljenom kalaju²⁰⁾ i termodinamičkim proračunom. U razmatranju rezultata, mehanizmi nukleacije acikularnog feritanisu određeni.

2. Eksperiment

Epruvete su od zavarenih spojeva niskougljeničnog čelika zavarenih EPP postupkom. Radi stimulisanja nastajanja acikularnog ferita, korišćena je žica koja sadrži TiB. Hemijski sastav metala šava prikazan je u tabeli 1.

Mikrostrukture su uočene optičkim mikroskopom (OM). Uzorci su polirani do ogledalastog sjaja i nagriženi 2% nitalom. Uključci su posmatrani transmisionim elektronskim mikroskopom (TEM). Tanke folije za TEM posmatranja, pripremljene su glodanjem fokusiranim snopom jona (FIB). Elementarni sastavi uključaka analizirani su energijom disperzivne rendgenske spektrometrije (EDS). Faze uključaka identifikovane su preko odabranih područja difrakcijskih uzoraka (SADP). Orijentacija odnosa uključaka i ferita ispitivana je pomoću SADP.

Odnos između orijentacije acikularnog ferita i primarnog austenita istražen je pomoću tehnike difrakcije povratno raspršenih elektrona (EBSD). Uzorci za EBSD su pripremljeni poliranjem poprečnog preseka. Orijentacioni podaci su mereni sa veličinom koraka 100nm. Kao pouzdani podatak, orijentacija zaostalog austenita nije dobijena, a orijentacije primarnog austenita su određene metodom rekonstrukcije primarnog austenita²¹⁾.

Šematski prikaz tehnike kaljenja rastopljenim kalajem dat je na slici 1. Obložena elektroda je postavljena u žleb za zavarivanje. TIG zavarivanje je isprobano na obloženoj elektrodi. Jačina struje zavarivanja je 150A i brzina zavarivanja je 2mm/s. Tečni kalaj istopljen na 300°C se izliva preko deponovanog zavara i kaljeni metal šava je pripremljen. Distribucija toplote depozita pre kaljenja procenjena je pomoću analize provođenja toplote.

In order to estimate the inclusion formation behavior, the thermodynamic calculation were carried out by using FactSage software. The equilibrium conditions were calculated from 300°C to 2200°C. As for the calculation conditions, all weld deposit compositions excluded phosphorus and nitrogen were used, and FToxide and FSstel were used as the databases.

Kako bi se procenilo ponašanje formiranja uključaka, termodinamički proračun je sproveden pomoću FactSage softvera. Uslovi ravnoteže su izračunati od 300°C do 2200°C. Za uslove proračuna, korišćeni su sastavi metala šava, izuzev fosfora i azota, a FToksid i FSstel korišćeni su kao baza podataka.

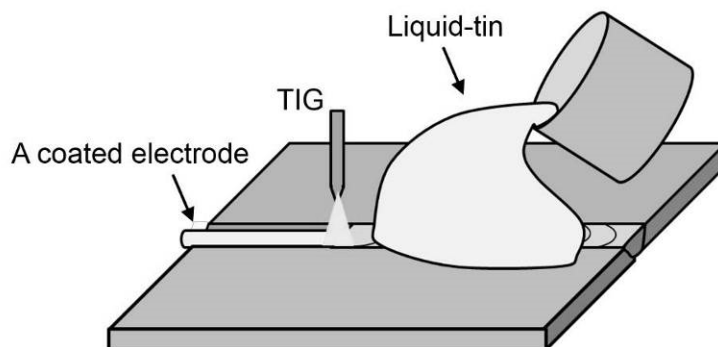


Fig. 1. Schematic illustration of liquid-tin quenching
Sl. 1. Šematska ilustracija kaljenja tečnim kalajem

3. Results

Amicrostructure of weld deposits is shown in Fig.2. The fine acicular ferrite microstructure is observed. Figure 3 shows a SEM micrograph of inclusion. The inclusion is a spherical shape and several ferrite grains elongating from the inclusion are observed.

3. Rezultati

Mikrostruktura deponovanog metala šava data je na sl.2. Zapaža se mikrostruktura finog acikularnog ferita. Na sl.3 prikazan je SEM mikrograf uključka. Zapaža se uključak sfernog oblika i nekoliko izduženih feritnih zrna.

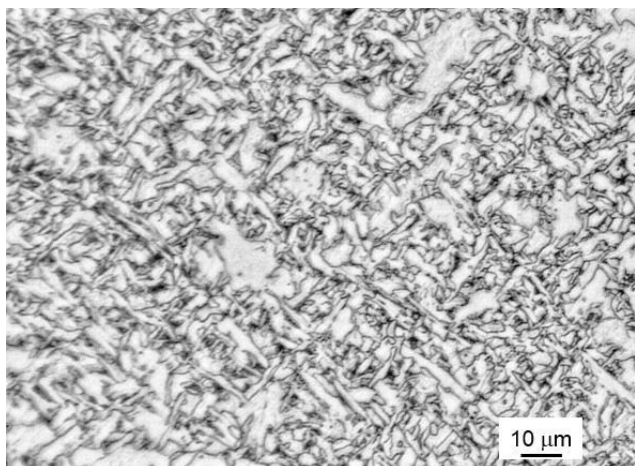


Fig. 2 The microstructure of welds
Sl.2 Mikrostruktura šava

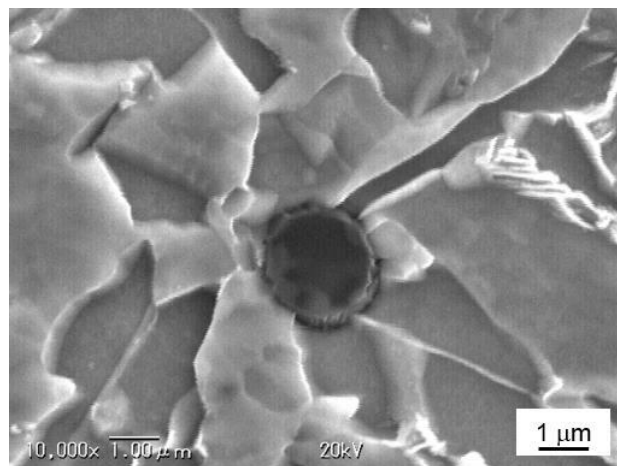


Fig. 3 The SEM micrograph of inclusion
Sl.3 SEM mikrograf uključka

Figure 4 shows the elemental distributions of inclusion. As shown in Fig. 4, the inclusion consists of the multiple phases. The Ti-rich layer is observed at the surface of inclusion; additionally, it form a planar interface with ferrite. From the results of SADP, the phases in the inclusion identified as the amorphous phase, the spinel structure, and α -MnS.

Na sl.4 prikazana je raspodela elemenata uključka. Kao što je prikazano na sl.4 uključak se sastoji od više faza. Sloj bogat Ti zapaža se na površini uključka; dodatno, stvara planarnu međupovršinu sa feritom. Iz rezultata SADP, faze u uključku identifikovane su kao amorfne, strukture spinela, i α -MnS.

Figure 5(a) shows the TEM micrograph of the interface between the inclusion and ferrite. The SADP of Fig.5(b) was obtained by the circle in Fig.5(a). The SADP indicate that the Ti layer is TiO, additionally, the Baker-Nutting orientation relationship is identified between the inclusion and adjacent ferrite.

Figure 6(a) shows an inverse pole figure (IPF) map of ferrite phase and (b) shows the <001> pole figure. The black circle in Fig.6(a) indicate the inclusion. The several grains elongating from the inclusion are observed. The calculated prior austenite orientation is plotted at blue squares in Fig.6(b). The 24 Kurdjumov-Sachs variants are plotted as yellow circles. The ferrite orientation indicated by the arrow in Fig.6(a), which represents the nucleation points, is plotted at the red points in Fig.6(b). As shown in the figure, the deviation between the ferrite orientation and the nearest Kurdjumov-Sachs variants is only a few degree; therefore, it is identified that acicular ferrite nucleates with almost the Kurdjumov-Sachs orientation relationship. Figure 7 shows the cross section image of weld deposits quenched by liquid-tin. Steel and tin are mixed in the place which existed as molten steel before quenching. The calculated thermal distribution is shown in Fig. 8. The lines in the figure indicated 800°C and 600°C. From the calculation results, it is estimated that the temperature of area 3 in Fig. 8 was below the ferrite transformation temperature. Figure 9(a)~(f) show the TEM bright field images and Ti distributions of the inclusions extracted from the areas indicated by numbers in Fig. 7.

Na sl.5(a) prikazan je TEM micrograf međupovršina uključka i ferita. SADP sa sl.5(b) dobijen je iz kruga sa sl.5(a). SADP indikuje da je Ti sloj TiO, dodatno, Baker-Nutting orijentacije odnosa uključka i susednog ferita.

Na slici 6(a) prikazana je inverzna slika pola (IPF) mapeferitne faze i (b) koja pokazuje <001>sliku pola. Crni krug sa sl.6(a) indikuje uključak. Zapaženo je nekoliko izduženih zrna iz uključka. Proračunata orijentacija primarnog austenita prikazana je plavim kvadratima na sl.6(b). Kurdjumov-Sachs 24varijante prikazane su kao žuti krugovi. Orijetacija ferita naglašena je strelicom na sl. 6(a), koja reprezentuje tačke nukleacije, prikazane su kao crvene tačke na sl. 6(b). Kao što je prikazano na slici, odstupanje između orijentacije ferita i najbližih Kurdjumov-Sachs varijanti je samo nekoliko stepeni; stoga, utvrđeno je da acikularni ferit nastaje sa skoro Kurdjumov-Sachs orijentacijom odnosa.

Na sl.7. prikazan je poprečni presek deponovanog metala šava kaljenog tečnim kalajem. Čelik i kalaj se mešaju u mestu koje je postojalo kao rastopljeni čelik pre kaljenja. Izračunata termička raspodela prikazana je na sl.8. Linije na slici označavaju 800°C i 600°C. Iz rezultata proračuna, procenjeno je da je temperatura oblasti 3 sa sl.8 bila ispod temperature transformacije ferita. Na slikama 9(a)~(f) prikazana su TEM polja svetlih slika i raspodela Ti uključaka ekstaktovanih iz površina označenih brojevima sa sl.7.

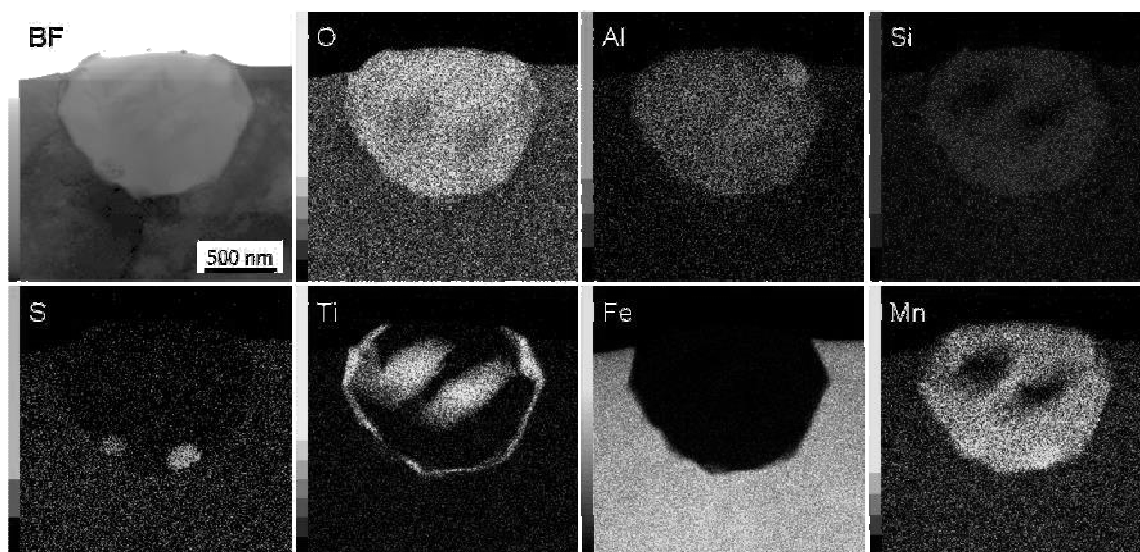


Fig. 4 EDS mappings of inclusion
Sl. 4. EDS kartografija uključka

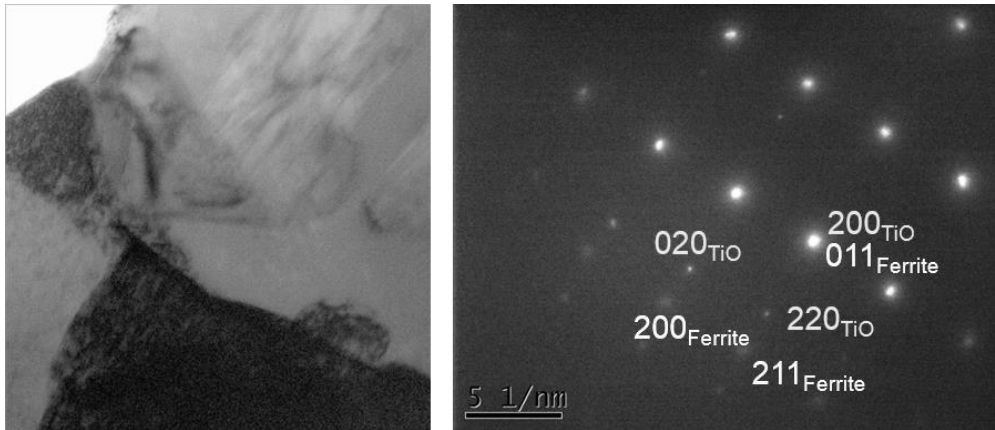


Fig. 5 The interface between the inclusion and ferrite: (a) bright field image; (b) SADP obtained from the interface

Sl. 5. Međupovršina uključka i ferita: (a) polje svetlih slika; (b) SADP zapažen sa međupovršine

As shown in the figures, surprisingly, the Ti element in the inclusions extracted from the high temperature areas (Fig. 9(d) and (e)) disperse in the inclusions; on the other hand, one extracted from the low temperature area (Fig. 9(f)) agglomerate into the phase inside the inclusion, and additionally form the surface Ti layers. The results indicate that the Ti-rich phase such as spinel structures and TiO layers form not at the high temperature such as molten steel temperature but at below the solid phase temperature such as austenite or ferrite temperature. Figure 10 shows the mass of inclusion phases in each temperature. As shown in the figure, in the welding process, a slag phase initially form at 1850°C, and a Ti-spinel phase form at 1250°C. Even though a TiO phase was contained in the calculation, a TiO phase did not form. The result indicate that only the slag phase form at high temperature such as molten steel temperature and the solid oxide phases such as spinel structure form below the austenite temperature.

Kao što je prikazano na slikama, začudo, Ti element u uključcima ekstraktovanim iz visokotemperaturnih oblasti (sl.9(d) i (e)) raspoređen je u uključcima; a sa druge strane, onaj ekstraktovan iz niskotemperaturne oblasti (sl. 9(f)) se gomila u fazu unutar uključka i dodatno sa površine Ti slojeva. Rezultati indikuju da faza bogata Ti kao što su strukture spinela i slojevi TiO ne nastaju na visokim temperaturama poput temperature rastopa čelika već na nižim od temperatura transformacija u čvrstom stanju kao što su temperature austenite ili ferita. Na slici 10. pokazana je masa faza uključaka na svakoj temperaturi. Kao što je prikazano na slici, tokom procesa zavarivanja, faza šljake inicijalno se stvara na 1850°C, a faza Ti-spinel na 1250°C. Iako je faza TiO uzeta u razmatranje pri proračunu, faza TiO se ne stvara. Rezultat indikuje da se samo faza šljake stvara na visokoj temperaturi poput temperature rastopljenog čelika i faze čvrstih oksida kao što je struktura spinela koja nastaje ispod temperature austenita.

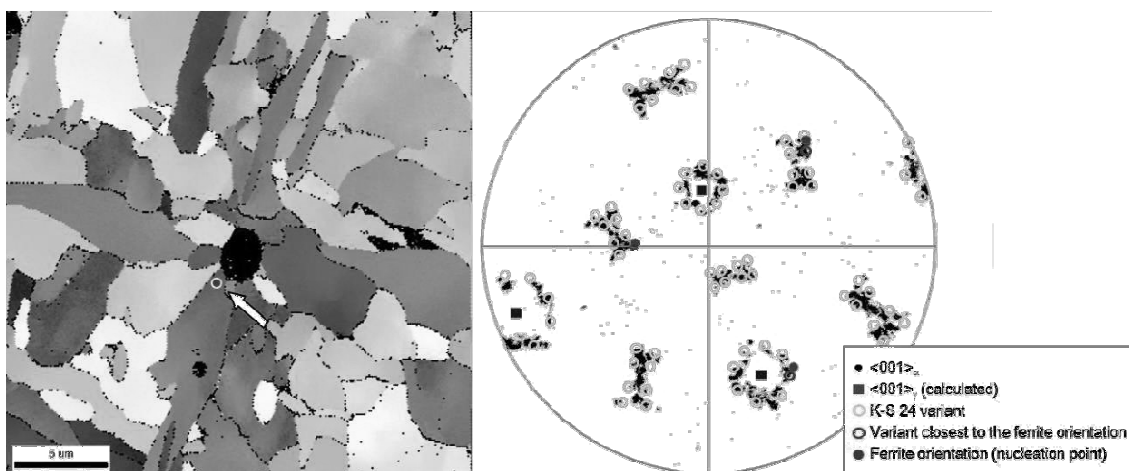


Fig. 6 The EBSD analysis: (a) the IPF map of ferrite; (b) the <001> pole figure

Sl.6. EBSD analiza (a) IPF mapa ferita; (b) slika <001> pola

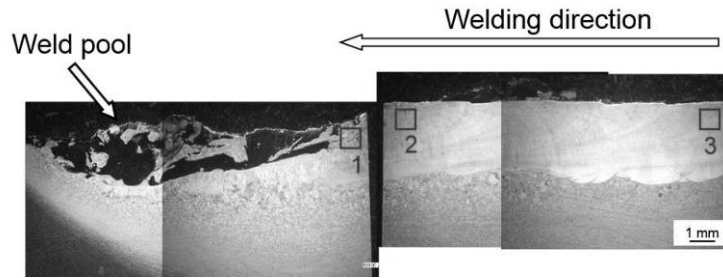


Fig. 7 The cross section image of quenching weld metal
Sl.7. Slika poprečnog preseka metala šava

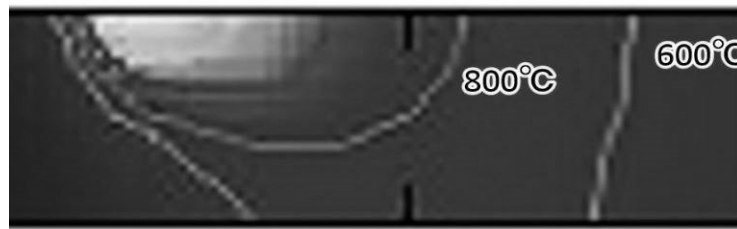


Fig. 8 The simulated thermal contribution
Sl. 8. Simulirana raspodela toplote

4. Discussion

The results of the liquid-tin quenching technique and the thermodynamic calculation indicated that Ti phase such as a spinel structure form at austenite temperature. Thus, the TiO would also form below the austenite temperature. Concerning the TiO formation temperature, two cases are considered; the first case is at austenite temperature range, and the second case is at ferrite temperature range. In case TiO form at austenite temperature, TiO would have a specific orientation relationship with austenite. However, the specific orientation relationship is not observed between the TiO and prior austenite.

4. Diskusija

Rezultati tehnike kaljenja tečnim kalajem i termodinamički proračun indikuju Ti fazu kao strukturu spinela nastalu na temperature austenita. Šta više, TiO takođe može da nastane ispod austenitne temperature. Uzimajući u obzir temperature nastajanja TiO, razmatraju se dva slučaja; prvi slučaj u opsegu austenitne temperature i drugi slučaj, u opsegu feritne temperature. U slučaju stvaranja TiO na austenitnoj temperaturi, TiO može da ima specifičnu orijentaciju odnosa sa austenitom. Međutim, specifična orijentacija nije zapažena između TiO i primarnog austenita.

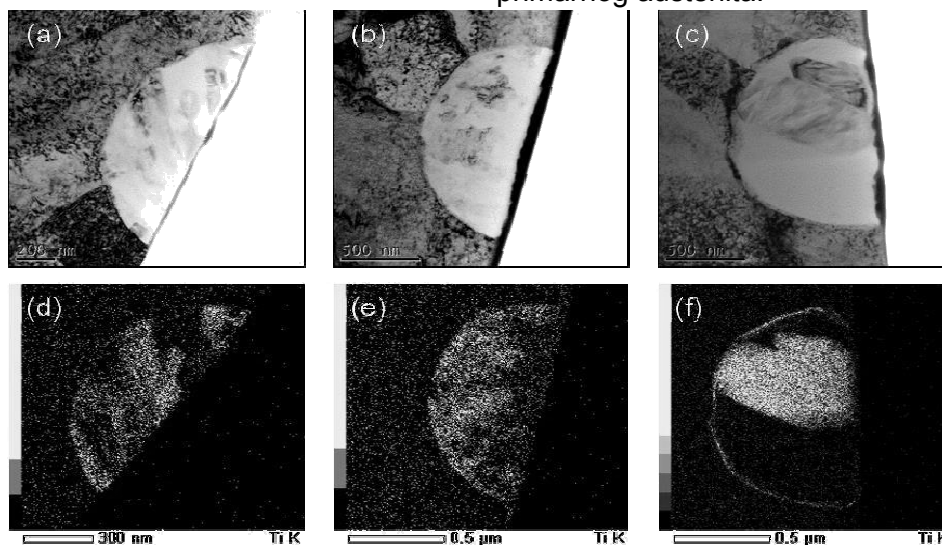


Fig. 9 The inclusions obtained from the numbered areas: (a)~(c) TEM micrograph extracted from numbered areas; (d)~(f) Ti distributions

Sl.9. Uključci zapaženi u numerisanim oblastima: (a)~(c) TEM mikrofotografije ekstrahovane iz numerisanih oblasti; (d)~(f) raspodele Ti

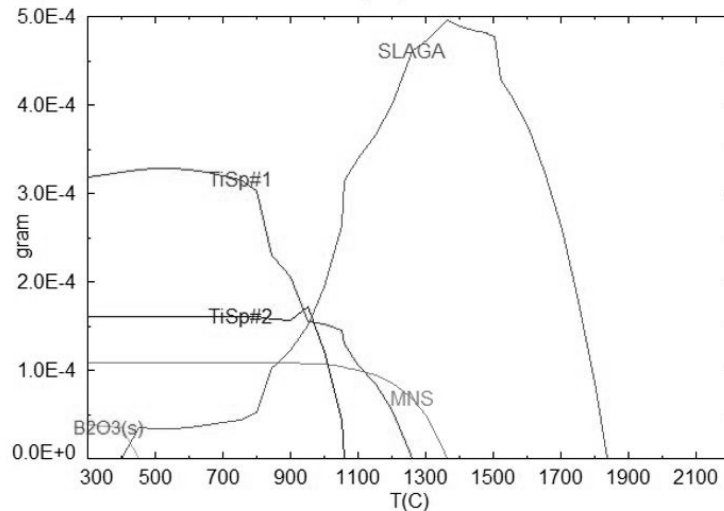
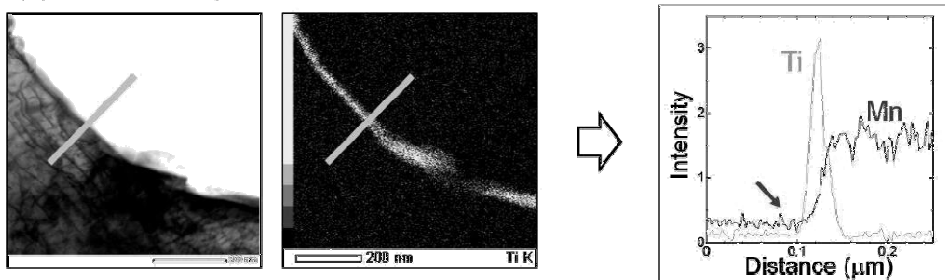


Fig. 10 The result of thermodynamic calculation
Sl.10. Rezultat termodinamičkog proračuna

Thus, it is reasonable to consider that the TiO layer form at ferrite temperature range; in other words, the TiO layer form after the acicular ferrite formation. TiO is known to be as unstable phase in thermodynamically¹⁹⁾. As for the reason of TiO formation, it can be assumed that the TiO layer formed due to the low misfit with acicular ferrite. Therefore, the acicular ferrite nucleation and TiO formation are assumed as following. At first, acicular ferrite nucleate with the KurdjumovSachs orientation relationship. And then, TiO layers form with the Baker-Nutting orientation relationship with acicular ferrite. When TiO form after acicular ferrite nucleation, the mechanism of acicular ferrite nucleation would not be the low misfit theory.

Prema tome, opravdano je smatrati da se sloj TiO stvara u opsegu feritne temperature; drugim rečima, sloj TiO nastaje posle stvaranja acikularnog ferita. U termodinamičkom smislu¹⁹⁾ TiO je poznat kao nestabilna faza. Kao razlog za stvaranje TiO, može se pretpostaviti da se sloj TiO stvara zbog niskog neslaganja sa acikularnim feritom. Dakle, nukleacija acikularnog ferita i stvaranje TiO su prepostavljeni kako sledi. Kao prvo, acikularni ferit se ujezgrava sa Kurdjumov-Sachs orijentaciom odnosa. A onda se slojevi TiO stvaraju sa Baker-Nutting orijentacijom odnosa sa acikularnim feritom. Kada se TiO formira posle nukleacije acikularnog ferita, mehanizam nukleacije acikularnog ferita ne može biti teorija niskog neslaganja.

(a) Across TiO layer



(b) Across MnS

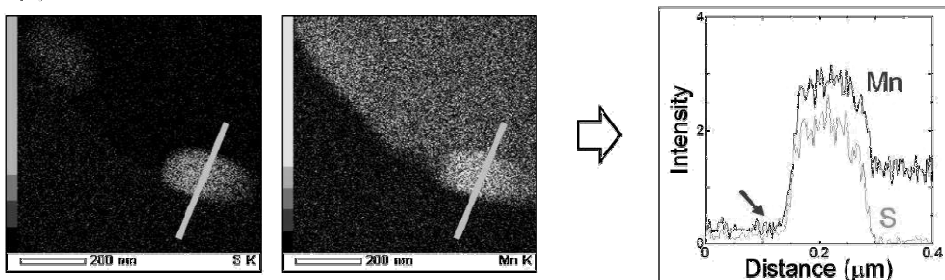


Fig. 11 The measurement of Mn: (a) across TiO layer; (b) across MnS
Sl. 11 Merenje Mn: (a) preko sloja TiO; (b) preko MnS

The low misfit between inclusion phase and ferrite has been believed as the important mechanism stimulating the acicular ferrite nucleation. The interfacial energy become the lowest when the coherent interface are formed. In this case, however, only the ferrite/inclusion interface has been considered. At the time of acicular ferrite nucleation, the two types of interface are formed. One is a ferrite/inclusion interface, and the other is a ferrite/austenite interface. Thus, the ferrite/austenite interfacial energy must be considered as well as the ferrite/inclusion interfacial energy. The acicular ferrite nucleation would not be stimulated when only one interface are matched. For example, it is known that TiN particles do not have much potential for acicular ferrite nucleation, though TiN have the low misfit with ferrite.

As for the reason, TiN particle have cube-cube orientation relationship with austenite. Acicular ferrite nucleating from TiN with the BakerNutting orientation relationship have the Bain orientation relationship with austenite. There is a deviation between the Bain orientation relationship and the KurdjumovSachs orientation relationship; thus, the ferrite/austenite interfacial energy increase in case acicular ferrite nucleates from TiN.

In case the low misfit theory is not the main mechanism of acicular ferrite nucleation, the Mn depleted zone is considered as another important mechanism. The mechanism is the theory that the driving force for ferrite nucleation increase by the formation of Mn depleted zone around inclusions. Mn element around inclusions are considered to be absorb into Ti_2O_3 or MnS. In the present study, the measurement of Mn depleted zone was carried out.

The results are shown in Fig. 11. As shown in the figure, however, the Mn depleted zone is not observed. Thus, the mechanism is also not considered as the main mechanism of acicular ferrite nucleation. From above results, it can be considered that the low misfit theory and the theory of Mn depleted zone are not the main mechanisms. Another mechanism is considered to act as the acicular ferrite nucleation; therefore, further consideration will be needed about acicular ferrite nucleation mechanisms.

Nisko neslaganje između faza uključaka i ferita je smatrano značajnim mehanizmom stimulisanja nukleacije acikularnog ferita. Energija na međupovršini postaje najmanja kada se stvara koherentna međupovršina. U tom slučaju, međutim, razmatra se samo međupovršina ferit/uključak. U vreme nukleacije acikularnog ferita, formirana su dva tipa međupovršina. Jedna je međupovršina ferit/uključak, a druga je međupovršina ferit/austenit. Tako se moraju uzeti u obzir i energija međupovršine ferit/austenit kao i energija međupovršine ferit/uključak. Nukleacija acikularnog ferita ne može biti stimulisana kada se samo jedna međupovršina podudara. Na primer, poznato je da čestice TiN nemaju veliki potencijal za nukleaciju acikularnog ferita, iako TiN ima nisko neslaganje sa feritom.

Što se tiče razloga, čestica TiN ima orijentaciju odnosa kocka-kocka sa austenitom. Acikularni ferit koji se ujezgrava iz TiN sa Baker-Nutting orijentacijom odnosa ima Bain orijentaciju odnosa sa austenitom. Postoji odstupanje između Bain i Kurdjumov-Sachs orijentacije odnosa; zato energija međupovršine ferit/austenit raste u slučaju acikularnog ferita koji nastaje iz TiN.

U slučaju da teorija niskog neslaganja nije glavni mehanizam nukleacije acikularnog ferita, zone osiromašene Mn se smatraju drugim važnim mehanizmom. Mehanizam je teorija da sila pokretanja nukleacije ferita raste sa stvaranjem zona osiromašenih Mn oko uključaka. Element Mn oko uključaka se smatra absorbovanim u Ti_2O_3 ili MnS. U ovoj studiji, sprovedeno je merenje zone osiromašene Mn.

Rezultati su prikazani na sl.11. Kao što je prikazano na slici, međutim, nisu zapažene zone osiromašene Mn. Zato ovaj mehanizam takođe nije razmatran kao glavni mehanizam nukleacije acikularnog ferita. Iz ovih rezultata se može smatrati da teorija niskog neslaganja i teorija zone osiromašene na Mn nisu glavni mehanizmi. Razmatraju se drugi mehanizmi koji deluju na nukleaciju acikularnog ferita, Smatra se da drugi mehanizam deluje na nukleaciju acikularnog ferita; zbog toga, naredna razmatranja treba da obuhvate mehanizme nukleacije acikularnog ferita.

5. Conclusions

Acicular ferrite was investigated from the viewpoint of crystallographic feature among acicular ferrite, prior austenite, and inclusions. The conclusions obtained in this study are described as follows:

1. Inclusions consisted of the multi-phases. The amorphous phase, the spinel structures, α -MnS, and TiO layer were observed.
2. The Baker-Nutting orientation relationship was observed between acicular ferrite and a TiO layer forming at the inclusion surface.
3. The Kurdjumov-Sachs orientation relationship was observed between acicular ferrite and prior austenite.
4. From the results of liquid-tin quenching technique and thermodynamic calculation, the TiO layer is considered to form after acicular ferrite nucleation. The TiO layer is considered to form due to the low misfit with acicular ferrite.
5. The Mn depleted zone around inclusion were also not observed.
6. It can be considered that the low misfit theory and the theory of Mn depleted zone are not the main mechanisms. Another mechanism is considered to act as the acicular ferrite nucleation

Reference

- 1) R. A. Farrar and P. L. Harrison: 'Acicular ferrit in carbon-manganese weld metals: an overview', *J. Mat. Sci.*, **22**(1987), 3812-3820.
- 2) T. Koseki: 'Microstructure Development and Control in Steel Welds'. *Tetsu-to-Hagane*, **90**(2004), 61-72.
- 3) F. J. Barbaro, P. Krauklis, and K. E. Easterling: 'Formation of acicular ferrit at oxide particles in steels', *Mat. Sci. Tech.*, **3**(1987), 1051-1061.
- 4) R. A. Ricks, P. R. Howell, and G. S. Barritte: 'The nature of acicular ferrit in HSLA steel weld metals', *J. Mat. Sci.*, **17**(1982), 732-740.
- 5) M. Díaz-Fuentes A. Iza-Mendia, and I. Gutiérrez: 'Analysis of Different Acicular Ferrit Microstructures in Low-Carbon Steels by Electron Backscattered Diffraction. Study of Their Toughness Behavior', *Metallurgical Mat. Tran. A*, **34**(2003), 2505-2516.

5. Zaključci

Istraživan je acikularni ferit sa tačke gledišta kristalografskih funkcija među acikularnim feritom, primarnim austenitom i uključcima. Ustanovljeni zaključci u ovoj studiji se mogu opisati na sledeći način:

1. Uključci se sastoje od više faza. Zapažene su amorfne faze, strukture spinela, α -MnS, i sloja TiO.
2. Orijentacija odnosa Baker-Nutting zapažena je između acikularnog ferita i sloja TiO koji se stvara na površini uključka.
3. Orijentacija odnosa Kurdjumov-Sachs zapažena je između acikularnog ferita i primarnog austenita.
4. Na osnovu rezultata tehnike kaljenja tečnim kalajem i termodinamičkog proračuna, smatra se da se sloj TiO stvara posle nukleacije acikularnog ferita. Smatra se da sloj TiO nastaje zbog niskog neslaganja sa acikularnim feritom.
5. Zona osiromašena na Mn oko uključka nije zapažena.
6. Može se smatrati da teorija malog neslaganja i teorija zone osiromašene na Mn nisu glavni mehanizmi. Smatra se da drugi mehanizam deluje na nukleaciju acikularnog ferita.

- 10) H. M. Flower and T. C. Lindley: 'Electron backscattering diffraction study of acicular ferrit, bainite, and martensite steel microstructures', *Mat. Sci. Tech.*, **16**(2000), 26-40.
- 11) J. M. Gregg and H. K. D. H. Bhadeshia: 'SOLID-STATE NUCLEATION OF ACICULAR FERRIT ON MINERALS ADDED TO MOLTEN STEEL', *Acta mater.*, **45**(1997), 739-748.
- 12) T. K. Lee, H. J. Kim, B. Y. Kang, and S. K. Hwang: 'Effect of inclusion size on the nucleation of acicular ferrit in welds', *ISIJ int.*, **40**(2000), 1260-1268.
- 13) J. M. Dowling, J. M. Corbett, and H. W. Kerr: 'Inclusion Phase and the Nucleation of Acicular Ferrit in Submerged Arc Welds in High Strength Low Alloy Steels', *Metallurgical Trans. A*, **17**(1986), 1611-1623.
- 14) A. R. Mills, G. Thewlis, and J. A. Whiteman: 'Nature of inclusions in steel weld metals and their influence on formation of acicular ferrit', *Mat. Sci. Tech.*, **3**(1987), 1051-1061.
- 15) Z. Zhang and R. A. Farrar: 'Role of non-metallic inclusions in formation of acicular ferrit in low alloy weld metals', *Mat. Sci. Tech.*, **12**(1996), 237-260.
- 16) T. Yamada, H. Terasaki, and Y. Komizo: 'Relation between Inclusion Surface and Acicular Ferrit in Low Carbon Low Alloy Steel Weld', *ISIJ Int.*, **49**(2009), 1059-1062.
- 17) J. -S. Byun, J. -H. Shim, Y. W. Cho, and D. N. Lee: 'Non-metallic inclusion and intragranular nucleation of ferrit in Ti-killed CMn steel', *Acta Mater.*, **51**(2003), 1593-1606.
- 18) G. Shigesato, M. Sugiyama, S. Aihara, R. Uemori, and Y. Tomita: 'Effect of Mn Depletion on Intragranular Ferrit Transformation in Heat Affected Zone of Welding in Low Alloy Steel', *Tetsu-to-Hagane*, **87**(2001), 23-30.
- 19) K. Kasai, C. Lee, S. Nambu, J. Inoue, and T. Koseki: 'Transformation Behavior of Ferrit at Steel/B1 compounds Interface', *Tetsu-to-Hagane*, **96**(2010), 23-28.
- 20) M. Yonemura, T. Osuki, H. Terasaki, Y. Komiso, M. Sato, and A. Kitano: '*In-situ* observation for Weld Solidification in Stainless Steels Using Time-Resolved X-ray Diffraction', **47**(2006), 310-316.
- 21) G. Miyamoto, N. Iwata, N. Takayama, and T. Furuhashi: 'Mapping the parent austenite orientation reconstructed from the orientation of martensite by EBSD and its application to ausformed martensite', *Acta Mater.*, **58**(2010), 6393-6403.



Ovaj seminar bio je izuzetno uspešan, iako je predmetni standard na snazi više od devet meseci, te je to donekle umanjilo aktuelnost. Učesnici su bili zadovoljni svim važnim elementima, ali svakako treba obratiti pažnju na primedbe. Izražena zaineresovanost za nove teme takođe svedoči o velikom stepenu zadovoljstva održanim seminarom.





Dr Bratica Temelkoska dipl.met.inz; Dr Radomir Cvetanoski dipl.mas.inz**

TIG POSTUPAK ZA ZAVARIVANJE RAZNORODNIH ČELIKA

TIG WELDING PROCESS FOR DISSIMILAR STEELS

Stručni rad / Professional paper

UDK / UDC: 621.791.05:620.17

Rad primljen / Paper received:

Mart 2015.

Adresa autora / Author's address:

**Univerzitet-Goce Delčev-Štip, bratica.temelkoska@ugd.edu.mk,*

**Mašinski Fakultet, radomir.cvetanoski@ugd.edu.mk*

Ključne reči: TIG, zavarivanje, raznorodni čelici, metode ispitivanja zavarenog spoja

Abstract: TIG, welding, dissimilar steels, methods of welded joints testing

APSTRAKT

Tehnologije zavarivanja imaju bitnu ulogu pri definisanju parametara tehnoloških postupaka za instaliranje i montažu opreme. Ovo je posebno vazno kod energetskih postrojenja koja su u toku rada izloženi visokim temperaturama i pritiscima, agresivnoj sredini, koroziji, dinamičkim opterećenjima konstrukcije itd.

Na mnogim sklopovima javlja se potreba za zavarivanjem raznorodnih čelika, a jedan od najpoželjnijih postupaka je TIG. U ovom radu opisan je TIG postupak zavarivanja raznorodnih čelika: niskougleničnog-niskolegiranog čelika 10CrMo9-10, za rad na visokim temperaturama, sa visokolegiranim martenzitnim čelikom X10CrMoVNb9-1, za rad na visokim temperaturama, koji je antikorozivan i otporan na habanje.

Ovi čelici koriste se za izradu cevnih sistema u termopostrojenjima, te za izradu elementa pregrejača koji rade na visokim temperaturama i pritiscima.

1. Uvod

Tehnologija zavarivanja raznorodnih čelika je daleko složenija od one čelika iste strukturne klase. Ova složenost je rezultat zavarivanja čelika različitih strukturnih, mehaničkih i fiziko-hemijskih svojstava a što se iskazuje hemijskom i strukturnom raznorodnošću unutar zavarenog spoja. Navedeni faktori imaju odlučujuću ulogu pri izboru postupka zavarivanja, tehnike i izbora dodatnog materijala. Odabrana tehnologija takođe treba da smanji difuziju ugljenika u zoni topljenja u toku zavarivanja odn. moguće termičke obrade. Posebnu pažnju kod zavarivanja raznorodnih čelika treba usmeriti na predgrevanje osnovnih materijala

ABSTRACT

Welding technologies are with very important role during defining of technological processes for equipment instaling and assembly. It is specially important in energetic plants which are working under high temperatures and pressures, aggressive conditions, corrosion, dynamically loaded constructions etc.

In many assemblies, it is necessary to weld dissimilar steels, and one of the most popular welding processes is TIG. In this paper, TIG process of welding dissimilar steels are described: low-carbon, low-alloyed steel 10CrMo9-10 for high temperature exploitation with high-alloyed martensitic steel X10CrMoVNb9-1 for high temperature exploitation which is stainless and wear resistance.

These steel are aimed for pipelines in thermoenergetic plants, e.g for superheater elements where exploitation conditions are high temperature and pressure.

pre zavarivanja kao i na termičku obradu nakon zavarivanja. Jedan od osnovnih činilaca koje treba oceniti pri izboru dodatnog materijala za zavarivanje, odnosno postupku zavarivanja je, stepen mešanja.

Opšti uslovi zavarivanja raznorodnih materijala proizlaze iz fizičko-hemijskih svojstava materijala koji se spajaju, odn. od razlike materijala koji se spajaju kao na primer: razlike vezane za temperaturu topljenja, linearnog koeficijenta širenja, osetljivosti na temperaturi, promene mehaničkih svojstava pod dejstvom temperaturne razlike u



kristalnoj rešetki, razlika mehaničkih osobina, stepen uzajamne rastvorljivosti, uticaj hemiskih elemenata u procesu difuzije itd.

Pri zavarivanju raznorodnih čelika, stepen mešanja (penetracije), treba da bude što manji pri čemu bi se suzila prelazna zona te smanjila hemijska raznorodnost.

U primenjive postupke zavarivanja za spajanje čelika različitih strukturnih vrsta ubrajaju se: postupci zavarivanja topljenjem (REL, MIG, MIG praškom punjenom žicom, EPP, EPP trakom, TIG) [1].

Bez obzira na izbor postupka zavarivanja raznorodnih čelika, nužno je odabrati takvu tehnologiju zavarivanja koja garantuje malo mešanje (penetraciju) rastopljenog dodatnog materijala s osnovnim na strani raznorodnog spoja.

Ovo je potrebno osigurati kako bi se sprečio nastanak krutih struktura i posledičnih prslina u prelaznom sloju, posebno ako je reč o zavarivanju austenitnog koroziono postojanog čelika s ugljeničnim feritno-perlitnim čelikom.

Kvalitet i svojstva zavarenog spoja, a naročito spoja raznovrsnih čelika u velikoj meri zavise od izbora dodatnog materijala. Svojstva osnovnih materijala u spoju raznorodnih čelika se znatno razlikuju a što otežava izbor dodatnog materijala. Zavisno od vrste čelika koji se zavaruje kao i uslova rada, dodatni materijal može po svom sastavu biti blizak niže, odnosno višelegiranom osnovnom materijalu ili se može razlikovati od oba.

Najvažnije je osigurati zadovoljavajuću čvrstoću zavara koja ne bi smela biti niža od čvrstoće niže legiranog čelika [1].

Ovi uslovi za spajanje raznorodnih materijala određuju tehnološki postupak.

Izbor postupka uslovljen je od sledećih zahteva:

1. Potrebno je što manje vreme dodira materijala koji se spajaju, kako bi se smanjile promene razmene, krta intermedijatna jedinjenja kako i njihovo formiranje.
2. Obezbeđenje prikladne zaštite materijala pri zavarivanju kako ne bi došlo do zagađivanja zavarenog spoja azotom i kiseonikom iz atmosfere.

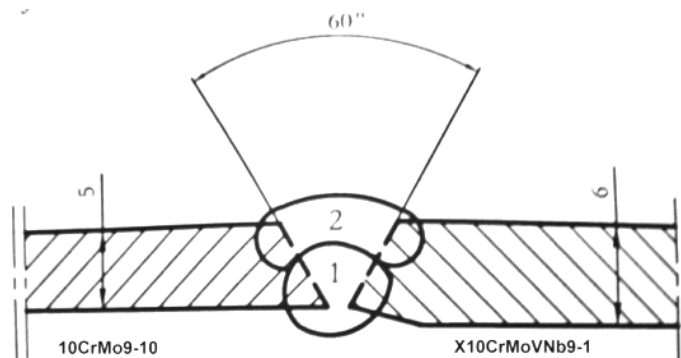
2. Eksperimentalni deo

2.1 Tehnologija zavarivanja

U ovom eksperimentu koristi se TIG postupak, za spajanje cevi od niskougleničnog-niskolegiranog čelika 10CrMo9-10 (DIN), namenjen za rad na visokim temperaturama, sa visokolegiranim martenzitnim celikom X10CrMoVNb9-1 (DIN), namenjen za rad na visokim temperaturama, antikoroziivan i otporan na habanju.

Za zavarivanje ovih čelika bira se TIG postupak zbog koncentrisanog unosa toplote na osnovni materijal, izbegavanje deformacije elemenata, argonom se eliminišu zagađenja samog zavara, obezbeđuje se kvalitetan zavar, može se zavarivati u svim položajima, lako se reparira zavareni spoj ukoliko se jave defekti i nije potreban velik manipulativan prostor.

Tehnologija zavarivanja eksperimentalnih cevi podrazumeva dva prolaza, prvi je koreni, a drugi ispuna žljeba (sl.1) [2]



Sl.1. Spajanje raznorodnih čelika 10CrMo9-10 i X10CrMoVNb9-1 TIG postupkom



2.2 Karakteristike materijala

2.2.1 Hemijski sastav i mehaničke osobine oba čelika date su u tabeli 1 i 2.

Oznaka čelika	C [%]	Mn [%]	Cr [%]	Mo [%]	P max [%]	S max [%]	Si max [%]	Cu max [%]	V	Nb	N max [%]
10CrMo9-10	0,08	0,4-0,8	2-2,5	0,9-1,1	0,02	0,01	0,5	0,3	-	-	-
X10CrMoNb9-1	0,08-0,12	0,3-0,6	8,0 - 9,5	0,85-1,05	0,02	0,01	0,5	-	0,18-0,25	0,06-0,10	0,3-0,07

Tabela 1. Hemijski sastav

Oznaka čelika	R _m [MPa]	R _p [MPa]	A _{min} [%]	Energija udara na +20°C [J]	Termička obrada
10CrMo9-10	480-630	310	22	40	Predgrevanje T _p =100-300°C
X10CrMoNb9-1	580-760	450	20	44	Predgregavnje T _p ≤200°C Otpuštanje žarenjem T≤760°C

Tabela 2. Mehaničke karakteristike

2.2.2 Izbor dodatnog materijala

Za dodatni materijal bira se WCrMo91 dodatni material u obliku žice sa karakteristikama datim u tabeli 3. Dodatni material u ovom slučaju povećava plastičnost zavara i obezbeđuje izbegavanje

deformacije elemenata sa različitim koeficijentima toplotnog širenja. Legirajući elementi u sastavu dodatnog materijala V,Nb,Cr,Mo, obezbeđuju dobro legiranje samog šava, dobru otpornost na visokim temperaturama, antikorozivna svojstva, dobru žilavost itd.

Oznaka žice po: DIN 8556	Hemijski sastav									Mehaničke karakteristike šava		
	C [%]	Mn [%]	Ni [%]	Cr [%]	Mo [%]	V [%]	Nb [%]	Cu [%]	Al [%]	R _m [MPa]	R _p [MPa]	δ [%]
WCrMo91	0.09	0.5	0.5	9.1	0.9	0.2	0.07	0.25	0.04	780	690	25

Tabela 3. Karakteristike žice WCrMo9 1

2.3 Termička obrada materijala

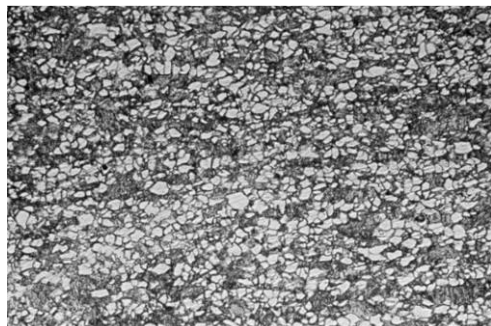
Temperatura predgrevanja ovih čelika je T_p=240°C, međuslojna temperatura od korena ka završnom (Inter pass temperature) treba da bude T_i>350°C kako bi se izbegle greške unutar zavara.

Temperatura otpuštanja materijala u ovom slučaju iznosi T_o=680°C uz konstantnu brzinu hlađenja od 100°C/h što obezbeđuje dobru žilavost materijala, a samim tim izbegava se pojava krtog loma [3].

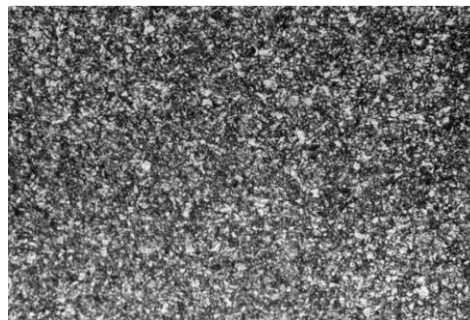
3. Rezultati ispitivanja

IBR metodama ispitivan je zavareni spoj raznorodnih čelika 10CrMo910 i X10CrMoNb9-1 TIG postupkom gde je upotrebljena žica WCrMo91.

Metalografske strukture čelika 10CrMo910 i čelika X10CrMoNb9-1 pre zavarivanja prikazane su (sl.2) i (sl.3).



Sl.2 OM Čelik 10CrMo910 200x



Sl.3 OMČelik X10CrMoNb9-1 200x

3.1 Vizuelna kontrola zavarenog spoja čelika 10CrMo9-10 i X10CrMovNb9-1.

Prva kontrola spoja je vizuelna kontrola koja u ovom slučaju zadovoljava (sl.4)

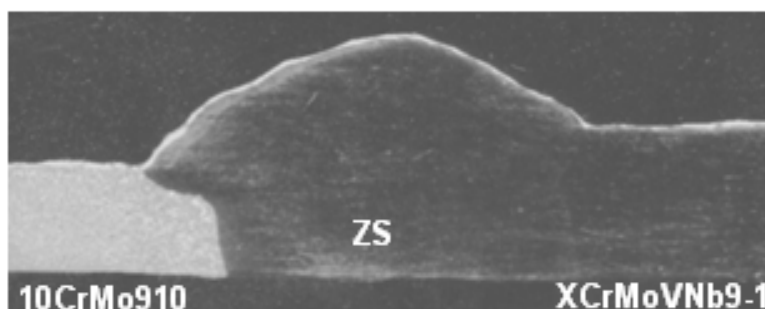


Sl.4 Zavareni spoj čelika 10CrMo9-10 sa čelikom X10CrMovNb9-1.

3.2 Metalografska -makro struktura spoja

Makrostrukturnim ispitivanjem uz uvećanje 5x, obezbeđuje se vizuelna slika strukturnog sastava zavarenog spoja, u ZUT i osnovni materijal, a vidi

se i uticaj unete energije na osnovni materijal (sl.3). Iz metalografske slike vidi se mešanje osnovnog materijala sa dodatnim, kao i koreni deo (prvi prolaz) sa drugim prolazom.



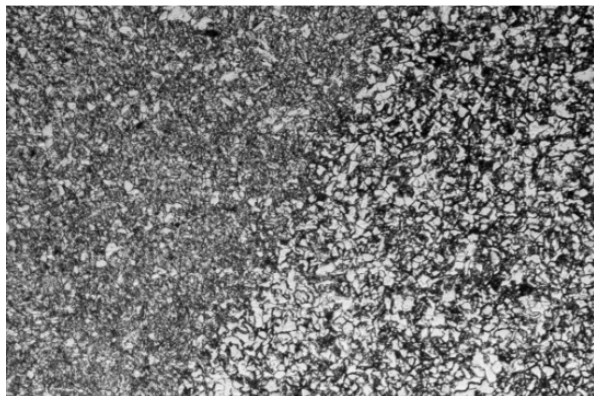
Sl.5 Prikaz makro strukture (uvećanje 5x) zavarenog spoja čelik 10CrMo9-10 (levo) sa čelikom X10CrMoVNB9-1 (desno).



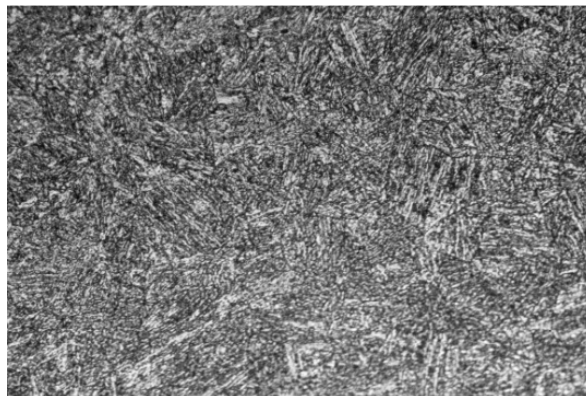
3.3 Metalografska-mikro struktura zavarenog spoja

Mikrostrukture na granici spajanja čelika 10CrMo9-10/ zavareni spoj, i mikrostruktura spoja čelika

X10CrMoV9-1 / zavareni spoj, prikazane su na sl.6 i 7.



Sl.6 Metalografija granica spajanja 10CrMo9-10 i zavar

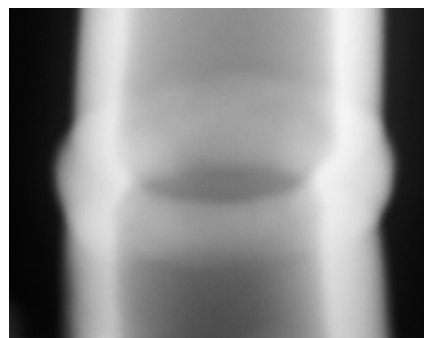
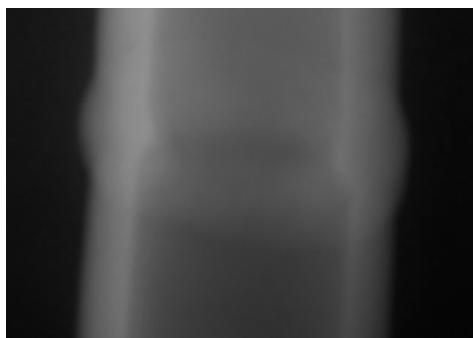


Sl.7 Metalografija granica spajanja X10CrMoV9-1 i zavar

3.4 Radigrafska kontrola zavarenog spoja

Radigrafskom kontrolom mogu da se otkrivaju sledeće greške: poroznost, neprovaren koren, međuslojna nespojenost, pukotine, zarez u koren itd.

Radigrafskom kontrolom vidi se da u ovom spoju nema takvih grešaka i može se podvrgnuti mehaničkim ispitivanjima (sl.8).



Sl.8 Radigrafski snimak zavarenog spoja čelik 10CrMo9-10 sa čelikom X10CrMoV9-1.

3.5 Ispitivanja mehaničkih karakterika

3.5.1. Ispitivanje na zatezanje

Ovim ispitivanjem dobija se izduženje A_{min} (%) zavarenog spoja, koja treba da bude minimalne vrednosti kao manja vrednost jednog od osnovnih materijala.

U ovom slučaju, na standardnoj epruveti 250mm ispitano je minimalno izduženje koje treba da iznosi kao i izduženje čelika X10CrMoV9-1. Dobijena je vrednost $A_{min}=27\%$, što znači da zavaren spoj zadovoljava mehaničke karakteristike (sl.9) i (tabela 4.)



Sl.9 Minimalno izduženje $A_{min}=\%$, ispitne epruvete

3.5.1 Ispitivanje na savijanje (bend test)

Ovim ispitivanjem ocenjuje se kvalitet zavarenog spoja u odnos na krtošću (pukotine) zavarenog spoja.

Ispitivanje se vrši sa savijanje unapred pripremljene epruvete za ispitivanje pod uglom $\alpha=120^\circ$ (sl.10)



Sl.10 test savijanja (bend test)

3.5.2 Ispitivanje udarne žilavosti

Prema rezultatima mehaničkih ispitivanja (tabela 4), potvrđuje se kvalitet zavarenog spoja ova dva

raznorodna čelika 10CrMo9-10 i X10CrMovNb9-1, čime se potvrđuje ispravnost propisane tehnologije.

Osnovni materijal	Mehaničke karakteristike	Dobijena vrednost meh, ispitivanja	Dobijena vrednost mehan. ispitivanja zavarenog spoja	Metode ispitivanja bez razaranja
X10CrMovNb9-1	Udarne žilavost Min. KV=44 (J)	KV=81 (J)	Udarne žilavost Min. KV=90 (J)	Vizuelna kontrola Zavaren spoj zadovoljava
	Granica izduženja $A_{min}=20\%$	$A_{min}=27\%$	Granica izduženja $A_{min}=27\%$ kidanje osnovnog materijala	
10CrMo9-10	Udarne žilavost Min. KV=40 (J)	KV=70 (J)	Test savijanja pod uglom $\alpha=120^\circ$ zadovoljava	Radigrafska kontrola zavarenog spoja, zadovoljava
	Granica izduženja $A_{min}=22\%$	$A_{min}=29\%$		

Tabela 4.



4. Zaključak

Zavarivanje raznorodnih čelika predstavlja tehnološki kompleksnu operaciju koja traži poznavanje eksploatacionih uslova u kojima treba da rade ovakve zavarene konstrukcije, pri tome karakteristike zavarenog spoja ne smeju da budu niže od slabijeg čelika koji se zavaruje.

Od velikog značaja je izbor dodatnog materijala koji treba da zadovolji osobine i sastav oba čelika sa raznorodnim hemijskim sastavom, strukturu i mehaničke karakteristike, čime se postiže kvalitetan zavareni spoj bez greške.

Termička obrada takođe treba da bude prilagođena strukturi oba čelika.

Izabrana tehnologija zavarivanja TIG postupak, temperature predgrevanja, termička obrada nakon zavarivanja visokolegiranog čelika X10CrMoVNb9-1 sa 10CrMo9-10, dali su ujednačene i prihvatljive vrednosti mehanickih karakteristika i mikrostrukture osnovnog materijala, zone uticaja toplote i metala šava .

Raznorodni materijali zavareni TIG postupkom daju najkvalitetniji spoj , ali zbog visokih troškova, zavaruje se i drugim ručnim postupcima .

Opravdanost zavarivanja raznorodnih materijala TIG postupkom odnosi se na visokoodgovorne konstrukcije kao što su termoenergetska postrojenja.

Reference:

1. Mateš B, Samardžić I., Dunđe M -Zavarljivost raznovrsnih čelika I primjena Schaeffler-ovog dijagrama-SBZ 2011, Slavosni Brod, listopad 2011
2. Delić B.-Zavarivanje visokolegiranih čelika, (1979)
3. DIN EN 12952- The recommendation, the VdTÜV data, This standard lists the preheating temperatures to be used for welding of ferritic and austenitic steels for the manufacture of pressure parts.



Aleksić Boško¹, Vlasćislav Bađura¹, Aleksandar Stefanović², Jano Kurai³, Darko Jovanović⁴

POSTOJEĆE STANJE STANDARDA U OBLASTI ZAVARIVANJA U SRBIJI CURRENT CONDITIONS OF STANDARDS IN WELDING IN SERBIA

NASTAVAK IZ PREDHODNOG BROJA

3. deo

Oznaka srpskog standarda	Naslov na srpskom jeziku	Naslov na engleskom jeziku
SRPS EN 28430-1:2012	Elektrootporno tačkasto zavarivanje - Držači elektroda - Deo 1: Fiksiranje konusa 1:10	Resistance spot welding - Electrode holders - Part 1: Taper fixing 1:10 (ISO 8430-1:1988)
SRPS EN 28430-2:2012	Elektrootporno tačkasto zavarivanje - Držači elektroda - Deo 2: Fiksiranje Morzeovog konusa	Resistance spot welding - Electrode holders - Part 2: Morse taper fixing (ISO 8430-2:1988)
SRPS EN 28430-3:2012	Elektrootporno tačkasto zavarivanje - Držači elektroda - Deo 3: Fiksiranje paralelnih dražača i kraja pod pritiskom	Resistance spot welding - Electrode holders - Part 3: Parallel shank fixing for end thrust (ISO 8430-3:1988)
SRPS EN 287-1:2012	Ispit za kvalifikaciju zavarivača - Zavarivanje topljenjem - Deo 1: Čelici	Qualification test of welders - Fusion welding - Part 1: Steels
SRPS EN 288-3/1:1997	Kvalifikacija tehnologije zavarivanja metalnih materijala - Deo 3: Kvalifikacija tehnologije elektrolučnog zavarivanja čelika - Izmene	Approval of welding procedures for metallic materials - Part 3: Welding procedure tests for arc welding of steels - Amendments
SRPS EN 288-3:1995	Kvalifikacija tehnologije zavarivanja metalnih materijala - Deo 3: Kvalifikacija tehnologije elektrolučnog zavarivanja čelika (identičan sa EN 288-3:1992)	Specification and approval of welding procedures for metallic materials - Part 3: Welding procedure tests for the arc welding of steels
SRPS EN 288-4/1:1997	Kvalifikacija tehnologije zavarivanja metalnih materijala - Deo 4: Kvalifikacija tehnologije elektrolučnog zavarivanja aluminijuma i legura aluminijuma - Izmene	Approval of welding procedures for metallic materials - Part 4: Welding procedure tests for the arc welding of aluminium and its alloys - Amendment
SRPS EN 288-4:1995	Kvalifikacija tehnologije zavarivanja metalnih materijala - Deo 4: Kvalifikacija tehnologije elektrolučnog zavarivanja aluminijuma i legura aluminijuma (identičan sa EN 288-4:1992)	Specification and approval of welding procedures for metallic materials - Part 4: Welding procedure tests for the arc welding of aluminium and its alloys
SRPS EN 288-7:1997	Kvalifikacija tehnologije zavarivanja metalnih materijala - Deo 7: Kvalifikacija tehnologije zavarivanja na bazi standardne tehnologije elektrolučnog zavarivanja (identičan sa EN 288-7:1995)	Specification and approval of welding procedures for metallic materials -- Part 7: Approval by a standard welding procedure for arc welding
SRPS EN 288-8:1997	Kvalifikacija tehnologije zavarivanja metalnih materijala - Deo 8: Kvalifikacija tehnologije zavarivanja na bazi ispitivanja pre početka proizvodnje (identičan sa EN 288-8:1995)	Specification and approval of welding procedures for metallic materials -- Part 8: Approval by a pre-production welding test
SRPS EN 288-9:2007	Specifikacija i odobrenje (kvalifikacija) tehnologije zavarivanja metalnih materijala - Deo 9: Kvalifikacija tehnologije zavarivanja sučeonih spojeva kopnenih i morskih (za rad u morskoj vodi) transportnih cevovoda	Specification and approval of welding procedures for metallic materials - Part 9: Welding procedure test for pipeline welding on land and offshore site butt welding of transmission pipelines
SRPS EN 29090:2009	Ispitivanje zaptivosti opreme za gasno zavarivanje i srodne postupke	Gas tightness of equipment for gas welding and allied processes (ISO 9090:1989)



SRPS EN 29313:2012	Oprema za tačkasto elektrotporno zavarivanje- Cevi za hlađenje	Resistance spot welding equipment - Cooling tubes (ISO 9313:1989)
SRPS EN 29454-1:2009	Topitelji za meko lemljenje - Klasifikacija i zahtevi - Deo 1: Klasifikacija, obeležavanje i pakovanje	Soft soldering fluxes - Classification and requirements - Part 1: Classification, labelling and packaging (ISO 9454-1:1990)
SRPS EN 29455-1:2011	Topitelji za meko lemljenje — Metode ispitivanja — Deo 1: Određivanje neisparljive materije, gravimetrijska metoda	Soft soldering fluxes - Test methods - Part 1: Determination of non-volatile matter, gravimetric method (ISO 9455-1:1990)
SRPS EN 29455-11:2011	Topitelji za meko lemljenje — Metode ispitivanja — Deo 11: Rastvorljivost ostataka topitelja	Soft soldering fluxes - Test methods - Part 11: Solubility of flux residues (ISO 9455-11:1991)
SRPS EN 29455-14:2011	Topitelji za meko lemljenje — Metode ispitivanja — Deo 14: Ocena prijanjanja ostataka topitelja	Soft soldering fluxes - Test methods - Part 14: Assessment of tackiness of flux residues (ISO 9455-14:1991)
SRPS EN 29455-5:2011	Topitelji za meko lemljenje — Metode ispitivanja — Deo 5: Ispitivanje preko bakarnog ogledala	Soft soldering fluxes - Test methods - Part 5: Copper mirror test (ISO 9455-5:1992)
SRPS EN 29455-8:2011	Topitelji za meko lemljenje — Metode ispitivanja — Deo 8: Određivanje sadržaja cinka	Soft soldering fluxes - Test methods - Part 8: Determination of zinc content (ISO 9455-8:1991)
SRPS EN 439:2001	Potrošni materijali za zavarivanje - Zaštitni gasovi za elektrolučno zavarivanje i rezanje	Welding consumables - Shielding gases for arc welding and cutting
SRPS EN 440:2008	Potrošni materijali za zavarivanje - Žičane elektrode i metal šava za elektrolučno zavarivanje u zaštitnom gasu sa topivom elektrodnom žicom na nelegiranim i sitnozrnim čelicima - Klasifikacija	Welding consumables - Wire electrodes and deposits for gas shielded metal arc welding of non alloy and fine grain steels - Classification
SRPS EN 50078:2002	Gorionici za elektrolučno zavarivanje	Torches and guns for arc welding
SRPS EN 560:2009	Oprema za gasno zavarivanje - Priključci creva za opremu za zavarivanje, rezanje i srodne postupke	Gas welding equipment - Hose connections for equipment for welding, cutting and allied processes
SRPS EN 561:2009	Oprema za gasno zavarivanje - Brzorastavljivi priključci sa zapornim ventilom za zavarivanje, rezanje i srodne postupke	Gas welding equipment - Quick-action coupling with shut-off valves for welding, cutting and allied processes
SRPS EN 562:2009	Oprema za gasno zavarivanje - Merači pritiska koji se koriste u zavarivanju, rezanju i srodnim postupcima	Gas welding equipment - Pressure gauges used in welding, cutting and allied processes
SRPS EN 719:1997	Koordinacija u zavarivanju - Zadaci i odgovornosti - (identičan sa EN 719:1994)	Welding coordination - Tasks and responsibilities
SRPS EN 730:2002	Oprema za gasno zavarivanje - Oprema koja se koristi za gasno zavarivanje, rezanje i srodne postupke, uređaji za bezbednost za gorive gasove i kiseonik ili komprimovani vazduh - Opšti podaci, zahtevi i ispitivanja	Gas welding equipment - Equipment used in gas welding, cutting and allied processes, safety devices for fuel gases and oxygen or compressed air - General specifications, requirements and tests
SRPS EN 730-1:2009	Oprema za gasno zavarivanje - Bezbednosni uređaji - Deo 1: Ugradni osigurači plamena (protiv povraćaja plamena)	Gas welding equipment - Safety devices - Part 1: Incorporating a flame (flashback) arrestor



SRPS EN 730-2:2009	Oprema za gasno zavarivanje - Bezbednosni uređaji - Deo 2: Neugradni osigurači plamena (protiv povraćaja plamena)	Gas welding equipment - Safety devices - Part 2: Not incorporating a flame (flashback) arrestor
SRPS EN 756:2008	Potrošni materijali za zavarivanje - Puna žica, kombinacije puna žica - prašak i cevasta punjena elektroda - prašak za elektrolučno zavarivanje pod praškom nelegiranih i sitnozrnih čelika - Klasifikacija	Welding consumables - Solid wires, solid wire-flux and tubular cored electrode-flux combinations for submerged arc welding of non alloy and fine grain steels - Classification
SRPS EN 758:2008	Potrošni materijali za zavarivanje - Cevaste punjene elektrode za elektrolučno zavarivanje sa i bez zaštitnog gasa nelegiranih i sitnozrnih čelika	Welding consumables - Tubular cored electrodes for metal arc welding with and without a gas shield of non alloy and fine grain steels - Classification
SRPS EN 895:2008	Ispitivanje sa razaranjem zavarenih spojeva metalnih materijala - Poprečno ispitivanje zatezanjem	Destructive tests on welds in metallic materials - Transverse tensile test
SRPS EN ISO 10042:2013	Zavarivanje — Elektrolučno zavarivanje aluminijuma i njegovih legura — Nivoi kvaliteta nepravilnosti	Welding - Arc-welded joints in aluminium and its alloys - Quality levels for imperfections (ISO 10042:2005/Cor.1:2006)
SRPS EN ISO 10447:2011	Elektrotoporno zavarivanje — Ispitivanje ljuštenjem i rezanjem dletom tačkasto i bradavičasto zavarenih spojeva	Resistance welding - Peel and chisel testing of resistance spot and projection welds (ISO 10447:2006)
SRPS EN ISO 10564:2008	Materijali za meko i tvrdo lemljenje - Metode za uzorkovanje mekih lemova za analizu	Soldering and brazing materials - Methods for the sampling of soft solders for analysis (ISO 10564:1993)
SRPS EN ISO 1071:2008	Potrošni materijali za zavarivanje - Obložene elektrode, žice, šipke i punjene žice za zavarivanje topljenjem sivog liva - Klasifikacija	Welding consumables - Covered electrodes, wires, rods and tubular cored electrodes for fusion welding of cast iron - Classification (ISO 1071:2003)
SRPS EN ISO 10882-1:2012	Zdravlje i bezbednost pri zavarivanju i srodnim postupcima - Uzorkovanje čestica i gasova iz vazduha u zoni disanja operatera - Deo 1: Uzorkovanje čestica iz vazduha	Health and safety in welding and allied processes - Sampling of airborne particles and gases in the operator's breathing zone - Part 1: Sampling of airborne particles (ISO 10882-1:2011)
SRPS EN ISO 10882-2:2008	Zdravlje i bezbednost pri zavarivanju i srodnim postupcima - Uzorkovanje čestica i gasova iz vazduha u zoni disanja operatera - Deo 2: Uzorkovanje gasova	Health and safety in welding and allied processes - Sampling of airborne particles and gases in the operator's breathing zone - Part 2: Sampling of gases (ISO 10882-2:2000)
SRPS EN ISO 12153:2013	Potrošni materijali za zavarivanje — Punjene elektrodne žice za zavarivanje nikla i legura nikla pod zaštitom gasa i bez nje — Klasifikacija	Welding consumables - Tubular cored electrodes for gas shielded and non-gas shielded metal arc welding of nickel and nickel alloys - Classification (ISO 12153:2011)
SRPS EN ISO 12224-1:2012	Žice za meko lemljenje, pune i obložene topiteljem - Specifikacije i metode ispitivanja/ Deo 1: Klasifikacija i zahtevi osobina	Solder wire, solid and flux cored - Specification and test methods - Part 1: Classification and performance requirements (ISO 12224-1:1997)
SRPS EN ISO 12224-2:2012	Žice punjene topiteljem za meko lemljenje - Specifikacija i metode ispitivanja- Deo 2: Određivanje sadržaja topitelja	Flux cored solder wire - Specification and test methods - Part 2: Determination of flux content (ISO 12224-2:1997)
SRPS EN ISO 12224-3:2012	Žice za meko lemljenje, pune i obložene topiteljem - Specifikacije i metode ispitivanja- Deo 3: Metoda ispitivanja ravnotežnog kvašenja za određivanje efikasnosti topiteljem punjene žice za meko lemljenje	Solder wire, solid and flux cored - Specifications and tests methods - Part 3: Wetting balance test method for flux cored solder wire efficacy (ISO 12224-3:2003)



SRPS EN ISO 13585:2013	Tvrdo lemljenje — Kvalifikacioni ispit lemioca i operatora lemljenja	Brazing - Qualification test of brazers and brazing operators (ISO 13585:2012)
SRPS EN ISO 13916:2013	Zavarivanje — Uputstvo za merenje temperature predgrevanja, međuprolazne temperature i temperature održavanja predgrevanja	Welding - Guidance on the measurement of preheating temperature, interpass temperature and preheat maintenance temperature (ISO 13916:1996)
SRPS EN ISO 13918:2009	Zavarivanje - Vijci i keramički prstenovi za elektrolučno zavarivanje vijaka	Welding - Studs and ceramic ferrules for arc stud welding (ISO 13918:2008)
SRPS EN ISO 13919-1:2011	Zavarivanje – Zavareni spojevi izvedeni elektronskim i laserskim snopom- Uputstvo za nivoe kvaliteta nepravilnosti - Deo 1: Čelik	Welding - Electrons and laser beam welded joints - Guidance on quality levels for imperfections - Part 1: Steel (ISO 13919-1:1996)
SRPS EN ISO 13919-2:2011	Zavarivanje - Zavareni spojevi izvedeni elektronskim i laserskim snopom- Uputstvo o kvalitativnim nivoima nepravilnosti - Deo 2: Aluminijum i njegove zavarljive legure	Welding - Electron and laser beam welded joints - Guidance on quality levels for imperfections - Part 2: Aluminium and its weldable alloys (ISO 13919-2:2001)
SRPS EN ISO 13920:2008	Zavarivanje - Opšte tolerancije kod zavarenih konstrukcija - Mere za dužine i uglove - Oblik i položaj	Welding - General tolerances for welded constructions - Dimensions for lengths and angles - Shape and position (ISO 13920:1996)
SRPS EN ISO 14113:2012	Oprema za gasno zavarivanje - Gumena i plastična creva i sklopovi creva za upotrebu sa industrijskim gasovima do 450 bar (45 MPa)	Gas welding equipment - Rubber and plastics hose and hose assemblies for use with industrial gases up to 450 bar (45 MPa) (ISO 14113:2007)
SRPS EN ISO 14114:2012	Oprema za gasno zavarivanje - Sistemi za snabdevanje acetilenom za zavarivanje, rezanje i srodne postupke - Opšti zahtevi	Gas welding equipment - Acetylene manifold systems for welding, cutting and allied processes - General requirements (ISO 14114:1999)
SRPS EN ISO 14171:2012	Potrošni materijali za zavarivanje - Pune žičane elektrode, puna elektrodna žica i kombinacije elektroda/prašak za elektrolučno zavarivanje pod praškom, nelegiranih i sitnozrnih čelika - Klasifikacija	Welding consumables - Solid wire electrodes, tubular cored electrodes and electrode/flux combinations for submerged arc welding of non alloy and fine grain steels - Classification (ISO 14171:2010)
SRPS EN ISO 14172:2011	Potrošni materijali za zavarivanje — Obložene elektrode za ručno elektrolučno zavarivanje nikla i njegovih legura — Klasifikacija	Welding consumables - Covered electrodes for manual metal arc welding of nickel and nickel alloys - Classification (ISO 14172:2008)
SRPS EN ISO 14174:2012	Potrošni materijali za zavarivanje – Topitelji za elektrolučno zavarivanje pod praškom i pod troskom – Klasifikacija	Welding consumables - Fluxes for submerged arc welding and electroslag welding - Classification (ISO 14174:2012)
SRPS EN ISO 14175:2009	Potrošni materijali za zavarivanje - Gasovi i gasne mešavine za zavarivanje topljenjem i srodne postupke	Welding consumables - Gases and gas mixtures for fusion welding and allied processes (ISO 14175:2008)
SRPS EN ISO 14270:2011	Mere epruvete i procedura za mehanizovano ispitivanje ljuštenjem elektrootporno tačkastih, šavno i ispučeno bradavičastih zavarenih spojeva	Specimen dimensions and procedure for mechanized peel testing resistance spot, seam and embossed projection welds (ISO 14270:2000)
SRPS EN ISO 14271:2012	Elektrootporno zavarivanje - Ispitivanje tvrdoće po Vickersu (malo opterećenje i mikrotvrdoća) elektrootporno tačkastih, bradavičastih i šavnih zavarenih spojeva	Resistance welding - Vickers hardness testing (low-force and microhardness) of resistance spot, projection, and seam welds - Technical Corrigendum 1 (ISO 14271:2011/Cor 1:2012)
SRPS EN ISO 14272:2011	Mere epruvete i procedura za ispitivanje poprečnim zatezanjem elektrootporno tačkastih i ispučeno bradavičastih zavarenih spojeva	Specimen dimensions and procedure for cross tension testing resistance spot and embossed projection welds (ISO 14272:2000)



SRPS EN ISO 14273:2011	Mere epruvete i procedura za ispitivanje smicanjem elektrootporno tačkastih, šavno i ispučeno bradavičastih zavarenih spojeva	Specimen dimensions and procedure for shear testing resistance spot, seam and embossed projection welds (ISO 14273:2000)
SRPS EN ISO 14323:2011	Elektrootporno tačkasto i bradavičasto zavarivanje — Ispitivanje sa razaranjem — Mere epruvete i procedura za udarno ispitivanje smicanjem i poprečnim zatezanjem	Resistance spot welding and projection welds - Destructive testing of welds - Specimen dimensions and procedure for impact shear test and cross-tension testing (ISO 14323:2006)
SRPS EN ISO 14324:2011	Elektrootporno tačkasto zavarivanje — Ispitivanje sa razaranjem — Metoda ispitivanja zamorom tačkasto zavarenih spojeva	Resistance spot welding - Destructive tests of welds - Method for the fatigue testing of spot welded joints (ISO/FDIS 14324:2003)
SRPS EN ISO 14327:2011	Elektrootporno zavarivanje — Procedura za određivanje zavarljivosti nastavaka za elektrootporno tačkasto, bradavičasto i šavno zavarivanje	Resistance welding - Procedures for determining the weldability lobe for resistance spot, projection and seam welding (ISO 14327:2004)
SRPS EN ISO 14329:2011	Elektrootporno zavarivanje — Ispitivanje sa razaranjem — Tipovi loma i geometrijsko merenje elektrootporno tačkastih, šavnih i bradavičasto zavarenih spojeva	Resistance welding - Destructive tests of welds - Failure types and geometric measurements for resistance spot, seam and projection welds (ISO 14329:2003)
SRPS EN ISO 14341:2012	Potrošni materijali za zavarivanje - Žičane elektrode i depoziti za zavarivanje u zaštiti gasa nelegiranih i fino-zrnih čelika - Klasifikacija	Welding consumables - Wire electrodes and weld deposits for gas shielded metal arc welding of non alloy and fine grain steels - Classification (ISO 14341:2010)
SRPS EN 28430-1:2012	Elektrootporno tačkasto zavarivanje - Držači elektroda - Deo 1: Fiksiranje konusa 1:10	Resistance spot welding - Electrode holders - Part 1: Taper fixing 1:10 (ISO 8430-1:1988)
SRPS EN 28430-2:2012	Elektrootporno tačkasto zavarivanje - Držači elektroda - Deo 2: Fiksiranje Morzeovog konusa	Resistance spot welding - Electrode holders - Part 2: Morse taper fixing (ISO 8430-2:1988)
SRPS EN 28430-3:2012	Elektrootporno tačkasto zavarivanje - Držači elektroda - Deo 3: Fiksiranje paralelnih dražača i kraja pod pritiskom	Resistance spot welding - Electrode holders - Part 3: Parallel shank fixing for end thrust (ISO 8430-3:1988)
SRPS EN 287-1:2012	Ispit za kvalifikaciju zavarivača - Zavarivanje topljenjem - Deo 1: Čelici	Qualification test of welders - Fusion welding - Part 1: Steels
SRPS EN ISO 14343:2011	Potrošni materijali za zavarivanje — Elektrodne žice, elektrodne trake, žice i šipke za elektrolučno zavarivanje nerđajućih i vatrootpornih čelika — Klasifikacija	Welding consumables - Wire electrodes, strip electrodes, wires and rods for arc welding of stainless and heat resisting steels - Classification (ISO 14343:2009)
SRPS EN ISO 14344:2012	Potrošni materijali za zavarivanje - Uputstva za nabavku dodatnih materijala i praškova	Welding consumables - Procurement of filler materials and fluxes (ISO 14344:2010)
SRPS EN ISO 14372:2012	Potrošni materijali za zavarivanje - Određivanje otpornosti na vlagu elektroda za ručno elektrolučno zavarivanje merenjem difundovanog vodonika	Welding consumables - Determination of moisture resistance of manual metal arc welding electrodes by measurement of diffusible hydrogen (ISO 14372:2011)
SRPS EN ISO 14373:2011	Elektrootporno zavarivanje — Procedura za tačkasto zavarivanje niskougleničnih čelika sa prevlakom i bez nje	Resistance welding - Procedure for spot welding of uncoated and coated low carbon steels (ISO 14373:2006)
SRPS EN ISO 14554-1:2009	Zahtevi za kvalitet u zavarivanju - Elektrootporno zavarivanje metalnih materijala - Deo 1: Sveobuhvatni zahtevi za kvalitet	Quality requirements for welding - Resistance welding of metallic materials - Part 1: Comprehensive quality requirements (ISO 14544-1:2000)
SRPS EN ISO 14555:2008	Zavarivanje - Elektrolučno zavarivanje vijaka na metalnim materijalima	Welding - Arc stud welding of metallic materials (ISO 14555:2006)



SRPS EN ISO 14731:2011	Koordinacija u zavarivanju — Zadaci i odgovornosti	Welding coordination - Tasks and responsibilities (ISO 14731:2006)
SRPS EN ISO 14744-1:2011	Zavarivanje — Kontrola prihvatljivosti mašina za zavarivanje elektronskim snopom — Deo 1: Principi i uslovi prihvatljivosti	Welding - Acceptance inspection of electron beam welding machines - Part 1: Principles and acceptance conditions (ISO 14744-1:2008)
SRPS EN ISO 14744-2:2011	Zavarivanje — Kontrola prihvatljivosti mašina za zavarivanje elektronskim snopom — Deo 2: Merenje karakteristika povećanja napona	Welding - Acceptance inspection of electron beam welding machines - Part 2: Measurement of accelerating voltage characteristics (ISO 14744-2:2000)
SRPS EN ISO 14744-3:2011	Zavarivanje - Kontrola prihvatljivosti mašina za zavarivanje elektronskim snopom- Deo 3: Merenje strujnih karakteristika snopa	Welding - Acceptance inspection of electron beam welding machines - Part 3: Measurement of beam current characteristics (ISO 14744-3:2000)
SRPS EN ISO 14744-4:2011	Zavarivanje - Kontrola prihvatljivosti mašina za zavarivanje elektronskim snopom- Deo 4: Merenje brzine zavarivanja	Welding - Acceptance inspection of electron beam welding machines - Part 4: Measurement of welding speed (ISO 14744-4:2000)
SRPS EN ISO 14744-5:2011	Zavarivanje - Kontrola prihvatljivosti mašina za zavarivanje elektronskim snopom- Deo 5: Merenje izlazne sigurnosti	Welding - Acceptance inspection of electron beam welding machines - Part 5: Measurement of run-out accuracy (ISO 14744-5:2000)
SRPS EN ISO 14744-6:2011	Zavarivanje - Kontrola prihvatljivosti mašina za zavarivanje elektronskim snopom- Deo 6: Merenje stabilnosti položaja tačke	Welding - Acceptance inspection of electron beam welding machines - Part 6: Measurement of stability of spot position (ISO 14744-6:2000)
SRPS EN ISO 15011-1:2011	Zdravlje i bezbednost pri zavarivanju i srodnim postupcima — Laboratorijske metode za uzorkovanje dima i gasova — Deo 1: Određivanje brzine emisije dima pri elektrolučnom zavarivanju i sakupljanje dima za analizu	Health and safety in welding and allied processes - Laboratory method for sampling fume and gases - Part 1: Determination of fume emission rate during arc welding and collection of fume for analysis (ISO 15011-1:2009)
SRPS EN ISO 15011-2:2011	Zdravlje i bezbednost pri zavarivanju i srodnim postupcima — Laboratorijske metode za uzorkovanje dima i gasova — Deo 2: Određivanje brzine emisije ugljen-monoksida (CO), ugljen-dioksida (CO ₂), azot-monoksida (NO) i azot-dioksida (NO ₂) tokom elektrolučnog zavarivanja	Health and safety in welding and allied processes - Laboratory method for sampling fume and gases - Part 2: Determination of the emission rates of carbon monoxide (CO), carbon dioxide (CO ₂), nitrogen monoxide (NO) and nitrogen dioxide (NO ₂) during arc weld
SRPS EN ISO 15011-3:2011	Zdravlje i bezbednost pri zavarivanju i srodnim postupcima — Laboratorijske metode za uzorkovanje dima i gasova — Deo 3: Određivanje brzine emisije ozona pri elektrolučnom zavarivanju	Health and safety in welding and allied processes - Laboratory method for sampling fume and gases - Part 3: Determination of ozone emission rate during arc welding (ISO 15011-3:2009)
SRPS EN ISO 15011-4:2009	Zdravlje i bezbednost u zavarivanju i srodnim postupcima - Laboratorijska metoda za uzorkovanje dima i gasova stvorenih pri elektrolučnom zavarivanju - Deo 4: Liste podataka za dim	Health and safety in welding and allied processes - Laboratory method for sampling fume and gases - Part 4: Fume data sheets (ISO 15011-4:2006)
SRPS EN ISO 15011-4:2009/A1:2011	Zdravlje i bezbednost pri zavarivanju i srodnim postupcima — Laboratorijska metoda za uzorkovanje dima i gasova — Deo 4: Liste podataka za dim — Izmena 1	Health and safety in welding and allied processes - Laboratory method for sampling fume and gases - Part 4: Fume data sheets - Amendment 1 (ISO 15011-4:2006/Amd 1:2008)
SRPS EN ISO 15011-5:2012	Zdravlje i bezbednost pri zavarivanju i srodnim postupcima- Laboratorijske metode za uzorkovanje dima i gasova- Deo 5: Identifikacija proizvoda nastalih usled delovanja toplote pri zavarivanju ili rezanju proizvoda koji su potpuno ili delimično od organskih materijala	Health and safety in welding and allied processes - Laboratory method for sampling fume and gases - Part 5: Identification of thermal-degradation products generated when welding or cutting through products composed wholly or partly of organic materials us

ČASOPIS ZAVARIVANJE I ZAVARENE KONSTRUKCIJE**Cenovnik oglasnog prostora u četiri uzastopna broja 2015**

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

- U cene nije uračunat PDV 20%.
- Objavljanje oglasa u samo jednom broju iznosi 30% od datih cena.
- Reklamni tekstovi: 25 % od cene površine crno/belih oglasa.
- Dostava materijala:
 - za crno-beli film ili CD (Adobe Photoshop / CorelDRAW);
 - za kolor film ili CD (Adobe Photoshop / CorelDRAW);
 - izrada filma sa CD: 10 % od cene angažovanog prostora.
- Na web prezentaciji DUZS-a, (www.duzs.org.rs), na strani Marketing, objavljuje se pregled firmi-oglašivača sa podacima o glavnim grupama proizvođača/ 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 2015**

	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
REFIT INŽENJERING
YASKAWA SLOVENIJA
HONEX
ELIMP
ZAVOD ZA ZAVARIVANJE
MESSER
KEMPER GmbH

1. ČLANARINA DUZS za 2015. godinu **3.500 dinara**
Članovima DUZS **GRATIS** godišnje izdanje časopisa "ZAVARIVANJE I ZAVARENE KONSTRUKCIJE"
2. ČASOPIS "ZAVARIVANJE I ZAVARENE KONSTRUKCIJE" - 2015. 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 2013. godinu 500 dinara
 - cena pojedinačnog broja za prethodne godine..... 250 dinara
 - b) beneficirane cene za članove DUZS:
 - cena pojedinačnog broja za 2014. godinu (pouzećem ili preuzimanjem) 400 dinara
 - cena pojedinačnog broja za prethodne godine (pouzećem ili preuzimanjem) Gratis
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