

**IZBOR DODATNOG MATERIJALA ZA IZRADU PREDMETA  
ZAVARIVANJEM OD HROM -NIKL AUSTENITNIH ČELIKA**

**SELECTION OF ADDITIONAL MATERIAL FOR MAKING OBJECTS  
BY WELDING CHROMIUM -NICKEL AUSTENITIC STEELS**

**Sejfo Papić, dr. sc.**  
Pedagoški fakultet  
Sarajevo

**Asib Alihodžić prof. dr.**  
Internacionalni univerzitet  
Travnik

**Fuad Klisura, doc. dr.**  
IPI Zenica  
Zenica

**Dženan Slipičević, Bachelor**  
ELEKTROPRENOS BiH a.d.  
Banja Luka

**REZIME**

*Projektovanje tehnološkog procesa izrade predmeta zavarivanjem od Cr-Ni austenitnih čelika je veoma obiman i kompleksan projekat. U radu je predstavljen dio tog projekta koji obuhvata izbor dodatnog materijala kod zavarivanja navedenih čelika i rezultate primjene projektovanja tehnološkog procesa pri zavarivanju hrom-nikl austenitnih čelika. Opisan je eksperiment zavarivanja. Kao kriterijum za ocjenu kvaliteta zavarenog spoja, pored vizuelne kontrole, predstavljene su makrografska i mikrografska struktura sučeono zavarenog spoja koja je snimljena na uzorku dobijenom zavarivanjem limova od navedenih čelika.*

**Ključne riječi:** Zavarivanje, Dodatni material, Legirani čelici, Austenit

**ABSTRACT**

*The design of the technological process of making objects by welding of Cr-Ni austenitic steels is a very extensive and complex project. This paper presents a part of the project which includes a selection of additional materials for welding the aforementioned steels and the results of the application of the design of technological processes in welding chromium-nickel austenitic steels. The experiment of the welding is described. As a criterion for the evaluation of the quality of the welded joint, in addition to visual inspection, the macrographic and micrographic structure of the butt welded joint, which was taken on a sample obtained by welding the plates of the aforementioned steels, is presented.*

**Key words:** Welding, Additional material, Alloy steels, Austenite

**1. UVOD**

Zavarivanje je spajanje dvaju ili više, istorodnih ili raznorodnih materijala, taljenjem ili pritiskom, sa ili bez dodavanja dodatnog materijala, na način da se dobije homogen zavareni spoj.[2]

Osnovni faktor koji utiče na izbor dodatnog materijala za zavarivanje je zavarivost čelika. Zatim, zahtjevi za odgovarajućim mehaničkim osobinama i odgovarajuće otpornosti prema

koroziji metala šava koji određuje njegovu strukturu. Na konačnu strukturu utiče brzina hlađenja i eventualna termička obrada poslije zavarivanja.

Hemijski sastav i termička obrada direktno utiču na mehaničke osobine zavara i otpornost prema koroziji. Šire posmatrano, utiču na otpornost prema pojavi pukotina, nastanak deformacija i slično.

Uporedo sa razvojem tehnologije zavarivanja usavršavaju se i dodatni materijali. Tako da u novije vrijeme postoje dodatni materijali -žice koje su legirane prema potrebi za određene vrste osnovnog materijala. Rijetko se izvodi legiranje šava preko obloga obloženih elektroda za zavarivanje.

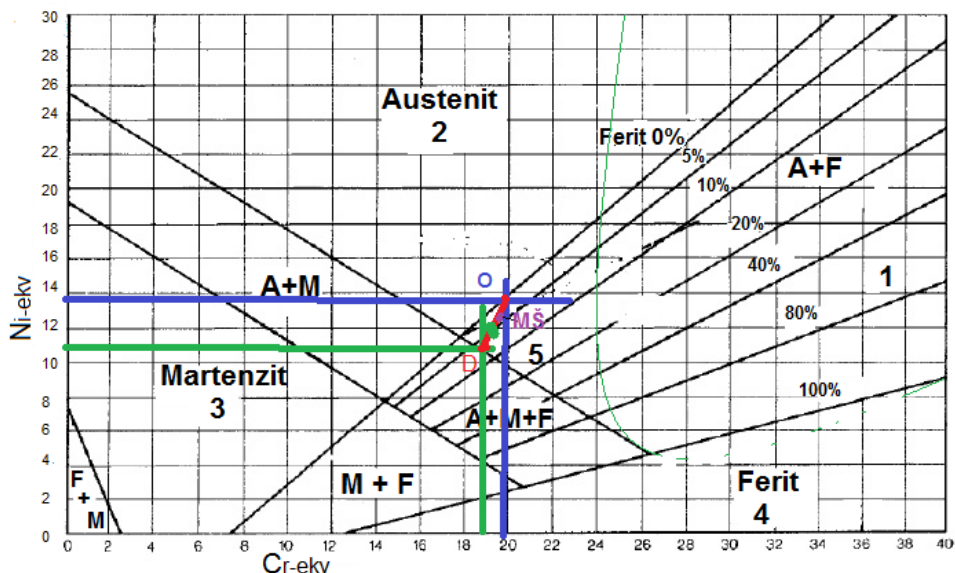
Ovo znači, da pri izboru dodatnog materijala treba voditi računa da on ima približno isti sastav kao osnovni materijal za zavarivanje. Međutim, pri izboru dodatnog materijala za zavarivanje visokolegiranih čelika sklonih prema pojavi pukotina, ovo pravilo se ne primjenjuje. Za zavarivanje ovih čelika se preporučuje austenitno -feritni dodatni materijal koji se odlikuje znatno većom plastičnošću i nije sklon pojavama pukotina.[1]

Kod elektrolučnog zavarivanja važnu ulogu ima zaštita rastopljenog metala. Ako zaštita nije dobra, može doći do legiranja rastopljenih kapi metala azotom (iz atmosfere). Također, može doći do oksidacije pojedinih elemenata u tečnoj fazi zavara, što bitno utiče na konačan hemijski sastav i mehaničke osobine metala šava.

Jedan od pouzdanijih načina izbora dodatnog materijala za zavarivanje legiranih čelika jeste metoda zasnovana na primjeni Šeflerovog (Schaeffler) dijagrama. U ovom radu će biti primijenjena ova metoda.

## 2. IZBOR DODATNOG MATERIJALA POMOĆU ŠEFLEROVOG DIJAGRAMA

Šeflerov dijagram ima praktičnu primjenu pri izboru dodatnog materijala za zavarivanje visokolegiranih čelika. Na slici 1. prikazan je Šeflerov dijagram sa ucrtanim područjima u kojima dolazi do neželjenih struktura. Punim linijama na dijagramu su ograničene strukture čelika i mješavine struktura.



Slika 1. Šeflerov dijagram [3 doraden]

Dijagram sa slike 1, važi za visokolegirane čelike koji pored Cr i Ni, imaju sadržaj ostalih legirajućih elemenata u sljedećem procentualnom sastavu:  $C \leq 0,2 \%$ ;  $Mn \leq 4,0 \%$ ;  $Si \leq 1,0 \%$ ;  $Mo \leq 3,0\%$  i  $Nb \leq 1,5 \%$ .

Na strukturu šava legirajući elementi djeluju tako da jedna grupa proširuje austenitno područje i oni se zovu austenitizatori ili gamogeni elementi, dok druga grupa proširuje feritno područje i oni se zovu feritizatori ili alfageni elementi. Ako se efikasnost udjela Cr i Ni uzmu za jedinice, ekvivalentna vrijednost hroma i nikla se računa prema izrazima (1).

$$C_{r-ekv} = \%Cr + 12\% Al + 11\% V + 7\% Ti + 1,5\% Si + 4,5\% Nb + 2\% Mo + 2\% W; \quad \dots(1)\dots$$

$$N_{i-ekv} = \%Ni + 30\% C + 26\% N + 0,7\% Mn + 0,3\% Cu$$

Na osnovu ekvivalenata hroma i nikla određuje se položaj tačke na dijagramu, odnosno, određuje se struktura metala zavara. Jednačine (1), također, služe za određivanje položaja tačaka osnovnog materijala na dijagramu. Međutim, za osnovni materijal na veličinu ekvivalenta hroma i nikla, pored hemijskog sastava imaju uticaja i režimi termičke obrade i način njihove proizvodnje.

Pored osnovne konstrukcije Šeflerov dijagram sadrži i granične linije koje ograničavaju područja označena zaokruženim brojevima od 1 do 5. Njihova značenja su sljedeća:

- 1 -6-faza. Nakon termičke obrade dolazi do pojave pukotina u intervalu temperatura (500 – 900) °C,
- 2 - Pojava pukotina na temperaturi iznad 1250 °C,
- 3 - Pojava pukotina u martenzitu ispod 400 °C,
- 4 - Ukрупnjenje zrna iznad 1150 °C i
- 5 - Područje bez pukotina.

Zapaža se da se područja 2 i 3 preklapaju na dijagramu. Na tom dijelu mogu se očekivati pukotine na temperaturi 1250 °C i pukotine u martenzitu ispod 400 °C. Dakle, mogu se pojaviti tople ili hladne pukotine.

U području 5 neće imati pukotina, što znači da dodatni materijal treba birati tako da nakon zavarivanja, metal zavara bude u naznačenom (šrafiranom) području. Zato proizvođači dodatnog materijala imaju u svom proizvodnom programu, uglavnom, kvalitete elektroda, žica, elektrodnih žica i elektrodnih traka čije se tačke nalaze u području 5 oko linije sa 10 % ferita. Sa ovim procentom ferita se utiče na smanjenje pukotina u zavaru, a dobija se i zadovoljavajuća otpornost prema koroziji.

## 2.1. Izbor dodatnog materijala za eksperiment

Položaj tačke strukture šava u Šeflerovom dijagramu zavisi od postupka zavarivanja, odnosno od procenta miješanja osnovnog i dodatnog materijala. U ovom slučaju radi se o TIG postupku zavarivanja, za koji je procenat miješanja (20 – 40) %.

Prema jednačinama (1), a na osnovu hemijskog sastava osnovnog materijala specijalnog čelika čija je oznaka po EN standardu X5CrNi18 10 što odgovara oznaci po DIN X5CrNi18-10, na osnovu hemijskog sastava datog u tabeli 1, izračunate vrijednosti ekvivalenta hroma i nikla su:

- $C_{r-ekv} = 19,5 \%$
- $N_{i-ekv} = 13,5 \%$

Dakle, tačka u Šeflerovom dijagramu za osnovni materijal, ima koordinate O(19,5; 13,5). Za predhodno odabranu žisu dodatnog materijala TIG 18/8 Nb, ekvivalent hroma i nikla je:

- $C_{r-ekv} = 19 \%$
- $N_{i-ekv} = 11,1 \%$

pa će tačka dodatnog materijala imati koordinate D(19,0; 11,1).

Tabela 1. Hemijski sastav osnovnog materijala u %.

Standard:		Oznaka		C	Cr	Ni	Si	Mn	Ti
EN	DIN	X5CrNi18 10	X5CrNi18-10	≤0,07	18	10	1	2	0,3

Spajanjem tačaka D i O (crvena linija na slici 1) pravom linijom i označavanjem 30 % duži OD od tačke D ka O (jer sa tolikim procentom dodatni materijal učestvuje u formiranju šava u ovom eksperimentu), dobija se tačka „MŠ“ (zelena tačka na duži OD). Tačka metala šava (MŠ) leži u području 5, što znači da je u području bez pojave pukotina pa se može zaključiti da je dodatni materijal dobro izabran.

Karakteristike odabrane žice date su u tabeli 2. to je stabilizovana austenitna žica za zavarivanje TIG postupkom. Namijenjena je za zavarivanje nestabilizovanih koroziono postojanih hrom-nikl čelika. Upotrebljava se za zavarivanje aparatura, posuda i drugih naprava u hemijskoj, prehrambenoj, tekstilnoj i celuloznoj industriji. Otporna je na oksidaciju do 800°C, pa se zato može upotrebljavati za zavarivanje u parnim kotlovima. Ne preporučuje se za zavarivanje čelika koji sadrže molibden i niobijum.

Tabela 2. Pregled osobina izabranog dodatnog materijala

Naziv žice	Mehaničke osobine čistog zavara				Hemijski sastav žice u %	Prečnik žice u komadima 1 m; Ø u mm	Osnovni materijal	
	σ <sub>m</sub> N/mm <sup>2</sup>	σ <sub>0,2</sub> N/mm <sup>2</sup>	δ <sub>s</sub> %	ρ <sub>v</sub> %			Oznaka po EN	Oznaka po DIN
<b>TIG 18/8Nb</b>	<b>570-670</b>	<b>&gt;350</b>	<b>&gt;30</b>	<b>&gt;65</b>	<b>C&lt;0,7</b> <b>Cr 18</b> <b>Ni 10</b>	<b>2</b> <b>2,5</b> <b>3,25</b>	X5CrNi18 10	X5CrNi18-10

## 2.2. Provjera zavarljivosti

Postoje više metode ispitivanja zavarljivosti materijala i moguće ih je svrstati u dvije grupe [1]

- Računske metode i
- Praktične metode.

Najčešći način koji se primjenjuje za ocjenu zavarljivosti visokolegiranih čelika je analiza sklonosti ka toplim pukotinama, metodom HCS (Hot Cracking Sensitivity), koja se izvodi po formuli (2) [1], i dobijena vrijednost za naprijed navedeni slučaj, iznosi HCS = 0,4.

$$HCS = \frac{C * \left( S + P + \frac{Si}{25} + \frac{Ni}{100} \right) * 10^3}{3Mn + Cr + Mo + V} \dots (2)$$

Po ovoj metodi, čelici čija je zatezna čvrstoća veća od 700 MPa, osjetljivi su na pojavu pukotina ako je HCS > 2, dok su čelici čija je zatezna čvrstoća manja od 700 Mpa, skloni pojavi toplih pukotina ako je HCS > 4.

Dakle, navedeni čelik je dobro zavarljiv i nisu potrebne dodatne mjere.

## 3. OPIS POSTUPKA ZAVARIVANJA

Nakon izbora parametara zavarivanja (tabela 3), pristupilo se eksperimentalnom zavarivanju, pomoću uređaja za zavarivanje prikazanog na slici 2.

Tabela 3. Izabrani parametri zavarivanja

de mm	dž mm	I (A)	U <sup>1</sup> (V)	Vrsta struje	Potrošnja ar.	Oblik vrha elektrode
2	3	180	28	jednosmjerna	5 l/min	Malo zaobljen

<sup>1</sup> Vrijednost napona je računata po formuli U=20+0,4\*I

Debljina lima za eksperiment je 4 mm, koji je predhodno pripremljen na propisani način. Dimenzije limova za eksperiment su 4x100x100 mm.



*Slika 2. Uređaj za TIG zavarivanje*

Na slici 3, su predstavljeni izgledi nekoliko varijanti zavara navedenih čelika kao i izgled zavara ploča eksperimenta.



*Slika 3. Izgled zavara eksperimentalnih limova i zavara nekih konstrukcija*

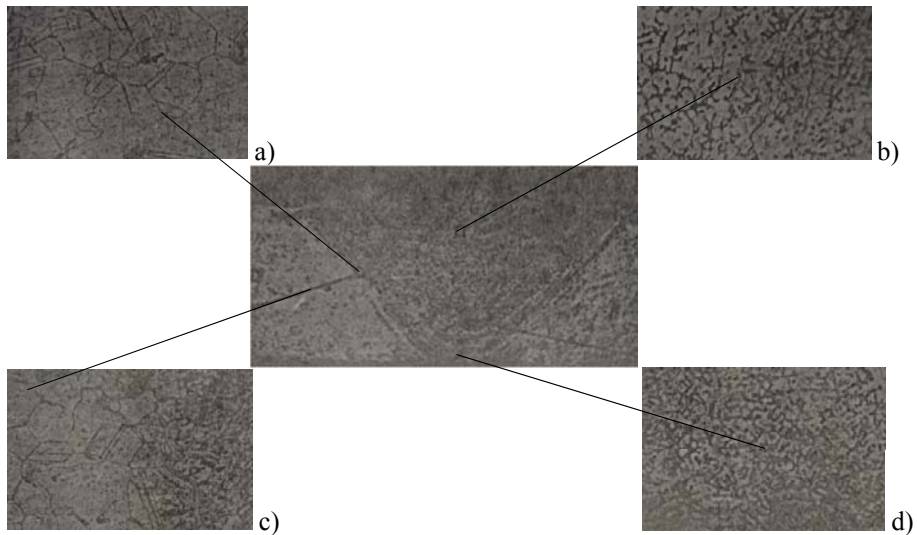
### **3.1. Kontrola kvaliteta zavarenog spoja**

Načine kontrole kvaliteta zavarenog spoja moguće je svrstati u dvije grupe: kontrola zavarenog spoja bez razaranja materijala i kontrola zavarenog spoja razaranjem materijala. U prvu grupu spadaju:

- Vizuelna kontrola,
- Kontrola penetrantima,
- Metalografska kontrola

Vizuelnoj kontroli podvrgavaju se elementi prije, u toku i poslije procesa zavarivanja. Prije procesa zavarivanja provjerava se priprema elemenata za zavarivanje (priprema geometrijskih karakteristika žljebova za zavarivanje). U procesu zavarivanja provjerava se usklađenost redosljeda zahvata i prolaza zavarivanja, kao i praćenje usklađenosti režima zavarivanja. Kontrola gotovog zavarenog spoja izvodi se poslije čišćenja zavara od ogoregina, raspršenih kapi metala i drugih prljavština, pri čemu se prvo otkriju eventualne geometrijske nepravilnosti, a zatim pukotine, pore ili zarezi.

Na slici 4, prikazan je snimak mikro i makrostruktura zavarenog spoja navedenih pločica pri eksperimentalnom zavarivanju, pri čemu su fotografije a, b, c i d 400 puta uvećanja.



*Slika 4. Mikrografska i makrografska struktura sučeono zavarenog spoja*

Metoda kontrole penetrantima izvodi se posle vizuelne kontrole zavarenih dijelova ili kao međufazna kontrola. Bazirana je na korištenje penetranta koji olakšavaju otkrivanje najsitnijih površinskih pukotina.

#### **4. ZAKLJUČAK**

Na fotografiji a) slika 4; vidi se austenitna struktura osnovnog materijala gdje ne postoje nikakve promjene. Također, nema povećanja zrna neposredno uz liniju stapanja (fotografija c), struktura zavara je najsitnija u korijenu zavara (fotografija d). Iako je struktura na fotografiji b) krupnija nego u korijenu zavara, mehaničke osobine zavarenog spoja neće biti lošije od mehaničkih osobina osnovnog materijala jer je struktura šava sitnozrnastija.

Osnovni materijal je dobro zavariv i ne zahtijeva dodatne mjere. Zbog toga, a i zbog svojih fizičko -mehaničkih osobina može biti primijenjen za širok asortiman proizvoda.

Sam izbor dodatnog materijala za zavarivanje je složen postupak koji je neophodan za dobijanje kvalitetnog zavarenog spoja.

#### **5. REFERENCE**

- [1] Inženjersko -tehnički priručnik „ZAVARIVANJE IV DEO“-prijevod sa ruskog -RAD, Beograd, 1980.
- [2] Samardžić, I.: Proizvodne tehnologije - Nastavni materijali, Visoka tehnička škola u Bjelovaru, 2014.
- [3] Fisl, J., Sabo, B., Glavardanov, I., Sidanin, L.: Primena Šeflerovog dijagrama za procenu zavarivosti nerđajućih čelika, Fakultet tehničkih nauka, 2000, Novi sad, 2000.