



TOPLINSKA OBRADA MATERIJALA PRIJE I NAKON ZAVARIVANJA

Tehnologija, oprema, primjena

Marinko Grbin ing., Josip Vukšić
Metalvar d.o.o., 10000 Zagreb, Radnička cesta 27
Tel: 01/606 2291
Fax: 01/ 606 2290
E-mail: metalvar@metalvar.hr

Sažetak: *Pregled materijala i objekata kod kojih je potrebna toplinska obrada. Oprema za toplinsku obradu; elektrootporno zagrijavanje i induksijsko zagrijavanje. Prikaz primjera grijanja s naglaskom kada koja vrsta grijanja i snaga uređaja.*

Ključne riječi: predgrijavanje, odžarivanje, zavarivanje



GRIJANJE

1. UVOD

Postupak zavarivanja složenih konstrukcija, konstrukcija izrađenih iz debelih limova iznad 30 mm ili konstrukcija izrađenih iz čelika povišenih čvrstoća ili nisko legiranih čelika zahtjeva toplinsku obradu prije zavarivanja ili nakon zavarivanja a najčešće prije i poslije. Režim toplinske obrade uglavnom su precizirani tehničkim propisima i ovim referatom neće biti obuhvaćena ta problematika. Obraditi će se vrste toplinske obrade, čemu služe i kako se izvode.

2. PREDGRIJAVANJE

Predgrijavanje je toplinska obrada prije zavarivanja a primjenjuje se radi smanjenja brzine hlađenja zavarenog spoja. Time smanjujemo opasnost nastajanja tvrdih martezitnih struktura u zoni uticaja topline odnosno zoni između zavara i osnovnog materijala. Smanjenjem tvrdih struktura smanjujemo opasnost nastajanja pukotina. Temperatura predgrijavanja ovisi o debljini materijala i kemijskom sastavu. Ima nekoliko autora koji daju formulu za izračunavanje temperature predgrijavanja ali se nekako najčešće koristi metoda „Seferijan“ kao najjednostavnija.

Metoda Seferiana

Za izračunavanje temperature predgrijavanja Seferian je predložio jednostavan obrazac, koji je dobijen kao rezultat ispitivanja raspodjele tvrdoće u zoni ispod navara različitih niskolegiranih čelika.

Temperatura predgrijavanja T_p se obrađuje iz obrasca:

$$T_p = 350 \sqrt{[C] - 0,25}$$

gdje $[C]$ - predstavlja ukupni ekvivalentni ugljika.

Ukupni ekvivalent ugljika jednak je zbroju kemijski ekvivalentnog ugljika $[C]_h$, dobijenog na bazi kemijskog sastava čelika, i ekvivalenta ugljika debljine $[C]_d$, koji ovisi od dimenzija zavarivanih komada:

$$[C] = [C]_h + [C]_d$$

Broj 0,25 u izrazu odgovara gornjoj granici ugljika u običnim zavarljivim čelicima.

Kemijski ekvivalent ugljika se određuje iz izraza:

$$360 [C]_h = 360 C + 40(Mn + Cr) + 20 Ni + 28 Mo$$

Ekvivalent ugljika debljine $[C]_d$, s jedne strane, ovisi od debljine lima, a s druge, od stupnja zakaljivosti čelika i shodno tome, od kemijski ekvivalenta ugljika:

$$[C]_d = 0,005 \times d \times [C]_h$$

Gdje je d - debljina zavarivanih limova u mm; 0,005 - koeficijent debljine određen je eksperimentalno.

Na taj način, ukupni ekvivalent ugljika $[C]$ se može odrediti iz formule:

$$[C] = [C]_h (1 + 0,005d)$$

Uzmimo primjer čelika debljine 12 mm i kemijskog sastava $C=0,25\%$; $Mn=0,8\%$; $Cr=1,0\%$; $Mo=0,25\%$ nađimo kemijski ekvivalent ugljika prema obrascu:

$$360[C]_h = (360 \times 0,25) + 40(0,8 + 1) + (28 \times 0,25)$$

Odakle je

$$[C]_h = 0,46;$$

i

$$[C] = 0,46 (1 + 0,005 \times 12) = 0,48.$$

Tada temperatura predgrijavanja iznosi

$$T_p = 350 \sqrt{0,48 - 0,25} = 170^\circ\text{C}$$



6. SEMINAR
Novine u tehnologiji zavarivanja i srodnim tehnikama
Pula, 28.10.2010.

Greške koje mogu nastati nedovoljnim predgrijavanjem ne mogu se popraviti naknadnom toplinskom obradom.

Predgrijava se u zoni uz pripremljeni spoj. Širina zone predgrijavanja iznosi oko 10 debljina materijala sa svake strane ali ne treba više od 250 mm kod debljih stijenki. Predgrijavati se može plinski, elektrootporno i indukcijski..

Kod plinskog predgrijavanja temperatura se mjeri termokredama ili raznim tipovima termometara, ali ne ostaje trajan zapis.

Kod plinskog predgrijavanja vrlo je teško, a i nemoguće postići jednoliko grijanje po površini i po presjeku. Mjesto ispod plamena se pregriju dok udaljena mjesta ostaju hladna, a i nema prigrijenosti po presjeku pa se razlike u temperaturi strane koja se grije od suprotne značajne. Zbog navedenog kod odgovornih objekata gdje se traži jednoliko zagrijavanje po čitavoj površini i pregrijanosti po čitavoj debljini te potrebi dokumentiranje o predgrijavanju obvezno je elektrootporno ili indukcijsko zagrijavanje.

3. ODŽARIVANJE

Odžarivanje je toplinska obrada koja se provodi radi smanjivanja zaostalih napetosti u zavarenom spoju:

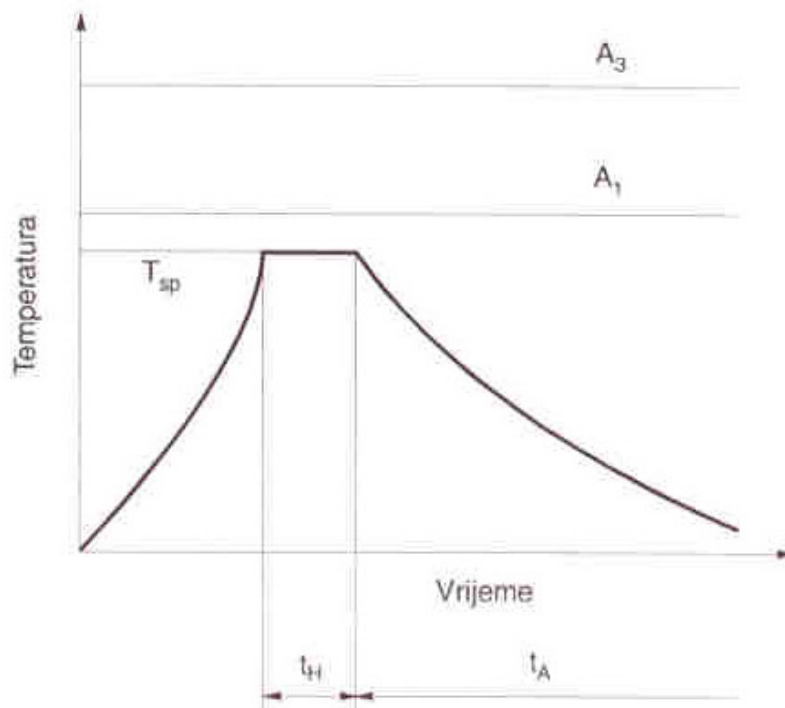
- kod nelegiranih čelika većih debljina (>30 mm i više);
- kod niskolegiranih čelika i kod manjih debljina (>6 mm i više);
- kod visokolegiranih čelika.

Osim smanjivanja zaostalih napetosti u zavarenom spoju, ta toplinska obrada koristi se i za popuštanje napetosti hladno obrađivanih čelika, npr. hladno savnutih plašteva ili nekih drugih profila.

Propisima i standardima određuje se kad valja provoditi toplinsku obradu odžarivanjem.

Odžarivanje čelika se izvodi na temperaturi ispod temperature početka strukturnih promjena, odnosno ispod točke pretvorbe (A₁).

Zaostale napetosti nastale zavarivanjem, odžarivanjem praktički gotovo nestaju.



Dijagram odžarivanja

T_{sp} = temperatura odžarivanja

t_H = vrijeme držanja na temperaturi odžarivanja

t_A = vrijeme hlađenja

Proces odžarivanja može se podijeliti u tri faze:

- postupno zagrijavanje do temperature odžarivanja;
- zadržavanje na temperaturi odžarivanja;
- postupno hlađenje.

Vrijeme zagrijavanja, odžarivanja i hlađenja ovisi o vrsti čelika i debljini radnog komada. Brzina zagrijavanja kod nelegiranih čelika u praksi se kreće 80-100°C na sat. Isto toliko je i brzina hlađenja. Kod niskolegiranih čelika brzina zagrijavanja je znatno niža, oko 50°C na sat pa čak i niža. Zadržavanje na temperaturi odžarivanja kreće se 2-3 minute po mm debljine stijenke radnog komada, ali najmanje 30 minuta. Kontrolirano hlađenje odvija se do 200°C. Odstupanje od zadane temperature u procesu odžarivanja ne bi smijelo biti veće od $\pm 10^\circ\text{C}$. Podatke za odžarivanje pojedinih vrsta čelika preporučuju proizvođači čelika, standardi i smjernice. Orjentacijski, nelegirani čelici odžaruju se na temperaturi 600-650°C. Niskolegirani čelici, s povišenim sadržajem legiranih elemenata, odžaruju se na temperaturi 660-690°C pa i višoj. Temperatura odžarivanja sitnozrnatih čelika ne bi smijela biti viša od 620°C. Kod visokolegiranih vatrootpornih čelika temperatura odžarivanja je znatno viša, 750-800°C. Međutim, kod ovih temperatura odžarivanja postoji opasnost različitih izlučivanja npr. kromovih karbida na granici zrna, a time i pojava sklonosti interkristalnoj koroziji. Stoga se izbjegava toplinska obrada odžarivanjem, naročito ako su čelici izloženi visokim temperaturama u eksploataciji. Čisti austenitni čelici odžaruju se na temperaturi 900-950°C i odmah hlade na zraku, tako da se kritična temperatura izlučivanja kromovih karbida (između 450 i 800°C) brzo prelazi. I kod tih čelika se izbjegava odžarivanje. U praksi se malo susreću zavareni austenitni čelici velikih debljina.

Odžarivanjem se osim smanjenja zaostalih napetosti postiže smanjenje tvrdoće u ZUT-u zavarenog spoja. To djelovanje odžarivanja je za zavarenu konstrukciju u pojedinim slučajevima važnije od smanjenja zaostalih napetosti, a naročito je važno kod čelika sklonih otvrdnjavanju (u ZUT-u) kod zavarivanja. Taj učinak toplinske obrade (smanjuje tvrdoće u ZUT-u) naziva se popuštanje.

4. POBOLJŠANJE

Ova vrsta toplinske obrade primjenjuje se nakon zavarivanja čelika za poboljšanje. Svrha je povećanje žilavosti uz zadržavanje visoke čvrstoće.

Proces je sljedeći:

- najprije se obavlja zagrijavanje na temperaturi nešto iznad linije A3;
- potom se provodi naglo hlađenje do linije A1 i dalje, određenom brzinom (kao kod otvrdnjavanja);
- nakon toga ponovno se provodi zagrijavanje na temperaturi iznad 400°C a ispod točke A1 potom se postupno hladi.

Takvom toplinskom obradom specijalnih čelika za poboljšanje dobiva se otvrdnjavanjem vrlo visoka čvrstoća, a naknadnim popuštanjem dobra žilavost i granica razvlačenja. Stoga su čelici otporni na velika i složena dinamička naprezanja.

Vrijednost temperature i vremena kod ove toplinske obrade ovise o sastavu čelika za poboljšanje. Preporuke o tome daju proizvođači čelika, a određene su i standardima.

5. NORMALIZACIJA

Toplinska obrada normalizacijom provodi se radi dovođenja grubozrnate, otvrdnute ili nejednolike strukture u „normalnu“ strukturu čelika.

Kod zavarivanja čelika sklonih otvrdnjavanju struktura u ZUT-u može otvrdnuti toliko da postane sklona pukotinama. Odžarivanjem se takva tvrdoća nešto smanji, ali ne značajno.

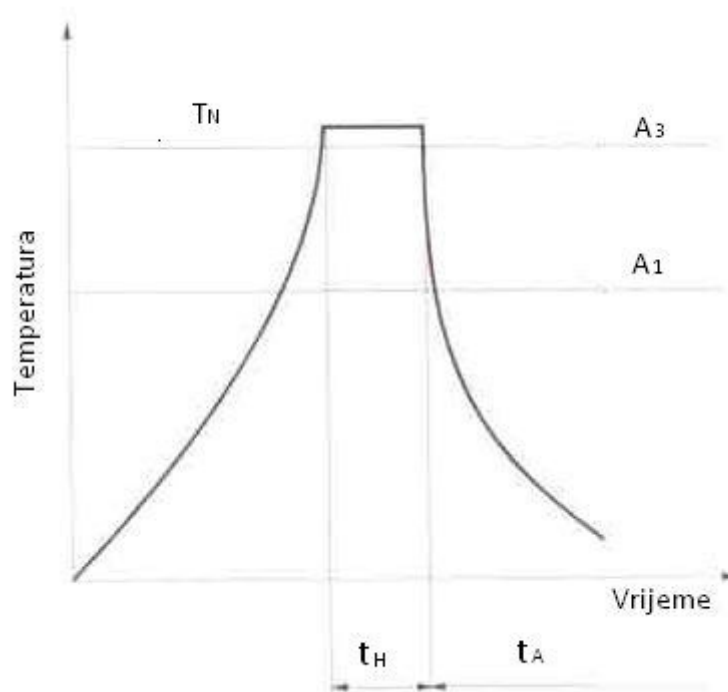
Normalizacijom se prekomjerno otvrdnjavanje može potpuno otkloniti i dovesti u područje „normalnih“ tvrdoća osnovnog materijala. Normalizacijom se takva struktura dovodi u „normalno“ prvobitno stanje.

Kod zavarivanja postupcima koji proizvode veliku količinu taline, npr. zavarivanje pod troskom(EPT) ili u nekim slučajevima i kod EPP zavarivanja, dobiva se grubozrnata dendritna ljevačka struktura. Normalizacijom se ta struktura usitnjava.

Da bi se izvršila kvalitetna normalizacija potrebno je:

- prekoračiti temperaturu iznad linije A_{c3} za što manji iznos;
- držati radni komad na toj temperaturi što kraće vrijeme, toliko da se jednoliko progrije;
- brzina grijanja u području pretvorbe treba biti što veća;
- hladiti na mirnom zraku, odnosno vrstu i brzinu hlađenja prilagoditi radnom komadu

Postupak toplinske obrade normalizacijom je vrlo složen i skup proces pa se izbjegava gdje god je to moguće. Kod temperature normalizacije čvrstoća materijala smanji se do te mjere da radni komad usljed vlastite težine može promijeniti svoj oblik tako da više ne odgovara namjeni.



T_N = temperatura normalizacije

t_H = vrijeme držanja na temperaturi normalizacije

t_A = vrijeme hlađenja do 20°C

6. OPREMA ZA TOPLINSKU OBRADU

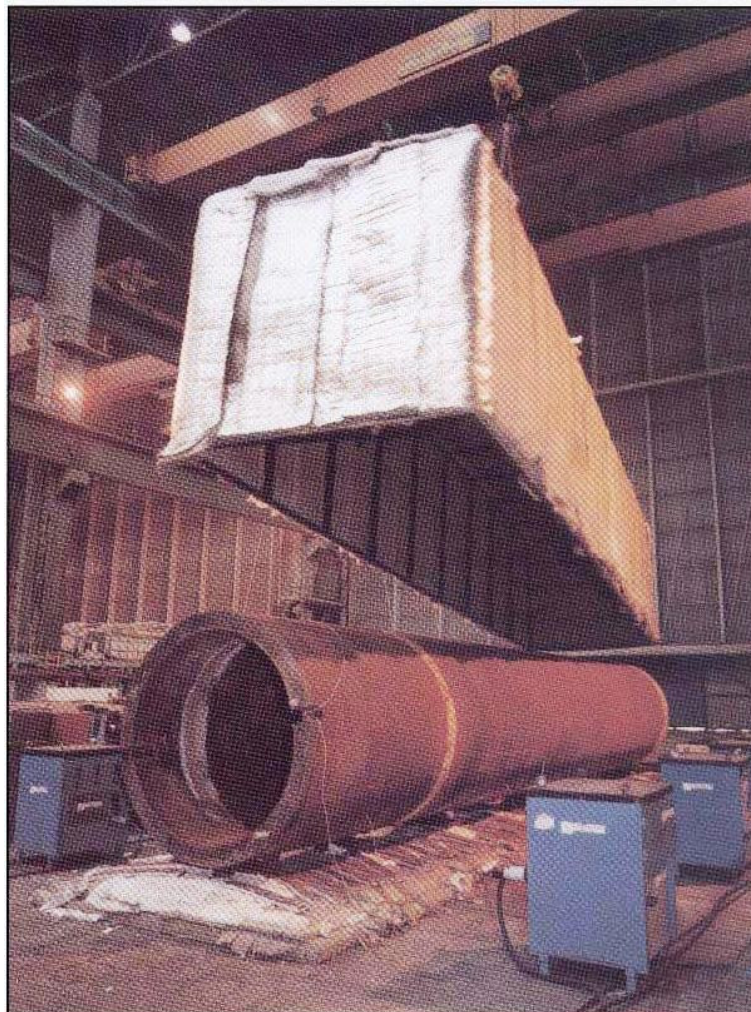
Osnovni zahtjevi koji se postavljaju na opremu za toplinsku obradu zavarenih konstrukcija su:

- mogućnost vrlo fine regulacije zagrijavanja i hlađenja;
- mogućnost stalne kontrole temperature radnog komada;
- mogućnost snimanja (ispisivanja) režima grijanja i hlađenja radnog komada;
- odgovarajuće veličine i oblici opreme u odnosu na radne komade;
- ekonomičnost opreme.

Kao oprema za toplinsku obradu mogu se koristiti stabilne peći, uglavnom dimenzionirane prema tipskim objektima koji se griju. Za pojedinačne objekte raznih dimenzija projektiraju se i montažne peći takvih dimenzija. Na mogućim objektima često se koristi parcijalna toplinska obrada samo zavarenog spoja i okoline.

6.1 Stabilne peći

To su zidne stabilne peći dimenzija prilagođenih tipskom objektu. Kod npr. rezervoari i kotlovi kao izvor energije koristi se električna energija plin ili tekuće gorivo. Peć se poslužuje kranskom dizalicom ili transportnim trakama.



6.2 Parcijalno grijanje

Vrlo se često događa da se neki objekt izradi i toplinski obradi u radionici, ali se na terenu mora zavariti za postojeće postrojenje. To je tipičan primjer za naftnu i procesnu industriju. Tada se ovisno o položaju, temperaturi, debljini itd. odabire potrebna oprema i na licu mjesta obavlja predgrijavanje i odžarivanje, a ponekad i normalizacija.

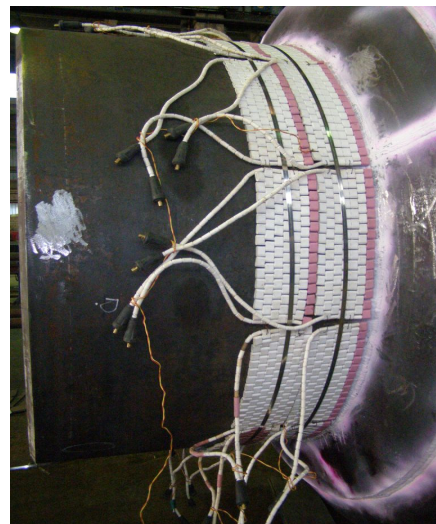
Postoje zahtjevni objekti kada je potrebno samo predgrijavanje. Tipičan primjer su kuglasti spremnici za ukapljene plinove. To su veliki objekti promjera oko 20 metara koji se zbog svoje veličine ne mogu odžarivati ali zbog debljine osnovnog materijala i kvalitete moraju predgrijavati. Tu je idealna primjena indukcijskog grijanja. Kablovi se protegnu i pričvrste uz zavareni spoj. Temperatura se postigne za 15 minuta, jednoliko raspoređena i registrirana dijagramom. Tako se može zagrijati cca 20 metara spoja za cca 15 minuta na 150°C uz utrošak 10 KW električne energije što je neznatan trošak ne uzimajući trošak cijene opreme i ljudi. Sličan je primjer predgrijavanja nogu naftnih platformi i nogu mostova i slično. Predgrijavanja spojeva jaružara u brodogradnji je vrlo zahtjevan zahvat. Ovisno o poziciji primjenjuje se indukcijsko zagrijavanje ili elektrotporno. Svugdje gdje je moguće primjenjuje se indukcijsko grijanje jer ima znatnih prednosti u odnosu na elektrotporno.

Jednostavniji postupak postavljanja grijača. Manji utrošak električne energije, hladni grijači kablovi koji se hlade vodom omogućuju zavarivaču micanje grijača i naslanjanje tijekom zavarivanja. Kod kabastih konstrukcija s pregradama nužno je elektrotporno grijanje bez obzira na nedostatke u odnosu na indukciono.

Za odžarivanje u cilju opuštanja zaostalih naprezanja elektrootporno zagrijavanje je u znatnoj prednosti. Ovisno o kvaliteti osnovnog materijala i debljini temperature odžarivanja kreću se između 600°C do 660°C. Max temperatura indukcionim grijanjem je do 700°C i trebalo bi idealno izolirati bez gubitka topline da se postigne tražena temperatura.

Zbog toga se za odžarivanje primjenjuje elektrotporno grijanje. Traženo mjesto odžarivanja obloži se grijačima, izolira vunom radi manjih gubitaka topline i vodi proces automatski prema traženom dijagramu.

Interesantno je napomenuti da je kod parcijalnog odžarivanja moguća i kombinacija indukcijskog i elektrotpornog grijanja. Zona zavarivanja zagrijava se elektrotporno, registrira temperatura i vodi proces. Da bi spriječili veliko odvođenje topline, plašt objekta omota se kablovima uređaja za indukcijono grijanje i odražava temperatura oko 200°C. Na slikama se vidi parcijalno elektrotporno odžarivanje zavarenog spoja na reaktoru i indukciono zagrijavanje plašta.



7. OPREMA ZA TOPLINSKU OBRADU

7.1 Indukcijsko grijanje

Indukcijsko grijanje je proces u kojem uređaj proizvodi AC električnu struju do elektromagneta (zavojnica ili grijaći kabel) i zatim električna struje u zavojnici stvara promjenjivo magnetsko polje.

Promjenjivo magnetno polje prolazi kroz vodič i uzrokuje električnu struju (Fizika - Faradejev 'Zakon indukcije).

Na površini se stvara struja, koje se još naziva "vrtložna struja".

Kada vrtložne struje teku kroz radni komad, prirodni otpor u metal uzrokuje zagrijavanje .

Dubina grijanja je ovisna o frekvenciji.

Visoke frekvencije, (50 kHz) grije površinski do 3mm, a niske frekvencije (60 Hz), prodiru dublje od 3 mm.

Prikaz uređaja za indukcijsko grijanje niske frekvencije: Miller ProHeat 35kW



Uređaj visoke frekvencije : **EFD Minac 25 kW**



7.2 Elektrootporno grijanje

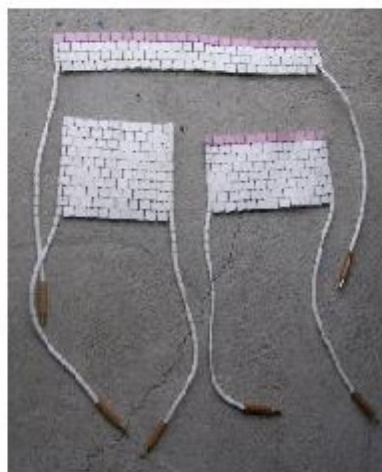
Elektrootporno grijanje je proces u kojem se grijači elementi(grijači) koji su montirani na predmet grijanja zagrijavaju na određenu temperaturu i zatim dolazi do prenosa toplina s grijača izravno na predmet grijanja. Toplina se ne proizvodi u grijanom materijalu kao kod indukcijskog grijanja. Termalni proces je pod kontrolom pomoću sustava termoelemenata. Temperature se bilježe na digitalnom ili analognom pisaču.

Uređaj za elektrootporno grijanje: ElectroHeat TF 8036

Izvor 80 kW



Grijači





8. ZAKLJUČAK

Toplinska obrada prije i poslje zavarivanja je "nužno zlo". Treba je izbjegavati gdje je to moguće, ali ako se mora izvesti onda se mora izvesti po pravilima struke sa obučenim i kvalificiranim operaterima te ispravnom opremom.

LITERATURA:

D.Safarin: Metalurgija zavarivanja
I.Juraga, M.Živčić, M.Grbín: Reparturno zavarivanje
Grbin, Kovačević, Živčić: Elektrolučno zavarivanje u zaštiti plinova

Prospektni material: Miller; ElectroHeat;EFD