

KOMPENZATORI ZA TLAČNU PRIMJENU-PRIMJENA TEHNOLOGIJE ZAVARIVANJA

METAL BELLOWS EXPANSION JOINTS FOR PRESSURE APPLICATION- APPLICATION OF WELDING TECHNOLOGY

Pavić Josip¹, Samardžić Ivan², Marić Dejan², Horvat Marko³, Jadranka Eržišnik⁴

¹ Đuro Đaković Kompenzatori d.o.o., Dr. Mile Budaka 1, 35000 Slavonski Brod, Hrvatska

² University of Slavonski Brod, Mechanical Engineering Faculty, Trg I. Brlić Mažuranić 2, 35000 Slavonski Brod, Hrvatska

³ Sveučilište Sjever, Sveučilišni centar Varaždin, 104. brigade 3, 42000 Varaždin, Hrvatska

⁴ Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Ivana Lučića 5, 10002 Zagreb, Hrvatska

Cljučne riječi: kompenzatori, tlačna primjena, tipični zavareni spojevi, izbor postupaka zavarivanja

Key words: metal bellows expansion joints, pressure applications, typical welded joints, selection of welding processes

Sažetak: U radu se opisuju iskustva Đuro Đaković Kompenzatora d.o.o. vezana uz primjenu tehnologije zavarivanja u izradi kompenzatora. Opisuju se kriteriji pri odabiru postupka zavarivanja ovisno o obliku spoja, vrsti materijala, temperaturi, zahtjevima za kvalitetom zavarenog spoja i tehnološkim mogućnostima (strojnim i ljudskim).

Abstract: The paper describes the experiences of Đuro Đaković Kompenzatori d.o.o. related to the application of welding technology in the manufacture of metal bellows expansion joints. The criteria for selecting the welding process are described depending on the shape of the joint, type of material, temperature, requirements for the quality of the welded joint and technological capabilities (machine and human).

1 UVOD

Kompenzatori su neizostavni dio pri izradi cjevovoda i posuda pod tlakom zbog svoje sposobnosti prihvaćanja promjena dimenzija cjevovoda koje su najčešće izazvane promjenama temperature (okoliša i/ili medija), tlaka, vibracijama ili vanjskim fizičkim kretanjima [1,2,3].

Projektiranje, proizvodnja i ugradnja kompenzatora određena je zahtjevima norme EN 14917, PED 2014/68/EU i EJMA X. Đuro Đaković Kompenzatori d.o.o. potvrđen je i priznat kao proizvođač tlačne opreme i cjevovoda te posjeduje certifikate u skladu sa zahtjevima normi AD 2000-Merkblatt HP0, DIN EN ISO 3834-2, PED 2014/68/EU, DIN EN 13445 i DIN EN 13480.

U tablici 1. dan je pregled dokumentacije koju je potrebno osigurati prije početka proizvodnje, ovisno u koju kategoriju opreme pod tlakom pripada kompenzator [1].

Pristup Đuro Đaković Kompenzatora d.o.o. je kvalifikacija postupaka zavarivanja u skladu sa normama PED 2014/68/EU, EN ISO 15614-1 i AD 2000 HP 2/1, kvalifikacija zavarivača prema normi PED 2014/68/EU, EN ISO 9606-1, EN ISO 9606-4 i AD 2000 HP3, te kvalifikacija operatera zavarivanja prema normi PED 2014/68/EU, EN ISO 14732 i AD 2000 HP3 uz nadzor ovlaštenog akreditiranog društva. Na ovaj način kvalifikacije postupaka zavarivanja, zavarivača i operatera za zavarivanje zadovoljavaju najstrože zahtjeve i osiguravaju svoju najširu primjenu u proizvodnji kompenzatora. [4]

Tablica 1. Lista dokumenata prema normi EN 14917 [1]

Objekt	Dokument	Kategorija			
		I	II	III	IV
Dizajn	Crteži i popis dijelova	Da			
	Proračun dizajna				
Tehnički zahtjevi	Planovi proizvodnje i kontrole				
	Specifikacija postupka zavarivanja (WPS)				
	Kvalifikacija zavarivača				
	Kvalifikacija operatera zavarivanja				
	NDT procedure				
	Procedura tlačne probe				
	Procedura toplinske obrade, gdje je primjenjivo				
Vanjsko odobrenje ovlaštenog tijela	Kvalifikacija postupaka zavarivanja (WPQR)				
	Kvalifikacija zavarivača				
	Kvalifikacija operatera zavarivanja				
	Kvalifikacija NDT operatera				
	Odobrenje odstupanja proračunske metode, ako je primjenjivo	Ne		Da	

Osiguranje kvalitete proizvoda, kompenzatora, direktno je vezano uz osiguranje kvalitete izvođenja zavarivačkih radova i ispunjenjem zahtjeva navedenih normi.

2 TEHNOLOŠKA RAZRADA IZRADE KOMPENZATORA

U osnovi proizvodnja kompenzatora sastoji se od izrade harmonike i ostalih dijelova te montaže i zavarivanja dijelova u jednu cjelinu. Tehnologija oblikovanja harmonika na specijalno izrađenim strojevima za tu namjenu i tehnologija zavarivanja su osnovne i nezaobilazne tehnologije u proizvodnji kompenzatora.

Na slici 1. i slici 2. prikazani su strojevi za formiranje valova harmonike hladnim oblikovanjem, valjanjem između gornjeg i donjeg alata u nekoliko faza. Oblik vala, broj valova, visina vala, unutrašnji i vanjski promjer vala, širina vala, broj i debljina slojeva predstavljaju zahtjevane proračunske veličine koje su nužne za funkcioniranje kompenzatora.



Slika 1. Oblikovanje na stroju Mandrel



Slika 2. Oblikovanje na stroju Solar

Specifičnosti koje je potrebno razmotriti pri razradi tehnologija zavarivanja su kvaliteta materijala koji se zavaruje, debljina materijala, minimalna i maksimalna radna temperatura, promjer, dužina zavora, broj komada (opravdanost korištenja alata i naprava za zavarivanje), kapacitet i raspoloživost opreme za zavarivanje i druge oprema (dizalice, valjci za savijanje...), raspoloživost kvalificiranih postupaka za zavarivanje, zavarivača i operatera za zavarivanje, pristupačnost zavarenim spojevima i zahtjevana NDT ispitivanja.

Za izradu dijelova kompenzatora koriste se nehrđajući austenitni čelici, vatrootporni čelici, nikl legure i ugljični čelici ovisno o mehaničkim i fizikalnim svojstvima pojedinih materijala, te njihovoj otpornosti na kemijske, fizikalne i biološke utjecaje i njihovoj otpornosti na djelovanje agresivnih medija. U Đuro Đaković Kompenzatori d.o.o. najčešće primjenjivane grupe materijala prema ISO/TR-15608 su 1.1, 1.2 $R_{eH} \leq 355 \text{ N/mm}^2$, 8.1, 8.2, 42, 43 i 45. Pored zavarivanja navedenih materijala pri izradi dijelova kompenzatora, pri montaži dijelova nezaobilazna i standardna praksa je zavarivanje raznorodnih materijala. [5, 6]

Harmonike općenito imaju debljinu stijenke manju od ostalih dijelova, 0,12 – 3,0 mm, te se za njihovu izradu većinom koriste nehrđajući austenitni čelici i nikl legure koje imaju veću otpornost na koroziju od ostalih dijelova kompenzatora. Ostali dijelovi većinom se izrađuju od ugljičnih čelika debljine do 120 mm, nehrđajućih austenitnih čelika, vatrootpornih čelika do debljine 50 mm i nikl legura do debljine 30 mm.

Standardni promjeri kompenzatora su između 15 - 5500 mm, i obično se manji kompenzatori (do promjera 100 mm) proizvode u većim serijama, te su pogodni za mehanizirana i automatska zavarivanja, slika 3. Kod kompenzatora koji prelaze promjer 1500 mm obično je riječ o pojedinačnim ili malim serijama kompenzatora posebno dizajniranih za određeni projekt. Sučeljeni spojevi na harmonikama isključivo se zavaruju TIG postupkom zavarivanja bez dodatnog materijala na automatima za zavarivanje, slika 4.



Slika 3. Stroj za zavarivanje u paknama



Slika 4. Stroj za uzdužno zavarivanje cijevi

3 TEHNOLOGIJA ZAVARIVANJA

Đuro Đaković Kompenzatori d.o.o. primjenjuju slijedeće postupke zavarivanja (prema EN ISO 4063):

- 142 TIG zavarivanje bez dodatnog materijala,
- 141 TIG zavarivanje sa punom žicom-ručno,

- 135 MAG zavarivanje sa punom žicom-djelomično mehanizirano,
- 136 MAG zavarivanje sa praškom punjenom žicom-djelomično mehanizirano,
- 121 EPP zavarivanje sa punom žicom-potpuno mehanizirano,
- 111 REL ručno elektrolyčno zavarivanje.

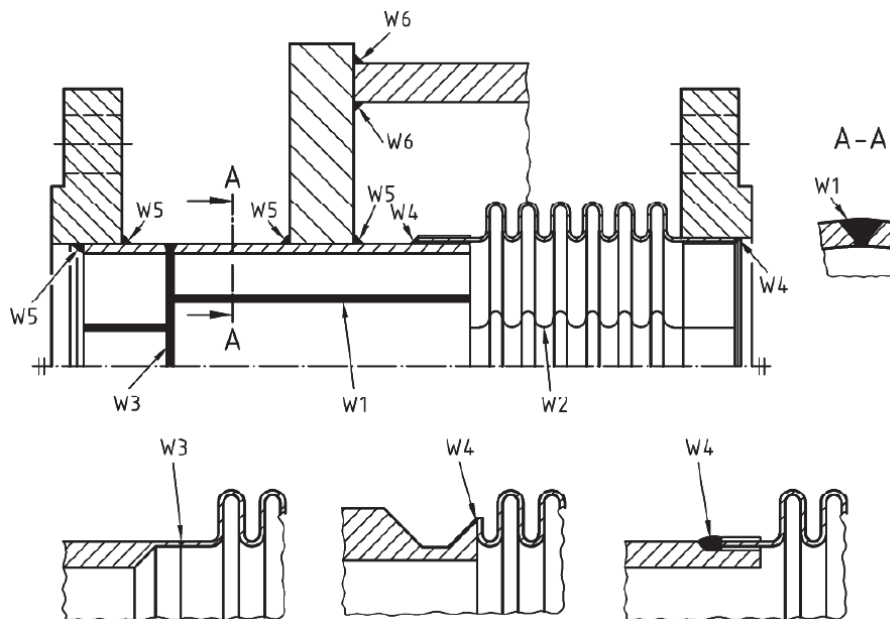
Primjena pojedinih postupaka zavarivanja ovisi i o dijelovima koji se zavaruju i o tipičnim zavarenim spojevima na kompenzatorima.

Dijelovi kompenzatora mogu se razvrstati u četiri osnovne grupe [1]:

- *Glavni dijelovi pod tlakom (A)*,
dijelovi i sklopovi (harmonika, cijevni nastavci, prirubnice...) koji su u kontaktu sa medijem i opterećeni tlakom i koji su prema svom dizajnu i razini naprežanja osnovni dijelovi vezani uz integritet opreme pod tlakom,
- *Tlačni dijelovi, osim glavnih dijelova indirektno opterećeni tlakom (B)*,
dijelovi i sklopovi (sprege poluga, leteće prirubnice, nosači spreznih vijaka...) koji su indirektno opterećeni tlakom i nemaju izravan kontakt sa medijem,
- *Priključci za glavne dijelove pod tlakom i tlačne dijelove (C)*,
dijelovi (rukavci, prstenovi i prirubnice za ojačavanje, transportne uške, nosači zaštita...) koji su izravno zavareni na dijelove A ili B,
- *Ostali dijelovi (D)*.
dijelovi (zaštite, transportni vijci...) koji nisu dijelovi A, B ili C.

Tipični zavareni spojevi na kompenzatorima prikazani su na slici 5. [1]:

- W1 Uzdužni sučeljeni zavareni spoj,
- W2 Uzdužni sučeljeni zavareni spoj na harmonikama,
- W3 Kružni sučeljeni zavareni spoj,
- W4 Kutni i rubni zavareni spoj harmonika,
- W5 Kutni zavareni spoj dijelova A-A i A-B,
- W6 Kutni zavareni spoj dijelova B-B,
- W7 Zavareni spojevi koji nisu pod tlakom vezani uz dijelove C i D (ovi zavari nisu prikazani na slici).



Slika 5. Tipični zavareni spojevi na kompenzatorima [1]

3.1 W1 Uzdužni sučeljeni zavareni spoj

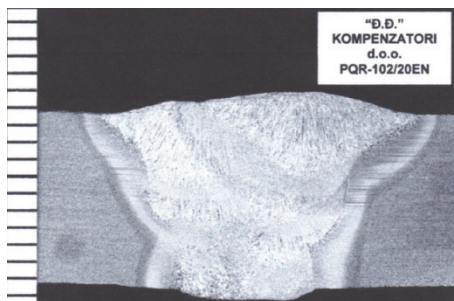
Debljina 3 - 30 mm i dužina do 2000 mm, ovih zavarenih spojeva, prvenstveno ovisi o kapacitetu valjaka za savijanje cijev. Najčešće korišteni postupci zavarivanja su MAG i TIG. Kod zavarivanja ugljičnih čelika za zavarivanje korjena koristi se STT postupak (varijanta MAG postupka), a za popunu MAG postupak punom i praškom punjenom žicom. Za zavarivanje austenitnih nehrđajućih i vatrootpornih čelika koristi se MAG postupak sa praškom punjenim žicama uz korištenje keramičkih podloga ili dvostrano zavarivanje sa žljebljenjem korjena zavara. Primjena TIG postupka je obično za zavarivanje korjena zavara i kod zavarivanja manjih debljina i kratkih zavara.

Primjeri atestiranih postupaka zavarivanja s osnovnim parametrima zavarivanja.

Parametri vezani uz sliku 6:

- Osnovni materijal: EN 10028-3: P355NL1 (1.0566),

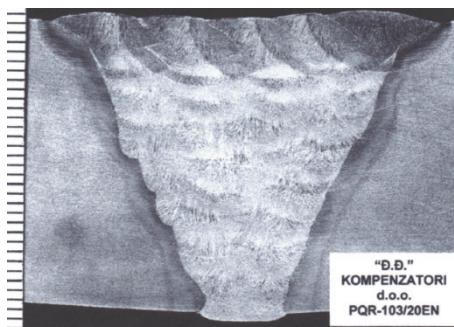
- Debljina: 10 mm,
- Postupak zavarivanja: 135-D (STT) korjen + 135-P popuna,
- Dodatni materijal: EN ISO 14341-A: G 42 4 M21 G3Si1,
- Zaštitni plin ISO 14175: M21.
- Parametri zavarivanja: korijen: $\varnothing 1,0$; 90A; 15V; 8 cm/min, popuna: $\varnothing 1,2$ mm ; 190 - 203A; 24 - 25V; 40 - 50 cm/min,
- Žilavost ispitana na -30 °C.



Slika 6. Makrostruktura zavara-MAG [7]

Parametri vezani uz sliku 7:

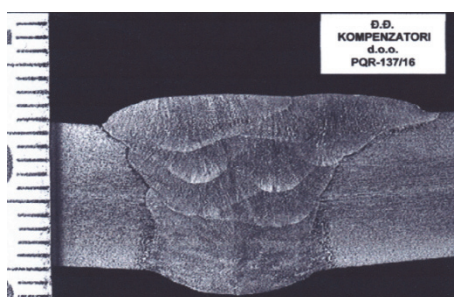
- Osnovni materijal: EN 10028-3: P355NL2 (1.1106),
- Debljina: 30 mm,
- Postupak zavarivanja: 135-D (STT) korjen + 135-P popuna,
- Dodatni materijal: EN ISO 14341-A: G 42 4 M21 G3Si1,
- Zaštitni plin ISO 14175: M21.
- Parametri zavarivanja: korjen: $\varnothing 1,0$; 90A; 15V; 8 cm/min, popuna: $\varnothing 1,2$ mm; 195 - 220A; 24 - 25V; 25 - 45 cm/min,
- Žilavost ispitana na -30 °C.



Slika 7. Makrostruktura zavara-MAG [8]

Parametri vezani uz sliku 8:

- Osnovni materijal: EN 10028-7: X6CrNiMoTi 17-12-2 (1.4571),
- Debljina: 10 mm,
- Postupak zavarivanja: 136-P sa keramičkom podlogom,
- Dodatni materijal: EN ISO 17633-A: T 19 12 3 LP M1,
- Zaštitni plin ISO 14175: M21,
- Parametri zavarivanja: $\varnothing 1,2$ mm; 180 - 220A; 25 - 26V; 30 - 45 cm/min,
- Žilavost ispitana na -30 °C.



Slika 8. Makrostruktura zavara-MAG [9]

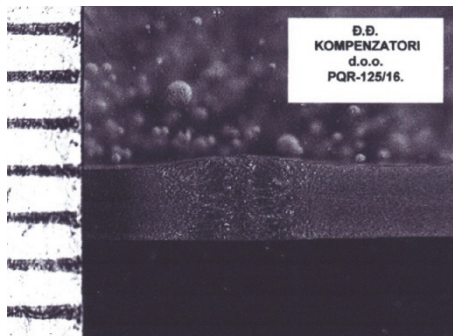
3.2 W2 Uzdužni sučeljeni zavareni spoj na harmonikama

Uzdužni sučeljeni spojevi na harmonika isključivo se rade TIG postupkom zavarivanja bez dodatnog materijala na strojevima specijalno izrađenim za tu namjenu. Zavarivanje se odvija između gornjih i donjih letava izrađenih od berilij bronce uz plinsku zaštitu korjena i lica zavora. Pretaljivanjem rubova lima formira se zavor koji po svojim mehaničkim svojstvima ne odstupa od svojstava osnovnog materijala. Prema internim zahtjevima dozvoljena odstupanja debljine zavora od debljine osnovnog materijala (s) kreću se u rasponu od 0,9 s - 1,15 s. Dozvoljeno stanjenje proračunski zadovoljava, dok preveliko zadebljanje zavora može uzrokovati probleme kod oblikovanja harmonika. Priprema stroja za zavarivanje i izrada radioničkih proba su ključni za kvalitetu. Parametri za istu debljinu i kvalitetu materijala mogu odstupati u ovisnosti od šarže materijala. Toplinske dilatacije koje se javljaju prilikom zavarivanja i utjecaj dužine zavora su bitne za predeformaciju kod postavljanja rubova lima između letava. Prevelika predeformacija može uzrokovati preveliko stanjenje zavora, dok premala predeformacija uzrokuje preveliko zadebljanje zavora ili nasjedanje rubova lima. [10]

Primjeri atestiranih postupaka zavarivanja s osnovnim parametrima zavarivanja.

Parametri vezani uz sliku 9:

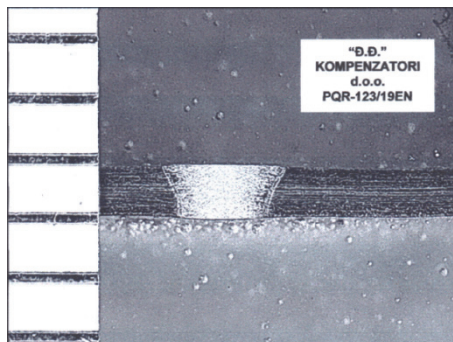
- Osnovni materijal: EN 10028-7: X6CrNiMoTi 17-12-2 (1.4571),
- Debljina: 1,5 mm,
- Postupak zavarivanja: 142
- Dodatni materijal: bez dodatnog materijala,
- Zaštitni plin ISO 14175: II - Ar
- Parametri zavarivanja: 68A; 10V; 25 cm/min, višeprolazno.



Slika 9. Makrostruktura zavora-TIG [11]

Parametri vezani uz sliku 10:

- Osnovni materijal: EN 10095: X12CrNi 23-13 (1.4833),
- Debljina: 0,8 mm,
- Postupak zavarivanja: 142
- Dodatni materijal: bez dodatnog materijala,
- Zaštitni plin ISO 14175: II - Ar
- Parametri zavarivanja: 45A; 9V; 25 cm/min, višeprolazno

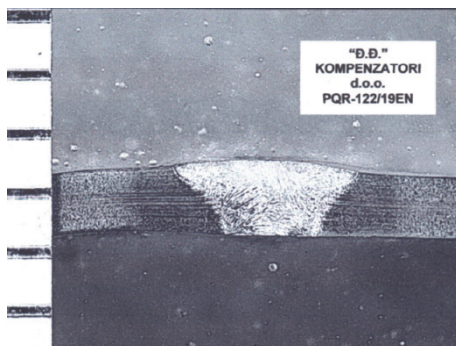


Slika 10. Makrostruktura zavora-TIG [12]

Parametri vezani uz sliku 11:

- Osnovni materijal: DIN 17550: NiCu30Fe (2.4360) MONEL400,
- Debljina: 1,0 mm,
- Postupak zavarivanja: 142

- Dodatni materijal: bez dodatnog materijala,
- Zaštitni plin ISO 14175: II - Ar
- Parametri zavarivanja: 77A; 11V; 20 cm/min, višeprolazno



Slika 11. Makrostruktura zavara-TIG [13]

3.3 W3 Kružni sučeljeni zavareni spoj

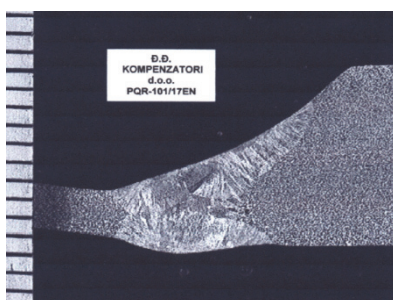
Kružni sučeljeni zavareni spojevi između harmonike i cijevnog nastavaka primjenjuju se samo za jednoslojne harmonike debljine 2 - 3 mm. Zavareni spoj nema zazore, procjepe, između limova što je povoljno sa stajališta sprečavanja korozivskih procesa. Zavareni spoj između harmonike i cijevnog nastavka je u pravilu između istih ili vrlo sličnih kvaliteta materijala, kako bi se olakšao izbor dodatnog materijala za zavarivanje i spriječila pojava neželjenih struktura u zavarenom spoju. Ovi zavareni spojevi isključivo se zavaruju TIG postupkom zavarivanja.

Kružni spoj između cijevnih nastavaka veće debljine, s druge strane je vrlo često spoj raznorodnih materijal, spoj austenitnog nehrđajućeg čelika i ugljičnog čelika. Ovi zavareni spojevi najčešće se zavaruju TIG postupkom zavarivanja, MAG postupkom zavarivanja sa praškom punjenim žicama i kombinacijom ova dva postupka u ovisnosti od debljine i promjera. [14]

Primjeri atestiranih postupaka zavarivanja s osnovnim parametrima zavarivanja:

Parametri vezani uz sliku 12.

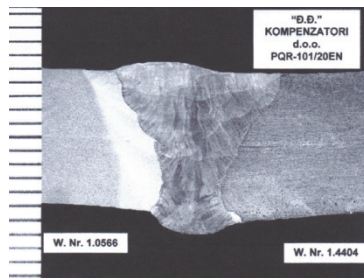
- Osnovni materijal 1: EN 10028-7: X2CrNiMo 18-14-3 (1.4435),
- Debljina: 2,5 mm,
- Osnovni materijal 2: EN 10028-7: X2CrNiMo 17-12-2 (1.4404),
- Debljina: 10 mm,
- Postupak zavarivanja: 141 dvostrano sa žljebljenjem,
- Dodatni materijal: EN ISO 14343-A: W 19 12 3L,
- Zaštitni plin ISO 14175: II - Ar,
- Parametri zavarivanja: $\varnothing 2,0$ mm; 90 - 105A; 10 - 11V; 7 - 11cm/min



Slika 12. Makrostruktura zavara-TIG [15]

Parametri vezani uz sliku 13:

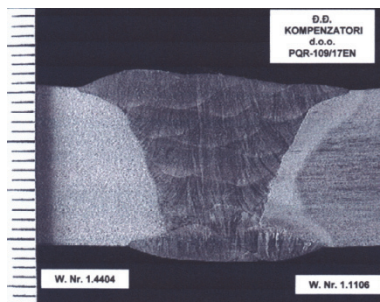
- Osnovni materijal 1: EN 10028-3: P355NL1 (1.0566),
- Debljina: 10 mm,
- Osnovni materijal 2: EN 10028-7: X2CrNiMo 17-12-2 (1.4404),
- Debljina: 10 mm,
- Postupak zavarivanja: 141
- Dodatni materijal: EN ISO 14343-A: W 23 12L,
- Zaštitni plin ISO 14175: II - Ar.
- Parametri zavarivanja: $\varnothing 2,4$ mm; 120 - 150A; 11 - 14V; 6 - 10cm/min
- Žilavost ispitana na -30 °C.



Slika 13. Makrostruktura zavara-TIG [16]

Parametri vezani uz sliku 14:

- Osnovni materijal 1: EN 10028-3: P355NL2 (1.1106),
- Debljina: 16 mm,
- Osnovni materijal 2: EN 10028-7: X2CrNiMo 17-12-2 (1.4404),
- Debljina: 16 mm,
- Postupak zavarivanja: 136-P dvostrano sa žljebljenjem,
- Dodatni materijal: EN ISO 17633-A: T 23 12 LP M1,
- Zaštitni plin ISO 14175: M21.
- Parametri zavarivanja: $\phi 1,2$ mm; 180 - 220A; 26 - 27V; 25 - 45cm/min,
- Žilavost ispitana na -30 °C.



Slika 14. Makrostruktura zavara-MAG [17]

3.4 W4 Kutni i rubni zavareni spoj harmonica

Rubni zavareni spojevi (II) koriste se u izradi kompenzatora promjera do 200 mm sa kombinacijom malih debljina materijala. Zavaruju se TIG postupkom zavarivanja bez dodatnog materijala uz primjenu naprava i posebnih alata (pakni od berilij bronce). Ovakav način koristi se također i za kutne zavare harmonika manjih promjera i većeg broja komada. Točnost izrade pozicija i cijena izrade alata i naprava uvjetuju primjenu ovakvog načina zavarivanja.

Primjeri atestiranih postupaka zavarivanja s osnovnim parametrima zavarivanja:

Parametri vezani uz sliku 15:

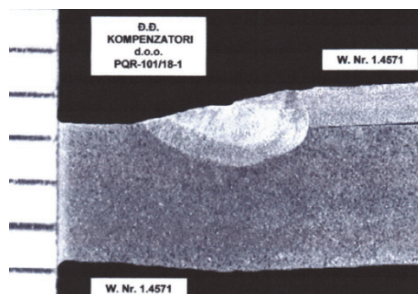
- Osnovni materijal 1: EN 10028-7: X6CrNiTi 18-10 (1.4541),
- Debljina: 0,2 mm,
- Osnovni materijal 2: EN 10028-7: X6CrNiTi 18-10 (1.4541),
- Debljina: 0,7 mm.
- Postupak zavarivanja: 142 u paknama
- Dodatni materijal: bez dodatnog materijala,
- Zaštitni plin ISO 14175: II – Ar,
- Parametri zavarivanja: 20A; 10V; 20 cm/min, jednoprolazno.



Slika 15. Makrostruktura zavara-TIG [18]

Parametri vezani uz sliku 16:

- Osnovni materijal 1: EN 10028-7: X6CrNiMoTi 17-12-2 (1.4571),
- Debljina: 0,8 mm,
- Osnovni materijal 2: EN 10028-7: X6CrNiMoTi 17-12-2 (1.4571),
- Debljina: 2,6 mm,
- Postupak zavarivanja: 142 u paknama,,
- Dodatni materijal: bez dodatnog materijala,
- Zaštitni plin ISO 14175: II - Ar,
- Parametri zavarivanja: 130A; 18V; 12,5cm/min, jednoprolazno



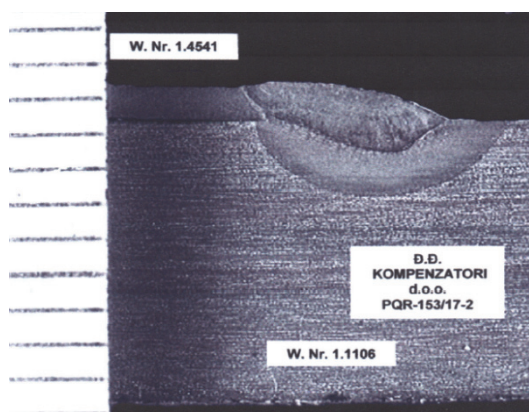
Slika 16. Makrostruktura zavara-TIG [19]

TIG postupak zavarivanja uz primjenu odgovarajućeg dodatnog materijala za zavarivanje je najčešće primjenjivan postupak zavarivanja kutnih zavarenih spojeva harmonika. Primjenjuje se za zavarivanje svih kombinacija materijala, debljina i na svim promjerima. Gusto pripajanje, „heftanje”, je nužno kod izvođenja ovih zavara zbog toplinskih dilatacija koje uzrokuju razdvajanje limova, što je posebno izraženo kada se zavaruju raznorodni materijali.

Primjeri atestiranih postupaka zavarivanja s osnovnim parametrima zavarivanja.

Parametri vezani uz sliku 17:

- Osnovni materijal 1: EN 10028-7: X6CrNiTi 18-10 (1.4541),
- Debljina: 1,0 mm,
- Osnovni materijal 2: EN 10028-3: P355NL2 (1.1106),
- Debljina: 8 mm,
- Postupak zavarivanja: 141 jednoprolazno,
- Dodatni materijal: EN ISO 14343-A: W 19 12 3L,
- Zaštitni plin ISO 14175: II - Ar,
- Parametri zavarivanja: $\varnothing 2,0$ mm; 135A; 14V; 14cm/min



Slika 17. Makrostruktura zavara-TIG [20]

Parametri vezani uz sliku 18:

- Osnovni materijal 1: EN 10028-7: X2CrNiMo 17-12-2 (1.4404),
- Debljina: 2,0 mm,
- Osnovni materijal 2: EN 10028-7: X2CrNiMo 17-12-2 (1.4404),
- Debljina: 30 mm,
- Postupak zavarivanja: 141 višeprolazno,
- Dodatni materijal: EN ISO 14343-A: W 19 12 3L,
- Zaštitni plin ISO 14175: II - Ar,
- Parametri zavarivanja: $\varnothing 2,4$ mm; 115 - 150A; 13 - 15V; 20-50 cm/min



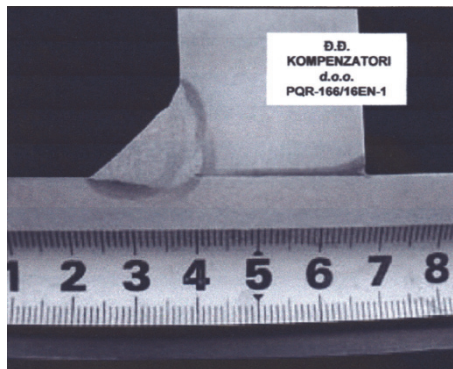
Slika 18. Makrostruktura zavora-TIG [21]

3.5 W5 Kutni zavareni spoj dijelova A-A i A-B i W6 Kutni zavareni spoj dijelova B-B

Kutni zavareni spojevi najčešće se zavaruju MAG postupkom zavarivanja punim i praškom punjenim žicama i EPP postupkom zavarivanja. EPP postupak zavarivanja pogodan je za kružne zavare između prirubnica i cijevnih nastavaka uz korištenje okretaljki za zavarivanje. TIG postupak zavarivanja se primjenjuje na kratkim zavarenim spojevima manjih dimenzija. Također često se primjenjuje kod zavarivanja austenitnih nehrđajućih čelika i niki legura.

Parametri vezani uz sliku 19:

- Osnovni materijal: EN 10028-3: P355NL1 (1.0566),
- Debljina: 30 mm,
- Postupak zavarivanja: 121 višeprolazno,
- Dodatni materijal: EN ISO 14171-A: S2,
- Prah: ISO 14174: SA AR 1 97 AC,
- Parametri zavarivanja: $\varnothing 2,5$ mm; 290A; 32V; 25 – 45 cm/min.



Slika 19. Makrostruktura zavora-EPP [22]

4 ZAKLJUČAK

Za izradu kompenzatora koriste se različite vrste materijala u širokom rasponu debljina uz mogućnost primjene različitih postupaka zavarivanja. NDT metode koje se standardno koriste za kontrolu zavarenih spojeva su vizualni pregled, penetrantska i radiografska ispitivanja i tlačna proba. Odabir optimalnih rješenja pri razradi tehnologije zavarivanja mora uključivati tehničko-tehnološke zahtjeve, troškove proizvodnje i rokove izrade. Bez obzira na odabrana rješenja kvaliteta zavarenih spojeva mora zadovoljavati sve unaprijed propisane zahtjeve normi i interne zahtjeve.

5 LITERATURA

- [1] EN 14917, Metal bellows expansion joints for pressure application.
- [2] Pressure Equipment Directive PED 2014/68/EU.
- [3] Katalog, Kompenzatori, ĐĐ Kompenzatori.
- [4] Pavić Josip, Radojka Marković, Ivan Samardžić, Marić Dejan. (2017) Kompenzatori za tlačnu primjenu-klasifikacija. Engineering technologies in manufacturing of welded constructions and products, SBW 2017“. Slavonski Brod. 25-27.10.2017.
- [5] Pavić Josip, Samardžić Ivan, Marić Dejan, Tomislav Šolić, Marko Dunder. (2019). Kompenzatori za tlačnu primjenu-materijali. „Engineering technologies in manufacturing of welded constructions and products, SBW 2019“. Slavonski Brod. 16-18.10.2019.

- [6] Lucjan, Ś.; Sławomir, S.; Janusz, T; Volodymyr, H. Deterministic and probabilistic analysis of semi-elliptical cracks in austenitic steel. *Procedia Materials Science*, 2014, 3(2014), pp. 2160-2167. <https://doi.org/10.1016/j.mspro.2014.06.350>
- [7] DD Kompensatori: Atest postupka MAG 10/G1.2/20 EN (Interni dokument), S.Brod 2020.
- [8] DD Kompensatori: Atest postupka MAG 20/G1.2/20 EN (Interni dokument), S.Brod 2020.
- [9] DD Kompensatori: Atest postupka MAG 10/FC/G8.1/16 EN (Interni dokument), S.Brod 2016.
- [10] Sayiram, G.; Arivazhagan, N. Microstructural characterization of dissimilar welds between Incoloy 800H and 321 Austenitic Stainless Steel, *Materials Characterization*, 2015, 102, pp. 180-188. <https://doi.org/10.1016/j.matchar.2015.03.006>.
- [11] DD Kompensatori: Atest postupka TA 30/G8.1/16 EN (Interni dokument), S.Brod 2016.
- [12] DD Kompensatori: Atest postupka TA 10/G8.2/19 EN (Interni dokument), S.Brod 2019.
- [13] DD Kompensatori: Atest postupka TA 10/G42/19 EN (Interni dokument), S.Brod 2019.
- [14] Devendranath Ramkumar, K.; Pavan, B.; Chandrasekar, V. Development of improved microstructural traits and mechanical integrity of stabilized stainless steel joints of AISI 321. *Journal of Manufacturing Processes*, 2018, 32, pp. 582–594. <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2018.03.029>.
- [15] DD Kompensatori: Atest postupka TR 30/G8.1/16 EN (Interni dokument), S.Brod 2016.
- [16] DD Kompensatori: Atest postupka TR 10/G1.2-G8.1/20 EN (Interni dokument), S.Brod 2020.
- [17] DD Kompensatori: Atest postupka MAG10/FC/G8.1-G1.2/16EN (Interni dokument), S.Brod 2016.
- [18] DD Kompensatori: Atest postupka TR 04/97 EN (Interni dokument), S.Brod 1997.
- [19] DD Kompensatori: Atest postupka TA P 10/G8.1-G8.1/18 EN (Interni dokument), S.Brod 2018.
- [20] DD Kompensatori: Atest postupka TR 10/G8.1-G1.2/17 EN (Interni dokument), S.Brod 2017.
- [21] DD Kompensatori: Atest postupka TR 06/G8-G8/11 EN (Interni dokument), S.Brod 2011.
- [22] DD Kompensatori: Atest postupka EPP 10/G1.2/16 EN (Interni dokument), S.Brod 2016.