

IZBOR ISPITNOG UZORKA I METODA ISPITIVANJA KVALITETA ZAVARENIH SPOJEVA POSUDA POD PRITISKOM

SELECTION OF THE TESTING SAMPLE AND QUALITY ASSESSMENT METHODS OF THE PRESSURE VESSELS' WELDED JOINTS

dr. sc. Fadil Islamović, vanredni prof.
Esad Bajramović, dipl. ing. maš.
Bahrudin Hrnjica, dipl.ing.maš.
dr. sc. Dženana Gačo, docent
mr. sc. Ramo Halilagić, viši asistent
Univerzitet u Bihaću, Tehnički fakultet
ul. dr. Irfana Ljubijankića bb, Bihać

REZIME

Zavareni spojevi posuda pod pritiskom predstavljaju potencijalno kritična mjesta posebno kod metalnih konstrukcija velikih razmjera. Zbog toga izbor ispitnih uzoraka sa konstrukcije radi uzimanja epruveta predstavlja vrlo odgovoran posao inženjera projektanata. Eksperimentalna ispitivanja ovako uzetih epruveta provedena izabranim metodama (bez razaranja i sa razaranjem) daju nam potrebne izlazne parametre za davanje ocjene kvaliteta zavarenih spojeva posuda pod pritiskom. Zadovoljavajuća ocjena ispitnih uzoraka je dobra pretpostavka za ocjenjivanje kvaliteta cjelokupne zavarene metalne konstrukcije.

Ključne riječi: posuda pod pritiskom, zavareni spoj, ispitni uzorak, epruveta, metode ispitivanja, kvalitet.

SUMMARY

Pressure vessels' welded joints present potential critical points, particularly with metal constructions of large proportions. Therefore, the selection of testing samples from the construction, in order to take specimen, presents extremely responsible work of the engineering designers. Experimental testing of the specimens obtained in such manner, conducted by selected methods (with and without destruction), give us the necessary output parameters for providing quality assessment of the pressure vessels' welded joints. Satisfactory feedback of the tested samples presents a good assumption for quality assessment of the entire welded metal construction.

Keywords: pressure vessel, welded joint, testing sample, specimen, testing methods, quality.

1. UVOD

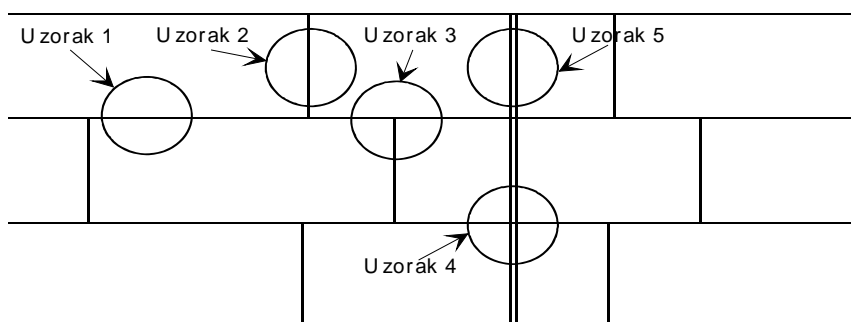
Prilikom sanacije i rekonstrukcije postojećih posuda pod pritiskom ili projektovanja novih posuda, pogotovo ako se radi o rezervoarima velikih gabarita za skladištenje tečnih naftnih derivata, sa aspekta ekološke i svake druge sigurnosti ljudi i okoline, veoma važnu ulogu predstavlja ocjena kvaliteta zavarenih spojeva kao dobra pretpostavka za ocjenjivanje

kvaliteta cjelokupne zavarene metalne konstrukcije. U tom cilju pred inženjerima projektantima postavlja se zadatak odabira potencijalno kritičnih mjesta zavarenih spojeva radi definiranja lokacija ispitnih uzoraka. Nakon utvrđivanja metoda ispitivanja kvaliteta zavarenih spojeva (bez razaranja i sa razaranjem), iz ispitnih uzoraka se izrađuju epruvete potrebne za provođenje eksperimentalnih ispitivanja. U našem slučaju konkretno razmatraćemo primjer na vertikalnom cilindričnom rezervoaru zapremine 5.000 [m³], dimenzija Φ 24.384 x 11.010 [mm] izrađenom od konstrukcionog čeličnog lima Č.0361 [1].

2. IZBOR ISPITNOG UZORKA

Na ispitivanje je dostavljeno 5 ispitnih uzoraka. Položaj izvođenja zavarivanja ispitnih uzoraka je odgovarao položaju koji je predviđen na montaži čelične konstrukcije nadzemnog rezervoara sa pregradama [2].

Šema sa mjestima ispitnih uzoraka na rezervoaru je data na slici 1.



Slika 1. Šema položaja ispitnih uzoraka

Zavareni spojevi na kojima će se primjenjivati tehnologija zavarivanja kod izrade nadzemnog rezervoara sa pregradama predstavljeni su izradom 5 (pet) standardizovanih ispitnih uzoraka kako je to predviđeno standardom EN 288-3 [3]. Ispitni uzorci izrađeni su u preduzeću "Metalno" Zenica i to: 3 (tri) ispitna uzorka sučeono zavarenih limova, i 2 (dva) ispitna uzorka ugaonog T- spoja na limu.

Izgled ispitnih uzoraka je dat na sl. 2. do 6.



Slika 2. Ispitni uzorak U1



Slika 3. Ispitni uzorak U2



Slika 4. Ispitni uzorak U3



Slika 5. Ispitni uzorak U4



Slika 6. Ispitni uzorak U5

Osnovni materijal od koga su izrađeni ispitni uzorci, a koji se koristi za izradu nadzemnog vertikalnog cilindričnog rezervoara sa fiksnim krovom, je konstrukcioni čelik Č.0361 prema standardu JUS C.B0.500 (St 37-2, prema standardu DIN 17100).

Hemijski sastav čelika prema ovom standardu je dat u tabeli 1., a mehanička svojstva ovog čelika su data u tabeli 2.

Tabela 1. Hemijski sastav čelika Č.0361

Uzorak	% mas.					
	C	Si	Mn	P	S	N
Č. 0361	0,17	-	-	0,05	0,05	0,07

Tabela 2. Mehanička svojstva čelika Č.0361

Uzorak	Napon tečenja $R_{p0,2}$, MPa, min.	Zatezna čvrstoća R_m , MPa	Izduženje A , %, min.	Energija udara E_{uk} , J, min.
Č. 0361	215	360-440	25	27

S obzirom na vrstu materijala i tehničko-tehnološke propise koji se trebaju ispoštovati pri izvođenju zavarivanja u montažnim uslovima, za zavarivanje dostavljenih ispitnih uzoraka je primjenjen REL postupak.

Samo zavarivanje je izvedeno elektrodom EVB-60 prečnika 2,5 mm. Hemijski sastav dodatnog materijala prema standardu je dat u tabeli 3., a mehanička svojstva u tabeli 4.

Tabela 3. Hemijski sastav dodatnog materijala

Uzorak	% mas.					
	C	Si	Mn	P	S	N
Č. 0361	0,1	0,7	1,6	-	-	-

Tabela 4. Mehanička svojstva dodatnog materijala

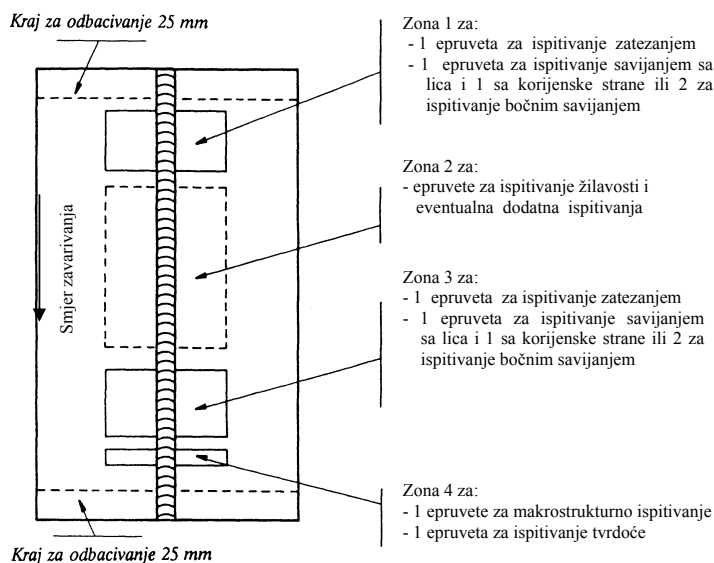
Uzorak	Napon tečenja $R_{p0,2}$, MPa, min.	Zatezna čvrstoća R_m , MPa	Izduženje A, %, min.	Energija udara E_{uk} , J, min.
Č. 0361	480-560	580-680	22-26	90-140

3. POLOŽAJ I UZIMANJE EPRUVETA

Epruvete za ispitivanje sa razaranjem se uzimaju samo ako su rezultati ispitivanja bez razaranja zadovoljavajući, odnosno dozvoljeno je uzimanje epruveta i iz zona koje sadrže eventualno prihvatljive greške. Poslije izvršenog postupka zavarivanja, a prije uzimanja epruveta, svi ispitni uzorci se podvrgavaju:

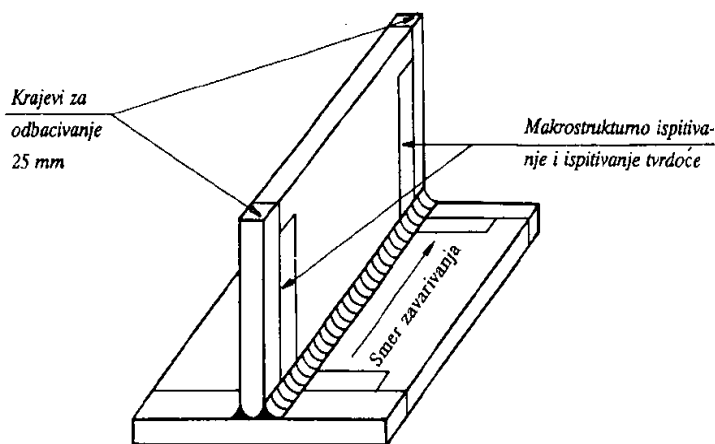
- vizuelnoj kontroli,
- površinskoj kontroli, i
- radiografskoj kontroli.

Šematski prikaz sučeono zavarenog spoja na limu sa zonama položaja epruveta za ispitne uzorke U1, U2 i U3 je dat na sl. 7.



Slika 7. Položaj epruveta za sučeoni spoj na limu

Šematski prikaz ugaonog T-spoja na limu sa zonama položaja epruveta kod ispitnih uzoraka U4 i U5 je dat na sl. 8.



Slika 8. Položaj epruveta na ugaonom spoju lima

4. OBIM KONTROLE I METODA ISPITIVANJA

Na ispitivanje je dostavljeno 5 ispitnih uzoraka, i to 3 ispitna uzorka sučeono zavarenih limova, i 2 ispitna uzorka sučeono zavarenog T-spoja. Položaj izvođenja zavarivanja ispitnih uzoraka je odgovarao položaju koji je predviđen na montaži čelične konstrukcije nadzemnog rezervoara sa pregradama.

Kontrola i ispitivanje zavarenih spojeva obuhvataju kontrolu bez razaranja (NDT) i ispitivanje sa razaranjem, u skladu sa zahtjevima datim u tab. 5.

Tabela 5. Kontrola i ispitivanje zavarenih spojeva

ISPITNI UZORAK		VRSTA ISPITIVANJA		OBIM ISPITIVANJA	
Sučeoni spoj na limu	U1 U2 U3	Ispitivanje bez razaranja	Vizuelno	100 %	
			Radiografsko	100 %	
			Kontrola površine	100 %	
	Ispitivanje sa razaranjem	U1 U2 U3	Ispitivanje sa razaranjem	Poprečno zatezanje	3 epruvete
				Poprečno savijanje	2+2 epruvete*
				Udarno ispitivanje	3+3+3 epruvete**
				Ispitivanje tvrdoće	1 uzorak
Makrostruktura	1 uzorak				
Ugaoni spoj na limu	U4 U5	Ispitivanje bez razaranja	Vizuelno	100 %	
			Radiografsko	100 %	
			Kontrola površine	100 %	
	Ispitivanje sa razaranjem	U4 U5	Ispitivanje sa razaranjem	Poprečno savijanje	2+2 epruvete*
				Ispitivanje tvrdoće	1 uzorak
				Makrostruktura	1 uzorak

* 2 (dvije) epruvete sa lica i 2 (dvije) epruvete sa korijenske strane.

** 3 (tri) epruvete sa zarezom u osnovnom metalu - OM, 3 (tri) epruvete sa zarezom u zoni uticaja toplote - ZUT, 3 (tri) epruvete sa zarezom u metalu šava - MŠ (MZ).

5. ZAKLJUČAK

Za ocjenjivanje kvaliteta i integriteta zavarenih metalnih konstrukcija, posebno kod posuda pod pritiskom velikih zapremina namjenjenih za skladištenje tečnih naftnih derivata, vrlo odgovoran posao inženjera projekatana predstavlja utvrđivanje i lociranje potencijalno kritičnih mjesta zavarenih spojeva. Izabrani uzorci sa tih lokacija treba da reprezentuju najosjetljivija mjesta zavarene metalne konstrukcije i da posluže za izradu i vađenje epruveta neophodnih za različite metode eksperimentalnih ispitivanja sa razaranjem.

Epruvete za ispitivanje sa razaranjem se uzimaju samo ako su rezultati ispitivanja bez razaranja zadovoljavajući, odnosno dozvoljeno je uzimanje epruveta i iz zona koje sadrže prihvatljive greške. Dobijeni rezultati daju nam potrebne izlazne parametre za davanje ocjene kvaliteta zavarenih spojeva posuda pod pritiskom. Zadovoljavajuća ocjena ispitnih uzoraka je dobra pretpostavka za ocjenjivanje kvaliteta i integriteta cjelokupne zavarene metalne konstrukcije, a samim tim i za utvrđivanje klase posude pod pritiskom kao direktnim uticajnim parametrom na sigurnost ljudi i okoline [4].

6. LITERATURA

- [1] Glavni mašinski projekat rezervoara R-5 zapremine 5.000[m³], TTT S-105 Ribić - Bihać, (VI/1975).
- [2] Islamović, F.: „Prilog razvoju algoritma za projektovanje nadzemnih višekomornih posuda za tečna goriva“, Magistarski rad, str. 55-60, Mašinski fakultet u Zenici, Univerzitet u Sarajevu, Mart 2001, Zenica.
- [3] EN 288-3; 1993, (ISO 9956-3): Kvalifikacija tehnologije zavarivanja metalnih materijala – Dio 3: Kvalifikacija tehnologije elektrolučnog zavarivanja čelika.
- [4] Islamović, F.; Gačo, Dž.; Halilagić, R.; Bajramović, E.: Uticaj projektne klase posuda pod pritiskom na sigurnost ljudi i okoline, 4th International Conference ERGONOMICS 2010, 30.June - 03.July 2010., Stubicke Toplice / Zagreb-Croatia.