

## Specifičnosti zavarivanja čelika otpornih na koroziju

U radu su date najbitnije specifičnosti zavarivanja čelika otpornih odnosno postojanih na koroziju. Poseban akcenat je stavljen na njihovu korozionu otpornost, mere za sprečavanje korozije kao i posebne uslove i zahteve pri njihovom zavarivanju. Sa stanovišta tehnologije zavarivanja od posebnog značaja su postupci i parametri za pravilno zavarivanje, sobzirom na njihov uticaj na deformaciono naponsku sliku zavarenog spoja. Pored osnovnih i specifičnosti koje se odnose na koroziono delovanje, date su i tehnološko-metalurške specifičnosti, na koje treba obratiti pažnju pri njihovoj primeni u različitim granama tehnike odnosno industrije, posebno sa stanovišta radne sposobnosti.

Kroz prikazanu analizu karakterističnih specifičnosti, date su neke važne tehničko-tehnološke informacije, karakteristike, podaci kao i posebni uslovi koji mogu biti od značaja za inženjersku praksu, posebno za slučaj primene u procesnoj odnosno hemijskoj industriji.

**ključne reči:** zavarivanje nerđajućih čelika, otpornost na koroziju, tehnološke i metalurške specifičnosti, klasifikacija otpornosti na koroziju, mere za sprečavanje korozije, tehnologija zavarivanja, greške zavarivanja, praktična primenljivost, eksploatacioni zahtevi, podaci za projektovanje.

### 1. UVODNA RAZMATRANJA

Čelicima otpornim na koroziju smatraju se visokolegirani čelici koji su koroziono postojani, odnosno otporni na uticaj atmosfere ili agresivnih sredina. Korozionu postojanost ovi čelici obezbeđuju formiranjem tanke opne hromovog oksida na svojoj površini, pri čemu je formirana opna hermetična i štiti metal od dalje oksidacije. Minimalna potrebna količina hroma pri kojoj čelik dobija nerđajuća svojstva je 12% masenih, [1-3].

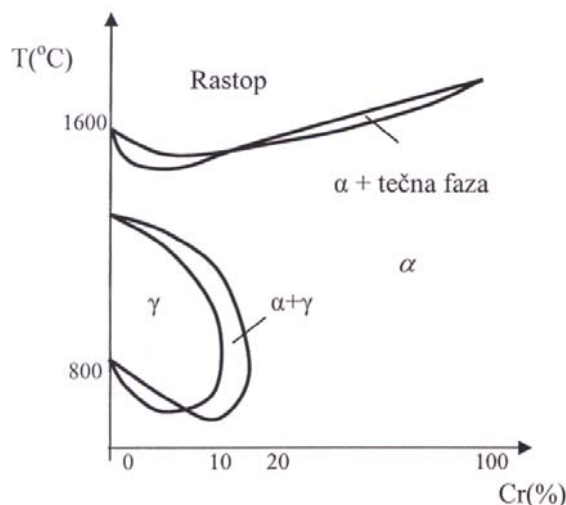
Hrom kao legirajući element predstavlja izraziti  $\alpha$  stabilizator (proširuje  $\alpha$  oblast željeza) [3, 4].

Dijagram stanja željezo-hrom dat je principijelno na slici 1.[4-6]. Pri količini hroma iznad 13% čelik nema nikakvih faznih transformacija i isti zadržava feritnu mikrostrukturu i pri velikim brzinama hlađenja, odnosno čelik nije podložan kaljenju. Pri zagrevanju ovakvih čelika dolazi do rasta zrna i pogoršanja mehaničkih osobina, čija se veličina zadržava bez obzira na brzinu hlađenja.

Pored hroma legirajući elementi nerđajućih čelika su i: C, Ni, Mn, Si, Mo, Nb, Ti, V, W, Al itd [4].

Koroziono postojani austenitni hrom-nikal čelici imaju sadržaj hroma do 20% a nikla do 10% dok je sadržaj ugljenika do 0,12% masenih. Ovi čelici imaju korozionu postojanost u agresivnim sredinama do radnih temperatura od 800°C a primenjuju se kao opšti

konstrukcioni materijali od kojih se zahteva koroziona postojanost (cevovodi, sklopovi, posude, uređaji i mašine u prehrambenoj, hemijskoj i petrohemijskoj industriji i slično) [5-7].



Slika 1 - Principijelni prikaz dijagrama stanja željezo-hrom

Koroziono postojani austenitni hrom-nikal čelici imaju sadržaj hroma do 20% a nikla do 10% dok je sadržaj ugljenika do 0,12% masenih. Ovi čelici imaju korozionu postojanost u agresivnim sredinama do radnih temperatura od 800°C a primenjuju se kao opšti konstrukcioni materijali od kojih se zahteva koroziona postojanost (cevovodi, sklopovi, posude, uređaji i

Adresa autora: Tehnološki fakultet Zvornik, Republika Srpska, BiH

mašine u prehrambenoj, hemijskoj i petrohemijskoj industriji i slično) [5-7].

U dodiru sa agresivnim sredinama čelici trpe određene promene tj. koroziju. Stepem korozije, pre svega zavisi od hemijskog sastava i strukture čelika, karaktera agresivne sredine, temperature te sredine i drugih uslova eksploatacije.

Korozija metala može biti hemijska i elektrohemijska, [7-9].

Hemijska korozija predstavlja proces obrazovanja hemijskih jedinjenja pri direktnom dejstvu agresivne sredine sa metalom.

Elektrohemijska korozija predstavlja proces rastvaranja metala u elektrolitima, a kao elektroliti mogu biti različite kiseline i njihovi vodeni rastvori, baze i njihovi rastvori, rastvori soli a takođe i voda.

Postoji nekoliko vidova korozije od kojih su najznačajnije za praksu hemijska, međukristalna, strukturna i tačkasta. Najčešća i najopasnija je međukristalna korozija.

Koroziono postojani čelici poseduju otpornost prema nabrojanim oblicima korozije.

Nerđajući čelici se donekle razlikuju u tehnologiji zavarivanja u odnosu na druge čelike. Osnovni problem je toplotno širenje, koeficijent toplotne provodljivosti i električni otpor [8-11].

Koeficijent toplotnog širenja hrom-čelika (feritnih i martenzitnih) malo se razlikuje od ugljeničnih, dok kod austenitnih čelika (hrom-nikal čelika) je dosta viši. Ovo dovodi do pojave viših unutrašnjih napona i kod tanjih limova, laka vitoperenja, posebno kod austenitnih čelika.

Koeficijent toplotne provodljivosti hrom-čelika je jedva polovina u odnosu na ugljenične čelike, dok kod austenitnih čelika on iznosi samo jednu trećinu. Toplota ostaje, dakle duže u zavarima i okolini, što stvara ozbiljne poteškoće.

Električna otpornost ovih čelika je 4-7 puta veća nego kod ugljeničnih čelika. Ova karakteristika utiče na izbor dužine elektrode za zavarivanje kao i na izbor jačine struje.

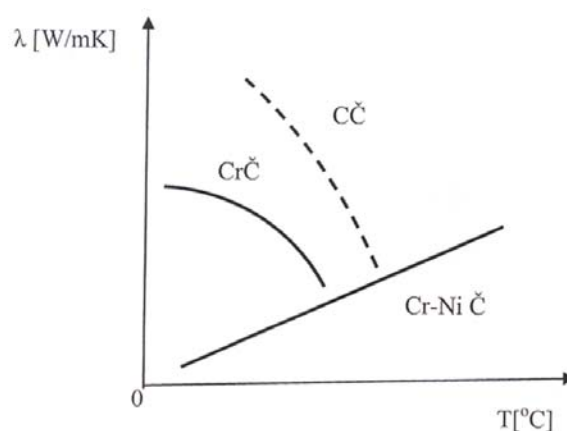
U tabeli 1. date su prosečne vrednosti fizičkih osobina ugljeničnih i karakterističnih čelika otpornih na koroziju.

Na slici 2 dat je principijelno dijagram zavisnosti koeficijenta provođenja toplote od temperature za ugljenične (CČ), austenitne hrom (CrČ) i hrom – nikal (Cr-Ni Č) čelike.

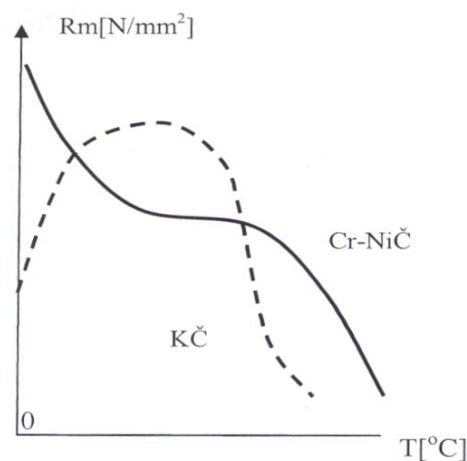
Na slici 3. prikazana je principijelno promena zatezne čvrstoće u zavisnosti od temperature za ugljenične konstrukcione i nerđajuće austenitne Cr-Ni čelike.

Tabela 1. Fizičke osobine ugljeničnih i čelika otpornih na koroziju

Fizičke osobine	Tip čelika			
	Jedinica	Ugljenični čelik	Hrom čelik	Hrom-nikal čelik
Linearni koeficijent širenja pri 20-800°C	$10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$	13	13	17
Toplotna provodljivost pri 20-100°C	W/mK	47	25	18
Električni otpor pri 20°C	nΩm	150	600	780



Slika 2. Zavisnost koeficijenta provođenja toplote od temperature za tri karakteristične grupe čelika



Slika 3. Zavisnost zatezne čvrstoće od temperature za dve karakteristične grupe čelika

U tabeli 2. dat je hemijski sastav tipičnih austenitnih čelika otpornih na koroziju, [10,11].

Tabela 2. Hemijski sastav čelika otpornih na koroziju

Red. broj	Sadržaj elemenata u procentima					
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Ostali elementi
	manje od					
	<b>Austenitni hrom-niklovi čelici</b>					
1.	0,08	0,80	1,0-2,0	17,0-19,0	9,0-11,0	-
2.	0,12	0,80	1,0-2,0	17,0-19,0	9,0-11,0	(%C-0,02)x5<0,70 Ti
3.	0,08	0,80	1,0-2,0	17,0-19,0	11,0-13,0	5 x C<0,60 Ti
4.	0,10	0,80	1,0-2,0	16,0-18,0	12,0-14,0	1,8-2,5Mo; 0,3-0,6 Ti
5.	0,10	1,0	2,0	22,0-25,0	17,0-20,0	-
6.	0,06	0,80	0,80	22,0-25,0	26,0-29,0	2,5-3,0 Mo; 0,4-0,7 Ti
	<b>Austenitno hrom-manganski čelici</b>					
7.	0,10	0,80	13,0-15,0	13,0-15,0	2,5-3,5	(%C-0,02)x5<0,6 Ti
	<b>Austenitno-feritni čelici</b>					
8.	0,08	0,08	0,08	20,0-22,0	4,6-5,8	0,30-0,60 Ti
9.	0,08	0,08	0,08	20,0-22,0	5,5-6,5	1,80-2,50 Mo; 0,20-0,40 Ti
	<b>Austenitno-martenzitni čelici</b>					
10.	0,09	0,80	0,80	16,0-18,0	6,5-7,5	0,80-1,30 Al
	<b>Austenitno-boridni čelici</b>					
11.	0,08	0,80	1,0-2,0	17,0-19,0	11,0-13,0	%Cx8<1,2 Nb; 0,50-0,08B

U tabeli 3. dat je hemijski sastav i mehaničke osobine najvažnijih čelika otpornih na koroziju prema domaćim standardima.

Tabela 3 - Sastav i osobine čelika otpornih na koroziju prema domaćim standardima

Oznaka (JUS)	Sastav (%)				Granica plastičnosti (N/mm <sup>2</sup> )	Zatezna čvrstoća (N/mm <sup>2</sup> )
	C	Cr	Ni	Mo		
Č.4170	0,08	13,0	-		400	550-700
Č.4171	0,15	13,0	-		450	650-800
Č.4172	0,20	13,0	-		550	800-950
Č.4570	0,2	17,0	2,0		600	800-950
Č.4571	0,1	18,0	9,0		205	500-750
Č.4572	0,08	18,0	10,5		205	500-750
Č.4573	0,08	17,5	12,5	2,0	205	500-700
Č.4574	0,08	17,5	12,5	2	225	500-750
Č.4580	0,07	18,0	11,0		185	500-700
Č.4582	0,10	18,0	10,0		205	500-750
Č.4583	0,10	18,0	12,0		225	500-750

## 2. OSNOVNE SPECIFIČNOSTI ZAVARIVANJA

Hrom-nikl austenitni čelici su materijali koji se najčešće primenjuju u grupi čelika otpornih na koroziju. Takođe nalaze primenu hrom-manganski austenitni, hrom-nikl austenitno feritni, austenitno martenzitni i austenitno boridni čelici [12, 13, 14].

Detaljni podaci o čelicima otpornim na koroziju (hemijski sastav, osobine čvrstoće, približna namena, otpornost na koroziju i dr.) propisuju se odgovarajućim standardima.

Ocena otpornosti metala na koroziju, kako čelika i legura tako i zavarenih spojeva, najčešće se vrši

prema gubitku mase  $g/m^2h$  ili prema dubinskom pokazatelju (brzina korozije) u  $mm/god$ .

U tabeli 4. data je klasifikacija otpornosti metala na koroziju po skali sa 5 ocena, [15,16].

Pri proizvodnji predmeta, konstrukcija i opreme od austenitnih čelika otpornih na koroziju, pretežno se primenjuje ručno i mehanizovano (pod prahom u atmosferi zaštitnih gasova) i elektrolučno zavarivanje. Za posebno odgovorne predmete uporedo sa elektrolučkim zavarivanjem koristi se i zavarivanje elektronskim snopom, difuziono zavarivanje, zavarivanje plazmom i drugi postupci zavarivanja. Austenitni čelici velike debljine izvode se zavarivanjem pod troskom [17, 18, 19,26].

Tabela 4. Klasifikacija otpornosti metala na koroziju

Grupa otpornosti	Gubitak mase $g/(m^2h)$	Ocena
veoma otporan	< 0,10	1
otporan	0,10-1,0	2
relativno otporan	1,0-3,0	3
slabo otporan	3,0-10,0	4
otporan	>10,0	5

Gasno zavarivanje i zavarivanje ugljenom elektrodom ne preporučuje se s obzirom na niz bitnih nedostataka a pre svega zbog opasnosti povećanja ugljenika u metalu šava i zoni uticaja toplote, [19, 20].

Vrsta čelika i tehnologija zavarivanja, određuju se zavisno od uslova u kojima će se eksploatirati predmet.

Kada se čelik koristi kao materijal otporan na koroziju, glavni zahtev koji mora da zadovolji zavareni spoj jeste otpornost metala šava i zona uticaja toplote prema međukristalnoj i opštoj koroziji u tečnom medijumu kao i otpornost prema korozionom prskanju [20, 21].

Ako se od čelika pravi aparatura za kiseoničke stanice ili rezervoare za skladištenje i transport komprimovanih gasova (kiseonik, azot, vodonik) najvažniji uslov radne sposobnosti zavarenog spoja je visoka plastičnost (udarna žilavost) metala šava na niskim temperaturama sve do  $-250^{\circ}C$ . Otpornost šava na koroziju ovde je fakultativni zahtev [22, 23].

Kada se čelik koristi za predmete koji rade pri kombinovanom dejstvu povišenih temperatura i korodirajućeg medijuma važno je da zavareni spoj uporedo sa korozionom otpornošću ne bude podvrgnut procesu povećanja krutosti u toku dugotrajne eksploatacije [24].

U nizu slučajeva važan zahtev je sposobnost metala da se odupre razarajućem dejstvu vrućih gasova.

Pored nabrojanih zahteva postavljaju se i posebni zahtevi za zavarivanje.

Važno je naglasiti da greške u šavovima u čelicima predstavljaju potencijalna žarišta korozionog loma, iz razloga što je čelik i metal šava čistiji, veća je njihova otpornost prema koroziji.

Koroziona otpornost sitnozrnastih čelika i zavarenih spojeva veća je nego kod krupnozrnih. Zbog toga su deformisani čelici bolji od livenih, šavovi sa sitnom strukturom, npr. elektrolučni, bolji su od krupnokristalnih izvedenih zavarivanjem pod troskom [25].

### 3. SPECIFIČNOSTI SA ASPEKTA KOROZIJE ZAVARENIH SPOJEVA

Austenitni čelici i zavareni spojevi sklone su nekim oblicima korozionog loma, od kojih su glavni:

- međukristalni,
- opšti pod dejstvom tečnog medijuma,
- koroziono prskanje.

Međukristalna korozija javlja se pod dejstvom temperatura  $500-800^{\circ}C$  na čelike odnosno zavarene spojeve ili pri sporom hlađenju ovih čelika i spojeva od  $900-1000^{\circ}C$ . U procesu zavarivanja sekcije metala u zoni uticaja toplote podvrgavaju se toplotnom dejstvu u oblasti navedenih temperatura i tamo može da se razvije međukristalna korozija [21,23,27].

Za sprečavanje međukristalne korozije primenjuju se sledeće metode:

- a) Smanjuje se sadržaj ugljenika u čeliku i šavovima do granice rastvorljivosti 0,02-0,03%.
- b) Legira se čelik (šavovi) elementima: titanom, niobijumom, tantalom, cirkonijumom, vanadijumom, koji imaju veći afinitet prema ugljeniku nego hrom. Ovo se postiže primenom odgovarajućih žica i elektroda pri zavarivanju.
- c) Zavareni spojevi se podvrgavaju kaljenju na  $1050-1100^{\circ}C$  pri čemu je obavezno brzo hlađenje i stabilizirajuće žarenje u toku 2-4 časa na  $850-900^{\circ}C$ .
- d) Povećava se u šavovima sadržaj ferita od 20 do 25% dopunskim legiranjem hromom, i elementima kao što su silicijum, aluminijum, vanadijum, molibden i volfram. Ovo se takođe postiže primenom odgovarajućih žica za zavarivanje.

Varijanta međukristalne korozije, javlja se na uskom pojasu duž šava neposredno uz liniju spajanja. Obavezan uslov pojave ovog oblika korozije je pregrevanje čelika u zoni uticaja toplote do temperature preko  $1200-1250^{\circ}C$  i ponovno toplotno dejstvo na ovom području kritičnih temperatura od  $500-800^{\circ}C$ , [11], [23], [24].

Mere za sprečavanje ove varijante međukristalne korozije su:

- a) Smanjenje sadržaja ugljenika u čeliku i šavovima do 0,02-0,03%.
- b) Legiranje čelika i šavova stabilizujućim elementima: titanom, niobijumom.
- c) Primena niza tehnoloških mera usmerenih na eliminisanje ili smanjenje pregrevanja metala u zoni uticaja toplote (zavarivanje kratkim lukom, zavarivanje sledećeg sloja posle potpunog hlađenja prethodnog, zavarivanje sloja izloženog agresivnom medijumu, hlađenje zavarenog spoja sa strane predhodno zavarenog šava i dr.)
- d) Kaljenje zavarenih spojeva ili stabilizirajuće žarenje.

Opšta korozija pod dejstvom tečnog medijuma šava ili zone uticaja toplote javlja se kao dejstvo agresivnog reagensa, [19, 24].

Sa gledišta zavarivanja osnovni metod borbe sa ovim oblikom korozije je zavarivanje predmeta šavovima identičnim sa osnovnim materijalom po sastavu i pravilni izbor režima termičke obrade.

Koroziono prskanje čelika zavarenih spojeva nastaje kao rezultat kombinovanog dejstva zatežućih napona i agresivnih reagenasa, a posebno medijuma sa sadržajem hlorida, morske vode, nekih kiselina, itd. Korozionom prskanju su skloni pretežno stabilno-austenitni čelici, [9,13]. Mere za borbu sa korozionim prskanjem austenitnih čelika i zavarenih spojeva su:

- a) Povećanje sadržaja nikla preko 40%.
- b) Stvaranje dvofazne strukture: austenitno-feritne, austenitno-boridne.
- c) Sprečavanje krivljenja i hladne deformacije zavarenog predmeta koji izazivaju pojavu zatežućih napona u pojedinim dijelovima metala.

#### 4. TEHNOLOŠKE SPECIFIČNOSTI ZAVARIVANJA

Pregrevanje i višekratno zagrevanje zavarenog spoja čelika otpornih na koroziju, ne sme se dozvoliti. U slučajevima kada zavareni predmet ne može da se podvrgne kaljenju ili stabilizaciji (uz obavezno naknadno brzo hlađenje, npr. na vazduhu), zavarivanje mora da se izvodi pri najmanjoj energiji i pri maksimalno mogućoj brzini [10,15].

Redosled polaganja šavova mora po mogućnosti da se određuje tako da se šav izložen agresivnoj sredini izvodi na kraju [17].

Isto tako, treba uvek davati prednost mehanizovanim postupcima zavarivanja, ukoliko mogućnost

neprekidnog izvođenja datog šava jednim uređajem svodi na minimum opasnost od korozije onih sekcija šava gde ponovno uspostavljanje luka izaziva nepoželjno toplotno dejstvo na metal šava i zonu uticaja toplote. Jednoslojni jednostrani šavovi zbog toga su bolji od obostranih [20].

Ukoliko otpornost na koroziju metala šava direktno zavisi od njegovog hemijskog sastava i sadržaja feritne faze, održavanje konstantnog faznog i hemijskog sastava šava je glavni uslov za postizanje kvalitetnog zavarenog spoja austenitnih čelika otpornih na koroziju. U ovome leži još jedan uzrok potrebe orijentacije na mehanizovane konstrukcije zavarivanja, koji mogu da obezbede stabilnost režima zavarivanja, dubinu uvarivanja osnovnog materijala i legiranje rastopine. Pri ručnom elektrolučnom zavarivanju, ne mogu da se izbegnu kolebanja dužine luka i odgovarajuća kolebanja sastava i osobina metala šava, [21, 22].

Isto tako treba preduzimati mere protiv padanja kapi dodatnog materijala i rastopine na osnovni materijal. Kapi predstavljaju potencijalno žarište neke kristalne korozije i korozionog prskanja ili pojave međukristalnih prslina u osnovnom materijalu na mestu privarivanja kapi [14].

Koroziona otpornost austenitnih čelika i zavarenih spojeva dosta je određena stanjem njihove površine. Polirani čelici imaju veću otpornost prema koroziji pod dejstvom tečnih medijuma. Šav sa glatkom finom pahuljičastom površinom sitnih nabora bolji je po opštoj korozionoj otpornosti šava od šava koji ima grubu neravnu površinu. U ovome leži još jedno prednost mehanizovanog zavarivanja, a poseno zavarivanja pod prahom, nad ručnim elektrolučnim zavarivanjem i prednost zavarivanja u zaštitnoj atmosferi argona ili helijuma nad zavarivanjem u ugljendioksidu ili nezaštićenim lukom. Nabori, udubljenja između nabora, zazor i neproveren koren koji su u dodiru sa agresivnom tečnošću predstavljaju moguća žarišta za razvoj koncentrisane naponske korozije. Iz ovih razloga u zavarenim konstrukcijama od nerđajućeg čelika otpornih na koroziju apsolutno nisu dopušteni zatvoreni sučeoni spojevi ili spojevi sa potkorenim pločicom koja ostaje, ako se koren šava nalazi u dodiru sa agresivnom sredinom. Ovdje bezuslovno imaju prednost sučeoni spojevi sa potpunim provarivanjem korena. Ako je pristup korenu šava otežan ili nemoguć, naprimer u spojevima cevovoda, potrebno je orjentisati se na zavarivanje u zaštitnim gasovima sa umetačima koji se potpuno tope [23, 25, 26].

Pri zavarivanju višeslojnih šavova ne mora da se popunjava čitav presek žleba metalom koji ima potrebnu otpornost protiv međukristalne korozije. Dovoljno je, ako površinski slojevi koji su u dodiru sa

agresivnom sredinom imaju otpornost protiv međukristalne, opšte korozije [7].

Isto tako, ne dozvoljava se oštećenje površina čelika i šavova. Zato je nedopustivo uspostavljanje luka izvan šava.

Posebnu pažnju treba obratiti na kvalitet pričvršćivanja kabla za zavarivanje za osnovni materijal. Usled lošeg kontakta između kabla i predmeta austenitni čelik sagoreva i topi se. Na ovim mestima, koja su često obogaćena gvožđem ili bakrom, neizbežno se javljaju žarišta korozije [9].

Svi austenitni čelici imaju veliki omski otpor i nisku toplotnu provodljivost. Zato je neophodno njihovo zavarivanje izvoditi sa smanjenim slobodnim krajem elektrode, u poređenju sa običnim čelicima gde su pri ručnom zavarivanju primenjuju skraćene elektrode.

Niska toplotna provodljivost uslovljava veliko krivljenje zavarenih konstrukcija. Zato po mogućnosti treba težiti jednostranom zavarivanju šavova simetričnog preseka pri potpunom provarivanju [4].

Predgrevanje, kao i propratno zagrevanje ivica, koje se preporučuje u nizu slučajeva pri zavarivanju vatrootpornih austenitnih čelika i legura, nepoželjno je kod zavarivanja čelika otpornih na koroziju, zbog smanjenja korozione otpornosti spoja. Predgrevanje može da se dozvoli samo u slučaju naknadnog kaljenja i stabilizacije predmeta.

Ostaci troske na površini šavova i u zoni uticaja toplote posle zavarivanja moraju da budu brižljivo uklonjeni. Nepoželjno je čišćenje pneumatskim čekićem i drugim metodama usled kojih se obrazuju udubljenja i krzanja na metalu šava. Austenitni čelici se odlikuju velikom sposobnošću hladne deformacije, što treba da se uzme u obzir pri hladnom ispravljanju zavarenih konstrukcija [8,11].

Za uklanjanje efekata hladne deformacije, ako je to neophodno da bi se izbeglo, npr. koroziono prskanje ili ubrzana korozija u neoksidujućim sredinama, zahteva se zagrevanje do temperature iznad 800°C, s obzirom na povećanu čvrstoću austenitnog čelika na visokim temperaturama. Opuštanje na 600-650°C, koje se obično propisuje za ugljenične čelike, praktično ne uklanja napone austenitnih čelika [23].

## 5. METALURŠKE SPECIFIČNOSTI ZAVARIVANJA

Kod austenitnog šava, koroziona otpornost određena je njihovim sastavom, dovoljnim sadržajem legirajućih elemenata (hroma), stabilizatora (titana i niobijuma), ferizatora (aluminijuma, vanadijuma, silicijuma i dr.). Glavna specifičnost metalurgije zava-

rivanja austenitnih čelika otpornih na koroziju je stvaranje sigurnih uslova da navedeni elementi uđu u rastopinu [16, 22, 28].

Čelike otporne na koroziju treba zavarivati neoksidujućim praškovima i oblogama elektroda.

U slučaju gasne zaštite (argon, ugljen-dioksid ili smeše) treba obezbediti sigurnu izolaciju rastopine od atmosfere vazduha. Pri ovome, pažnju zaslužuje zavarivanje u vakumu (elektronskim snopom i dr.) [3, 4].

Koroziona otpornost zavarenog spoja pri ostalim istim uslovima određuje se sadržajem ugljenika u njemu. Svaki stoti deo procenta ugljenika ima odlučujući značaj. U slučaju zaštite troskom nije dozvoljeno prisustvo ugljenika u prahu ili u oblozi elektrode. Poželjno je da se u njima sadržaj kalcijum-karbonata i magnezijum-karbonata svede na minimum. Isto tako zabranjuje se korišćenje žice za zavarivanje sa tragovima grafitnog premaza ili premaza koji sadrži ugljenika [16].

Treba naglasiti, žleb za zavarivanje mora biti pažljivo očišćen od tragova boja i ulja.

Kada je u pitanju upotreba stabilno austenitnih čelika, u svojstvu materijala otpornih na koroziju, javljaju se određene teškoće pri dobijanju čisto austenitnog šava otpornog na koroziju bez prslina.

U ovom slučaju, glavni način borbe sa prslinama jeste strogo ograničenje u šavovima i osnovnom materijalu sadržaja elemenata koji izazivaju prslina: silicijuma, fosfora, sumpora i lako topljivih primesa (olova, kalaja, bizmuta, arsena i dr.) takođe i nekih gasova (kiseonika i vodonika). Zbog prethodnog, neophodno je primenjivati materijale za zavarivanje i čelike koji se zavaruju sa povećanom čistoćom [14].

## 6. ZAKLJUČAK

Projektantima i konstruktorima zavarenih konstrukcija i sklopova, kao i tehnolozima koji se bave zavarivanjem spojeva od čelika otpornih na koroziju u hemijskoj i procesnoj industriji, neophodno je pored solidnog teorijskog znanja i dobro poznavanje određenih specifičnosti i uticaja na osobine materijala, iz razloga kako bi se obezbedilo kvalitetno, racionalno i pouzdano konstrukciono rešenje. Isto tako posebno treba uzeti u obzir specifičnost njihove tehnologije zavarivanja. Razlozi za ovo u novije vreme vezani su prvenstveno za pojačane zahteve ekonomičnosti kao veću odgovornost i kulturu proizvođača pri rešavanju mnogih komplikovanih tehničko-tehničkih problema u ovoj važnoj inženjerskoj oblasti.

Pri rešavanju navedenih problema, mora se uzeti u obzir čitav niz opštih i posebnih eksploatacionih uslova koji moraju biti ispunjeni, kao i sredina u kojoj se primenjuje ova specifična grupa čelika.

Isto tako poznavanje prikazanih specifičnosti zavarivanja, posebno tehnoloških i metalurških, koje se ovde razlikuju u odnosu na konstrukcione ugljenične čelike, uglavnom zbog različitih termofizičkih osobina, omogućuje razjašnjenje raznih slučajeva oštećenja i grešaka usled deformacija i napona, kao i njihovih uzroka, što može biti takođe od praktičnog značaja. Kod rešavanja složenijih problema u ovoj oblasti, neophodna je uska saradnja inženjera različitih struka, tehnologa, mašinaca i metalurga.

## 7. LITERATURA

- [1] D. G. Tufanov: Корозионая стойкост нержавеющей стали, Металлургия, Москва, 1983
- [2] L.F.Mandolfo: Engineering metallurgy, Mc Graw Hill Book Company, USA, 1977
- [3] S. Mladenović: Korozija materijala, TMF Beograd, 1978
- [4] E. A. Упјанин: Коррозионностойкие стали и сплавы, Металлургия, Москва, 1984
- [5] Н.А.Доллежала: Коррозионная и химическая стойкость материалов, Машгиз, Москва 1984
- [6] И.Н.Юкалова: Металлы и сплавы в химическом машиностроении, ВШ, Москва, 1982
- [7] Н.Н.Рыкапин: Расчеты тепловых процессов при сварке, Машгиз, 1981
- [8] M.Fontana: Corrosion Engineering, Mc Graw Hill Book Company, 1987
- [9] Ф.Ф.Химушин: Нержавеющие стали, Металлургия, 1987
- [10] R. Pospíšil: Antikoposni a žaruvzdorne ocehi, Praha, 1996
- [11] Moor.K.L.: Corrosion of furnace tubes by residual welding sleg. Corrosion, No1, 1980
- [12] Swales G.L: Les progres recents des allages a haute teneur en nickel veristent a la corrosion, Corros. Et anticorros, No 7-8, 1981
- [13] E.R.Evans: The corrosion and oxidation of metals, Edward Arnold, London 1976
- [14] M. Antonijević, M. Pavlović, Č. Lačnjevac: Korozija i zaštita čelika, SITZAMS, Beograd, 1996
- [15] B. Trifunović: Specijalni čelici, Naučna knjiga Beograd, 1980
- [16] Б.И.Адовар: Сварка хромоникелевых аустенитных сталей, Машгиз, Москва, 1986
- [17] Б.И.Медовар: Сварка аустенитных сталей, Техника, Киев, 1984
- [18] Н.И.Каховский: Сварка нержавеющей стали КН, Киев, 1978
- [19] Г.А.Белючук: Сварка судовых конструкций, Судостроение, Ленинград, 1990
- [20] Н.М.Новокилов: Основы металлургии сварки, Машгиз, Москва, 1989
- [21] D.R.Askeland: The Science and Engineering of Materials, Chapman and Hall, London, 1995
- [22] А.А.Алов: Основы теории процессов сварки, Машиностроение, 1984
- [23] Н.Шуманн: Metallographie, Leipzig, 1982
- [24] Г.В.Акимов: Основы учения о коррозии и защите металлов, Металлургиздат, 1986
- [25] В.В.Герасимов: Коррозия и облучение, Госатомиздат, Москва, 1980
- [26] К. Б.Любавский: Металлургия сварки сталей, НТО, Москва, 1981
- [27] J.Sternkopt: Abschmelz-schweizelektroden für zunderbeständige Ni-Cr, Neue Hüte, Legierungen, No2, 1983

## ABSTRACT

### THE WELDING SPECIFICITY OF STEEL RESISTANCE TO CORROSION

*In this paper the most important specificities of welding steel resistant to corrosion was given. The special view of their corrosion resistant, procedures for corrosion prevention and conditions at their welding was considered. Beside fundamental and specificities in view of corrosion behaviour, technology-metallurgically specificities which can be of practical importance at their exploitation in many industries sectors were given.*

*Through given analysis characteristics specificities technical-technological informations were given and these data can be of practical importance for engineering practice.*

**Key words:** *welding of noncorrosion steels, technological specificities, metallurgical specificities, technology of welding, exploitation condition and characteristics, engineering information*