



Ž. Šarkoćević, M. Arsić, M. Rakin, B. Međo, M. Mladenović, D. Jaković

UTICAJ PARAMETARA EPP POSTUPKA ZAVARIVANJA NA MEHANIČKE OSOBINE SPIRALNO ZAVARENIH CEVI OD ČELIKA API X60

INFLUENCE OF SA PROCEDURE WELDING PARAMETERS ON MECHANICAL PROPERTIES SPIRAL WELDED STEEL TUBES API X60

Stručni rad / Professional paper

UDK / UDC: 621.791.753.5:621.643.2
621.791.753.5:669.15

Rad primljen / Paper received:

Decembar 2009.

Adresa autora / Author's address:

Živče Šarkoćević, Visoka tehnička škola strukovnih studija,
Zvečan-Kosovska Mitrovica, Srbija.
zivcesarkocevic@yahoo.com

Miodrag Arsić, Mladen Mladenović, Dragan Jaković,
Institut za ispitivanje materijala – IMS, Beograd, Srbija.
miodrag.arsic@institutims.rs

Marko Rakin, Bojan Međo, Tehnološko - metalurški
fakultet, Beograd, Srbija.

Ključne reči: Spiralno zavarene cevi, parametri zavarivanja, ispitivanja zavarenih cevi, mehaničke osobine.

Keywords: Spiral welded tubes, welding parameters, welded tubes testing, mechanical properties.

Izvod

Izbor čelika, dimenzija i načina proizvodnje zavarenih cevi je deo procesa konstruisanja, jer je u uskoj vezi sa funkcijom cevi kao konstrukcijske celine u određenim uslovima eksploatacije za predviđeni vek trajanja.

Kvalitet zavarenih spojeva u procesu proizvodnje cevi definiše se karakteristikama koje one moraju posedovati da bi zadovoljile određene zahteve, što se postiže izborom odgovarajućih postupaka i parametara zavarivanja, sprovođenjem programa kontrole svih tehnoloških operacija u njihovoj izradi i mehaničkim i tehnološkim ispitivanjima otpornosti i deformacije osnovnog materijala i zavarenih spojeva cevi.

U radu su prikazani rezultati ispitivanja mehaničkih osobina spiralno zavarenih cevi, za dva proizvodna procesa sa različitim parametrima zavarivanja. Cevi namenjene za naftovode i gasovode su izrađene zavarivanjem pod praškom (EPP) od čelika povećane čvrstoće API X60.

Abstract

The selection of steel, the dimensions and methods of seam welded steel tubes fabrication are closely connected to the function of tube as a whole structure in specific working conditions, for a calculated service life.

The quality of welded joints in the fabrication process of seam welded tubes is defined by properties the tubes must possess in order to satisfy defined requirements, and can be achieved by choosing appropriate procedures and welding parameters, by following control programmes in all fabricating operations, and through mechanical and technology stress and strain tests of base metal and seam welded joints.

The paper presents the results of the mechanical properties of spiral welded pipes, the two production processes with different welding parameters. Tubes designed for oil and gas pipelines are made by welding the powder (EPP) steel increased strength of API X60.

UVOD

Čelici povišene čvrstoće namenjeni za izradu zavarenih cevi za naftovode i gasovode normirani su standardom API 5L [1]. Hemijski sastav i mehaničke osobine čelika API X60, dati su u tabelama 1 i 2.

Poluautomatsko i automatsko zavarivanje omogućuje kontinuiranu proizvodnju cevi sa spiralnim i uzdužnim šavom, pri čemu je osnovna težnja da se ostvari brzina zavarivanja jednaka brzini formiranja cevi. Mašine za kontinuiranu proizvodnju spiralno zavarenih cevi uglavnom su konstruisane za automatsko zavarivanje pod praškom [2]. Izbor parametara zavarivanja zavisi od vrste i debljine osnovnog materijala.

Osnovni parametri EPP postupka zavarivanja su: jačina i gustina struje zavarivanja, prečnik žice, napon luka, brzina zavarivanja i nagib žice.

Parametri zavarivanja su značajni i za upravljanje kvalitetom jer se njihovom promenom značajno menja kvalitet zavarenih spojeva (grešake u zavarenim spojevima, nadvišenje, širina šava).

Pokazalo se da na pojavu grešaka (izolovani uključci troske, uključci troske u nizu, zajedni, nedostatak provara) imaju uticaj svi parametri zavarivanja. Analize su pokazale da se optimalni uslovi zavarivanja postižu sa prosečnom brzinom zavarivanja i ostalim parametrima na gornjem nivou preporučenih vrednost [2].



Tabela 1: Hemijski sastav API X60 čelika, prema API 5L

Čelik	% mas. (maksimalne vrednosti)						
	C	Mn	P	S	Cu	V	Ti
API X60	0.26	1.35	0.04	0.05	0.005	0.02	0.03

Tabela 2: Mehaničke karakteristike API X60 čelika, prema API 5L

Čelik	Re (MPa)	Rm (MPa)
API X60	min 414	min 517

EKSPERIMENT

Hemijski sastav, mehaničke osobine i mikrostruktura su utvrđeni na uzorcima uzetim sa cevi prečnika $D = 609,6$ mm i debljine zida $t = 6,8$ mm, iz jedne šarže.

Eksperimentalna ispitivanja mehaničkih osobina spiralno zavarenih cevi EPP postupkom sprovedena su za dva proizvodna procesa, sa različitim parametrima zavarivanja.

Parametri zavarivanja

• Za I proizvodni proces

- jačina struje za unutrašnji i spoljni šav 580-600 A,
- napon struje za unutrašnji 27 V, a za spoljni šav 28 V,

- brzina zavarivanja 1,4 m/min,
- pogonska energija zavarivanja za unutrašnji i spoljni šav $q_p = 671-720$ J/mm,
- efektivni stepen iskorišćenja za EPP postupak $\eta_i = 0.80-0.95$

• Za II proizvodni proces

- jačina struje za unutrašnji 620 A, a za spoljni 700 A,
- napon za unutrašnji 27 V, a za spoljni šav 29 V,
- brzina zavarivanja 1,5 m/min,
- pogonska energija zavarivanja za unutrašnji i spoljni šav $q_p = 670-812$ J/mm,
- efektivni stepen iskorišćenja za EPP postupak $\eta_i = 0.80-0.95$

Tabela 3: Hemijski sastav žice, mas. %

C	Mn	Si	S	P
0.06	1.27	0.44	0.015	0.022

Tabela 4: Mehaničke osobine žice

Re (MPa)	Rm (MPa)	A5 [%]
466	558	38

Tabela 5: Hemijski sastav praška, mas. %

Al ₂ O ₃	MnO	TiO ₂	FeO	CaF ₂	MgO	SiO ₂	Na ₂ SiO ₃
0.42	0.145	0.085	0.055	0.1	0.02	0.05	0.09

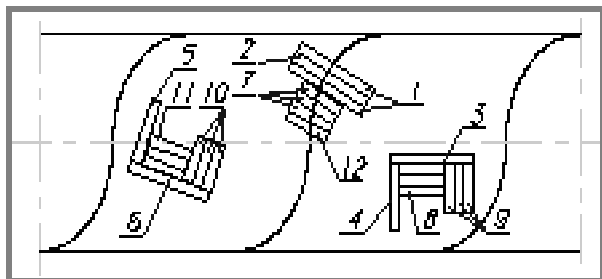
Hemijski sastav i mehaničke osobine dodatnog materijala

Za izradu spiralno zavarenih cevi, EPP postupkom zavarivanja, od čelika API X60 korišćena je žica za zavarivanje EPP 2Mo, čiji su hemijski sastav i mehaničke osobine date u tabelama 3 i 4 i bazični aglomerisani prašak Lincoln Weld Flux 780 čiji je hemijski sastav dat u tabeli 5.

Uzorkovanje za ispitivanje mehaničkih osobina zavarenih cevi

Da bi se utvrdile mehaničke osobine konstrukcije cevovoda, izrađenog od čelika API X60, potrebno je izvršiti ispitivanja kojima se definišu mehaničke osobine osnovnog materijala i zavarenog spoja.

Polozije uzimanja uzoraka za izradu epruveta iz spiralno zavarenih cevi normirane su standardima API 5L, slika 1 i tabela 6. Oblik i dimenzije epruveta za ispitivanje mehaničkih osobina osnovnog materijala i zavarenog spoja, dati su standardom ASTM A370 [3].



Slika 1: Pozicije uzimanja uzoraka iz zavarenih cevi za izradu epruveta

Tabela 6: Plan predviđenih ispitivanja

Poz.	Ispitivanje	Položaj epruveta
1	Savijanje	Normalno na šav
2	Zatezanje	Normalno na šav
3	Zatezanje	Paralelno sa osom cevi
4	Zatezanje	Normalno na osu cevi
5	Zatezanje	Paralelno sa pravcem valjanja
6	Zatezanje	Normalno na pravac valjanja
7	Žilavost	Normalno na šav
8	Žilavost	Paralelno sa osom cevi
9	Žilavost	Normalno na osu cevi
10	Žilavost	Paralelno sa pravcem valjanja
11	Žilavost	Normalno na pravac valjanja
12	Metalografija	Normalno na šav
12	Tvrdoća	Normalno na šav

REZULTATI ISPITIVANJA

Hemijski sastav

Rezultati kvantometrijske analize hemijskog sastava čelika API X60, od kog su izrađene spiralno zavarene cevi, dati su u tabeli 7.

Tabela 7: Hemijski sastav API X60 čelika, mas. %

Čelik	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Nb	Cu	Al	C _{ek}
API X60	0.123	0.266	1.334	0.015	0.007	0.026	0.019	0.004	0.14	0.03	0.398

Tabela 8: Zatezane osobine osnovnog materijala

Čelik	Položaj epruvete	Re, [MPa]	Rm, [MPa]	A5 [%]	Z [%]
API X60	Paralelno sa osom cevi	483	587	36.5	49.8
	Normalno na osu cevi	465	594	34.3	50.7
	Paralelno sa pravcem valjanja	474	597	32.9	52.2
	Normalno na pravac valjanja	478	604	30.9	48.9

Vrednosti ugljeničnog ekvivalenta pokazuje da je čelik sklon pojavi hladnih prslina.

Ispitivanja zatezanjem osnovnog materijala cevi

Ispitivanja zatezanjem osnovnog materijala uzoraka spiralno zavarenih cevi od čelika API X60, zavarenog EPP postupkom, izvršena su na + 20 °C.

U tabeli 8 date su srednje vrednosti rezultata ispitivanja epruveta normalno na pravac valjanja (za tri epruvete) i pojedinačni rezultati za ostala ispitivanja.

Ispitivanje savijanjem

Ispitivanje savijanjem, prema standardu ASTM 370, su izvedena na epruvetama izrađenim od uzoraka uzetih normalno na šav (za tri epruvete). Sve ispitane epruvete savile su se za 180 ° bez pojave prslina.

Ovo se objašnjava zadovoljavajućom homogenizacijom strukture zavarenog spoja do koje je došlo pod dejstvom uticaja toplote kojima je bila izložena masa prvog nanetog unutrašnjeg sloja pri kasnijem formiranju spoljašnjeg sloja šava.

Ispitivanja zatezanjem zavarenog spoja cevi

Srednje vrednosti rezultata ispitivanja zatezanjem zavarenog spoja (za tri epruvete), za dva proizvodna procesa, dati su u tabeli 9.

Ispitivanje tvrdoće zavarenih spojeva

Ispitivanja tvrdoće zavarenih spojeva na uzorcima iz cevi I i II proizvodnog procesa, su izvršena Brinelovom metodom HBS 2,5/187,5/15 na dubinama 2 mm od spoljne i unutrašnje površine cevi, aparatom MOHR FEDERHAFF AG MANNHEIM.

Merna mesta prikazana su na slici 2. Srednje vrednosti rezultata ispitivanja tvrdoće zavarenih spojeva cevi (za tri uzorka), za dva proizvodna procesa, dati su u tabeli 10 i prikazani na slikama 3 i 4.

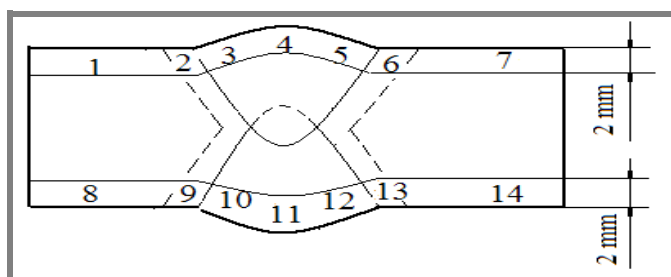


Tabela 9: Zatezne osobine zavarenog spoja za I i II proizvodni proces

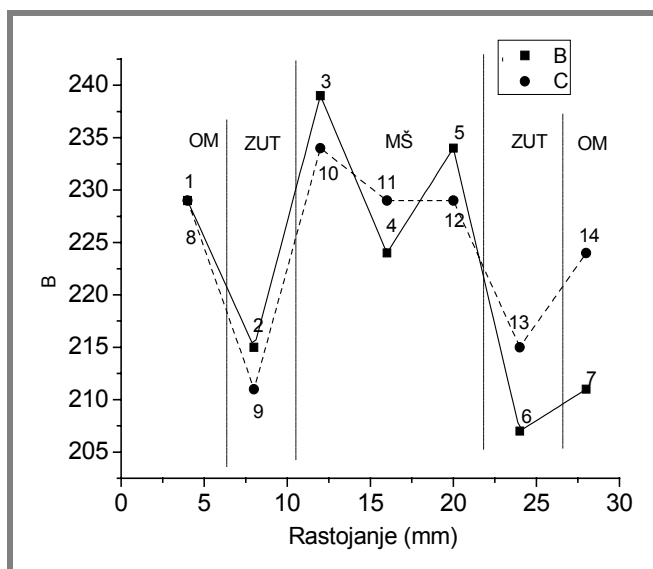
Čelik API X60		Položaj epruvete	Re, [MPa]	Rm, [MPa]	A5 [%]	Z [%]
proizvodni proces	I	Normalno na šav	521	659	28.2	44.8
	II	Normalno na šav	495	626	26.8	42.5

Tabela 10: Tvrdća zavarenih spojeva cevi za I i II proizvodni proces

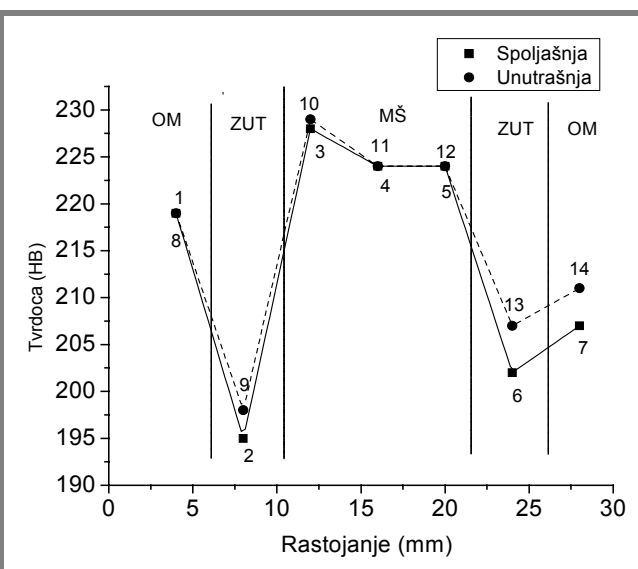
Proizvodni proces	Položaj epruvete	Zona	OM	ZUT	MŠ			ZUT	OM
		spoljašnja	1	2	3	4	5	6	7
		unutrašnja	8	9	10	11	12	13	14
I	Normalno na šav	spoljašnja	229	215	239	224	234	207	211
		unutrašnja	229	211	234	229	229	215	224
II	Normalno na šav	spoljašnja	219	195	228	224	224	202	207
		unutrašnja	219	198	229	222	224	207	211



Slika 2: Merna mesta tvrdoće



Slika 3: Dijagram tvrdoće za I proizvodni proces



Slika 4: Dijagram tvrdoće za II proizvodni proces

Ispitivanja žilavosti osnovnog materijala cevi

Energija udara osnovnog materijala zavarenih cevi određena je ispitanjem epruvete sa V zarezom Šarpijevim klatnom TIP KV 300/2, prema standardu ASTM E23-07 [4], na temperaturama: 20, 0 i -10 °C. Na nižim temperaturama nije proveravana jer predmetne cevi u eksploataciji nisu direktno izložene spoljnoj

temperaturi. Srednje vrednosti rezultata ispitivanja (za tri epruvete) su date u tabeli 11 i prikazane na slici 5.

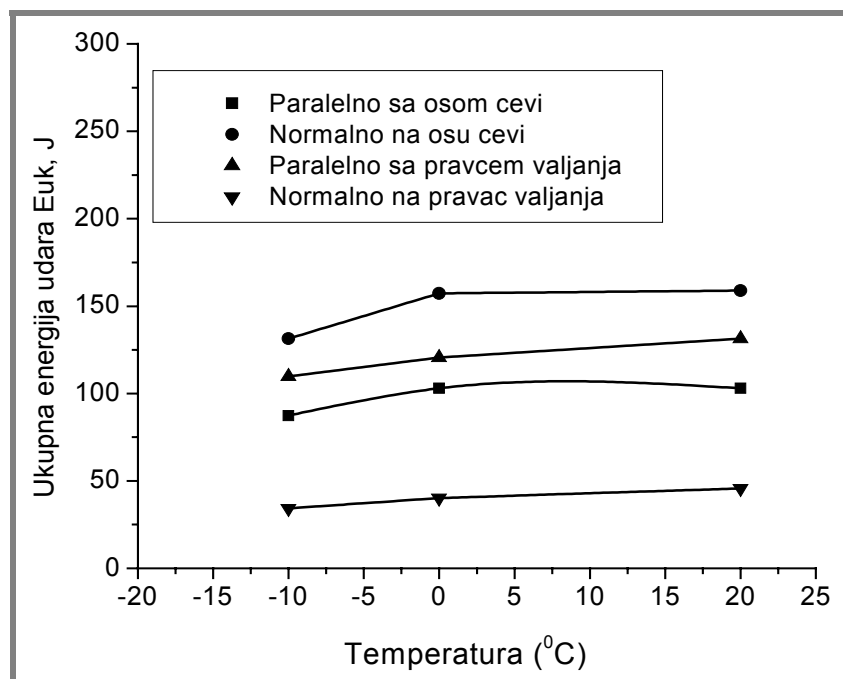
Ispitivanja žilavosti zavarenog spoja

Epruvete izrađene iz uzoraka cevi ispitane su Šarpijevim klatnom TIP KV 300/2 na temperaturama 20, 0, -10 °C. Srednje vrednosti rezultati ispitivanja (za tri epruvete) date su u tabeli 12 i prikazane su na slici 6.



Tabela 11: Ukupna energija udara osnovnog materijala zavarenih cevi

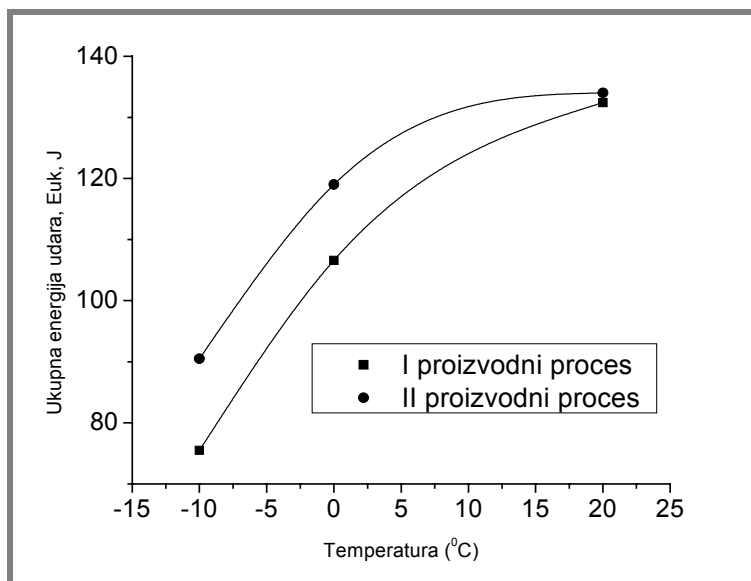
Pozicije epruvete	Temperatura, °C	Srednja vrednost Euk, J
Paralelno sa osom cevi	20	103
Paralelno sa osom cevi	0	103
Paralelno sa osom cevi	-10	87,3
Normalno na osu cevi	20	158,9
Normalno na osu cevi	0	157,3
Normalno na osu cevi	-10	131,4
Paralelno sa pravcem valjanja	20	131,4
Paralelno sa pravcem valjanja	0	120,6
Paralelno sa pravcem valjanja	-10	109,8
Normalno na pravac valjanja	20	45,7
Normalno na pravac valjanja	0	40,2
Normalno na pravac valjanja	-10	34,3



Slika 5: Srednje vrednosti ukupne energije udara osnovnog materijala

Tabela 11: Ukupna energija udara osnovnog materijala zavarenih cevi

Proizvodni proces	Pozicija epruvete	Temperatura, °C	Srednja vrednost Euk, J
I	Normalno na šav	20	132,4
	Normalno na šav	0	106,6
	Normalno na šav	-10	75,5
II	Normalno na šav	20	134
	Normalno na šav	0	119
	Normalno na šav	-10	90,5



Slika 6: Srednje vrednosti ukupna energija udara metala šava

Metalografska ispitivanja zavarenog spoja

Uzorci uzeti sa zavarenih cevi, iz I i II proizvodnog procesa, su pripremljeni i podvrgnuti mikroskopskom posmatranju i snimanju osnovnog materijala, ZUT-a i metala šava, sa ciljem da se utvrde strukture zavarenih spojeva, slike 7 i 8.

DISKUSIJA

Analiza hemijskog sastava osnovnog materijala pokazala je da čelik od koga su izrađene spiralno zavarene cevi ima značajno manji sadržaj ugljenika od maksimalno predviđenog standardom API 5L.[6]

Srednja vrednost napona tečenja osnovnog materijala je za 6,7% manja od srednje vrednosti napona tečenja zavarenog spoja, a zatezna čvrstoća osnovnog materijala je za 7,4% manja od srednje vrednosti zatezne čvrstoće zavarenog spoja.

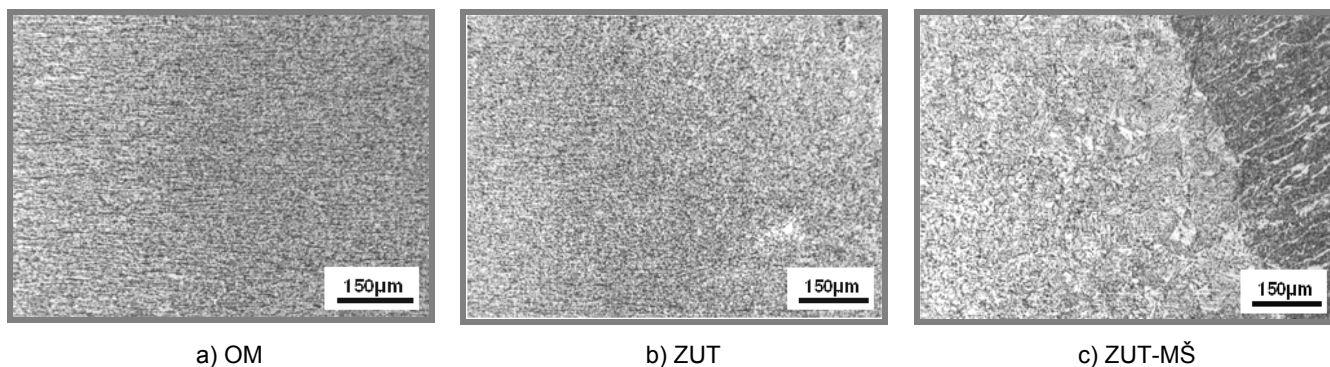
Mala razlika u parametrima zavarivanja dovela je do neznatnih razlika u zateznim osobinama osnovnog materijala i zavarenog spoja, tabele 8 i 9. To isto važi i

za strukture osnovnog materijala i zavarenog spoja utvrđene metalografskim ispitivanjem, slike 7 i 8.

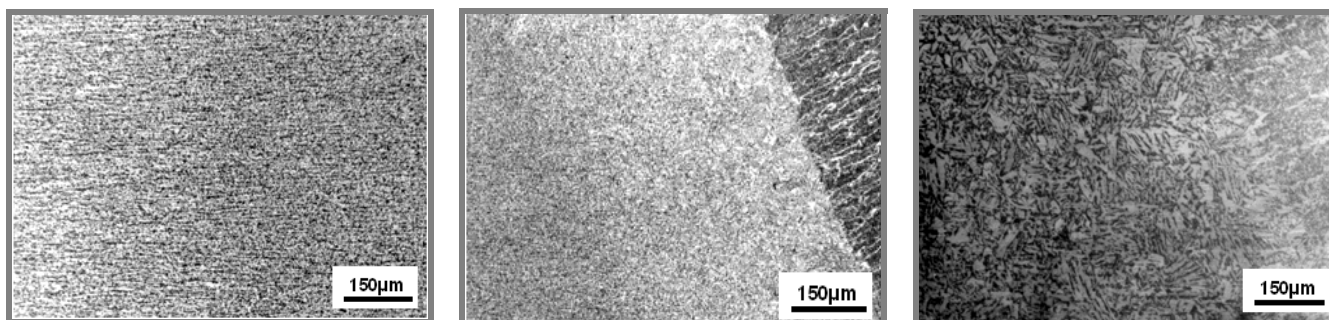
Rezultati ispitivanja tvrdoće za dva proizvodna procesa su pokazali da je ona najveća u metalu šava a najmanja u zoni uticaja toplote. Ujednačenija je kod II proizvodnog procesa [5].

Energija udara osnovnog materijala normalno na pravac valjanja je do 3 puta manja od energije udara osnovnog materijala paralelno sa osom cevi i paralelno sa pravcem valjanja. Na osnovu rezultata ispitivanja može se konstatovati da su energije udara epruveta izrađenih od uzoraka paralelno sa pravcem valjanja, paralelno sa osom cevi i normalno na zavareni spoj spiralno zavarenih cevi približno jednake, slika 5.

Povećanjem količine unešene toplote pri EPP zavarivanju cevi dolazi do povećanja ZUT-a, što za posledicu ima smanjenje energije udara, slika 6. Energija udara epruveta izrađenih od uzoraka normalno na zavareni spoj, u I i II proizvodnom procesu, je veća kod II proizvodnog procesa i to: na temperaturi 20°C za 1,19 %, na 0°C za 10,62 % i na -10°C za 16,75 % [7].



Slika 7: Mikroskopski snimci uzorka zavarenog EPP postupkom, I proizvodni proces: a) sitnozrnasta perlitno-feritna struktura, b) perlitno-feritna struktura, c) vidna Vidmanštatenova struktura u metalu šava nastala zbog brzog hlađenja.



a) OM

b) ZUT-MŠ

c) MŠ

Slika 8: Mikroskopski snimci uzorka zavarenog EPP postupkom, II proizvodni proces: a) sitnozrnasta perlitno-feritna struktura, b) perlitno-feritna struktura, c) vidna Vidmanštatenova struktura nastala zbog brzog hlađenja.

ZAKLJUČAK

Uticao parametara zavarivanja, koji se pre svega ogleda kroz količinu unesene toplote pri zavarivanju čelika povišene čvrstoće, odražava se na dijametralno suprotan način. S jedne strane, povećanjem količine unesene toplote, a stim i vremena hlađenja zavarenog spoja, dolazi do pojave manje tvrdoće u zoni uticaja toplote, odnosno do takvih struktura u kojima postoji manja sklonost prema pojavi hladnih prslina. S druge strane, povećanjem količine unesene toplote povećava se zona utucaja toplote, a da to ne utiče na zatezne karakteristike zavarenog spoja, jer su rezultati toliko ravnomerni da se nemože izvesti zaključak njihove zavisnosti od parametara zavarivanja. Takav slučaj nije sa energijom udara, sa povećanjem količine unesene toplote energija udara zavarenog spoja je manja.

Posmatrano sa aspekta produktivnosti parametri za II proizvodni proces daju bolju produktivnost. Međutim, ti isti parametri obuhvataju veću brzinu zavarivanja koja može prouzrokovati pojavu različitih tipova grešaka u zavarenom spoju zbog nestabilnosti električnog luka [2].

Imajući u vidu sve rezultate ispitivanja mehaničkih osobina spiralno zavarenih cevi EPP postupkom od čelika API X60 parametri u II proizvodnom procesu imaju optimalnije vrednosti.

ZAHVALNOST

Zahvaljujemo se Ministarstvu za nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije za finansiranje rada u okviru projekta EVB: 14014-TR „Istraživanje i razvoj metoda za ocenu integriteta i pouzdanosti zavarenih cevi u naftnoj industriji“

LITERATURA

- [1] API Spec 5L (API 5L), Specification for Casing and Tubing, American Petroleum Institut, 1998
- [2] Ž. Šarkočević, M. Arsić, M. Rakin, A. Sedmak: Fabrication of high strength seam welded steel tubes and quality indicator testing, Structural Integrity and Life, No.2, 2008, pp.81-98
- [3] ASTM A370, Standard Test Methods and definitions for mechanical testing of steel products, 1994
- [4] ASTM E23-07ae1, Standard Test Methods for Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials
- [5] Arsić M., Aleksić V., Šarkočević Ž.: Uticaj parametara zavarivanja na tvrdoću zavarenih spojeva šavnih cevi od čelika povišene čvrstoće, časopis "Procesna tehnika", br. 1, 2002, str.107 – 117.
- [6] M. Arsić: Izbor čelika za proizvodnju šavnih cevi, Zavarivanje i zavarene konstrukcije, br. 1. 2002, str 33-37.
- [7] Arsić M., Šarkočević Ž., Aleksić V., Burzić Z.: Uticaj unete količine toplote pri zavrivanju na žilavost metala šava cevi izrađenih od čelika povišene čvrstoće, Međunarodno savetovanje o dostignućima elektro mašinske industrije "DEMI 2003", Banja Luka, 2003, str. 159-164.