



Ž. Šarkoćević, M. Arsić, Lj. Lazić Vulićević, Z. Savić

MEHANIČKE OSOBINE ZAVARENIH CEVI IZRAĐENIH VISOKOFREKVENTNIM POSTUPKOM ZAVARIVANJA OD ČELIKA API J55

MECHANICAL PROPERTIES OF WELDED PIPES PRODUCED BY HIGH FREQUENCY WELDING OF THE STEEL API J55

Stručni rad / Professional paper

UDK / UDC: 621.643-034.14-112.81.018

Rad primljen / Paper received:

10.12.2010.

Adresa autora / Author's address:

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

Miodrag Arsić, Zoran Savić, Institut za ispitivanje materijala - IMS, Beograd, Srbija.

Ljubica Lazić Vulićević, Visoka tehnička škola strukovnih studija, Zrenjanin, Srbija.

Ključne reči: Uzdužno zavarene cevi, parametri zavarivanja, ispitivanja zavarenih cevi, mehaničke osobine, visokofrekventno kontaktno zavarivanje.

Keywords: Longitudinal welded pipes, welding parameters, welded tubes testing surfacing, mechanical properties, high frequency of contact welding.

Izvod

Izbor čelika, dimenzija i načina proizvodnje zaštitnih 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 uzdužno zavarenih cevi, izrađenih visokofrekventnim kontaktnim zavarivanjem od čelika povećane čvrstoće API J55.

Abstract

Selection of the steel, dimensions and manufacturing methods for protective welded pipes is part of the design process, because it is closely related to the function of tube construction as a whole under certain conditions, for a calculated service life.

The quality of welded joints in the process of tubes production is defined by characteristics that they must have to meet certain requirements, which are achieved by choosing appropriate procedures and welding parameters, by controlling all unit operations in their preparation and mechanical and engineering stress and strain tests and base material of welded joints.

This paper presents the results of the mechanical properties of longitudinally welded pipes. Casing welded pipe intended for oil and gas wells are made by high frequency contact welding of steel API J55, with increased strength.

UVOD

Čelici povišene čvrstoće namenjeni za izradu zaštitnih zavarenih cevi za naftne i gasne bušotine normirani su standardom API 5CT [1]. Hemijski sastav i zatezne osobine čelika API J55, dati su u tabelama 1 i 2.

Izbor čelika, dimenzija i načina proizvodnje zaštitnih zavarenih cevi je deo procesa konstruisanja i povezan je sa funkcijom cevi kao konstrukcijske celine u određenim uslovima eksploatacije tokom veka trajanja [2].

Savremene tehnologije omogućuju kontinuiranu proizvodnju zavarenih cevi sa uzdužnim šavom, pri čemu je osnovna težnja da se ostvari brzina zavarivanja jednaka brzini formiranja cevi. Mašine za kotinuiranu proizvodnju uzdužno zavarenih cevi uglavnom su konstruisane za automatsko

visokofrekventno kontaktno ili indukciono zavarivanje (zavarivanje bez dodatnog materijala) je [3, 4].

Parametri zavarivanja cevi, visokofrekventnim kontaktnim zavarivanjem (VF), su značajni za upravljanje kvalitetom automatske izrade šavnih cevi, jer se njihovom promenom značajno menja i kvalitet zavarenih spojeva [3, 4]. Osnovni parametri VF postupka zavarivanja su: jačina struje zavarivanja, visokonaponska struja i brzina zavarivanja.

Kvalitet zavarenih spojeva cevi definiše se karakteristikama koje one moraju posedovati da bi zadovoljile određene zahteve u procesu eksploatacije. Zahtevani kvalitet se postiže: izborom odgovarajućeg postupka i parametara zavarivanja, sprovođenjem programa kontrole svih tehnoloških operacija i mehaničkim i tehnološkim ispitivanjem svojstava osnovnog materijala i zavarenog spoja cevi [2 - 5].

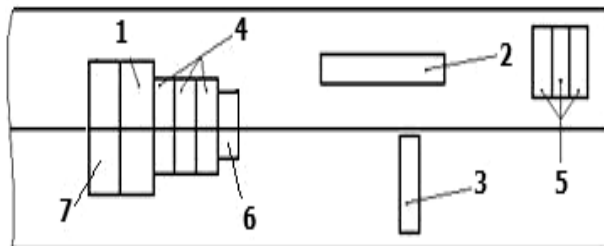


Tabela 1: Hemijski sastav čelika API J55, prema API 5CT [1], mas. %

Čelik	C		Mn		Mo		Cr		Ni	Cu	P	S	Si
	min	max	min	max	min	max	min	max	max	max	max	max	max
API J55	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,030	0,030	-

Tabela 2: Zatezne osobine čelika API J55, prema API 5CT [1]

Čelik	Re (MPa)		Rm (MPa)	A (%)
	min	max	min	min
API J55	379	552	517	24



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

Tabela 3: Pregled izvršenih ispitivanja

Poz.	Ispitivanja	Položaj epruveta
1	Zatezanje	Normalno na zavareni spoj
2	Zatezanje	Paralelno sa pravcem valjanja
3	Zatezanje	Normalno na pravac valjanja
4	Žilavost	Normalno na šav
5	Žilavost	Normalno na pravac valjanja
6	Metalografija	Normalno na zavareni spoj
6	Tvrdoća	Normalno na zavareni spoj
7	Savijanje	Normalno na zavareni spoj

EKSPERIMENT

Da bi se utvrdio kvalitet osnovnog materijala (OM) i zavarenih spojeva (ZS) cevi, izrađenih VF postupkom zavarivanja od čelika API J55, izvršena je analiza hemijskog sastava OM i ispitane su mehaničke osobine i mikrostruktura OM i ZS na uzorcima uzetim sa cevi prečnika $D = 139,7$ mm i nominalne debljine zida $t = 6,98$ mm, iz jedne šarže.

Parametri zavarivanja

- Jačina struje 23 A,
- Visokonaponska struja, napon 12,5 KV
- Brzina zavarivanja 12 m/min.

Uzorkovanje za ispitivanje mehaničkih osobina zavarenih cevi

Pozicije vađenja uzoraka, za izradu epruveta i vrste ispitivanja u cilju utvrđivanja mehaničkih karakteristika OM, zone uticaja toplote (ZUT) i ZS uzdužno zavarenih cevi definisane su standardom API 5CT, slika 1. Pregled izvršenih ispitivanja u ovim istraživanjima dat je u tabeli 3.

REZULTATI ISPITIVANJA

Analiza hemijskog sastava osnovnog materijala cevi

Rezultati analize hemijskog sastava API J55 čelika, od kog su izrađene zaštitne zavarene cevi koje su predmet istraživanja, dati su u tabeli 4. Analiza hemijskog sastava urađena je u Centralnom laboratorijumu Zastava automobili, Kragujevac. Vrednost ekvivalenta ugljenika izračunata prema MIZ-u pokazuje da je čelik sklon pojavi hladnih prslina [4].

Ispitivanja zatezanjem osnovnog materijala cevi

Ispitivanja zatezanjem osnovnog materijala uzoraka uzdužno zavarenih cevi od čelika API J55, zavarenog VF postupkom, izvršena su na $+20$ 0C. Ispitivanje je izvedeno na elektromehaničkoj kitalici SCHENCK-TREBEL RM 100, u kontroli deformacije (izduženja). Brzina uvođenja opterećenja je bila 5 mm/min. Postupak ispitivanja i geometrija epruvete definisana je standardom ASTM E8-08 [6].

U tabeli 5 date su srednje vrednosti rezultata ispitivanja epruveta normalno na pravac valjanja i paralelno sa pravcem valjanja (za tri epruvete).



Ispitivanje savijanjem zavarenog spoja cevi

Ispitivanje savijanjem, prema standardu ASTM 370 [7], su izvodena na epruvetama izrađenim od uzoraka uzetih normalno na šav (za tri epruvete). Sve ispitane epruvete savijene su za 180° bez pojave prslina. To se može objasniti zadovoljavajućom homogenizacijom strukture zavarenog spoja do koje je došlo pod uticaja toplote nakon termičke obrade zavarenog spoja indukcionim žarenjem.

Ispitivanja zatezanjem zavarenog spoja cevi

Oblik i dimenzije epruveta za ispitivanje zavarenog spoja cevi u procesu proizvodnje definiše standard ASTM A370 [7]. Srednje vrednosti rezultata ispitivanja zateznjem zavarenog spoja (za tri epruvete), date su u tabeli 6.

Ispitivanje tvrdoće zavarenih spojeva cevi

Ispitivanje tvrdoće uzoraka cevi (pozicija 6, slika 1) urađeno je prema standardu EN ISO 6507-1 (2005) [8].

Korišćena je Vickers metoda, a primenjeno opterećenje je bilo HV10. Ispitivanje je rađeno na mikrotvrdomeru "WOLPERT" model V-Testor 2, utiskivanjem otisaka u materijalu sa spoljašnje i unutrašnje strane cevi, na udaljenosti od 2 mm.

Uvećanje pri kome je meren otisak je bilo 200 x. Merna mesta tvrdoće prikazana su na slici 2, a rezultati merenja su dati u tabeli 7 i prikazani na slici 3.

Ispitivanja žilavosti osnovnog materijala cevi

Energija udara osnovnog materijala zavarenih cevi je određena ispitivanjem epruveta sa V zarezom instrumentiranim Šarpijevim klatnom SCHENCK TREBELL 150/300 J, prema standardima ASTM E23-02 [9] i ASTM E23-07 [10], na temperaturama: 20, -20 i -40°C. Srednje vrednosti rezultata ispitivanja (za tri epruvete) prikazane su na slici 4 i date su u tabeli 8.

Tabela 4: Hemijski sastav osnovnog materijala cevi, %

Čelik	% mas.											
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	V	Cu	Al	Cek
API J55	0,28	0,2	0,99	0,016	0,018	0,09	0,06	0,0	0,0	0,11	0,00	0,47

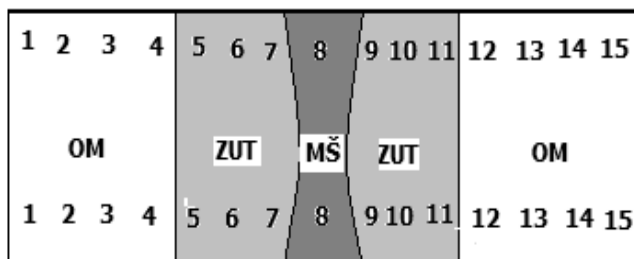
$$Ceq = [C + Mn/6 + (Cr + Mo + V)/5 + (Ni + Cu)/15] = [0,28 + 0,99/6 + (0,09 + 0 + 0)/5 + (0,06 + 0,11)/15] = 0,47$$

Tabela 5: Zatezne osobine osnovnog materijala

Čelik	Položaj epruvete	Re, [MPa]	Rm, [MPa]	A5 [%]	Z [%]
API J55	Paralelno sa pravcem valjanja lima	537	585	27.4	32.5
	Normalno na pravac valjanja lima	552	595	28.3	34.2

Tabela 6: Zatezne osobine zavarenog spoja

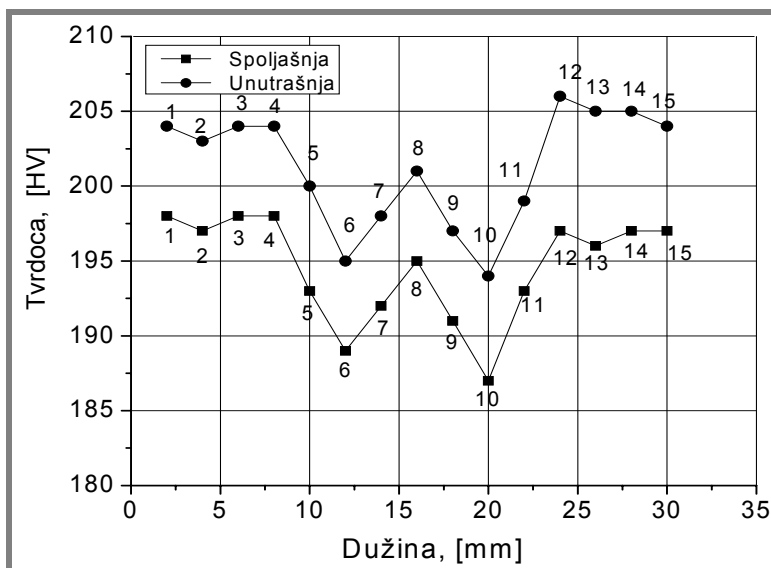
Čelik	Položaj epruvete	Re, [MPa]	Rm, [MPa]	A5 [%]	Z [%]
API J55	Normalno na zavareni spoj	554	580	30.5	35.2



Slika 2: Merna mesta za ispitivanja tvrdoće

Tabela 7: Tvrdoća zavarenog spoja cevi

Zona merenja	Tvrdoća HV 10														
	OM				ZUT			MŠ	ZUT			OM			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Spoljašnja	198	197	198	198	193	189	192	195	191	187	193	197	196	197	197
Unutrašnja	204	205	204	204	200	195	198	201	197	194	199	206	205	205	204



Slika 3: Dijagram tvrdoće spoljašnje i unutrašnje strane uzorka cevi

Ispitivanja žilavosti zavarenog spoja cevi

Epruvete izrađene iz uzorka cevi ispitane su Šarpijevim klatnom SCHENCK TREBELL 150/300 J na

temperaturama: 20, 0, -20 i -40 °C. Srednje vrednosti rezultata ispitivanja (za tri epruvete) prikazane su na slici 5 i date su u tabeli 9.

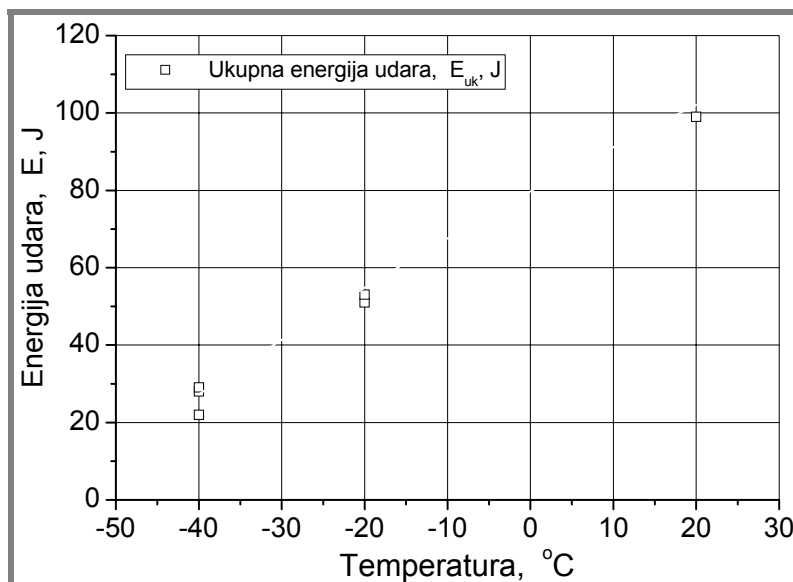
Metalografska ispitivanja osnovnog materijala cevi

Uzorci osnovnog materijala u pravcu valjanja i poprečno na pravac valjanja lima, uzeti sa zavarene cevi (pozicije 2 i 3, slika 1), su pripremljeni i podvrgnuti

mikroskopskom ispitivanju i snimanju. Sa slike 6 se vidi da je mikrostruktura osnovnog materijala feritno-perlitna, mestimično sitnotrakasta sa neravnomernom raspodelom ferita. Trakavost strukture se javlja kao posledica toplog valjanja [3].

Metalografska ispitivanja zavarenog spoja cevi

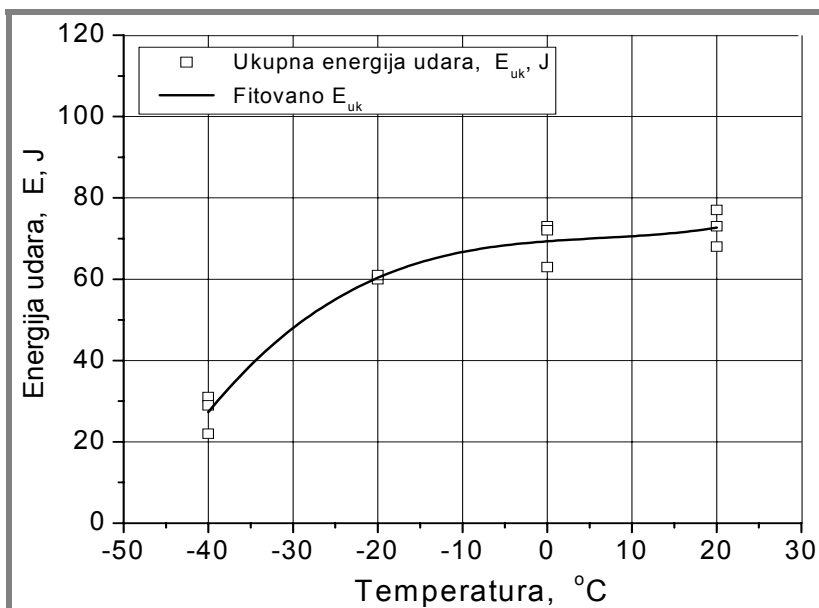
Pripremljeni uzorak, uzet sa zavarene cevi (pozicija 6, slika 1), su ta podvrgnuti mikroskopskom ispitivanju i snimanju osnovnog materijala, ZUT-a i metala šava, sa ciljem da se utvrde strukture zavarenog spoja. Rezultati su prikazani na slici 7.



Slika 4: Srednje vrednosti ukupne energije udara osnovnog materijala

Tabela 8: Ukupna energija udara osnovnog materijala zavarenih cevi

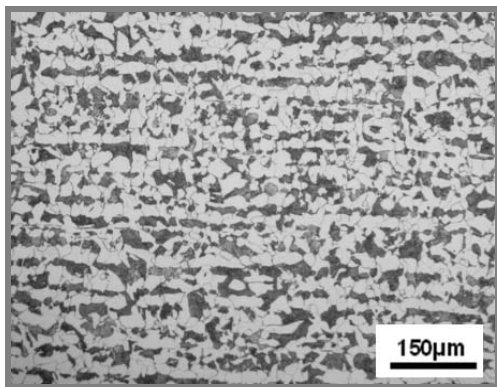
Pozicije epruvete	Temperatura ispitivanja, °C	Srednja vrednost E _{uk} , J
Normalno na pravac valjanja lima	20	99,0
Normalno na pravac valjanja lima	-20	52,3
Normalno na pravac valjanja lima	-40	26,3



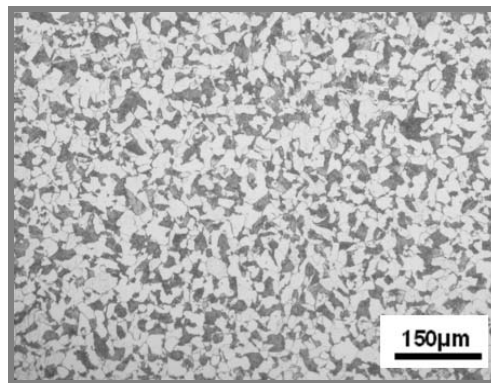
Slika 5: Srednje vrednosti ukupne energije udara zavarenog spoja

Tabela 9: Ukupna energija udara zavarenog spoja

Pozicije epruvete	Temperatura ispitivanja, °C	Srednja vrednost E _{uk} , J
Normalno na zavareni spoj	20	72,7
Normalno na zavareni spoj	0	69,3
Normalno na zavareni spoj	-20	60,3
Normalno na zavareni spoj	-40	27,3

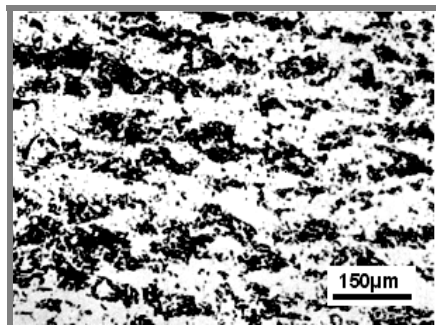


a) uzdužni pravac valjanja

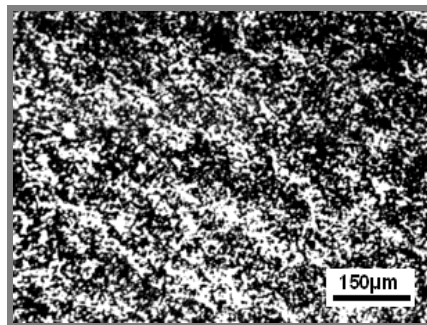


b) poprečni pravac valjanja

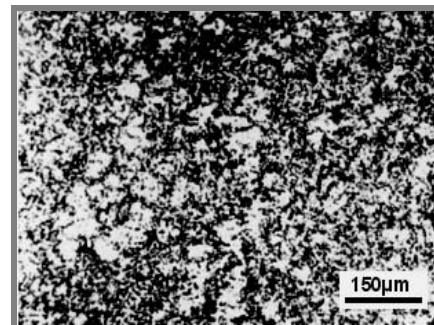
Slika 6: Mikroskopski snimci uzorka osnovnog materijala cevi



a)



b)



c)

Slika 7: Mikroskopski snimci uzorka zavarenog spoja cevi: a) krupnozrnasta feritno - perlitna struktura, b) feritno - perlitna sa perlitom lamelnog oblika, c) sitnozrnasta feritno - perlitna sa mestimičnom Vidmanštetenovom strukturom



DISKUSIJA

Analiza hemijskog sastava osnovnog materijala pokazala je da čelik od koga su izrađene uzdužno zavarene cevi ima značajno manji sadržaj nečistoća (P i S) od maksimalno predviđenog standardom API 5CT. Međutim, vrednost ekvivalenta ugljenika izračunata prema MIZ-u pokazuje da je čelik sklon pojavi hladnih prslina.

Razlike napona tečenja i zateznih čvrstoća osnovnog materijala u pravcem valjanja i normalno na pravac valjanja lima, kao i uzdužno zavarenog spoja cevi, koje se kreću u rasponu do 3%, su zanemarljive i u saglasnosti su sa vrednostima normiranih standardom API 5CT.

Mala razlika u vrednostima napona tečenja i zetezne čvrstoće osnovnog materijala normalno na pravac valjanja, paralelno sa pravcem valjanja i zavarenog spoja je posledica dobre usklađenosti parametara zavarivanja: temperature, napona, brzine zavarivanja i pritiska valjaka.

Merenjem tvrdoće na spoljnoj i unutrašnjoj površini zida cevi, izrađene VF zavarivanjem od čelika API J5, utvrđeno je da najveća tvrdoća je u OM, a najmanju u ZUT-u. Nešto manja tvrdoća dobijena je na spoljnoj površini zida cevi, jer je u pitanju zatezna zona [11].

Udarne žilavost osnovnog materijala i zavarenog spoja cevi ispitivana je na temperaturama 20°C, 0°C, -20°C i -40°C. Ukupna energija udara osnovnog materijala i zavarenog spoja opada sa smanjenjem temperature. Za osnovni materijal od 99 J na 20°C do 26,3 J na -40°C, a za zavareni spoj od 72,7 J na 20°C do 27,3 J na -40°C [4, 12]. Smanjenje temperature ispitivanja dovodi do smanjenja ukupne energije udara. Ukupna energija udara zavarenog spoja sporije opada sa smanjenjem temperature u poređenju sa osnovnim materijalom.

ZAKLJUČAK

S obzirom da standard API 5CT određuje samo minimalnu i maksimalnu granicu tečenja i minimalnu zateznu čvrstoću, urađena su proširena ispitivanja mehaničkih osobina OM i ZS cevi, izrađene VF postupkom zavarivanjem od čelika API J55, poštujući zahteve standarda za uzimanje uzoraka, izradu epruveta i obim i vrste ispitivanja. Ispitivanja zateznih osobina pokazala su da OM uzdužno zavarenih cevi zadovoljava zahteve standarda. Slični rezultati su dobijeni i za zavareni spoj.

Merenjem tvrdoće na spoljnoj i unutrašnjoj površini zida cevi utvrđeno je da cevi, izrađene VF postupkom zavarivanja od čelika API J55, imaju najveću tvrdoću u OM, a najmanju u ZUT. Najveća vrednost izmerene tvrdoće u OM zavarenog spoja cevi iznosi 206 HV, pa se ispitana šarža cevi, prema standardu API 5CT, može koristiti za rad u uslovima pojave vodonik-sulfida (H₂S), jer maksimalna preporučena tvrdoća, za primenu

ugljeničnih i niskolegiranih čelika H40 i J55, je 22 HRC (250 HV). Ovo važi kada su cevi podvrgnute metalurškom postupku po standardu NACE.

Udarne žilavost na niskim temperaturama uzdužno zavarenih cevi, izrađenih VF postupkom zavarivanja od čelika API J55, nema uticaja na njihov integritet jer se primenjuju u eksploataciji gde se radna temperature kreću od 0°C do 80°C.

ZAHVALNOST

Zahvaljujemo se Ministarstvu za nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije za finansiranje rada u okviru projekta EVB: TR 35002.

LITERATURA

- [1] PI 5CT/ISO 11960, Specification for casing and tubing, eighth edition, Petroleum and natural gas industries - Steel pipes for use as casing or tubing for wells; American Petroleum Institute; 2005.
- [2] Арсић М.: Избор челика за израду шавних цеви, Међународна конференција "Заваривање 2001", Београд, 2001, часопис "Заваривање и заварене конструкције", Вол. 47 бр. 1, 2002, стр. 33 – 37.
- [3] Šarkočević Ž, Arsić M, Rakin M, Sedmak A. Fabrication of high strength seam welded steel tubes and quality indicator testing, *Structural Integrity and Life*, 2008; 8: 81 – 98
- [4] Ž. Šarkočević: Otpornost prema ostećenju i lomu zaštitnih zavarenih cevi u naftnim bušotinama, Doktorska disertacija, Univerzitet u Beogradu, 2010.
- [5] Ž. Šarkočević, 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", Zavarivanje i zavarene konstrukcije, ISSN 0354-7965, 2009, Vol. 54, br.4, str. 141-147.
- [6] ASTM E8/E8M-08: Standard test methods for tension testing of metallic materials, American Society for Testing and Materials; 2008.
- [7] ASTM A370-09ae1: Standard test methods and definitions for mechanical testing of steel products, American Society for Testing and Materials; 2009.
- [8] BS EN ISO 6507-1:2005: Metallic materials. Vickers hardness test. Test method; 2005
- [9] ASTM E23-02: Standard test methods for notched bar impact testing of metallic materials, American Society for Testing and Materials; 2002.
- [10] ASTM E23-07ae1: Standard test methods for notched bar impact testing of metallic materials, American Society for Testing and Materials; 2007.
- [11] 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.
- [12] Arsić M., Šarkočević Ž., Aleksić V., Burzić Z.: Uticaj unete količine toplote pri zavarivanju na žilavost metala šava cevi izrađenih od čelika povišene čvrstoće, Međunarodno savetovanje o dostignućima elektro i mašinske industrije "DEMI 2003", Banja Luka, 2003, str. 159-164.