



Dr Bratica Temelkoska dipl.met.inz; Dr Radomir Cvetanoski dipl.mas.inz**

TIG POSTUPAK ZA ZAVARIVANJE RAZNORODNIH ČELIKA

TIG WELDING PROCESS FOR DISSIMILAR STEELS

Stručni rad / Professional paper

UDK / UDC: 621.791.05:620.17

Rad primljen / Paper received:

Mart 2015.

Adresa autora / Author's address:

**Univerzitet-Goce Delčev-Štip, bratica.temelkoska@ugd.edu.mk,*

**Mašinski Fakultet, radomir.cvetanoski@ugd.edu.mk*

Ključne reči: TIG, zavarivanje, raznorodni čelici, metode ispitivanja zavarenog spoja

Abstract: TIG, welding, dissimilar steels, methods of welded joints testing

APSTRAKT

Tehnologije zavarivanja imaju bitnu ulogu pri definisanju parametara tehnoloških postupaka za instaliranje i montažu opreme. Ovo je posebno vazno kod energetskih postrojenja koja su u toku rada izloženi visokim temperaturama i pritiscima, agresivnoj sredini, koroziji, dinamičkim opterećenjima konstrukcije itd.

Na mnogim sklopovima javlja se potreba za zavarivanjem raznorodnih čelika, a jedan od najpoželjnijih postupaka je TIG. U ovom radu opisan je TIG postupak zavarivanja raznorodnih čelika: niskougleničnog-niskolegiranog čelika 10CrMo9-10, za rad na visokim temperaturama, sa visokolegiranim martenzitnim čelikom X10CrMoVNb9-1, za rad na visokim temperaturama, koji je antikoroziivan i otporan na habanje.

Ovi čelici koriste se za izradu cevnih sistema u termopostrojenjima, te za izradu elementa pregrejača koji rade na visokim temperaturama i pritiscima.

1. Uvod

Tehnologija zavarivanja raznorodnih čelika je daleko složenija od one čelika iste strukturne klase. Ova složenost je rezultat zavarivanja čelika različitih strukturnih, mehaničkih i fiziko-hemijskih svojstava a što se iskazuje hemijskom i strukturnom raznorodnošću unutar zavarenog spoja. Navedeni faktori imaju odlučujuću ulogu pri izboru postupka zavarivanja, tehnike i izbora dodatnog materijala. Odabrana tehnologija takođe treba da smanji difuziju ugljenika u zoni topljenja u toku zavarivanja odn. moguće termičke obrade. Posebnu pažnju kod zavarivanja raznorodnih čelika treba usmeriti na predgrevanje osnovnih materijala

ABSTRACT

Welding technologies are with very important role during defining of technological processes for equipment instaling and assembly. It is specially important in energetic plants which are working under high temperatures and pressures, aggressive conditions, corrosion, dynamically loaded constructions etc.

In many assemblies, it is necessary to weld dissimilar steels, and one of the most popular welding processes is TIG. In this paper, TIG process of welding dissimilar steels are described: low-carbon, low-alloyed steel 10CrMo9-10 for high temperature exploitation with high-alloyed martensitic steel X10CrMoVNb9-1 for high temperature exploitation which is stainless and wear resistance.

These steel are aimed for pipelines in thermoenergetic plants, e.g for superheater elements where exploitation conditions are high temperature and pressure.

pre zavarivanja kao i na termičku obradu nakon zavarivanja. Jedan od osnovnih činilaca koje treba oceniti pri izboru dodatnog materijala za zavarivanje, odnosno postupku zavarivanja je, stepen mešanja.

Opšti uslovi zavarivanja raznorodnih materijala proizlaze iz fizičko-hemijskih svojstava materijala koji se spajaju, odn. od razlike materijala koji se spajaju kao na primer: razlike vezane za temperaturu topljenja, linearnog koeficijenta širenja, osetljivosti na temperaturi, promene mehaničkih svojstava pod dejstvom temperaturne razlike u



kristalnoj rešetki, razlika mehaničkih osobina, stepen uzajamne rastvorljivosti, uticaj hemiskih elemenata u procesu difuzije itd.

Pri zavarivanju raznorodnih čelika, stepen mešanja (penetracije), treba da bude što manji pri čemu bi se suzila prelazna zona te smanjila hemijska raznorodnost.

U primenjive postupke zavarivanja za spajanje čelika različitih strukturnih vrsta ubrajaju se: postupci zavarivanja topljenjem (REL, MIG, MIG praškom punjenom žicom, EPP, EPP trakom, TIG) [1].

Bez obzira na izbor postupka zavarivanja raznorodnih čelika, nužno je odabrati takvu tehnologiju zavarivanja koja garantuje malo mešanje (penetraciju) rastopljenog dodatnog materijala s osnovnim na strani raznorodnog spoja.

Ovo je potrebno osigurati kako bi se sprečio nastanak krutih struktura i posledičnih prslina u prelaznom sloju, posebno ako je reč o zavarivanju austenitnog koroziono postojanog čelika s ugljeničnim feritno-perlitnim čelikom.

Kvalitet i svojstva zavarenog spoja, a naročito spoja raznovrsnih čelika u velikoj meri zavise od izbora dodatnog materijala. Svojstva osnovnih materijala u spoju raznorodnih čelika se znatno razlikuju a što otežava izbor dodatnog materijala. Zavisno od vrste čelika koji se zavaruje kao i uslova rada, dodatni materijal može po svom sastavu biti blizak niže, odnosno višelegiranom osnovnom materijalu ili se može razlikovati od oba.

Najvažnije je osigurati zadovoljavajuću čvrstoću zavara koja ne bi smela biti niža od čvrstoće niže legiranog čelika [1].

Ovi uslovi za spajanje raznorodnih materijala određuju tehnološki postupak.

Izbor postupka uslovljen je od sledećih zahteva:

1. Potrebno je što manje vreme dodira materijala koji se spajaju, kako bi se smanjile promene razmene, krta intermedijatna jedinjenja kako i njihovo formiranje.
2. Obezbeđenje prikladne zaštite materijala pri zavarivanju kako ne bi došlo do zagađivanja zavarenog spoja azotom i kiseonikom iz atmosfere.

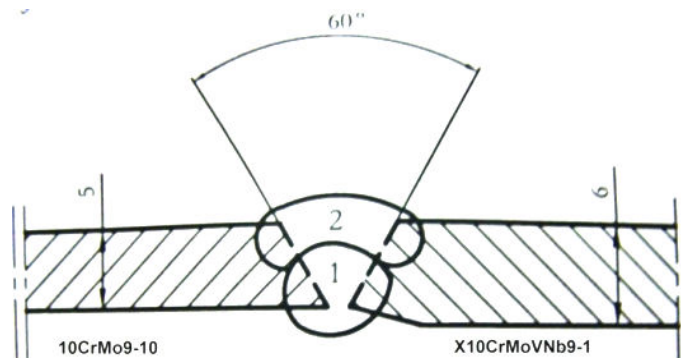
2. Eksperimentalni deo

2.1 Tehnologija zavarivanja

U ovom eksperimentu koristi se TIG postupak, za spajanje cevi od niskougleničnog-niskolegiranog čelika 10CrMo9-10 (DIN), namenjen za rad na visokim temperaturama, sa visokolegiranom martenzitnim celikom X10CrMoVNb9-1 (DIN), namenjen za rad na visokim temperaturama, antikoroziivan i otporan na habanju.

Za zavarivanje ovih čelika bira se TIG postupak zbog koncentrisanog unosa toplote na osnovni materijal, izbegavanje deformacije elemenata, argonom se eliminišu zagađenja samog zavara, obezbeđuje se kvalitetan zavar, može se zavarivati u svim položajima, lako se reparira zavareni spoj ukoliko se jave defekti i nije potreban velik manipulativan prostor.

Tehnologija zavarivanja eksperimentalnih cevi podrazumeva dva prolaza, prvi je koreni, a drugi ispuna žljeba (sl.1) [2]



Sl.1. Spajanje raznorodnih čelika 10CrMo9-10 i X10CrMoVNb9-1 TIG postupkom



2.2 Karakteristike materijala

2.2.1 Hemijski sastav i mehaničke osobine oba čelika date su u tabeli 1 i 2.

Oznaka čelika	C [%]	Mn [%]	Cr [%]	Mo [%]	P max [%]	S max [%]	Si max [%]	Cu max [%]	V	Nb	N max [%]
10CrMo9-10	0,08	0,4-0,8	2-2,5	0,9-1,1	0,02	0,01	0,5	0,3	-	-	-
X10CrMoNb9-1	0,08-0,12	0,3-0,6	8,0 - 9,5	0,85-1,05	0,02	0,01	0,5	-	0,18-0,25	0,06-0,10	0,3-0,07

Tabela 1. Hemijski sastav

Oznaka čelika	R _m [MPa]	R _p [MPa]	A _{min} [%]	Energija udara na +20°C [J]	Termička obrada
10CrMo9-10	480-630	310	22	40	Predgrevanje T _p =100-300°C
X10CrMoNb9-1	580-760	450	20	44	Predgregavnje T _p ≤200°C Otpuštanje žarenjem T≤760°C

Tabela 2. Mehaničke karakteristike

2.2.2 Izbor dodatnog materijala

Za dodatni materijal bira se WCrMo91 dodatni material u obliku žice sa karakteristikama datim u tabeli 3. Dodatni material u ovom slučaju povećava plastičnost zavara i obezbeđuje izbegavanje

deformacije elemenata sa različitim koeficijentima toplotnog širenja. Legirajući elementi u sastavu dodatnog materijala V, Nb, Cr, Mo, obezbeđuju dobro legiranje samog šava, dobru otpornost na visokim temperaturama, antikorozivna svojstva, dobru žilavost itd.

Oznaka žice po: DIN 8556	Hemijski sastav									Mehaničke karakteristike šava		
	C [%]	Mn [%]	Ni [%]	Cr [%]	Mo [%]	V [%]	Nb [%]	Cu [%]	Al [%]	R _m [MPa]	R _p [MPa]	δ [%]
WCrMo91	0,09	0,5	0,5	9,1	0,9	0,2	0,07	0,25	0,04	780	690	25

Tabela 3. Karakteristike žice WCrMo9 1

2.3 Termička obrada materijala

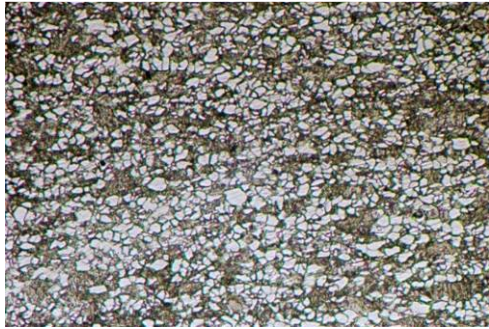
Temperatura predgrevanja ovih čelika je T_p=240°C, međuslojna temperatura od korena ka završnom (Inter pass temperature) treba da bude T_i>350°C kako bi se izbegle greške unutar zavara.

Temperatura otpuštanja materijala u ovom slučaju iznosi T_o=680°C uz konstantnu brzinu hlađenja od 100°C/h što obezbeđuje dobru žilavost materijala, a samim tim izbegava se pojava krtog loma [3].

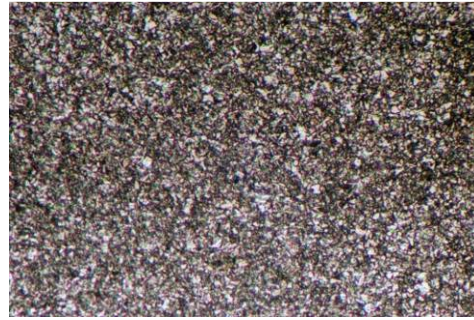
3. Rezultati ispitivanja

IBR metodama ispitivan je zavareni spoj raznorodnih čelika 10CrMo910 i X10CrMoNb9-1 TIG postupkom gde je upotrebljena žica WCrMo91.

Metalografske strukture čelika 10CrMo910 i čelika X10CrMoNb9-1 pre zavarivanja prikazane su (sl.2) i (sl.3).



Sl.2 OM Čelik 10CrMo910 200x



Sl.3 OMČelik X10CrMoNb9-1 200x

3.1 Vizuelna kontrola zavarenog spoja čelika 10CrMo9-10 i X10CrMoNb9-1.

Prva kontrola spoja je vizuelna kontrola koja u ovom slučaju zadovoljava (sl.4)

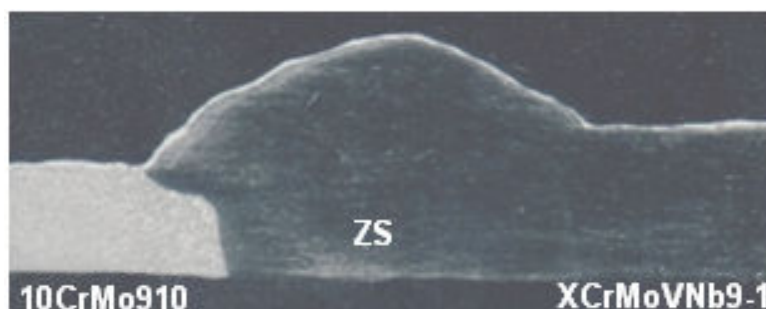


Sl.4 Zavareni spoj čelika 10CrMo9-10 sa čelikom X10CrMoNb9-1.

3.2 Metalografska -makro struktura spoja

Makrostrukturnim ispitivanjem uz uvećanje 5x, obezbeđuje se vizuelna slika strukturnog sastava zavarenog spoja, u ZUT i osnovni materijal, a vidi

se i uticaj unete energije na osnovni materijal (sl.3). Iz metalografske slike vidi se mešanje osnovnog materijala sa dodatnim, kao i koreni deo (prvi prolaz) sa drugim prolazom.



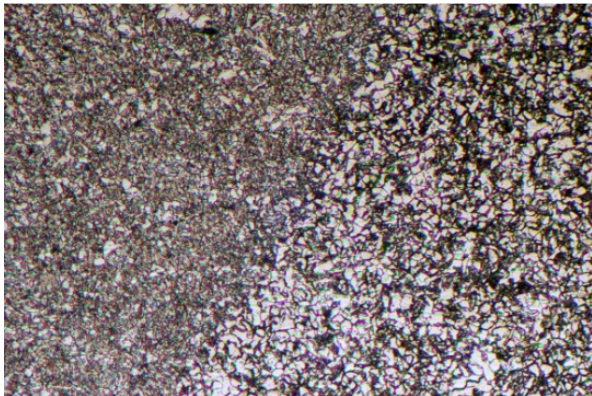
Sl.5 Prikaz makro strukture (uvećanje 5x) zavarenog spoja čelik 10CrMo9-10 (levo) sa čelikom X10CrMoNb9-1 (desno).



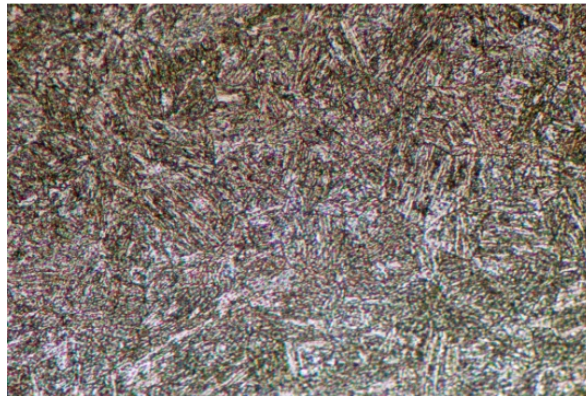
3.3 Metalografska-mikro struktura zavarenog spoja

Mikrostrukture na granici spajanja čelika 10CrMo9-10/ zavareni spoj, i mikrostruktura spoja čelika

X10CrMoV9-1 / zavareni spoj, prikazane su na sl.6 i 7.



Sl.6 Metalografija granica spajanja 10CrMo9-10 i zavar

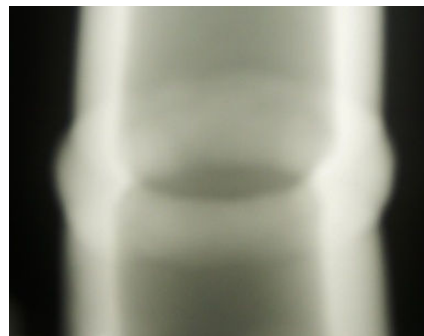
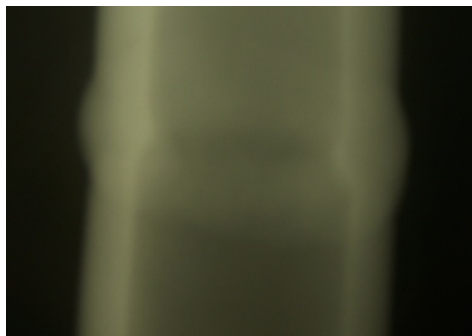


Sl.7 Metalografija granica spajanja X10CrMoV9-1 i zavar

3.4 Radigrafska kontrola zavarenog spoja

Radigrafskom kontrolom mogu da se otkrivaju sledeće greške: poroznost, neprovaren koren, međuslojna nespojenost, pukotine, zarez u koren itd.

Radigrafskom kontrolom vidi se da u ovom spoju nema takvih grešaka i može se podvrgnuti mehaničkim ispitivanjima (sl.8).



Sl.8 Radigrafski snimak zavarenog spoja čelik 10CrMo9-10 sa čelikom X10CrMoV9-1.

3.5 Ispitivanja mehaničkih karakterika

3.5.1. Ispitivanje na zatezanje

Ovim ispitivanjem dobija se izduženje A_{min} (%) zavarenog spoja, koja treba da bude minimalne vrednosti kao manja vrednost jednog od osnovnih materijala.

U ovom slučaju, na standardnoj epruveti 250mm ispitano je minimalno izduženje koje treba da iznosi kao i izduženje čelika X10CrMoV9-1. Dobijena je vrednost $A_{min}=27\%$, što znači da zavaren spoj zadovoljava mehaničke karakteristike (sl.9) i (tabela 4.)



Sl.9 Minimalno izduženje $A_{min}=\%$, ispitne epruvete

3.5.1 Ispitivanje na savijanje (bend test)

Ovim ispitivanjem ocenjuje se kvalitet zavarenog spoja u odnos na krtošć (pukotine) zavarenog spoja.

Ispitivanje se vrši sa savijanje unapred pripremljene epruvete za ispitivanje pod uglom $\alpha=120^\circ$ (sl.10)



Sl.10 test savijanja (bend test)

3.5.2 Ispitivanje udarne žilavosti

Prema rezultatima mehaničkih ispitivanja (tabela 4), potvrđuje se kvalitet zavarenog spoja ova dva

raznorodna čelika 10CrMo9-10 i X10CrMovNb9-1, čime se potvrđuje ispravnost propisane tehnologije.

Osnovni materijal	Mehaničke karakteristike	Dobijena vrednost meh, ispitivanja	Dobijena vrednost mehan. ispitivanja zavarenog spoja	Metode ispitivanja bez razaranja
X10CrMovNb9-1	Udarne žilavost Min. KV=44 (J)	KV=81 (J)	Udarne žilavost Min. KV=90 (J)	Vizuelna kontrola Zavaren spoj zadovoljava
	Granica izduženja $A_{min}=20\%$	$A_{min}=27\%$	Granica izduženja $A_{min}=27\%$ kidanje osnovnog materijala	
10CrMo9-10	Udarne žilavost Min. KV=40 (J)	KV=70 (J)	Test savijanja pod uglom $\alpha=120^\circ$ zadovoljava	Radigrafska kontrola zavarenog spoja, zadovoljava
	Granica izduženja $A_{min}=22\%$	$A_{min}=29\%$		

Tabela 4.



4. Zaključak

Zavarivanje raznorodnih čelika predstavlja tehnološki kompleksnu operaciju koja traži poznavanje eksploatacionih uslova u kojima treba da rade ovakve zavarene konstrukcije, pri tome karakteristike zavarenog spoja ne smeju da budu niže od slabijeg čelika koji se zavaruje.

Od velikog značaja je izbor dodatnog materijala koji treba da zadovolji osobine i sastav oba čelika sa raznorodnim hemijskim sastavom, strukturu i mehaničke karakteristike, čime se postiže kvalitetan zavareni spoj bez greške.

Termička obrada takođe treba da bude prilagođena strukturi oba čelika.

Izabrana tehnologija zavarivanja TIG postupak, temperature predgrevanja, termička obrada nakon zavarivanja visokolegiranog čelika X10CrMoVNb9-1 sa 10CrMo9-10, dali su ujednačene i prihvatljive vrednosti mehanickih karakteristika i mikrostrukture osnovnog materijala, zone uticaja toplote i metala šava .

Raznorodni materijali zavareni TIG postupkom daju najkvalitetniji spoj , ali zbog visokih troškova, zavaruje se i drugim ručnim postupcima .

Opravdanost zavarivanja raznorodnih materijala TIG postupkom odnosi se na visokoodgovorne konstrukcije kao što su termoenergetska postrojenja.

Reference:

1. Mateš B, Samardžić I., Dunđe M -Zavarljivost raznovrsnih čelika I primjena Schaeffler-ovog dijagrama-SBZ 2011, Slavosni Brod, listopad 2011
2. Delić B.-Zavarivanje visokolegiranih čelika, (1979)
3. DIN EN 12952- The recommendation, the VdTÜV data, This standard lists the preheating temperatures to be used for welding of ferritic and austenitic steels for the manufacture of pressure parts.