Broj rada: 1.4
DOI: 10.65156/wws.sjdp.si.004

ZAHTJEVI ZA KVALIFIKACIJU TIG RUČNOG POSTUPKA ZAVARIVANJA SUČEONOG SPOJA IZMEĐU NAVARENIH CIJEVI PREMA ASME BPVC SEKCIJA IX EDICIJA 2025

REQUIREMENTS FOR QUALIFICATION OF GTAW MANUAL WELDING OF BUTT JOINTS BETWEEN CLAD TUBES ACCORDING TO ASME BPVC SECTION IX EDITION 2025

Autori: Tihomir Marsenić IWE[1], Dean Lesan IWP[1], Ivan Đogaš IWT[1], dr.sc.Marko Dunđer[2], Božo Despotović[3]

[1] ANDRITZ TEP d.o.o., Ulica 108. brigade ZNG 84, 35000 Slavonski Brod, R.Hrvatska
[2]Sveučilište u Slavonskom Brodu, Strojarski fakultet, Ulica 108. brigade ZNG 36, 35000 Slavonski Brod, R. Hrvatska
[3] Društvo za tehniku zavarivanja Slavonski Brod, Slavonski Brod 35000, R. Hrvatska

E-mail: tihomir.marsenic@andritz.com

Rezime: Navarene kotlovske komponente primjenjuju se za izradu kotlova koji primjenjuju otpad kao gorivo. Ovi kotlovi poznati su kao waste to energy boilers. Andritz TEP d.o.o. je jedan od najvećih proizvođača ovih tipova kotlova u Europi. U svom 20 godišnjem iskustvu u proizvodnji ovakvih tipova kotlova proizveo ih je više od 50. Najkritičnija mjesta ovakvih kotlova su mjesta spajanja, sučeoni spojevi navarnih cijevi. Kako se kotlovsko postrojenje isporučuje u Kanadu, kvalifikacija postupka zavarivanja se izvodi prema zahtjevima ASME BPVC Sekcija IX, edicija 2025. Prilikom kvalifikacije potrebno je definirati metod kvalifikacije, bitne i nebitne varijable zavarivanja za TIG postupak zavarivanja, metode i opsege ispitivanja uključujući kriterije prihvatljivosti koji se određuju prema zahtjevima ASME BPVC Sekcije I i IX, edicije 2025. Osim standardnih zahtjeva za kvalifikaciju, potrebno je ispitati kemijski sastava metala navara, odrediti minimlanu debljinu navarenog korozijski postojanog sloja. Glavni zahtjev za kemijski sastav se temelji na leguri koja se primjenjuje za navarivanje ERNiCrMo-3 i maksimalnom sadržaju željeza. Maksimalni dopušteni sadržaj željeza za ručno zavarivanje iznosi 7% Fe.

Ključne reči: Sučeoni spoj navarenih cijevi, ASME BPVC Sekcija IX edicija 2025, TIG varijable zavarivanja, Zahtjevi za kvalifikaciju postupka zavarivanja

Abstract: Cladded boiler components are used to make boilers that use waste as fuel. These boilers are known as waste to energy boilers. Andritz TEP is one of the largest producers of these types of boilers in Europe. In his 20 years of experience in the production of these types of boilers, he has produced more than 50 of them. The most critical places of these boilers are the connection points, the butt joints of the clad tubes. As the boiler is delivered to Canada, the qualification of the welding process is performed according to the requirements of ASME BPVC Section IX, Edition 2025. During the qualification, it is necessary to define the qualification method, essential and non-essential welding variables for GTAW welding process, the methods and scope of examinations including the acceptance criteria according to the requirements of ASME BPVC Section I and IX, Edition 2025. In addition to the standard qualification requirements, it is necessary to examine the chemical composition of the

corrosion resistant overlay metal, determine the minimum thickness of the corrosion-resistant layer. The main requirement for the chemical composition is based on the alloy used for the corrosion resistant overlay, ERNiCrMo-3, and the maximum iron content. The maximum acceptable iron content for manual welding is 7% Fe.

Key words: Butt joint of clad tubes, ASME BPVC Section IX, edition 2025, GTAW variables, Qualification requirements

1. UVOD

Porastom broja stanovnika u velikim gradovima sve je više komunalnog otpada koji negativno utječe na okoliš samim tim i na kvalitetu života, odnosno zdravlje ljudi i životinja. Andritz Termoenergetska Postrojenja d.o.o. (ATEP) nudi rješenje u tretiranju komunalnog nerazgradivog otpada kontroliranim izgaranjem na visokim temperaturama pri čemu se proizvodi toplinska energija koja se primjenjuje; za proizvodnju pare i električne energije, za grijanje stambenih objekata u naseljima, gradovima, za podršku industriji u pojedinim industrijskim procesima. Postrojenja u kojim se ovakvi procesi odvijaju nazivaju se "Waste to energy" (WtE) postrojenja koja su s aspekta zagađenja okoliša provjerena i sigurna. Najosjetljiviji dio takvog postrojenja je ložište kotla zbog visokih temperatura i agresivnih produkata izgaranja nastalih izgaranjem komunalnog otpada. Zbog toga se ložište ovakvih postrojenja često prevlači navarivanjem korozijski postojanim slojem. Sklopovi komponenti ložišta se međusobno spajaju zavarivanjem tako da se pri izradi susrećemo sa kompozitnim spojevima, najčešće sučeonim spojevima između navarenih cijevi. Kako se radi o tlačno nosivim zavarenim spojevima prema zahtjevu norme The American Sociaty of Mechanical Engineers, Boiler Pressure Vessel Code Section I, edition 2025 (ASME BPVC. I-2025), ove spojeve je potrebno kvalificirati.

2. OSNOVNI ZAHTJEVI ZA IZRADU I KVALIFIKACIJU POSTUPKA ZAVARIVANJA

ATEP proizvodi kotlove za "waste to energy" postrojenja više od dvadeset godina. Proizvodi ih većinom za europsko i sjeverno američko tržite, te je stoga certificiran prema PED direktivi 2014/68 EU i od The American Society of Mechanical Engineers te posjeduje S i U žig. Trenutno u radionicama ATEP-a proizvodi se jedan takav kotao za kanadsko tržište prema zahtjevima ASME BPVC.I-2025, dok se kvalifikacija postupaka zavarivanja i zavarivača odvija prema ASME BPVC.IX-2025. Dominantni tlačno nosivi spojevi u kladiranom području su sučeljeni spojevi između navarenih cijevi. Način kvalifikacije sučeonog spoja između navarenih cijevi je specificiran u ASME BPVC. IX-2025, paragraf QW-217, a može se provesti prema Metodi A ili B, ovisno o tome je li debljina korozijski postojanog sloja - kladiranog sloja uključena u proračun čvrstoće ili ne. Kako u promatranom slučaju debljina korozijskog postojanog sloja - navara nije uključena u proračun, kvalifikacija postupka zavarivanja može biti provedena prema „Metodi A" kada je navareni sloj uključen u proračun ili prema „Metodi B" kada se vlačno ispituje samo nosivi tlačni dio spoja bez navara. Prema metodi A, navar i tlačno nosivi dio zajedno trebaju biti podvrgnuti vlačnom testu, dok prema Metodi B samo tlačno nosivi dio treba biti podvrgnut vlačnom testu. Kako se tijekom izrade zavarenog sučeonog spoja primjenjuju dva dodatna materijala i priprema spoja je takva da je teško odvojiti zavarivanje dodatnim materijalom s ugljičnim čelikom od niklenog dodatnog materijala, kvalifikacija spoja zavarivanja je izvedena prema "Metodi A".

3. OSNOVNI I DODATNI MATERIJALI

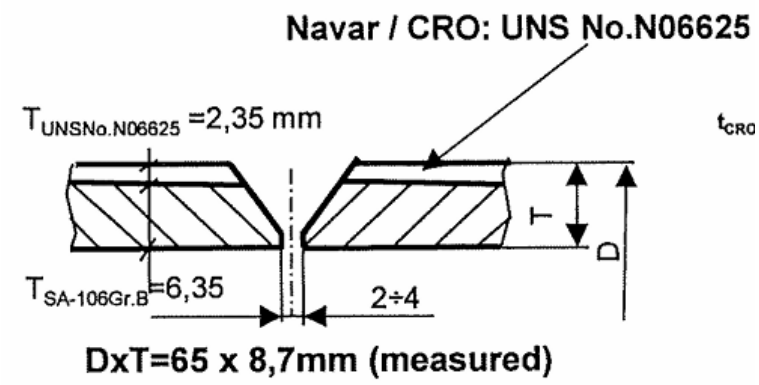
Na ovom projektu za izradu membranskih zidova kotla primjenjuje se osnovni materijal cijevi kvalitete SA-106 Gr.A, dimenzija 60,3 x 6,35 mm. Radi se o bešavnim cijevima s garantiranim kemijskim sadržajem za rad na visokim temperaturama. Cijev je izrađena od ugljičnog čelika s maksimalnim sadržajem ugljika 0,25% [1]. Ove cijevi su navarene niklenom legurom poznatom pod trgovačkim nazivom UTP A 6222 Mo, klasifikacijske oznake SFA A5.14: ERNiCrMo3 [2]. Prosječna debljina navarenog sloja iznosila je 2,35 mm, tako da ukupna debljina cijevi tlačno nosivog dijela i navarenog dijela iznosi 8,7 mm. Zavarivanje sučeonog spoja između navarenih cijevi je provedeno GTAW postupkom u položaju 5G, smjer zavarivanja odozdo prema gore (uphill progression). Zavarivanje je izvedeno s dva dodatna materijala, klasifikacijskih oznaka SFA-5.28: ER70S-A1, [3] i SFA A5.14: ERNiCrMo-3. Prvi dodatni materijal je niskolegirani ugljični čelik s 0,52% Mo, dok drugi dodatni materijal odgovara kemijskom sastavu navara, odnosno to je niklena legura koja spada u F-No.43 prema ASME BPVC IX-2025. Tablici QW-432. U Tablici 1. su prikazani kemijski sastavi osnovnog i dodatnih materijala iz pripadajućih certifikata. Kemijskih sastav i mehanička svojstva ovih materijala ispunjavaju zahtjeve navedene u specifikacijama.

Tablica 1. Kemijski sastav osnovnog i dodatnih materijala za zavarivanje

	KEMIJSKI SASTAV MATERIJALA CIJEVI (%)	KEMIJSKI SASTAV DODATNI MATERIJAL -1 (%)	KEMIJSKI SASTAV DODATNI MATERIJAL -2 (%)
Kemijski elementi ↓	SA-106 Gr.A; Heat No.754829	SFA-5.28: ER70S-A1 (DMO-IG) Heat No. 108374	SFA A5.14: ERNiCrMo-3 UTP A 6222 MO; UNS No.NO6626 Heat No. 107662
C	0,08	0,1	<0,01
Si	0,2	0,61	0,04
Mn	0,5	1,11	0,02
P	0,013	0,009	0,003
S	0,003	0,012	0,001
Cr	0,13	<0,1	22,36
Mo	0,04	0,52	8,9
Ni	0,12	<0,1	64,43
V	0,003	<0,01	-
Cu	0,18	<0,1	0,02
Ti	-	<0,01	0,17
Al	-	<0,01	0,14
Nb	-	-	3,47
Fe	-	-	0,36
Ta	-	-	0,003

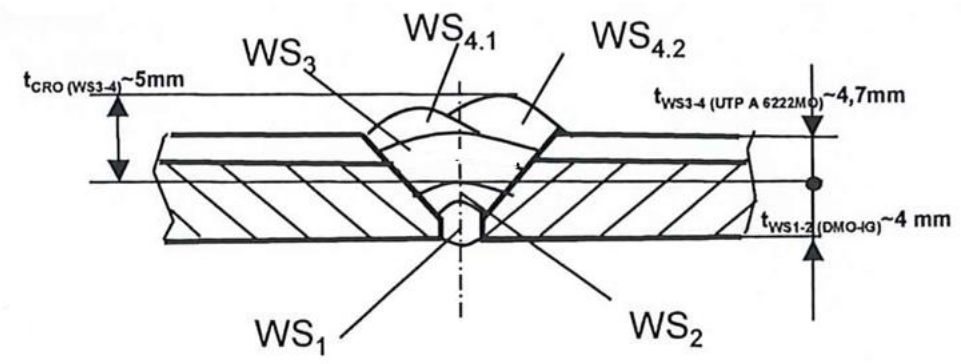
4. GTAW VARIJABLE ZAVARIVANJA I NAVARIVANJA

Zavarivanje i ispitivanje sučeljenih zavara ovisi o zahtjevima specificiranim na crtežu. Osnovni zahtjev se odnosi na nosivost zavarenog spoja, odnosno je li nosivost tlaka u cijevi ostvarena samo stijenkom cijevi ili zajedno stijenkom cijevi i navarom. Uglavnom dosadašnja praksa pokazuje da je za nosivost tlaka u cijevi zadužena debljina stijenke cijevi bez navara, dok je za korozijsku postojanost cijevi odgovoran navareni sloj.
Kvalifikacija zavarivanja je provedena prema ASME BPVC.IX-2025, Artiklu II. U Artiklu II su posebno definirane varijable za zavarivanje i navarivanje. Tijekom specificiranja upute za zavarivanje (WPS) posebno se definiraju bitne i nebitne varijable za zavarivanje, odnosno za navarivanje. Ispod su navedene varijable za zavarivanje [4];
- Postupak zavarivanja; TIG (GTAW) ručni – elektrolučni postupak zavarivanja između netaljive volframove elektrode i radnog komada u zaštiti inertnog plina.
- Priprema spoja je nebitna varijabla prema normi, ali je vrlo važna za korektno zavarivanje i navarivanje sučeonog spoja, slika 1.



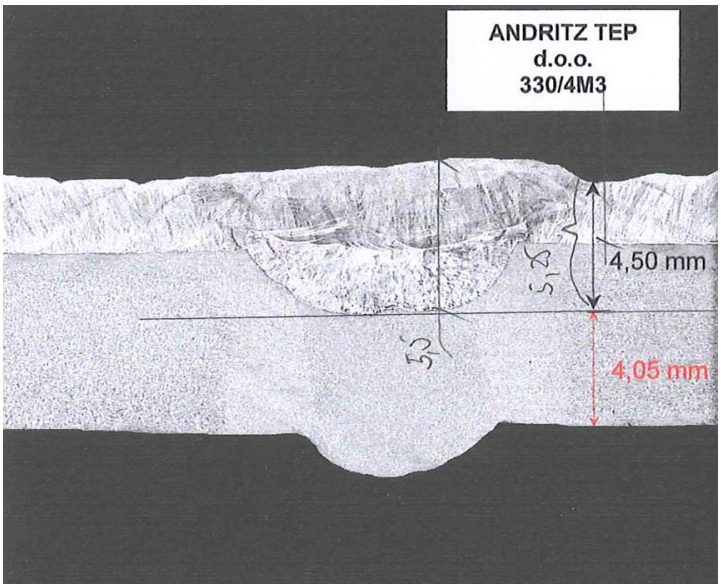
Slika 1. Priprema sučeonog spoja na navarenoj cijevi s otvorom kuta 60°

Razmak u grlu žlijeba ovisi o promjeru dodatnog materijala, položaju zavarivanja, broju međusobno povezanih spojeva na proizvodu, odnosno tvorničkoj praksi i iskustvu tako da može biti veći od 2 mm. Tijekom zavarivanja nije primjenjena podloga ili držač taline. Dimenzije spoja uključuju i navareni dio na cijevi, DxT=Ø65x8,7 mm.
- Dodatni materijal za zavarivanje ima klasifikacijsku oznaku ER70S-A1 prema SFA-5.28, gola puna šipka. Ovim dodatnim materijalom zavarena su prva dva sloja, korijen i vrući prolaz, debljine depozita 4 mm, slika 2. Po kemijskom sastavu nešto se razlikuje od osnovnog materijala cijevi, ima u sebi molidbena i po mehaničkim svojstvima ispunjava zahtjeve.



Slika 2. Broj prolaza i redoslijed polaganja gusjenica na sučeonom spoju navarene cijevi

Tijekom zavarivanja primjenjen je promjer dodatnog materijala Ø2,4 mm. Određene su bitne varijable; F-No.6 koja se odnosi na grupiranje elektroda i žica s aspekta primjene i zavarljivosti i A-No.2 koja se odnosi na kemijski sastav metala zavara. Nije primjenjivan prašak za povećanje penetracije. Nakon zavarivanja prva dva sloja zavarivanje je nastavljeno s dodatnim materijalom klasifikacijske oznake SFA A5.14 ERNiCrMo3, UNS NO. NO6625 kojem pripada F-No.43, a kako metal zavara proizveden s ovim dodatnim materijalom nije čelik, umjesto A-No.dodjeljen je nominalan kemijski sastava metala zavara SFA A5.14 ERNiCrMo3 na temelju zahtjeva norme. Debljina depozita ovim dodatnim materijalom je 4,7 mm, slika 2, što se uzima kao referentna debljina za određivanja područja kvalifikacije.
- Položaj zavarivanja je odgovarao položaju koji će se primjenjivati tijekom izvođenja u radionici; 5G vertikalno zavarivanje prema gore.
-Tijekom zavarivanja nije primjenjeno predgrijavanje, niti toplinska obrada nakon zavarivanja.
- Zaštitni plin je argon; AWS-5.32, klasifikacijske oznake I1, s protokom 8 l/min. Također nije primjenjen korijeni plin niti prateći plin (trailing gas) kao zaštitni plin.
- Struja zavarivanja je istosmjerna, gorionik na minus polu, a kretala se u području od 125 do 145A bez pulsiranja. Volframova elektroda je promjera Ø 2,4 mm, kvalitete WGLa17Zr0,8Y0,8. Zavarivanje je izvedeno jednostrano bez žljebljnja u dva sloja s njihanjem. Veličina unutarnjeg promjera sapnice je 10 mm. Tijekom i nakon zavarivanja spoj se čistio žičanom četkom bez popuštanja napetosti udaranjem „čekićanjem“.
Navarivanje se smatra specijalnim procesom prema ASME BPVC.IX-2025. Kod WtE kotlova primjenjuje se za kreiranje zaštitnog korozijski postojanog sloja gdje su produkti izgaranja najagresivniji, tako da je kvalifikacija postupka navarivanja provedena u skladu sa zahtjevima za „corrosion resistant overlay“. Za navarivanje je primjenjen također TIG (GTAW) ručni postupak. Bitne i nebitne varijable za TIG postupak navarivanja korozijski postojanog sloja su;
-Debljina navara na proizvodu treba odgovarati minimlanoj kvalificiranoj debljini navarenog sloja. U ovom slučaju uzima se ukupna debljina depozita; debljina metala zavara u žlijebu plus nadvišenje zavara izvedeno s niklenom žicom ERNiCrMo3, na mjestu gdje je kontroliran kemijski sastav, npr. slika 3.



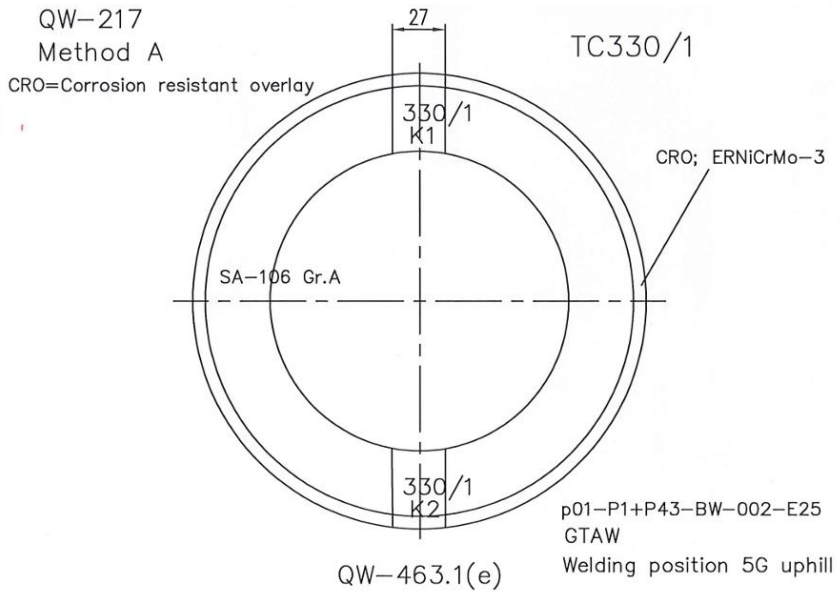
Slika 3. Minimalna debljina navarenog sloja iznosi 5,5 mm; depozit u žlijebu plus nadvišenje na mjestu mjerenja kemijskog sastava metala zavara

-Osim cijevi, materijal podloge je i debljina prva dva sloja izvedena TIG postupkom i iznosi 4,05 mm prema slici 3. Cijev kvalitete SA-106 Gr.A spada u P-No.1 dok kao podloga koristi se i metal zavara koji je A-No.2.
-Položaj navarivanja je 5G, navarivanje odozdo prema gore.
-Predgrijavanje nije primjenjivano, a najviša zabilježena međuprolazna temperatura je 120 ºC.
-Zaštitni plin je argon, AWS-5.32 - I1 s protokom 8 l/min.
-Što se tiče električnih karakteristika, navarivanje je izvedeno istosmjernom strujom jakosti 145 A, gorionik na minus polu, dok je napon iznosio 14,5 V. Unos topline je bitna varijabla samo za prvi sloj, a maksimalni zabilježeni je 213,8 J/mm^2.
-Opis tehnike navarivanja; izvedeno je s minimalnim šetanjem, maksimalna ukupna širina šetanja je 6 mm, unutarnji promjer keramičke sapnice je 10 mm, čišćenje između prolaza je ručnim četkanjem s četkom na bazi nikla, udaranje „čekićanje“za popuštanje napetosti se nije primjenjivalo. Navarivanje je izvedeno u tri sloja s jednom netaljivom volframovom elektrodom. Dodavanje dodatnog materijala, šipke u rastaljenu kupku je s prednje strane, odnosno ispred električnog luka. Maksimalna širina gusjenice iznosila je 10 mm.

5. ZAHTJEVANA ISPITIVANJA I REZULTATI ISPITIVANJA

Prema zahtjevima ASME BPVC.IX-2025, Table QW-453 provedena su sljedeća ispitivanja za sučeoni zavareni i navareni spoj na cijevi;

1. Vizulano ispitivanje zavarenog i navarenog spoja uključujući penetransko ispitivanje lica zavara, odnosno navara. Ispitivanja su ispunila zahtjeve ASME BPVC.IX-2025, QW-194 i QW-195. Dodatno u odnosu na zahtjev norme provedeno je radiografsko ispitivanje jer se isto provodi tijekom proizvodnje komponenti.
2. Lokacija uzimanja epruveta za ispitivanje vlačne čvrstoće je definirana u ASME BPVC.IX-2025, QW-463.1 (e), a na slici 4 je prikazana shematski za kvalifikacijski ispitni uzorak. Alternativna epruveta sa suženim dijelom za ispitivanje vlačne čvrstoće uključuje i navareni sloj, a pripremljena je u skladu s normom ASME BPVC.IX-2025, Figure QW-462.1(c)



Slika 4. Mjesto uzimanja epruveta za ispitivanje čvrstoće kidanjem prema Figure QW-463.1(e)

Rezultati ispitivanja vlačne čvrstoće prikazani su u Tablici 2.

Tablica 2. Vrijednosti vlačnih čvrstoća zavarenog sučeonog spoja na navarenoj cijevi [5]

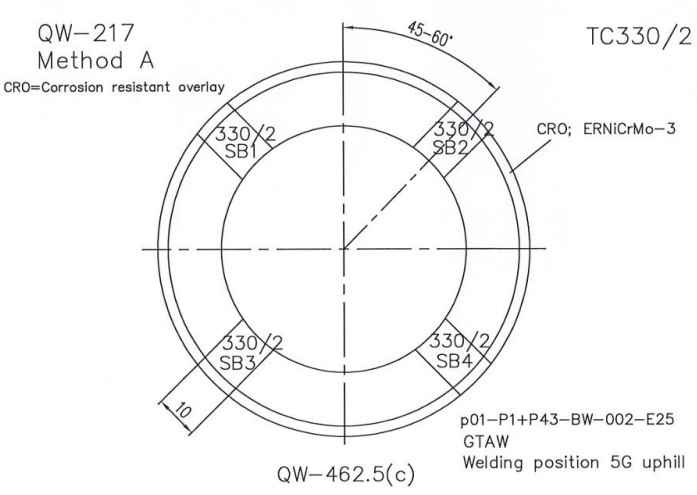
Uzorak	Vlačna čvrstoća (MPa)	Mjesto loma	Ocjena
330/1-K1	524	Osnovni materijal	Zadovoljava
330/1-K2	523	Osnovni materijal	Zadovoljava

Kriterij za vrijednost minimalne vlačne čvrstoće sučeono zavarene i navarene cijevi uzima se za osnovni materijal, cijev kvalitete SA-106 Gr.A, prema ASME BPVC.IX-2025, paragraf QW-217 (a) (5) i iznosi 450 MPa (N/mm2). Lom epruvete tijekom kidanja je bio na osnovnom materijalu, slika 5. Na temelju navedenih rezultata ispitivanja vlačne čvrstoće rezultati su zadovoljavajući.



Slika 5. Mjesto loma na epruveti za kidanje

3. Osim vlačne čvrstoće potrebno je ispitati četiri bočna savijanja. Na slici 6 su lokacije uzimanja epruveta za bočna savijanja.



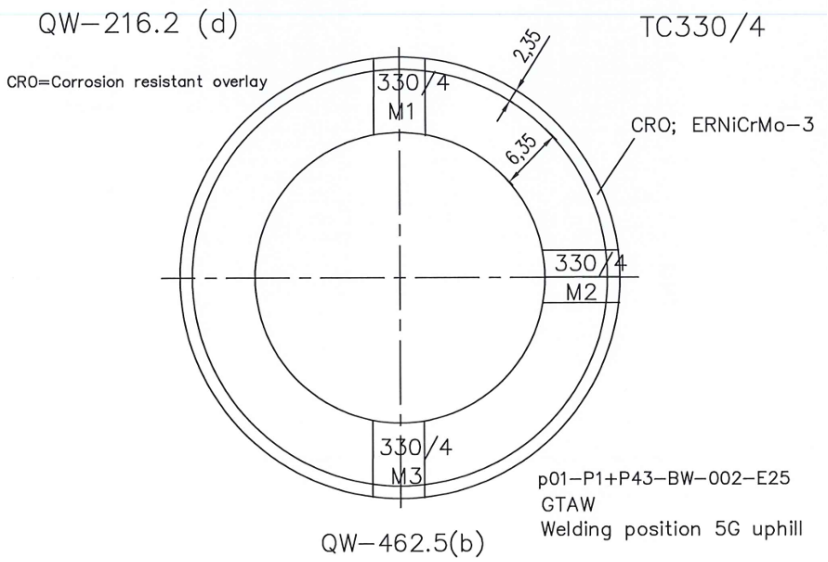
Slika 6. Lokacije uzimanja epruveta za bočna savijanja u skladu sa ASME BPVC.IX-2025 Figure QW-462.5 (c)

Epruveta je pripremljena prema ASME BPVC.IX-2025 Figure QW-462.2, a sama procedura savijanja provedena je prema QW-162, s radijusom savijanja 20 mm i kutem savijanja 180º. Kriteriji prihvatljivosti je definirani u QW-163 (b). Nisu dopušteni otvoreni diskontinuiteti veći od 1,5 mm na konveksnoj strani savijene epruvete u bilo kojem smjeru na navaru, dok za zavar maksimalni otvoreni diskontinuitet je 3 mm. Na slici 7. su prikazane savijene epruvete koje nisu imale otvorene diskontinuitete [5].



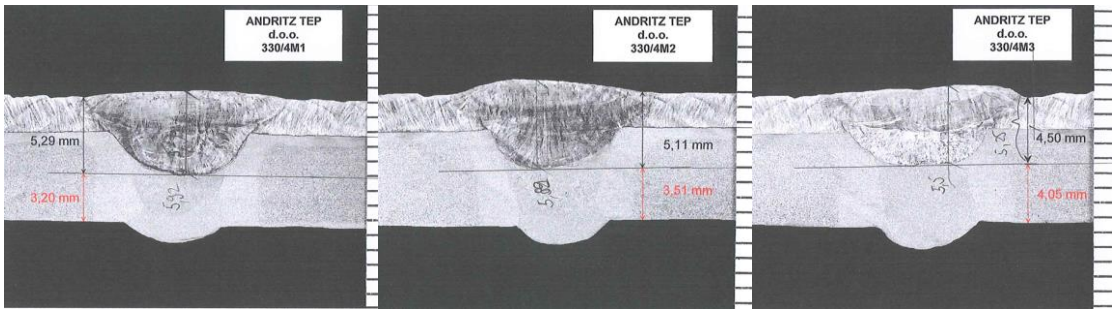
Slika 7. Bočno savijene epruvete sučeonog zavara na cijevi uključujući i navar

4. Kako se za zavarivanje sučeonog spoja navarene cijevi primjenjuju dva dodatna materijala, potrebno je odrediti područja debljina depozita za oba dodatna materijala. U WPS-u je definiran zahtjev za kemijski sastav navara, maksimalno 7% željeza, na temelju toga potrebno je odrediti minimalnu kvalificiranu debljinu navarenog sloja. Prema ASME BPVC.IX-2025, Figure QW-462.5 (b) potrebno je pripremiti 3 makro uzorka iz kojih se određuje minimalana kvalificirana debljina depozita navara. Na površini navara makro epruveta određuje se kemijski sastav navarenog sloja. Na slici 8 je skica uzimanja makro uzoraka u skladu sa ASME BPVC.IX-2025, Figure QW-462.5(b).



Slika 8. Lokacije ispitivanja kemijskog sastava navarenog sloja i uzimanja makro uzoraka za određivanje minimalne kvalificirane debljine navara za položaj zavarivanja 5G, minimalno tri uzorka

Nakon pregleda sva tri makro uzorka nisu otkrivene anomalije, slika 9. Najveća postignuta debljina depozita sa TIG žicom klasifikacijske oznake ER70S-A1 je 4,05 mm, dok je minimalna debljina navarenog sloja 5,5 mm izvedena niklenom žicom klasifikacijske oznake SFA A5.14 ERNiCrMo3, UNS NO. NO6625. Obje vrijednosti su zabilježene na makro uzorku 330/4M3 [6].



Makro uzorak 330/4M1 Makro uzorak 330/4M2 Makro uzorak 330/4M3

Slika 9. Makro uzorci pripremljeni iz sučeono zavarenog spoja navarene cijevi oznake 330/4 u skladu s ASME BPVC.IX-2025, Figure QW-462.5(a) i (b) [6].

Kvalificirana debljina navarenog sloja je prihvatljiva samo u slučaju ako je kemijski sastav u skladu sa sastavom specificiranim u WPS-u. U ovom slučaju maksimalni dopušteni sadržaj Fe je 7% za ručno TIG navareni sloj. U tablici 3 može se vidjeti kemijski sastav određen pozitivnom identifikacijom materijala primjenom spektroanalizatora Hitachi XMET 8000. Na sva tri makro uzorka sadržaj Fe je manji od 7% što upućuje da su definirane i primjenjene varijable tijekom zavarivanja i navarivanja prihvatljive. Također ostale vrijednosti elemenata Cr, Ni, Nb i Mo su u skladu sa specifikacijom dodatnog materijala ASME BPVC. IIC-2025, SFA 5.14.

Tablica 3. Kemijski sastav na površini navarenog sloja, maseni postotak [7]

Uzorak	Cr %	Fe %	Ni %	Nb %	Mo %
330/4M1	21,82	3,08	63,3	3,23	8,16
330/4M2	21,13	3,67	63,4	3,27	8,27
330/4M3	21,40	4,22	62,61	3,26	8,15

6. ZAKLJUČAK

Na temelju provedene kvalifikacije postupka zavarivanja i navarivanja na navarenoj cijevi kvalitete SA106 Gr.A i navarenog sloja kvalitete SFA A5.14: ERNiCrMo-3, zaključak je sljedeći:

1. TIG (GTAW) postupak uspješno je kvalificiran za zavarivanje sučeonih spojeva navarenih cijevi.
2. Vlačna ispitivanja pokazala su vrijednosti čvrstoće od 524 MPa i 523 MPa, što je veće od minimalno specificirane vlačne čvrstoće 450 MPa i zadovoljava zahtjeve ASME BPVC. IX-2025, paragraf QW-153.

3. Lomovi na vlačnim epruvetama nastali su izvan metala zavara, čime je potvrđena kvaliteta i nosivost zavarenog spoja.
4. Bočnim savijanjem nisu otkriveni otvoreni diskontinuiteti na ispitnim palicama
5. Kemijskom analizom navarenog sloja potvrđena je prisutnost karakterističnog kemijskog sastava za dodatni materijal klasifikacijske oznake ERNiCrMo-3 uz sadržaj željeza manji od 7% što ukazuje da tijekom navarivanja sučeonog spoja unos topline treba biti maksimalno 213,8 J/mm^2.
6. Makrostruktura zavara i navara nije otkrila nikakve anomalije ili prisutnost neprihvatljivih grešaka poput pukotina, naljepljivanja, neprovarenosti korijena. Na makro uzorcima su utvrđene kvalificirane debljine depozita za oba dodatna materijala; ER70S-A1 i ERNiCrMo-3 .
7. Kvalificirani postupak zavarivanja i navarivanja prikladan je za primjenu u proizvodnji tijekom izrade komponenti za WtE kotlove, gdje se zahtijeva visoka korozijska postojanost i dug radni vijek komponenata u agresivnoj sredini.
8. Proces kvalifikacije sučeonog spoja između navarenih cijevi prema ASME BPVC. IX-2025 je vrlo kompleksan i dugo traje jer uključuje; pripremu preliminarnog WPS-a koji sadrži varijable za zavarivanje i navarivanje, definiranje potrebnih ispitivanja i provođenje istih, zatim izradu dokumenata koji se zahtjevaju za kvalifikaciju postupaka zavarivanja i navarivanja.

LITERATURA

[1] ASME BPVC. IIA-2025, SA-106/SA-106M: Standard Specification for Seamless Carbon Steel Pipe for High-Temperature Service, The Society of Mechanical Engineers, New York, Edition 2025.

[2] ASME BPVC. IIC-2025 SFA-5.14: Specification for Nickel and Nickel-Alloy Bare Welding Electrodes and Rods, The Society of Mechanical Engineers, New York, Edition 2025.

[3] ASME BPVC. IIC-2025, SFA-5.28: Specification for Low-Alloy Steel Electrodes and Rods for Gas Shielded Arc Welding, The Society of Mechanical Engineers, New York, Edition 2025.

[4] ASME BPVC. IX-2025, Qualification Standard for Welding, Brazing, and Fusing P; Welders; Brazers; and Welding, Brazing, and Fusing Operators, The Society of Mechanical Engineers, New York, Edition 2025.

[5] Josip Kušner mag.ing.mech., Izvještaj o mehaničkim svojstvima, M-043/26, Đuro Đaković Centar za istraživanje i razvoj d.o.o., 2026, Slavonski Brod, R. Hrvatska.

[6] mr.sc. Mirella Sekulić-Mustapić, dipl.ing., Izvješće o ispitivanju, MG-078/26, Đuro Đaković Centar za istraživanje i razvoj d.o.o., 2026, Slavonski Brod, R. Hrvatska.

[7] Ilija Gluvaković, Pozitivna identifikacija materijala – izvještaj, Dok. Br.: 26.0282 1983 920.001.01 RPMI01 ANDRITZ TEP d.o.o., Slavonski Brod, R. Hrvatska