

## OSVRT NA ZAVARIVANJE SUČELJENOG SPOJA NAVARENIH CIJEVI NA KOTLOVSKIM POSTROJENJIMA „SMEĆARIMA“

## THE ENDMETHOD OF WELDING THE BUTT JOINT OF OVERLAID TUBES WASTE TO ENERGY BOILER

Marijan Bošnjak<sup>1</sup>, Tihomir Marsenić<sup>1</sup>, Monika Činkl<sup>1</sup>, Božo Despotović<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ANDRITZ TEP d.o.o, Slavonski Brod, Croatia

<sup>2</sup>Društvo za tehniku zavarivanja Slavonski Brod, Slavonski Brod, Croatia

\* Corresponding Author. E-mail: [marijan.bosnjak@ddtep.hr](mailto:marijan.bosnjak@ddtep.hr)

### Sažetak

U radu je opisana problematika zavarivanja sučeljenog spoja navarenih cijevi . Radi se o kompozitnom spoju jer su cijevi koje se sučeljeno zavaruju navarene legurom SNI6625. Izbor opisanog načina zavarivanja spoja u proizvodnji je od velike važnosti jer utječe na smanjenje vremena zavarivanja, odnosno nema potrebe za naknadnim ručnim navarivanjem što izravno utječe na smanjenje troškova. Opisana su iskustva ANDRITZ TEP d.o.o pri zavarivanju sučeljenih spojeva navarenih cijevi.

**Ključne riječi:** sučeljeni kompozitni spoj, najčešće greške, troškovi zavarivanja

### Abstract

The paper describes the problem of butt composite joints welding on overlaid tubes. It is a composite joint because the tubes that will be butt welded has been overlaid by alloy SNI6625. The choice of described welding method of the joint in production is of the great importance because it affects on the reduction of welding time and costs due to the fact that there is no need for subsequent manual overlay welding. The experiences of ANDRITZ TEP d.o.o in welding of tube composite butt joints are described.

**Keywords:** butt composite joint, the most common defects , costs of welding

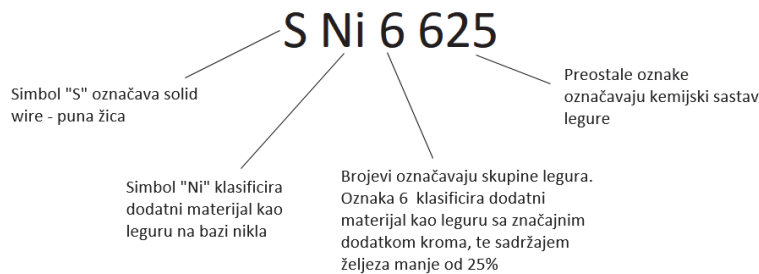
## 1. Uvod

Navarivanje je postupak nanošenja dodatnog materijala na osnovni materijal u cilju postizanja željenih svojstava. Postupak je učinkovit i ekonomski isplativ. Primjenjuje se u svrhu reparature ili izrade novog proizvoda zbog poboljšanja njegovih svojstava. U kotlogradnji su zahtjevi u ovom području izrazito visoki. Proizvod mora biti otporan na različite tipove degradacije; trošenje, visokotemperaturnu koroziju i različita opterećenja. Osnovni materijal može izdržati ove uvjete, ali navarivanjem se svojstvo korozijske otpornosti produžuje, a samim time i vijek trajanja, Tablica 1.

**Tablica 1.** Usporedba vijeka trajanja nenavarenih i navarenih kotovskih komponenti

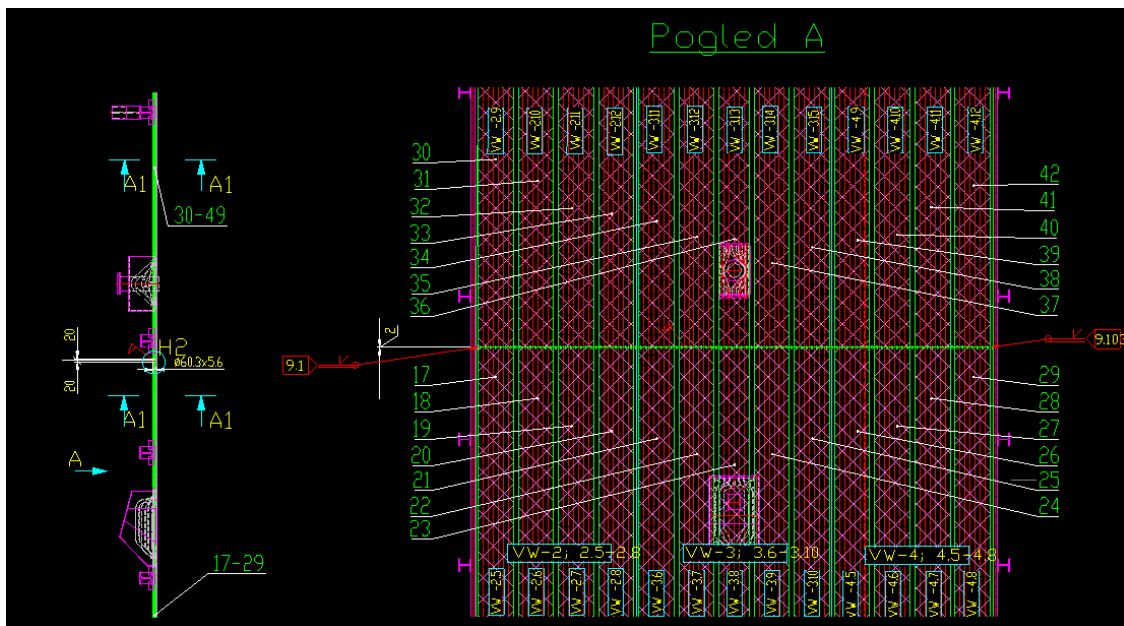
Component	Non-clad steel	Steel clad with Alloy 625
Membrane wall in combustion room – lower area	6-9 months	3-4 years
Membrane wall in combustion room – higher area	2 years	> 8 years
Reheater	3-4 years	> 4 years

Oni dijelovi kotla koji su termodinamički i korozijski najviše opterećeni prvi stradaju te ih je potrebno dodatno zaštititi, a posebno onaj dio površine koji je u kontaktu s otvorenim plamenom, produktima izgaranja i visokom temperaturom u ložištu kotla. Najčešće korišteni dodatni materijali za navarivanje su nikel legure; SNi6625 i SNi6686 [1]. Norma EN ISO 18274 [2] odnosi se na klasifikaciju dodatnih materijala za zavarivanje Ni i Ni legura.



**Slika 1.** Primjer opisa klasifikacijske oznake prema normi

U tvornici ANDRITZ TEP d.o.o osim kotlova na fosilna goriva i bio masu, proizvode se kotlovi koji kao gorivo koriste nerazgradivi otpad. Jedan od složenijih poslova prilikom izrade takvog kotla je sučeljeno zavarivanje cijevi otvora na membranskom zidu koji je navaren dodatnim materijalom S Ni 6 625, slika 2. Zahtjevi za izradu definirani u naručiteljevoj specifikaciji utjecali su na način navarivanja komponenti; maksimalna dozvoljena debljina ručnog navarivanja je ograničena na 6 mm, a maksimalno dopušteni sadržaj željeza ručnog navarivanja iznosi 7% [1].

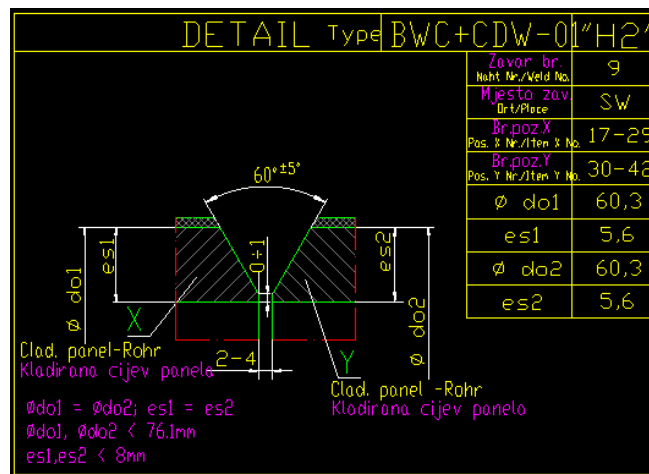


**Slika 2.** Prikaz mjesta sučeljenih zavara navarenih membranskih zidova

## 2. Zavarivanje ispitnog uzorka

Na kotlovskom postrojenju može se uočiti više različitih oblika zavarenih spojeva cijevi. Jedan od učestalijih je sučeljeni spojevi navarenih cijevi dodatnim materijalom S Ni 6 625 na membranskom

zidu. Na slici 2. prikazana su mjesta sučeljenih spojeva na membranskom zidu, a na slici 3 detalj pripreme sučeljenog spoja na kojem vidimo da ovaj spoj možemo svrstati u skupinu sučeljenih “kompozitnih spojeva”.



Slika 3. Prikaz detalja pripreme zavora kompozitni spoj

Dalje u tekstu prikazan je osvrt na zavarivanje jednog takvog tipičnog spoja. Prilikom zavarivanja najveću pažnju treba usmjeriti na sprječavanje miješanja taline zavarivane WMoSi žice s navarenim, korozijski postojanim dijelom cijevi.

Prije samog početka proizvodnje ANDRITZ TEP d.o.o je proveo zavarivanje probnog uzorka, sučeljeno zavarivanje navarenih cijevi kako bi se definirali optimalni parametri i redoslijed zavarivanja prilikom spajanja navarenih membranskih zidova. Izbor optimalnog tipa pripreme spoja definiran je prema detalju prikazanom na slici 3. Sve upute za zavarivanje prije početka zavarivanja ispitnog uzorka bile su odobrene od angažirane inspeksijske agencije i kupca.



**Slika 4.** Prikaz ispitnog uzorka a) pripojeni spoj b) uzorak nakon zavarena 2 prolaza c) uzorak ispitan PT nakon 2 prolaza

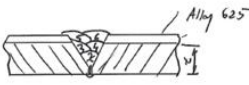
### 3. Zavarivanje ispitnog uzorka

Osnovne karakteristike tipa pripreme spoja, slika 3. i 4.:

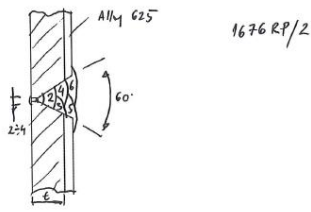
- spoj cijev-cijev (navareno)-kompozitni spoj
- dimenzije:  $\varnothing 60,3 \times 5,6$  mm
- osnovni materijal 16Mo3+navareni sloj SNI6625
- dodatni materijali: WMoSi + SNI6625

Parametri zavarivanja slike 5 i 6;

- postupak zavarivanja: 141
- jakost struje zavarivanja  $I = 125-155$  A
- napon zavarivanja  $U = 13,9-15,3$  V

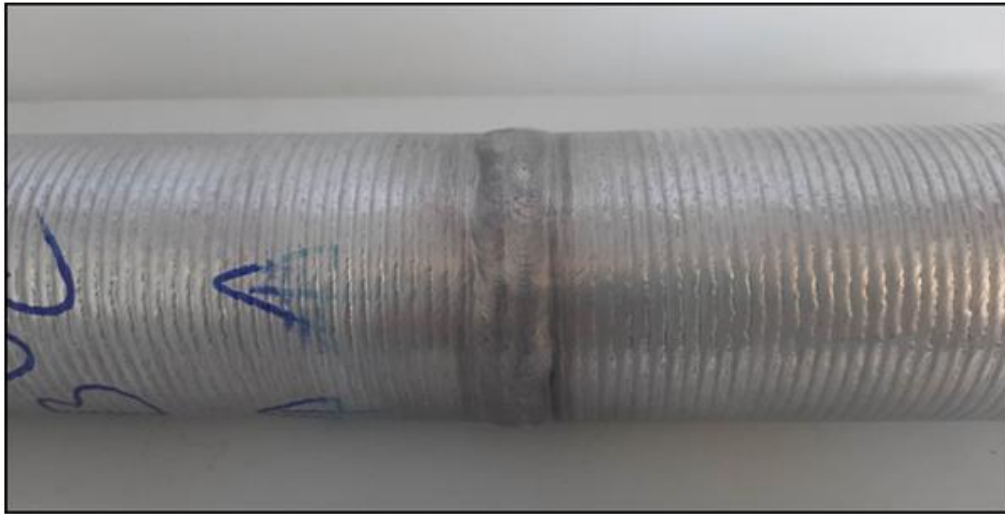
Položaj zavarivanja / Welding position:				PH			
				Datum zavarivanja / Welding date: 28.02.2023.			
		Tip / Type	$\varnothing$ (mm)	Sarža / Charge No.			
1	141	DMO-IG	2,4	106387	125		-
2	141	DMO-IG	2,0	106771	150		38
3	141	Thermanit 625	2,0	106304	145		110
4	141	Thermanit 625	2,0	106304	148		100
5	141	Thermanit 625	2,0	106304	148		70
6	141	Thermanit 625	2,0	106304	145		60

**Slika 5.** Parametri za PH položaj zavarivanja

Položaj zavarivanja / Welding position:					PC					
										
Datum zavarivanja / Welding date: 24.02.2023.										
Prolaz br. Pass No.	Postupak Process	Dodatni materijal / Filler Metal			Struja / Current (A)				T <sub>P</sub> (°C)	T <sub>interpass</sub> (°C)
		Tip / Type	Ø (mm)	Sarža / Charge No.						
1	141	DMO-IG	2,4	106387	125					-
2	141	DMO-IG	2,0	106771	155					100
3	141	Thermanit 625	2,0	106304	145					100
4	141	Thermanit 625	2,0	106304	145					110
5	141	Thermanit 625	2,0	106304	145					60
6	141	Thermanit 625	2,0	106304	145					72

**Slika 6.** Parametri za PC položaj zavarivanja

1. Zavarivanje ispitnih uzoraka izvedeno je TIG postupkom zavarivanja u dva položaja, PC i PH položajima, odnosno simuliranje položaja zavarivanja u proizvodnji. Na slikama 5. i 6. prikazan je redoslijed slaganja prolaza na ispitnim uzorcima.
2. Zavarivanje korijenskog prolaza i prve popune izvedeno je s WMoSi žicom za zavarivanje. Nakon zavarivanja ovih prolaza provedena su VT i PT ispitivanja kako bi se potvrdilo da nije došlo do miješanja WMoSi žice s navarom SNi6625, slika 4. Također provedena je vizualna kontrola korijena zavara, koja se izvodila pomoću ogledala i dodatnog osvjetljenja lampom. Prije zavarivanja SNi6625 provodi se i tehnološko RT ispitivanje, kako bi se izbjegle greške u korijenu zavara čija je reparatura vrlo složena. Sva ispitivanja su bila prihvatljiva.
3. Zavarivanje popuna i završnog prolaza izvedeno je SNi6625 žicom za zavarivanje (prolazi 3. do 6.). Prema WPS-u maksimalno dopuštena međuprolazna temperatura je 150°C. Cilj ovakog zavarivanja s ograničenom međuprolaznom temperaturom je osigurati prihvatljiv sadržaj željeza (maksimalno dopušteni sadržaj željeza je 7%) i kvalitetan navareni sloj, slika 7.
4. Dvoslojno navarivanje i uska širina gusjenica do 11 mm sa SNi6625 žicom osigurava zahtjevani sadržaj Fe na površini navara ispod 7%.



Slika 7. Zavareni i navareni ispitni uzorak u PH položaju

#### 4. Rezultati ispitivanja

Za vrijeme zavarivanja provedena su sljedeća ispitivanja: vizualno ispitivanje, ispitivanje penetrantima i RT ispitivanje. Rezultati ispitivanja oba ispitna uzorka su prihvatljiva.

Nakon zavarivanja i navarivanja provedeno je ispitivanje sadržaja željeza uređajem Olympus Delta DS-2000CC (ID: ST-101A). Ispitni uzorci su ispunili zahtjev za maksimalno dozvoljen sadržaj željeza, Tablica 2. Prema zahtjevu kupca maksimalno dozvoljen sadržaj željeza iznosi 7%.

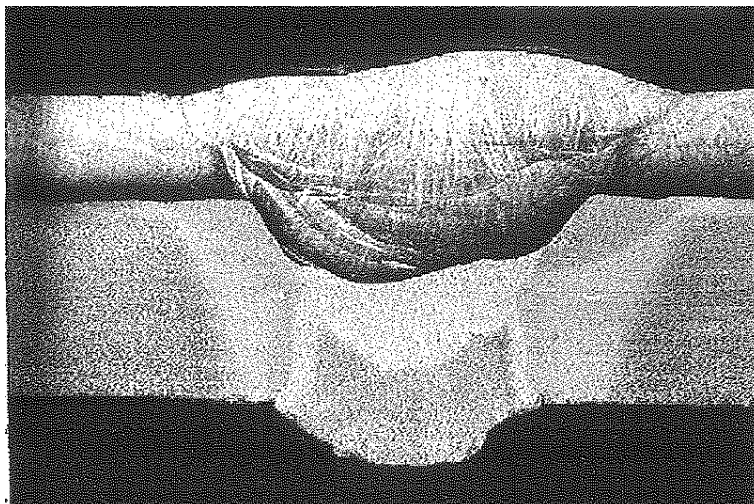
Vrijednosti vlačne čvrstoće: 611-623 N/mm<sup>2</sup>, što je u skladu sa zahtjevima za takav zavareni spoj.

Tablica 2. Sadržaj Fe% na površini sučeljeno zavarenih spojeva

Material				Finding of spectral analyse											Evaluation of finding		Remark	
Quality	Number	Charge No	Item	Test No	Percentage content of chemical elements (%)											A		NA
					Al	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Nb	Mo	W			
1676RP/2	0°							21,21	5,60	60,79	3,85	8,55	X					
1676RP/2	90°						21,55	5,95	60,55	3,61	8,44	X						
1676RP/2	180°						20,98	6,22	61,05	3,70	8,61	X						
1676RP/2	270°						21,88	6,37	60,49	3,66	8,56	X						

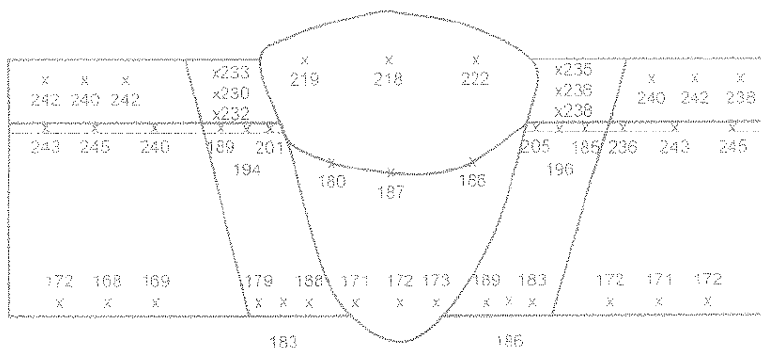
Material				Finding of spectral analyse											Evaluation of finding		Remark	
Quality	Number	Charge No	Item	Test No	Percentage content of chemical elements (%)											A		NA
					Al	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Nb	Mo	W			
1676RP/3	0°						20,90	4,19	61,47	3,93	9,16	X						
1676RP/3	90°						21,10	2,59	62,71	3,87	9,02	X						
1676RP/3	180°						20,59	5,07	60,88	4,09	9,36	X						
1676RP/3	270°						21,21	3,44	62,16	3,73	8,60	X						



**Slika 8.** Makro presjek zavarenog kompozitnog spoja

Na slici 8. prikazan je makro presjek zavarenog spoja. Makro presjekom kompozitnog zavara potvrđeno je sljedeće:

- u zavarenom spoju nisu otkrivene pukotine
- nema grešaka uključaka i poroznosti
- nema grešaka vezivanja



**Slika 9.** Ispitivanje tvrdoće HV 10

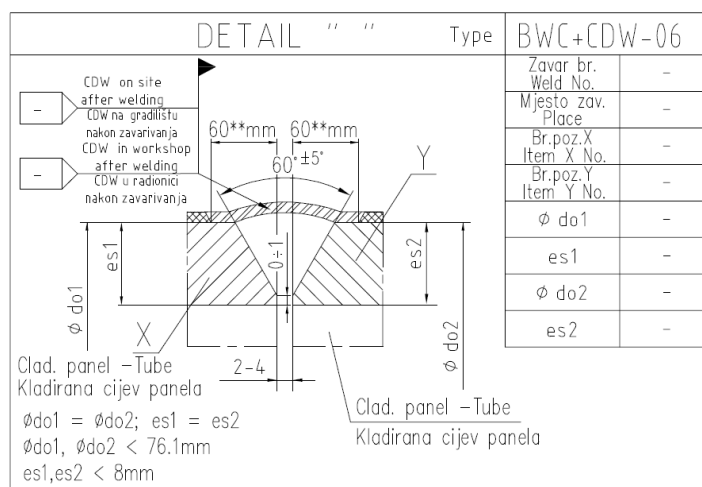
Na slici 9. su vrijednosti tvrdoće, maksimalna izmjerena vrijednost na sučeljenom zavaru je u navarenom sloju -ZUT i iznosi 238HV.

## 5. Prednosti ovakvog načina spajanja navarenih dijelova



Ako usporedimo s dosadašnji načinom spajanja navarenih komponenti slika 10., prednosti novog načina spajanja su sljedeće:

1. Šire tolerancije dužine navarivanja membranskih panela
2. Nije potrebno popravljati početke i krajeve navarenih panela
3. Nakon sučeljenog zavarivanja i brtvljenja nije potrebno ručno navariti područje zavarenog spoja i traku, uključujući blage prijelaze na mjestu spajanja strojno i ručno navarenih slojeva
4. Manje su deformacije membranskog zida
5. Nema potrebe za dodatnim ravnanjem membranskog zida nakon sučeljenog zavarivanja kompozitnih spojeva ovog tipa



**Slika 10.** Dosadašnji detalj sučeljenog zavarivanja cijevi poslije kojeg se izvodi ručno navarivanje u duljini 120mm

## 6. Zaključak

Pošto je gradnja kotlova i pripadajućih komponenti složena, sve češće se zahtjeva primjena novih tehnologija i novih materijala u dizajniranju i samoj proizvodnji kako bi se ispoštovali svi zahtjevi s gledišta kvalitete i pouzdanosti komponenti proizvoda uz što veću ekonomsku isplativost.

U ovom radu prikazan je uspješan novi način zavarivanja jednog tipičnog "kompozitnog" spoja između navarenih komponenti čijom se primjenom izbjegava nakanadno ručno navarivanje, te se na taj način izravno smanjuju troškovi izrade, a kvaliteta proizvoda je značajno veća.

Budućom primjenom opisanog načina zavarivanja uz dosljedno provođenje propisane tehnologije dobit će se zavareni spojevi visoke kvalitete, a samim time i kvalitetan završni proizvod, što će i dalje održati dobre reference ANDRITZ TEP d.o.o. na svjetskom tržištu.

## **7. Literatura**

- [1] ADS 06.000.901; Interni tehnološki dokumenti ANDRITZ TEP d.o.o
- [2] EN ISO 18274 (2010), *Welding consumables-Solid wire electrodes, solid strip electrodes, solid wires and solid rods for fusion welding of nickel and nickel alloys-Classification.*
- [3] EN ISO 12952-5 (2011), *Water-tube boilers and auxiliary installations. Workmanship and construction of pressure parts of the boiler.*
- [4] EN ISO 15614-1 (2017), *Specification and qualification of welding procedures for metallic materials-Welding procedure test – Part 1: Arc and gas welding of steels and arc welding of nickel and nickel alloys.*
- [5] EN ISO 15614-7 (2019), *Specification and qualification of welding procedures for metallic materials.Welding procedure test- Part 7: Overlay Welding.*