Monika Cinkl [1], Tihomir Marsenić [1], Iva Deanović [2], Ivan Samardžić [2], Božo Despotović [3], Dejan Marić [2,a], Jadranka Eržišnik [4]

BITNE VARIJABLE PRI ZAVARIVANJU KOTLOVSKOG NISKOLEGIRANOG I VATROOTPORNOG VISOKOLEGIRANOG ČELIKA

ESSENTIAL VARIABLES AT WELDING BOILER LOW-ALLOY AND FIRE-RESISTANT HIGH-ALLOY STEEL

Stručni rad / Professional paper

Rad primljen / Paper received:

Avgust 2024.

Rad prihvaćen / Paper accepted:

Maj 2026.

Adresa autora / Author's address:

[1] Andritz TEP d.o.o, Slavonski Brod, Croatia

[2] Sveučilište u Slavonskom Brodu, Strojarski fakultet u Slavonskom brodu, Slavonski Brod, Croatia

[3] Društvo za Tehniku zavarivanja Slavonski Brod, Slavonski Brod, Croatia

[4] Fakultet strojarstva I brodogradnje, Sveučilište u Zagrebu

email / ORCID ID:

[a] dmaric@unisb.hr / 0000-0002-0142-1750

Ključne reči: kutni spoj, niskolegirani čelik 16Mo3, visokolegirani čelik W.Nr.1.4713 (X10CrAlSi7)

Keywords: fillet weld, low alloy steel 16Mo3, high alloy steel W.Nr.1.4713 (X10CrAlSi7)

Rezime

U radu se opisuju specifičnosti prilikom kvalifikacije postupka zavarivanja između niskolegiranog čelika 16Mo3 i visokolegiranog feritnog čelika W.Nr.1.4713 (X10CrAlSi7). Izbor broja gusjenica, temperature predgrijavanja i vrijeme hlađenja utječu na prihvatljivost spoja. Kvalifikacija je izvedena u radioničkim uvjetima tvornice ANDRITZ TEP d.o.o.

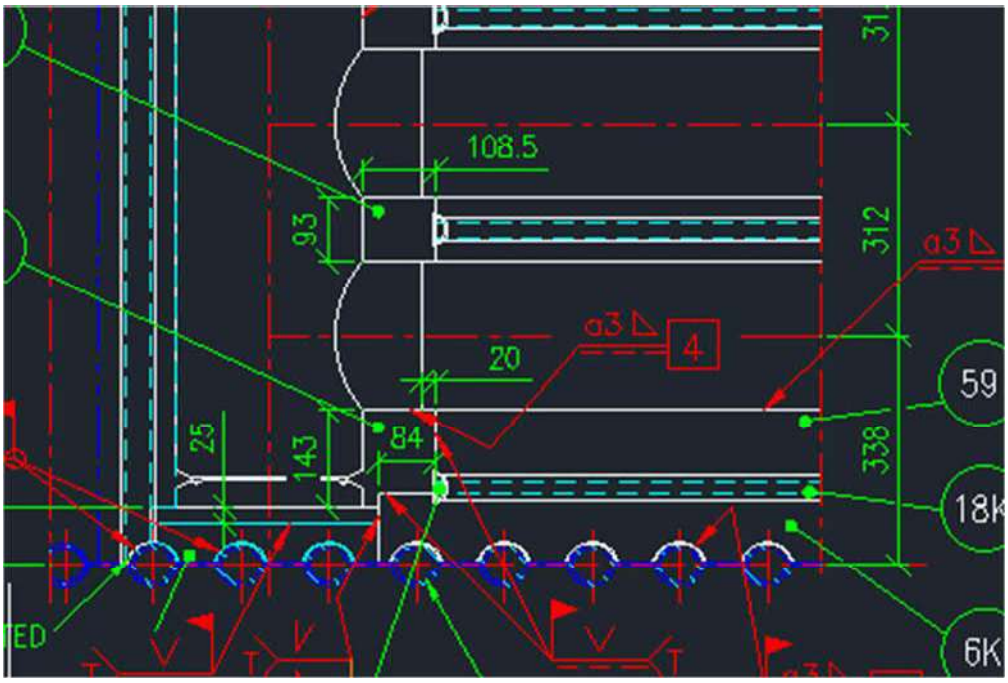
Abstract

The paper describes the specifics during the qualification of the welding procedure between low-alloyed steel 16Mo3 and high-alloyed ferritic steel W.Nr.1.4713 (X10CrAlSi7). The choice of number of runs, preheating temperature and cooling time affect the acceptability of the welded joint. The qualification was carried out in the workshop conditions of the ANDRITZ TEP d.o.o. factory.

Rad je u originalnom obliku objavljen u Zborniku radova sa 33. konferencije sa međunarodnim učešćem „Zavarivanje 2024“ održanog u Vrnjačkoj Banji, Srbija od 2. do 5. oktobra 2024. godine

1. Uvod

Specificiranje tehnologije zavarivanja u poduzećima gdje je dominatna tehnologija zavarivanje izvodi se u odjelima koji se bave tehnikom zavarivanja od stručnog zavarivačkog osoblja. Andritz TEP d.o.o. je tvrtka sa stoljetnom tradicijom proizvodnje različitih tipova kotlovskih postrojenja gdje je zavarivanje temeljna tehnologija spajanja i koja u svojoj organizaciji ima Službu tehnike zavarivanja. Prilikom obrade tehničke dokumentacije na jednom od projekta koja se odnosila na proizvodnju „Recovery kotla“, odnosno „Boiler bank“ komponente, potrebno je bilo propisati tehnologiju zavarivanja za kutni zavar. Kutni zavar se odnosio na zavar između komore od niskolegiranog čelika, kvalitete 16Mo3 i brtvenog lima, vatrootpornog čelika W.Nr.14713 (Slika 1). Zbog specifičnosti dimenzija i kvalitete osnovnih materijala provedena je kvalifikacija postupka zavarivanja u skladu s proizvodnom normom EN 12952-5 i normom za kvalifikaciju postupaka zavarivanja EN ISO 15613. Varijable u pWPS-u definirane su od strane tehnologa zavarivanja.



Slika 1. *Kutni spoj oznake 4, zahtjev sa crteža a3.*

Figure 1. *Fillet joint designated as 4, drawing requirement a3.*

2. Osnovni materijali

2.1. Niskolegirani čelik 16Mo3

Cijevi uključuju sabirnice za tlačnu namjenu i rad na povišenim i visokim temperaturama proizvode se i isporučuju u skladu s harmoniziranom normom EN 10216-2. Čelik 16Mo3 (W.Nr. 1.5415) je feritno-perlitne mikrostrukture i isporučuje se u normaliziranom stanju. Primjenjuje se za tlačnu namjenu maksimalno do temperature 500 °C. Najčešće se koristi za rad na visokim temperaturama u parnim kotlovima, turbinama, rafinerijama nafte i drugim postrojenjima. 16Mo3 je niskolegirani čelik, glavni legirni element mu je molibden. Molibden u leguri sprečava pojavu visokotemperaturne krhkosti popuštanja i povisuje trajnu čvrstoću pri povišenim temperaturama [1]. S ugljikom stvara posebni karbid Mo2C koji usporava puzanje. Kemijski sastav čelika koji se zavarivao za kvalifikaciju postupka zavarivanja je naveden u Tabeli 1. Ovaj čelik dobro je zavarljiv, ali se preporučuje kontroliranje procesa zavarivanja. Iskustva proizvođača kotlovskih komponenti uključujući i ANDRITZ TEP d.o.o. su takva da se predgrijavnje treba primjeniti za debljine stijenki 30 mm i više. Preporuke norme EN1011-1 su stroža, predgrijavanje se zahtjeva za debljine stijenki većih od 15 mm. U slučajevima, gdje je debljina zavara veća od 35 mm, kotlovska norma zahtjeva toplinsku obradu nakon zavarivanja (PWHT) u svrhu popuštanja zaostalih napetosti [2].

Tabela 1. *Kemijski sastav 16Mo3 čelika iz certifikata (mas. %).*

Table 1. *Chemical composition of 16Mo3 steel from the certificate (wt.%).*

16Mo3	C	Mn	S	N	Cu	Si	P	Cr	Mo	Ni	Sn	Al
	0.17	0.73	0.003	0.062	0.17	0.22	0.011	0.16	0.29	0.13	0.014	0.025

2.2. Vatrootporni visokolegirani feritni čelik W.Nr. 1.4713 (X10CrAlSi7)

Čelik se smatra vatrootpornim ako se odlikuje malim izgaranjem u struji plinova pri temperaturama iznad 600 °C [1]. Prema SEW 470 vatrootpornim čelikom se smatra onaj koji pri zadanoj temperaturi gubi prosječno 1 g/m²h svoje mase, a pri temperaturi višoj za 50 K prosječno najviše 2 g/m²h [1]. Viskotemperaturni vatrootporni nehrđajući čelici feritne mikrostrukture dopunjuju austenitne čelike. Austenitni čelici imaju značajno veću trajnu granicu razvlačenja R_{p1}/10000 nego feritni čelici, dok feritini čelici imaju značajno veću otpornost prema oksidirajućim plinovima koji sadržre sumpor [1] i bolju otpornost prema napetosnoj koroziji u kloridnim medijima [3]. Treba naglasiti da feritni čelici su znatno jeftiniji od austenitnih. Glavni legirni element u feritnim čelicima je krom. Njegov pozitivan učinak na korozivnu postojanost na zraku na povišenim temperaturama je pojačan silicijem i aluminijem. Feritni čelici skloni su sljedećim štetnim pojavama:

- interkristalnoj koroziji,
- pogrubljenju zrna grijanjem iznad 850 °C,
- stvaranju delta-faze (FeCr) pri držanju temperaturnom rasponu (520 – 850 °C) što povećava tvrdoću
- pojavi krhkosti 475, što uzrokuje smanjenje duktilnosti [3].

X10CrAlSi7 pripada grupi visokolegiranih čelik sa visokim sadržajem kroma, poznat je kao "feritni nehrđajući čelik". Ovaj čelik ima dobru otpornost na oksidaciju i koroziju na visokim temperaturama, ali može biti sklon stvaranju krhkih struktura kada se zavaruje. U Tabeli 2 je prikazan kemijski sastav ovog čelika naveden u certifikatu materijala.

Tabela 2. *Kemijski sastav čelika 1.4713 (X10CrAlSi7) (mas. %).*

Table 2. *Chemical composition of 1.4713 steel (X10CrAlSi7) (wt.%).*

X10CrAlSi7	C	Mn	S	Si	Mo	P	Al	Co	Cr
	0.05	0.39	0.001	0.61	0.03	0.026	0.95	0.03	6.16

-

Ovaj čelik ima vatrootpornost na zraku do 800°C. Čelik X10CrAlSi7 spada u grupu 7.1 prema ISO/TR 20172.

2.2.1. Zavarljivost čelika X10CrAlSi7

Zavarljivost X10CrAlSi7 čelika može biti izazovna zbog specifičnog kemijskog sastava i prisutnosti aluminija. Osnovni problemi koji se javljaju pri zavarivanju feritnih čelika su [3]:

- izrazito povećanje zrna u zoni utjecaja topline (ZUT);
- pojava krhkosti;
- sklonost senzibiliziranju pri hlađenju ispod 925 °C;
- pojava smanjenje korozijske postojanosti u području zavarenog spoja

Prisustvo aluminija u čeliku može otežavati jer aluminij ima tendenciju stvaranja oksida. To može dovesti do formiranja poroznosti i loše kvalitete zavara. Prije zavarivanja potrebno je pažljivo očistiti površine materijala kako bi se uklonile nečistoće. Preporučuje se sušenje dodatnog materijala i predgrijavanje osnovnog materijala kako bi se smanjio rizik od pukotina. Kvaliteta zavarenih spojeva značajno ovisi o [3]:

- tehnici zavarivanja
- predgrijavanju
- zaštitnom plinu
- odabiru dodatnog materijala
- naknadnoj toplinskoj obradi.

Kod odabira dodatnog materijala, treba obratiti pažnju da dodatni materijal bude kompatibilan s kemijskim sastavom X10CrAlSi7 kako bi se izbjegli problemi poput krhkosti zavara. Prilikom zavarivanja ovog čelika, preporučuje se kontrola međuprolazne temperature i hlađenja kako bi se minimizirao rizik od stvaranja napetosti i pukotina. Zbog rasta zrna u zoni utjecaja topline, unos topline se treba minimalizirati, držati ispod 1.5 kJ/mm. Preferirani postupci zavarivanja su oni pod zaštitom zaštitnih plinova u inertnoj atmosferi, poput TIG, MIG, ali i REL postupak [4].

3. Dodatni materijal

Temeljem iskustva proizvođača kotlovskih postrojenja za zavarivanje feritnog čelika W.Nr.14713 i 16Mo3 koristi se dodatni materijal, klasifikacijske oznake EN ISO 21952-A: WMoSi za TIG postupak zavarivanja. Za zavarivanje ove kombinacije materijala odabrana je TIG žica trgovačkog naziva DMO IG koja se primjenjuje za zavarivanje nelegiranih i niskolegiranih čelika. Zbog svog kemijskog sastava (Tabela 3), žica se primjenjuje za zavarivanje komponenti koje rade u području temperatura od -30 do 500 °C. Depozit zavara izveden ovom žicom ima veliku žilavost, otpornost na pojavu pukotina i starenje.

Tabela 3. *Kemijski sastav DMO-IG žice iz certifikata materijala (mas. %).*

Table 3. *Chemical composition of DMO-IG wire from the material certificate (wt.%).*

DMO IG	C	Si	Mn	Mo	P	S	Cr	Ni	V	Cu	Al	Ti
	0.10	0.62	1.17	0.52	0.010	0.013	<0.1	<0.1	<0.01	<0.1	<0,01	<0.01

Utjecaj kemijskih elemenata na dodatni materijal je sledeći [1]:

- Ugljik (C): najvažniji je element i najjače utječe na svojstva čelika (ne smatra se legirajućim elementom). Povećanjem sadržaja C povećava se čvrstoća i granica razvlačenja, a smanjuje duktilnost.
- Mangan (Mn): je austenotvorac, povećava prokaljivost i čvrstoću čelika.
- Molibden (Mo): povisuje trajnu čvrstoću i sprečava pojavu visokotemperaturne krhkosti popuštanja.
- Silicij (Si): je jaki dezoksidator, povisuje čvrstoću i otornost na trošenje, a posebno granicu razvlačenja.

4. Specifičnosti zavarivanja čelika 16Mo3 i X10CrAlSi7

Temeljem zahtjeva sa crteža, bilo je potrebno zavariti kutni spoj veličine a3 mm između komore promjera 219,1 mm i debljine 30 mm, kvalitete 16Mo3, i vatrootpornog visokolegiranog čelika X10CrAlSi7, debljine 6 mm, što je predstavljalo izazov zbog značajnih razlika u njihovim kemijskim sastavima, mehaničkim svojstvima i ponašanju na visokim temperaturama. TIG postupak zavarivanja je odabran zbog zavarivanja u prinudnim položajima i ograničenoj dužini zavarivanja.

Odabrani dodatni materijal treba biti kompatibilan s oba tipa čelika kako bi se izbjeglo stvaranje neželjenih faza, krhkosti ili korozije. Treba sadržavati elemente koji minimiziraju razliku u koeficijentu toplinske vodljivosti između dva materijala.

Niskolegirani čelici poput 16Mo3 obično zahtjevaju prethodno predgrijavanje kako bi se smanjila mogućnost stvaranja zaostalih napetosti, povećanja tvrdoće i pukotina. Temperatura predgrijavanja može biti između 100 °C i 200 °C, ovisno o debljini materijala.

Tijekom zavarivanja treba osigurati ravnomjeran unos topline kako bi se izbjegla prekomjerna lokalna zagrijavanja koja bi mogla prouzrokovati promjene u mikrostrukturi. Sporije zavarivanje može uzrokovati prekomjerno zagrijavanje i pogrubljene zrna, dok prebrzo može dovesti do nedovoljne penetracije i lošeg kvaliteta zavara.

Međuprolazne temperature trebaju se kontrolirati kako bi se osigurala konzistentnost u zavarima i izbjeglo stvaranje nepovoljnih mikrostruktura.

Nakon zavarivanja, kontrolirano hlađenje je ključno kako bi se smanjila mogućnost stvaranja zaostalih napetosti i pukotina.

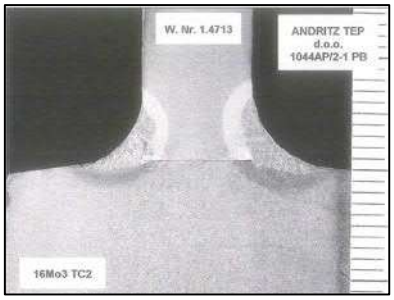
PWHT se nije primjenjivala jer zavar ima malu veličinu a3, a može se koristiti samo za relaksaciju zaostalih naprezanja komore 16Mo3 i metala zavara, također nepraktična je za izvođenja na ovakvim spojevima, zbog lokacija zavarenih spojeva i na kraju zbog troškova izrade.

Kvalifikacija postupka zavarivanja izvedena je u skladu s normom ENISO 15613, a ispitivanja zavarenog spoja provedena su u skladu s normom EN ISO 15614-1.



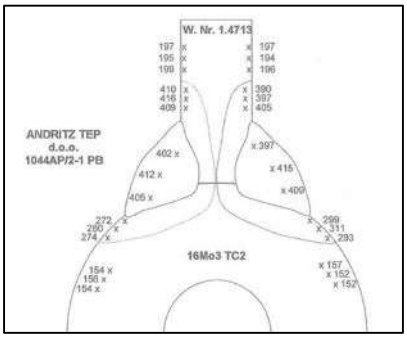
Slika 2. *Zavareni uzorak - PB položaj.*

Figure 2. *Welded sample in the PB position.*



Slika 4. *Makro presjek uzorka 1 – PB položaj.*

Figure 4. *Macrosection of sample 1 in the PB position*



Slika 6. *Izmjerena tvrdoća 1 - PB položaj.*

Figure 6. *Measured hardness of Sample 1 in the PB position.*

5. Zavarivanje uzoraka

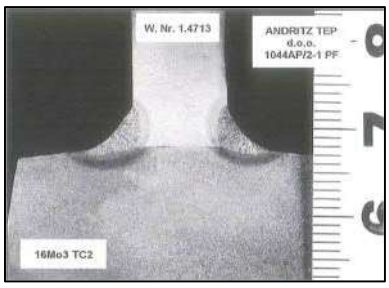
5.1. Zavarivanje čelika 16Mo3 i X10CrAlSi7 – Prvi pokus

U prvom pokusu zavarena je komora 16Mo3 promjera 219.1 mm, debljine 30 mm i lim X10CrAlSi7 debljine 6 mm, TIG postupkom zavarivanja. Kao dodatni materijal odabrana je Böhlerova žica DMO-IG (WMoSi), promjera 2,4 mm. Korištene jakosti struje bile su od 200 do 210 A, zbog debljine komore. Primjenjeni zaštitni plin je argon protoka 9 l/min. Zavar je izveden u 1 prolazu u PB i PF položaju bez predgrijavanja (Slike 2 i 3). Unos topline se kretao od 1.2 do 1.6 kJ/mm. Predgrijavanje se nije primjenjivalo kako bi se izbjeglo tijekom proizvodnog zavarivanja na manjim debljinama stijenki od 5 do 30 mm.



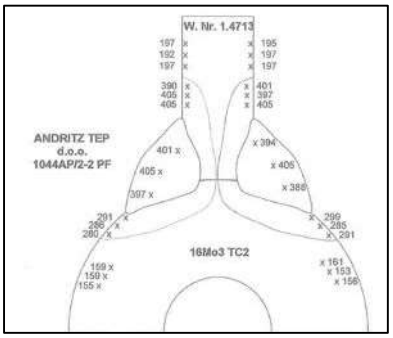
Slika 3. *Zavareni uzorak - PF položaj.*

Figure 3. *Welded sample in the PF position.*



Slika 5. *Makro presjek uzorka 1 – PF položaj.*

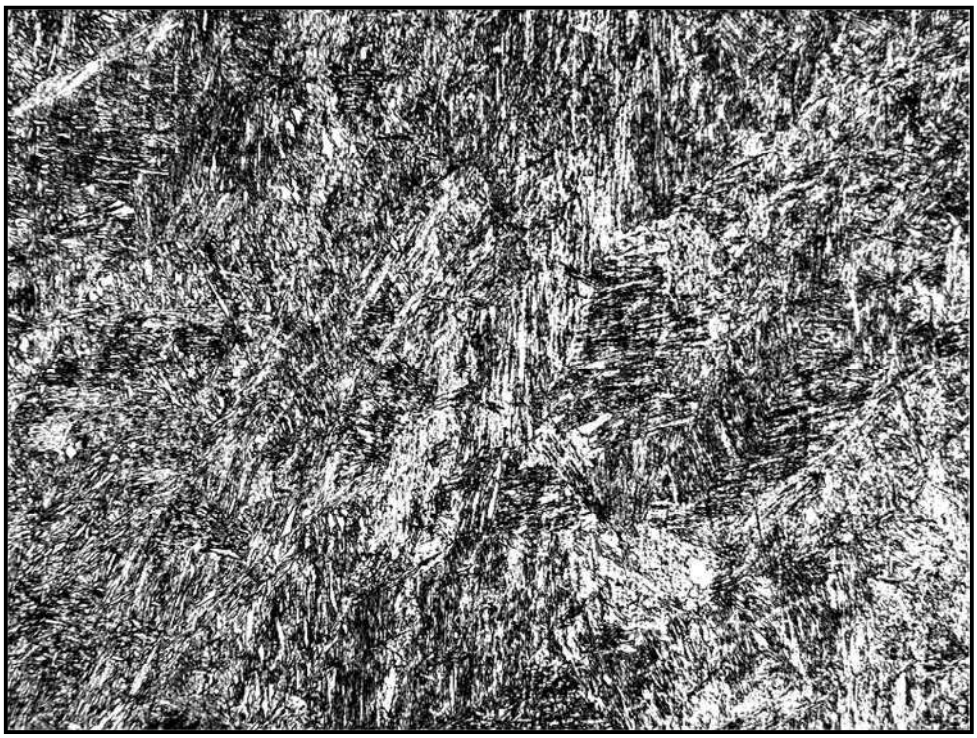
Figure 5. *Macrosection of Sample 1 in the PF position.*



Slika 7. *Izmjerena tvrdoća 1 - PF položaj.*

Figure 7*. Measured hardness of Sample 1 in the PF position.*

Na makro presjeku (Slika 4), PB položaj, može se vidjeti jedva primjetna greška vezivanja, odnosno nedovoljna penetracija zavara u komoru, koja je posljedica zavarivanja u jednom prolazu veličine kutnog zavara a3 mm. Ovo odstupanje upućuje da se TIG ručni postupkom zavarivanja trebaju izvoditi prolazi manjih debljina. Mjerenje tvrdoće pokazuje da je tvrdoća viša od vrijednosti 380HV specificiranoj u normi za kvalifikaciju postupaka ISO EN 15614-1. Sa makro uzoraka, Slike 6 i 7 gdje je pokazana distribucija tvrdoća, može se vidjeti da su tvrdoće veće u području metala zavara i lima X10CrAl7 u zoni utjecaja topline (ZUT) na oba položaja zavarivanja. Prosječne tvrdoće iznose, PB položaj; zavar 407 HV10 / lim ZUT 405 HV10, PF položaj zavar 398 HV10 / lim ZUT 397 HV10. Problematična je tvrdoća u metalu zavara posebno jer je depozit metala zavara izveden TIG žicom WMoSi. Prema ISO/TR 20172 lim spada u grupu 7.1, a prema normi EN ISO 15614-1 nema ograničenja vrijednosti tvrdoće za tu grupu materijala, ona se u principu definira ili dogovara prije kvalifikacije postupka zavarivanja. Na Slici 8 je mikrostruktura depozita zavara. Uočena struktura je feritno martenzitna, što uzrokuje povećanje tvrdoće u metalu zavara. Također sama struktura lima X10CrAlSi7 je feritno martenzitna, a trebala bi biti feritna što utječe na tvrdoću ZUT-a lima.

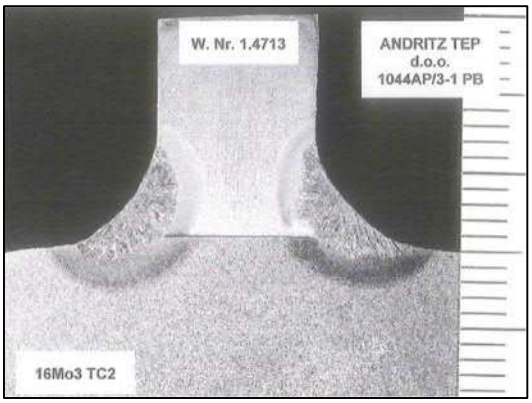


Slika 8. *Mikrostruktura metala zavara (feritno martenzitna).*

Figure 8. *Microstructure of the weld metal (ferritic-martensitic).*

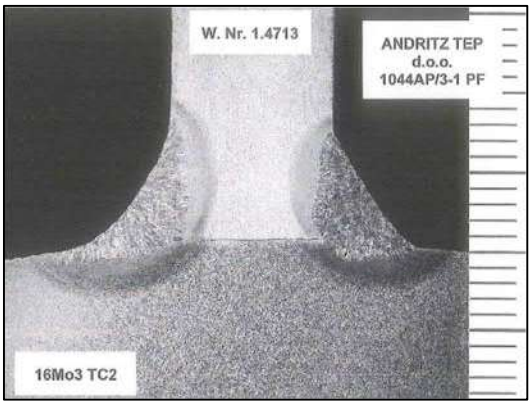
5.2. Zavarivanje 16Mo3 i X10CrAlSi7 – Drugi pokus

U drugom testnom uzorku zavareni su uzorci jednakih dimenzija i kvalitete, i korišten je isti dodatni materijal, Böhlerova žica DMO-IG (WMoSi) (Slike 9 i 10). Parametri zavarivanja, struja zavarivanja, unos topline su se kretali u približno jednakim granicama. Razlika u odnosu na prvi pokus je u tome što je zavarivanje izvedeno u dva sloja, odnosno dva prolaza. Unos topline za prvi prolaz iznosio je 1.35 kJ/mm, a za drugi prolaz 2.4 kJ/mm.



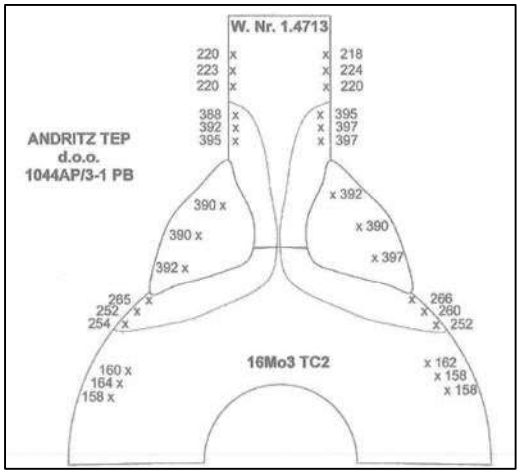
Slika 9. *Makro presjek uzorka 2 – PB položaj.*

Figure 9. *Macrosection of Sample 2 in the PB position.*



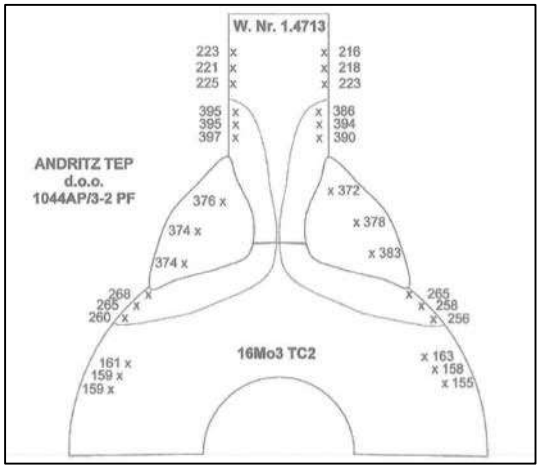
Slika 10. *Makro presjek uzorka 2 – PF položaj.*

Figure 10. *Macrosection of Sample 2 in the PF position.*



Slika 11. *Izmjerena tvrdoća 2 - PB položaj.*

Figure 11. *Measured hardness of Sample 2 in the PB position.*



Slika 12. *Izmjerena tvrdoća 2 - PF položaj.*

Figure 12*. Measured hardness of Sample 2 in the PF position.*

Kvaliteta zavarenog spoja je prihvatljiva, slike 9 i 10. Mjerenje tvrdoće na makro presjecima (Slike 11 i 12) pokazuje da je tvrdoća i u ovom slučaju, primjenom dvoslojnog zavarivanja veća od dopuštene. Prosječne tvrdoće iznose, PB položaj; zavar 391 HV10 / lim ZUT 394 HV10, PF položaj zavar 376 HV10 / lim ZUT 393 HV10. U odnosu na prvi pokus-uzorak, prosječna tvrdoća je niža za 4%, ali i dalje ne ispunjava zahtjeve norme za kvalifikaciju postupaka zavarivanja. U PF položaju tvrdoća je neznatno veća od dopuštene.

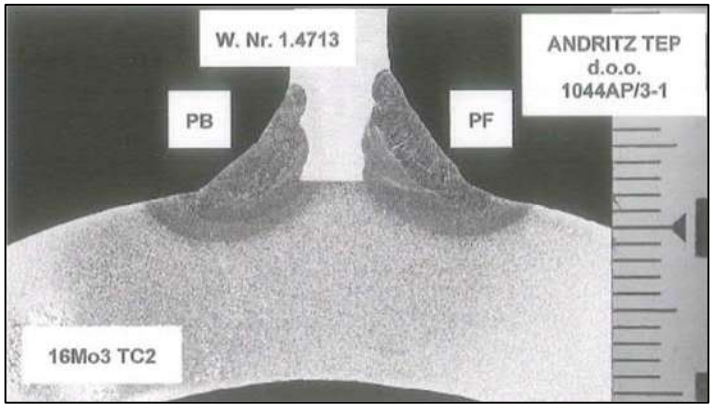
5.3. Zavarivanje 16Mo3 i X10CrAlSi7 - Treći pokus

U prethodna dva pokusa može se zapaziti da je tvrdoća neznatno niža u PF položaju zavarivanja, gdje je zabilježen veći unos topline. Zbog toga, zavarivanje trećeg uzorka koji je bio jednakih dimenzija i kvalitete kao i prethodna dva uzorka izvedeno je uz predgrijavanje i zavarivanje u dva sloja, ukupno dva prolaza. Prema iskustvu i smjernicama za debljine 30 mm i veće potrebno je provesti predgrijavanje komore [5], koje je u ovom slučaju izvedeno plinskim plamenom, slika 13. Parametri zavarivanja bili su približno jednaki parametrima primjenjenim u pokusima 1 i 2 uz primjenu predgrijavanja koje je minimalno iznosilo 120 °C. Unos topline je odgovarao unosu topline u drugom pokusu. Međuprolazna temperatura se kretala između 190 i 210 °C. Zavareni spoj se kontrolirano hladio nakon zavarivanja, odnosno bio je pokriven vunom.



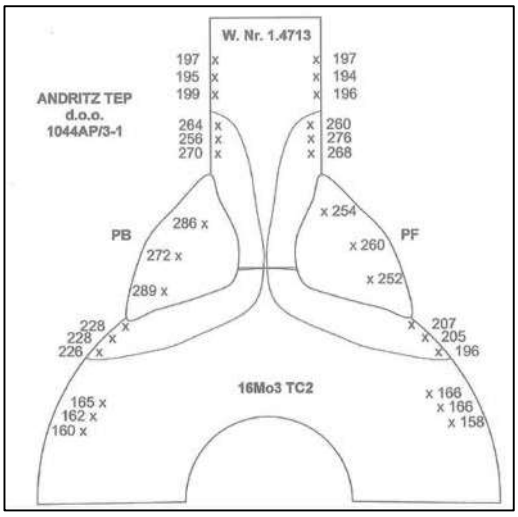
Slika 13. *Predgrijavanje 16Mo3 komore.*

Figure 13. *Preheating of the 16Mo3 chamber.*



Slika 14. *Makro presjek zavara 3 - PB/PF položaj.*

Figure 14. *Macrosection of Weld 3 in the PB/PF position.*



Slika 15. *Izmjerena tvrdoća 3 - PB/PF položaj.*

Figure 15. *Measured hardness of Sample 3 in the PB/PF position.*

Sa Slike 14 makro presjeka zavara, pokus 3, vidi se da je zavar prihvatljive kvalitete bez anomalija. Na Slici 15 prikazane je distribucija tvrdoća u zavarenom spoju, pokus 3. Maksimalno izmjerena tvdoća u metalu zavara iznosila je 289 HV10, dok je na limu ZUT 276 HV10 što ispunjava zahtjev specificiran u normi za kvalifikaciju postupaka EN ISO 15614-1.

6. Zaključak

Prilikom zavarivanja čelika različitog kemijskog sastava, mehaničkih svojstava i dimenzija spoja, prilikom definiranja, odnosno kvalifikacije upute za zavarivanja, potrebno je obratiti pažnju na sljedeće varijable:

- Oblik spoja; kod kutnog spoja treba obratiti pažnju na protaljivanje u korijenu zavara.
- Postupak zavarivanja; odabir ovisi o dostupnosti zavarivanja na konstrukciji, položaju zavarivanja, opsegu zavarivanja, veličini zavara, dodatnom materijalu, kriteriju prihvatljivosti zavarenog spoja.
- Specificiranu veličinu zavara; kod TIG zavarivanja kutnih spojeva, posebnu pažnju treba obratiti na debljinu depozita u korijenom zavaru kako bi se izbjegle greške vezivanja. Debljina depozita prolaza treba biti maksimalno a = 2.5 mm.
- Osnovni materijal; kod zavarivanja raznorodnih čelika, različitih debljina treba uzeti u obzir; temperaturu predgrijavanja koja ovisi o kvaliteti osnovnog materijala i debljini, međuprolaznoj temperaturi, unosu topline. Temperatura predgrijavanja i međuprolazna temperatura se mogu odrediti na temelju iskustva, ili na temelju preporuka normi ili na temelju izračuna navedenih u stručnoj literaturi ili kao što je to u ovom slučaju zavarivanjem više pokusa kako bi se postigla zahtjevana kvaliteta zavarenog spoja. Minimalna temperatura predgrijavanja iznosi 120°C, dok je maksimalna međuprolazna temperatura 210°C. Osnovni materijal X10CrAlSi7 pokazuje uvjetno dobru zavarljivost zbog potrebe predgrijavanja, ograničene međuprolazne temperature i parametara zavarivanja.
- Unos topline utječe na mikrostrukturu zavarenog spoja, posebno na osjetljivi član u spoju X10CrAlSi7 koji je sklon pogrubljenu zrna i krhkosti. Utvrđeni unos topline pokazao se najprihvatljivijim.
- Dodatni materijal treba biti kompatibilan s oba materijala u spoju, i koji će tijekom zavarivanja stvoriti prihvatljivu mikrostrukturu, prvenstveno strukturu bez krhkih faza i spoj koji ispunjava zahtjeve u eksploataciji. Zbog svoje karakteristične vatrootpornosti i radnih uvjeta u kojima će se koristiti X10CrAlSi7, potrebno je provjeriti radne uvjete komponente, te nakon toga definirati dodatni materijal prihvatljivih svojstava.

6. Conclusion

When welding steels with different chemical compositions, mechanical properties, and joint dimensions, attention should be paid to the following variables when defining or qualifying the welding procedure specification:

- Joint design: In fillet joints, special attention should be paid to penetration at the weld root.
- Welding process: The selection depends on welding accessibility on the structure, welding position, welding scope, weld size, filler material, and acceptance criteria for the welded joint.
- Specified weld size: In TIG welding of fillet joints, special attention should be paid to the deposit thickness in the root pass to avoid lack-of-fusion defects. The deposit thickness per pass should not exceed a = 2.5 mm.
- Base material: When welding dissimilar steels with different thicknesses, the preheating temperature, which depends on the base-material grade and thickness, interpass temperature, and heat input, should be considered. The preheating and interpass temperatures can be determined based on experience, standard recommendations, calculations provided in the technical literature, or, as in this case, by welding several test samples to achieve the required welded-joint quality. The minimum preheating temperature is 120 °C, while the maximum interpass temperature is 210 °C. The X10CrAlSi7 base material shows conditionally good weldability because preheating, controlled interpass temperature, and controlled welding parameters are required.
- Heat input: Heat input affects the microstructure of the welded joint, especially the sensitive member of the joint, X10CrAlSi7, which is prone to grain coarsening and embrittlement. The established heat input proved to be the most acceptable.
- Filler material: The filler material should be compatible with both materials in the joint and should produce an acceptable microstructure during welding, primarily a structure without brittle phases and a joint that meets service requirements. Because of the characteristic heat resistance of X10CrAlSi7 and the service conditions in which it will be used, the operating conditions of the component should

Prilikom definiranja tehnologije zavarivanja zavarivačko osoblje; tehnolozi zavarivanja ili inženjeri zavarivanja, prije kvalifikacije postupka zavarivanja trebaju provjeriti sve bitne varijable koje utječu na kvalitetu zavarenog spoja. Ponekad naizgled jednostavni zavareni spoj može generirati odstupanja koja mogu utjecati na kvalitetu proizvoda, kašnjenje zavarivanja u proizvodnim pogonima i rokove isporuke.

be verified first. After that, a filler material with acceptable properties should be defined.

When defining welding technology, welding personnel, welding technologists, or welding engineers should check all essential variables that affect welded-joint quality before qualifying the welding procedure. Sometimes, an apparently simple welded joint can generate deviations that may affect product quality, delay welding activities in production facilities, and extend delivery deadlines.

Literatura / References

[1] Mladen Novosel, Dragomir Krumes, Posebni čelici, Slavonski Brod, 1998,

[2] EN 12952-5 (2021): Water-tube boilers and auxiliary installations - Part 5: Workmanship and construction of pressure parts of the boiler,

[3] Ivan Juraga, Časopis Zavarivanje 37, 1/2, 3-11, 1994,

[4] HRN EN 10095, 2000 - Heat resisting steels and nickel alloy,

[5] Vlatka Lubina, Mirella Sekulić-Mustapić, Izvješće o ispitivanju MG-109/24, 2024, Slavonski Brod, Republika Hrvatska

Vesti **News**

73. GODIŠNJA SKUPŠTINA DUZS

Redovna 73. godišnja skupština DUZS zakazana je za utorak, 30. jun 2026. godine u 14h. u svečanoj sali Instituta IMS u Beogradu, Bulevar vojvode Mišića 43, sa sledećim dnevnim redom:

1. Otvaranje zasedanja Skupštine i izbor radnih tela
2. Verifikacija mandata članova Skupštine
3. Izveštaj o radu DUZS za period 2025 - 2026. godine.
   Podnosilac izveštaja: predsednik DUZS
4. Izveštaj o radu DUZS-CertPers za period 2025 - 2026. godine.
   Podnosilac izveštaja: izvršni rukovodilac DUZS-CertPers
5. Izveštaj o finansijskom poslovanju u 2026. godini.
   Podnosilac izveštaja: predsednik Nadzornog odbora
6. Diskusija po podnetim izveštajima i usvajanje izveštaja
7. Predlog plana rada za 2026 - 2027. godinu; diskusija i usvajanje
8. Izbor upravnog odbora DUZS
9. Izbor nadzornog odbora DUZS
10. Razno