



Društvo za tehniku
zavarivanja Slavonski Brod

12. Međunarodno znanstveno-stručno savjetovanje SBZ 2023

„STROJARSKE TEHNOLOGIJE U IZRADI ZAVARENIH
KONSTRUKCIJA I PROIZVODA, SBZ 2023.“

Slavonski Brod, 26. i 27. 04. 2023. i Požega 28. 04. 2023.

KOORDINACIJA I NADZOR ZAVARIVAČKIH RADOVA NA MONTAŽI BOF KONVERTORA

COORDINATION AND SUPERVISION OF WELDING WORK ON THE BOF CONVERTER ASSEMBLY

Resul Hamzić^{1,*}, Namik Džibrić², Sead Avdić

¹Institut za zavarivanje d.o.o. Tuzla, Bosne Srebrene br.6, Tuzla, Bosna i Hercegovina

E-mail: resul.hamzic@izz-bh.ba

Sažetak

U ovom radu će biti opisan proces koordinacije i nadzora nad procesom zavarivanja i montaže BOF (*Basic Oxygen Furnace*) konvertora u topionici čelika, a koji je trajao od maja do septembra 2022.godine. Prema zahtjevu Investitora izvršene su aktivnosti izrade tehnologije zavarivanja, revizija tehnologije montaže, nadzor i kontrola nad izvođenjem zavarivačkih radova. Zamjena starog i montaža novog konvertora izvršena je u više faza. Prilikom izrade tehnologije zavarivanja vodilo se računa o složenosti same konstrukcije konvertora, te zahtjevima od strane proizvođača. Kvalitet zavarenih spojeva od strane proizvođača definisan je klasom C. Najkompleksniji za zavarivanje bio je okretni prsten konvertora, te je prilikom izvođenja radova posebna pažnja posvećena zadovoljavanju traženog kvaliteta. Tokom cijelog procesa montaže i demontaže, posebna pažnja je posvećena sigurnosti svih učesnika radova, kao i poštovanju propisa o zaštiti okoliša. Nakon završenih građevinskih radova, odnosno ozida unutar samog konvertora, isti je pušten u probni rad, te je zadovoljio traženi kvalitet i očekivanja.

Ključne riječi: BOF konvertor, montaža, demontaža, nadzor, zavarivanje, kontrola

Abstract

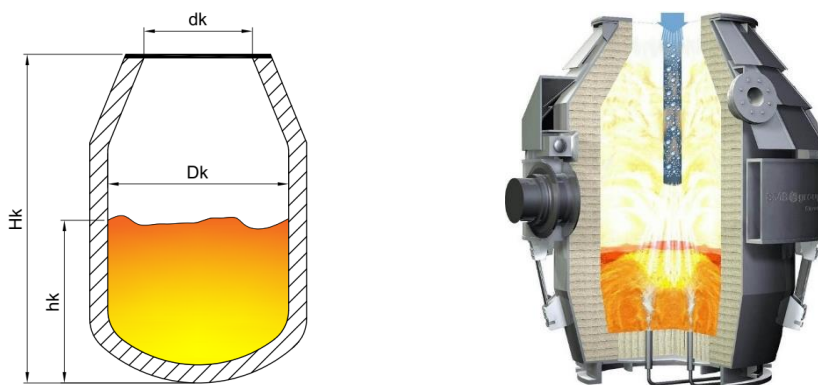
This paper will describe the process of coordination and supervision of the BOF welding and assembly process (*Basic Oxygen Furnace*) converter in the steel plant, which lasted from May to September 2022. According to the Investor's request, preparation of welding technology, assembly technology revision, supervision and control over the execution of welding works were carried out.

Replacing the old one and the installation of the new converter was carried out in several stages. During the preparation of the welding technology, special attention was paid to the complexity of the converter construction itself, and the requirements from the manufacturer. The quality of welded joints by the manufacturer were defined by class C. The most complex part of assembly was welding of the trunnion ring of the converter, and during the execution of the works, special attention was paid to meet the required quality. During the entire disassembly and assembly process, special attention was paid to the safety of all participants in the work for environmental protection regulations. After the completed assembly and mounting the new lining on the inside walls of the BOF, it was put into trial operation, and it meet the required quality and expectations.

Keywords: BOF converter, assembly, disassembly, supervision, welding, control

1. Uvod

LD postupak ili *Linz-Donawitz* postupak s čistim kiseonikom (99,9%) je postupak dobivanja čelika iz sirovog željeza, u kojem se kiseonik ne provodi kroz rastop, nego kroz vodom hlađenu kapljastu cijev, koja seže do jednog metra iznad rastopa. Danas se ovaj postupak primjenjuje u oko 60% čeličana u svijetu [5]. Proizvodnja čelika u kiseonikovim (BOF) konvertorima decenijama je najvažniji postupak izrade čelika. U početku se pokušavalo propuhivanje rastopa kiseonikom sa donje strane, ali dolazilo je do brzog trošenja podnice pa se prešlo na uvođenje kiseonika sa gornje strane pomoću koplja hlađenog vodom. Proces izrade u kiseonikovom konvertoru bio je jeftiniji i efikasniji od ostalih te je brzo prihvaćen u cijelom svijetu. LD postupak izuzetno je fleksibilan s obzirom na sirovine. U samom začetku ovog procesa u ugljenične čelike prerađivalo se sirovo željezo niskog sadržaja fosfora do 0,3-0,4 % [1]. Konstrukcija kiseonikovog (BOF) konvertora je simetrična. Na slici 1 date su glavne geometrijske karakteristike konvertora [1].



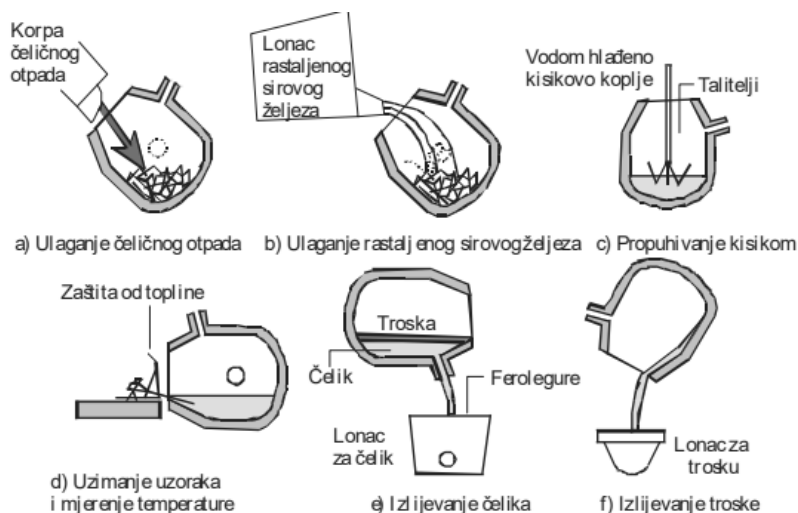
Slika 1. Shematski prikaz osnovne konstrukcije kiseonikovog konvertora [1]

2. Definisane problema, demontaža, montaža, zavarivanje i kontrola

2.1. Proizvodnja čelika u kiseonikovim (BOF) konvertorima

Povećanje potrošnje čelika nakon II. svjetskog rata, uslovalo je i povećanje proizvodnje. Potreba za većom proizvodnjom čelika dovela je do sve veće primjene LD konvertora. U principu čeličane raspolazu sa dva, često i tri konvertora (dok je jedan u remontu, preostala dva normalno rade). S ovakvim načinom rada, proizvodnja se dvostruko povećala [2].

Cilj proizvodnje čelika u kiseonikovim (BOF) konvertorima je smanjenje sadržaja ugljika u rastopljenom sirovom željezu, smanjenje i kontrola sadržaja fosfora i sumpora, te povećanje temperature rastopljenog čelika na oko 1635°C. Proces proizvodnje čelika u konvertoru se odvija u nekoliko proizvodnih faza koje traju oko 45 minuta. Postoje tri načina uvođenja kiseonika u rastop, odnosno tri vrste kiseonikovih konvertora: propuhavanjem kiseonika sa gornje strane, donje strane i kombinovano. Sve faze proizvodnje čelika u kiseonikovom (BOF) konvertoru prikazane su na slici 2 [3].



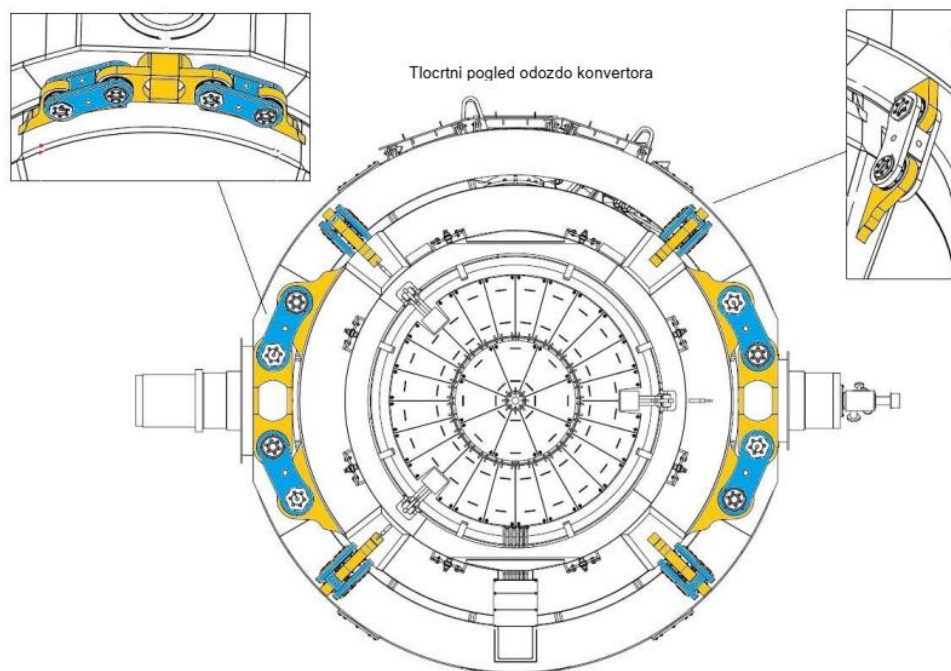
Slika 2. Shematski prikaz faza proizvodnje čelika u kiseonikovom (BOF) konvertoru [3]

2.2. Tehnički opis i karakteristike kiseonikovog (BOF) konvertora

Kiseonikov (BOF) konvertor sastoji se od tijela konvertora (Vessel shell) i okretnog prstena (Trunnion ring).

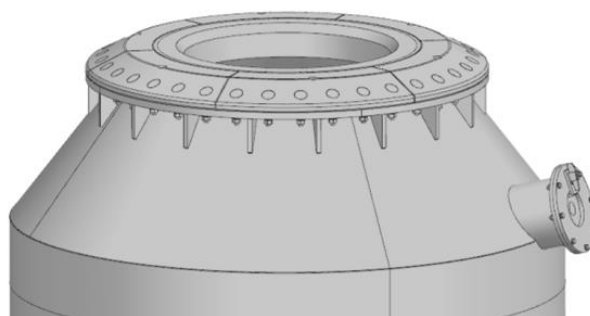
Konvektorsko postojenje je projektovano za LD rad (sa gornjim kopljem) i nominalni kapacitet šarže čelika od 125 tona. Konvertor je učvršćen pomoću posebnog sistema ovjesa konvertora sa zasebnim obrtnim prstenom. Sistem ovjesa se sastoji od osam karika (4 za vodoravno i 4 za vertikalno oslanjanje) na svojim je krajevima spojeno s uškama na okretnom prstenu i tijelu posude, slika 3.

Opterećenja ovih konvertorskih jedinica prenose se na temelj pomoću potpornih ležajeva i postolja konvertora [4].



Dimenzije

Prečnik posude (cilindrični dio)	6440 [mm]
Ukupna visina sa prstenom	8280 [mm]
Debljina lima konusa	50 [mm]
Debljina lima cilindra	70 [mm]
Debljina lima podnice	50 [mm]
Segment prstena otvora	165/305 [mm]



Slika 3. Tehničke karakteristike posude konvertora [4]

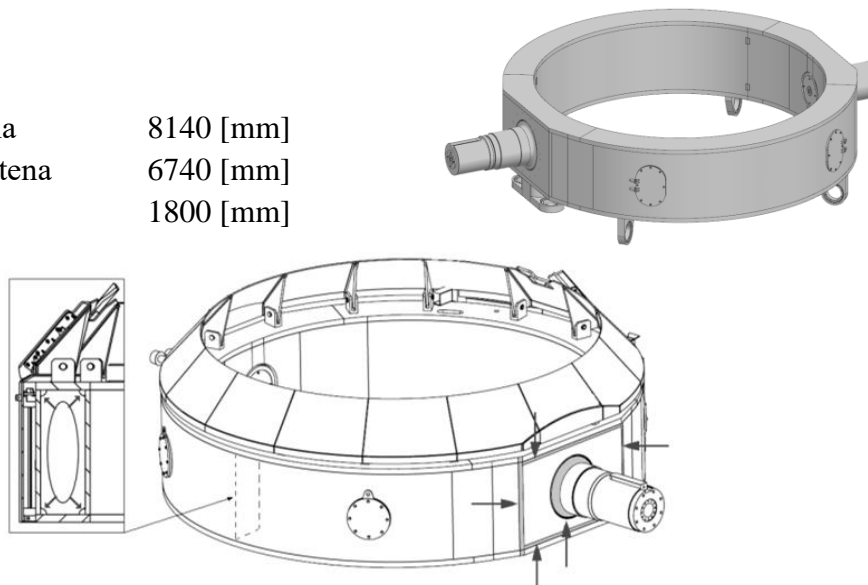
Obrtni prsten je potpuno odvojen od tijela konvertora i sastoji se uglavnom od:

- tijela prstena sa zaštitama prstena;
- dva zavarena rukavca;
- poklopci revizionih otvora;

Tijelo prstena je kutijaste pločaste zavarene izvedbe ojačane pločama za ukrućivanje kutijastog presjeka. Unutarnji dio prstena dostupan je kroz revizione otvore. Kovani rukavci su zavareni u tijelo prstena, čija su vanjska rebra u ovom području ojačana debljim pločama prstena [4].

Dimenzije

Vanjski prečnik prstena	8140 [mm]
Unutrašnji prečnik prstena	6740 [mm]
Visina	1800 [mm]



Slika 4. Tehničke karakteristike obrtnog prstena konvertora [4]

2.3. Montaža i demontaža kiseonikovig (BOF) konvertora

Zamjena postojećeg konvertora sa novim izvršena je u dvije faze:

- Montaža i sklapanje donjeg sa srednjim segmentom posude konvertora, montaža okretnog prstena i spajanje sa pripremljenim dijelom posude konvertora.
- Demontaža starog konvertora, pozicioniranje novog, montaža gornjeg segmenta posude konvertora.

Tehnologija primjenjena prilikom zavarivanja, u potpunosti odgovara zahtjevima proizvođača, te uz definisane parameter, zavareni spoj postiže odlične mehaničke osobine. Kvalitet zavarenih spojeva od strane proizvođača definisan je klasom C.

Zbog gabarita i položaja same konstrukcije, tokom cijelog procesa montaže i demontaže, posebna pažnja je posvećena sigurnosti svih učesnika radova, kao i poštovanju propisa o zaštiti okoliša



Slika 5. Proces blokovanja obrtnog prstena



Slika 6. Proces blokovanja obrtnog prstena



Slika 7. Priprema mjesta za montažu kiseonikovog (BOF) konvertora

2.4. Tehnologija zavarivanja

Zavari plašta posude i obrtnog prstena su zavari s punom penetracijom s leđno-prožljebljenim korijenima.

Materijal od kog su elementi konvertora izrađeni je čelik za opremu pod pritiskom na povišenim temperaturama, sa minimalnim naponom tečenja 355 [MPa] oznake P355NH.

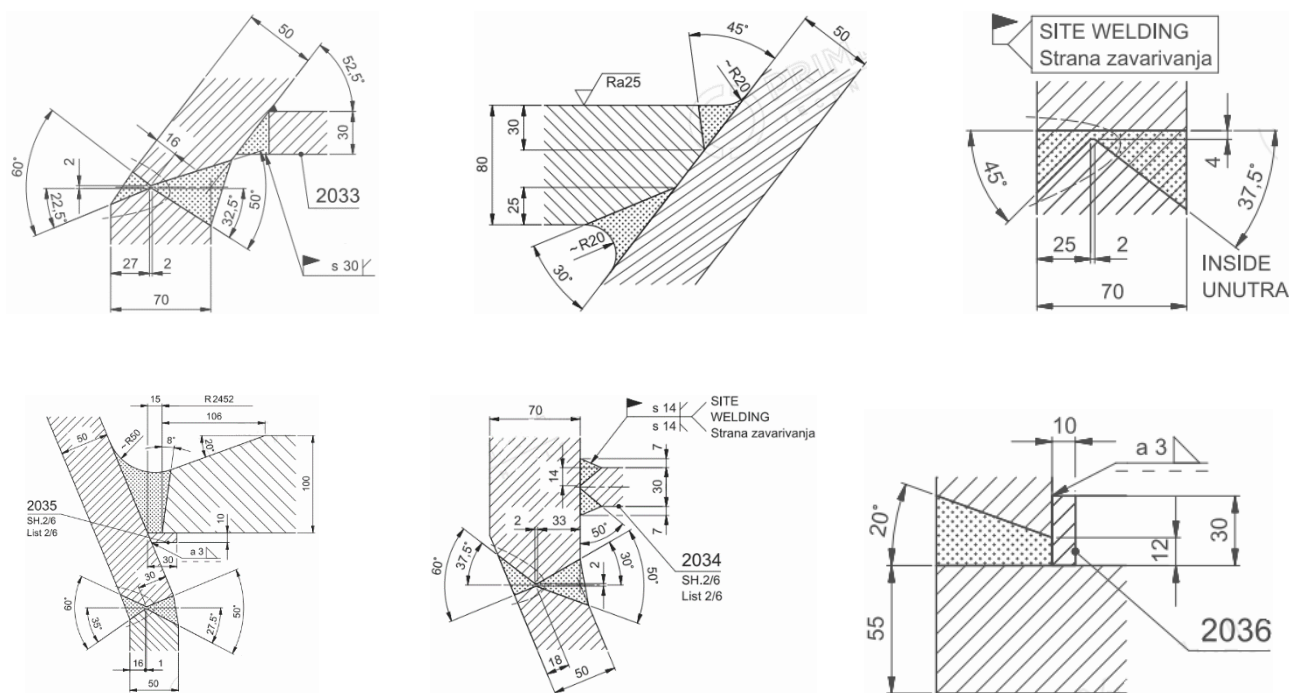
Table 1. Hemijski sastav čelika P355NH

C	Si	Mn	P	S	Al	N	Cr	Cu	Mo	Ni	Ti	V
0,18	max. 0,5	max. 1,7	max. 0,025	max. 0,025	max. 0,02	max. 0,012	max. 0,3	max. 0,3	max. 0,08	max. 0,5	max. 0,03	max. 0,1

Mehanička svojstva čelika P355NH su:

- Zatezna čvrstoća $R_m=470-610$ [MPa],
- Granica razvlačenja $R_e=315$ [MPa] i
- Istezanje $A \geq 21$ [%]

Analizom karakteristika materijala, konstrukcije i načina izrade utvrđen je ekvivalent ugljika (za konkretan slučaj $C_{ekv}=0,51 > 0,45$), koji određuje pogodnost materijala za zavarivanje, gdje se pokazalo da je čelik P355NH pogodan za zavarivanje uz uslov predgrijavanja prije procesa zavarivanja. Temperatura predgrijavanja 135°C-150°C.



Slika 8. Neki oblici spojeva na samoj konstrukciji

Nakon procesa zavarivanja izvršena je termička obrada žarenje radi otklanjanja zaostalih naprezanja. Raspon temperature žarenja kretao se u intervalu od 550°C -580°C, s vremenom držanja od po 2 minute po milimetru debljine ploče. Hlađenje je vršeno na zraku, sa brzinom hlađenja 60°C/h. Proces zavarivanja izvođen je postupkom 136-*Elektrolučno zavarivanje u zaštiti aktivnog/mješavine plina/ova sa punjenom žicom.*

Zavarivanje je izvođeno u svim položajima zavarivanja pa i PC, PD, PF i PE. Oblik spojeva dat je slikom 8.

Welding Procedure Specification						WPS No.:		
						01		
						WPQR:		
						1 1 7 6 1 2 0		
PROJECT: AM Zenlea Converter 2 revamping				Quality level of weld joint:		ISO 5817 - B		
COMPANY		CONTACTOR						
Product: Ring pos. 2010, 2011 B4-B4		Joint Preparation:		Machined				
Drawing No.: C.7090.SL.21.3A.M2000/202.001		Base metal:		P355NH				
Welding Process: 136		Standard:		EN10028-3				
Type of weld: BW		Thickness Range (mm):		60				
Welding Position: PC		Outside Diameter (mm):		/				
Joint design (sketch):				Welding schedule:				
Multiple or Single Pass (per side): Multiple Welding								
Welding Parameters:								
Weld Layer	Process	Filler metals		Current		Volt Range (V)	Travel Speed cm/min	Heat Input KJ/cm
		Class	Diameter	Amps. Range (A)	Polarity Type			
1-1'	136	ES1T1-M21A8-Ni1-H4	Ø 1.2	180-200	DC +	22-25	23-26	10,3 - 11,5
2-2', 3-3'	136	ES1T1-M21A8-Ni1-H4	Ø 1.2	200-220	DC +	25-28	26-28	11,5-13,2
4-n, 5-n'	136	ES1T1-M21A8-Ni1-H4	Ø 1.2	200-220	DC +	25-28	26-28	11,5-13,2
n'	136	ES1T1-M21A8-Ni1-H4	Ø 1.2	180-200	DC +	22-25	23-26	10,3 - 11,5
Filler metals:		ES1T1-M21A8-Ni1-H4		Additional Information				
Specification:		AWB A5.36		Tungsten Electrode / Dia. (mm)		-		
Any special baking or drying:		T (°C)		Stand - off distance:		-		
		t (h)		Torch angle:		-		
Type of Gas		Face		Preheat Min (°C)		150		
		Root		InterPass Max (°C)		250		
Composition of Mixture:		-		Temperature Range (°C)		550-580		
Gas flow rate: (l/min)		Face		Technique		Induction		
		Root		Heating rate: (°C/h)		60		
Initial and Inter Pass Cleaning		Brushing/Grinding		Cooling rate: (°C/h)		60		
Details of back gouging / backing:		-		Post Weld Heat Treatment		Time: (min)		
						120		
Type and volume of testing: VT 100 %, PT 100%, UT 100 %								

Slika 9. WPS lista za jedan tipičan spoj zavarivan u poziciji PC

Welding Procedure Specification						WPS No.:		
						02		
						WPQR:		
						1 1 7 6 1 2 0		
PROJECT: AM Zenia Converter 2 revamping				Quality level of weld joint:		ISO 5817 - C		
COMPANY		CONTACTOR						
Product: Ring pos.2010 *A4-A4*		Joint Preparation:		Machined				
Drawing No.: C.70Y0.SL.21.3A.M2000/26Z.001		Base metal:		P355NH				
Welding Process:		136		Standard:		EN10028-3		
Type of weld:		BW		Thickness Range (mm):		60		
Welding Position:		PF		Outside Diameter (mm)		/		
Joint design (sketch):				Welding schedule:				
Multiple or Single Pass (per side): Multiple Welding								
Welding Parameters:								
Weld Layer	Process	Filler metals		Current		Volt Range (V)	Travel Speed cm/min	Heat Input KJ/cm
		Class	Diameter	Amps. Range (A)	Polarity Type			
1-2	136	E81T1-M21A8-Ni1-H4	Ø 1.2	180-200	DC +	22-25	23-26	10,3 -11,5
3-4	136	E81T1-M21A8-Ni1-H4	Ø 1.2	200-220	DC +	25-28	26-28	11,5-13,2
5-n-1	136	E81T1-M21A8-Ni1-H4	Ø 1.2	200-220	DC +	25-28	26-28	11,5-13,2
n	136	E81T1-M21A8-Ni1-H4	Ø 1.2	180-200	DC +	22-25	23-26	10,3 -11,5
Filler metals:		E81T1-M21A8-Ni1-H4		Additional Information				
Specification:		AWS A5.36		Tungsten Electrode /Dia. (mm)		-		
Any special baking or drying:		T (°C)		Stand - off distance:		-		
		t (h)		Torch angle:		-		
Type of Gas		Face		M21 / ISO 14175		Preheat Min (°C)		
		Root		-		150		
Composition of Mixture:		-		InterPass Max (°C)		250		
Gas flow rate: (W/min)		Face		14-18		Temperature Range (°C)		
		Root		-		550-580		
Initial and Inter Pass Cleaning		Brushing/Grinding		Post Weld Heat Treatment		Technique		
Details of back gouging / backing:		Ceramic-50,0x3,0				Induction		
						Heating rate: (°C/h)		
						60		
						Cooling rate: (°C/h)		
						60		
						Time: (min)		
						120		
Type and volume of testing: VT 100 %, PT 100%, UT 100 %								

Slika 10. WPS lista za jedan tipičan spoj zavarivan u poziciji PF

2.4. Ispitivanje zavarenih spojeva

Ispitivanje zavarenih spojeva na kiseonikovom (BOF) konvertoru prema zahtjevu proizvođača, izvršena je sa tri metode ispitivanja bez razaranja:

- Vizuelno ispitivanje - VT.
- Ispitivanje magnetnim česticama - MT.

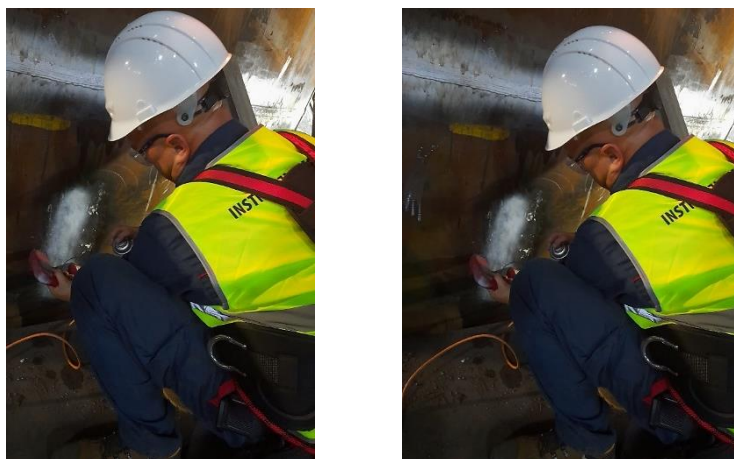
- Ultrazvučno ispitivanje - UT.

Vizuelno ispitivanje zavarenih spojeva, vršeno je tokom cijelog procesa, te su u skladu s tim blagovremeno otklonjene sve uočene nesavršenosti. Nesavršenosti uočene vizuelnom kontrolom spadaju u grupu geometijskih nesavršenosti i manji dio se odnosi na greške nepotpune popunjenosti šava.



Slika 11. Vizuelno ispitivanje zavarenog spoja

Ispitivanjem magnetnim česticama nisu uočene nesavršenosti, slika 12.



Slika 12. Ispitivanje magnetnim česticama zavarenog spoja

Ultrazvučno ispitivanje vršeno je nakon završetka zavarivanja, odnosno prije i poslije termičke obrade zavarenih spojeva. Zavareni spojevi su u potpunosti zadovoljavali zahtjeve standarda, bez ikakvih indikacija.



Slika 13. Ultrazvučno ispitivanje zavarenog spoja



Slika 14. Kiseonikov konvertor BOF nakon montaže i probnog rada

3. Zaključak

Montaža, demontaža i zavarivanje kiseonikovog (BOF) konvertora, izvršeno je u period od maja do septembra 2022. godine u tri etape:

- Montaža i zavarivanje donjeg i srednjeg segmenta posude konvertora.
- Montaža i zavarivanje okretnog prstena konvertora.
- Montaža gornjeg segmenta posude konvertora.

Nadzor nad radovima je vršen konstantno tokom cijele montaža sa redovnom vizuelnom kontrolom. Analizom karakteristika materijala, konstrukcije i načina izrade utvrđena je tehnologija zavarivanja, odnosno odabran je postupak, parametri i način zavarivanja. Pošto se radilo o čeliku s povišenim ugljikovim ekvivalentom, neophodno je bilo predgrijavanje prije zavarivanja u rasponu temperature od 135°C-150°C. Nakon procesa zavarivanja izvršena je termička obrada žarenje radi otklanjanja zaostalih naprezanja. Raspon temperature žarenja kretao se u intervalu od 550°C -580°C, s vremenom držanja od po 2 minute po milimetru debljine ploče. Hlađenje je vršeno na zraku, sa brzinom hlađenja



Društvo za tehniku
zavarivanja Slavonski Brod

12. Međunarodno znanstveno-stručno savjetovanje SBZ 2023

„STROJARSKE TEHNOLOGIJE U IZRADI ZAVARENIH
KONSTRUKCIJA I PROIZVODA, SBZ 2023.“

Slavonski Brod, 26. i 27. 04. 2023. i Požega 28. 04. 2023.

60°C/h. Ispitivanje zavarenih spojeva na kiseonikovom (BOF) konvertoru prema zahtjevu proizvođača, izvršena je sa tri metode ispitivanja bez razaranja: vizuelno ispitivanje, ispitivanje magnetnim česticama i ultrazvučno ispitivanje. Ispitivanje magnetnim česticama i ultrazvučna kontrola vršeni su u skladu sa dogovorenim terminima. Kvalitet zavarenih spojeva od strane proizvođača definisan je klasom C. Najkompleksniji za zavarivanje bio je okretni prsten konvertora, te je prilikom izvođenja radova posebna pažnja posvećena zadovoljavanju traženog kvaliteta. Tokom cijelog procesa montaže i demontaže, posebna pažnja je posvećena sigurnosti svih učesnika radova, kao i poštovanju propisa o zaštiti okoliša. Nakon završenih građevinskih radova, odnosno ozida unutar samog konvertora, isti je pušten u probni rad, te je zadovoljio traženi kvalitet i očekivanja.

4. Literatura

- [1] J. Strandberg, H. Odén, R. M. Nieto, A. Björk, (2011). Treatment of Dioxin Contaminated Soils, IVL Swedish Environmental Research Institute, Stockholm;
- [2] V. Kudrin, (1985). Steelmaking, Moskva: Mir Publishers;
- [3] H. Andrei, C. Cepisca, S. Grigorescu, (2011). Power Quality and Electrical Arc Furnaces, Valahia University of Targoviste, Politehnica University of Bucharest;
- [4] Tehnička dokumentacija proizvođača kiseonikovog (BOF) konvertora;
- [5] Kraut Bojan, (1981). Strojarski priručnik. Zagreb: Tehnička knjiga;