PREDGOVOR

Primena invertora za zavarivanje REL i TIG postupcima, autora Branka Lukića, dipl. inž. maš. predstavlja priručnik koji se treba naći u biblioteci svakog stručnjaka, specijaliste i tehničkog lica koje se bavi izučavanjem i primenom zavarivanja kao tehnologije spajanja materijala.

Autor se potrudio da nas upozna sa mogućnostima primene najnovije generacije uređaja za zavarivanje REL i TIG postupcima. U zasebnim poglavljima dao je osnovne pojmove definicije i principe rada invertorskih izvora struje, njihovim osnovnim karakteristikama, prednostima i nedostacima, da bi se potom fokusirao na invertorske uređaje za zavarivanje, pre svega REL/E/MMA i TIG/WIG postupkom.

Posebna poglavlja posvećena su REL i TIG postupcima zavarivanja dajući osnovne definicije, principe, specifičnosti i karaktersitike svih postupaka spajanja materijala, mogućnosti i oblasti primene, dajući osnovne parametre zavarivanja i uputstva za njihovo izvođenje, uključujući preporuke za izbor dodatnih materijala, njihovo označavanje i pravilno korišćenje. Takođe, dat je pregled izvora opasnosti pri zavarivanju, mera i sredstava zaštite koji omgućavaju bezbedan rad zavarivača.

Posebna pažnja je posvećena greškama koje se javljaju pri zavarivanju, uzrocima i merama za eleminisanje grešaka u zavarivanju.

Kao poseban zahtev za kvalitetno izvođenje zavarenih spojeva postavlja se postojanje propisane i proverene tehničko tehnološke dokumentacije pa su u priručniku date preporuke za definisanje i kvalifikaciju, proveru tehnologije izvođenja zavarivanja, proveru stručne osposobljenosti zavarivača i definisanje tehničke dokumentacije i zahteva na crtežima i u tehnologiji.

Autor u zaključnim razmatranjima nagoveštava novu eru u zavarivanju, uvođenjem u primenu: novih materijala, tehnologija i sofisticirane opreme i uređaja u koje spadaju i invertori koji omogućavaju, zahvaljujući svojim karakteristikima, kvalitetnije, produktivnije i konfornije izvođenje zavarenih spojeva i izradu zavarenih konstrukcija, normalno uz neophodnu edukaciju kadrova i strogu tehnološku

disciplinu i striktno poštovanje propisane tehnologije i pridržavanje preporuka proizvođača opreme.

U prilozima knjige su date korisne informacije koje sadrže uputstva, u skladu sa propisanim standardima, za označavanje zavarenih spojeva u tehničko-tehnološkoj dokumentaciji, zahteve različitih nivoa kvaliteta zavarenih spojeva i uslove za njihovo postizanje, preglede kvaliteta osnovnih materijala, čelika i njihove karaktersitike u skladu sa zahtevima pojedinih standarda, itd.

U svakom slučaju, pred vama je knjiga, priručnik koji će koristiti i početnicima i doajenima koji se bave zavarivanjem, kao strukom u obrazovanju, projektovanju, izvođenju ili kontroli, da steknu nova saznanja i prošire stara. Stoga, toplo je preporučujemo, a autoru i svima koji su ga podržali čestitamo na trudu koji je uložio da se nađe pred vama.

Sava Đurić, dipl.inž.maš.
Institut IMK „14. Oktobar“ Kruševac

SADRŽAJ

1. UVOD **9**

2. POJAM INVERTORA. INVERTORSKI UREĐAJI ZA ZAVARIVANJE **9**

2.1. Osnovni pojmovi o električnom luku 11

2.2. Električne karakteristike invertora za zavarivanje 12

2.3. Operativne karakteristike invertora za zavarivanje 17

2.3.1 Korišćenje jednosmerne struje (DC) direktnog polariteta (JSDP) *17*

2.3.2. Korišćenje jednosmerne struje(DC) indirektnog polariteta(JSDP) *18*

2.3.3. Podešavanje režima zavarivanja *19*

2.3.4. Korišćenje i izbor kablova pri zavarivanja na većim daljinama od primarne mreže napajanja *20*

2.3.5 Korišćenje daljinskih informacija *22*

2.3.6 Povezivanje i korišćenje gasa *22*

2.3.7 Uspostavljanje električnog luka pri zavarivanju TIG gorionikom *23*

2.3.8 Korišćenje visokofrekventne impulsne struje *26*

2.3.9 Kontrola zavarivačkog ciklusa *26*

2.3.10 Korišćenje uređaja u procesu tačkastog zavarivanja *26*

3 OPASNOSTI I ZAŠTITA NA RADU PRI KORIŠĆENJU ELEKTRIČNIH APARATA ZA ZAVARIVANJE **28**

3.1 Opasnosti pri zavarivanju usled dejstva električne struje 28

3.2 Opasnosti pri zavarivanju usled dima i gasova 29

3.3 Opasnosti pri zavarivanju usled elektrolučnog zračenja 30

3.4 Opasnost usled eksplozije cilindra (boce) sa gasom 31

3.5 Vreli delovi mogu izazvati ozbiljne opekotine 32

3.6 Zavarivanje može izazvati vatru ili eksploziju 32

3.7 Opasnost od rasprsnutog metala 33

3.8 Opasnost od magnetnog polja 33

3.9 Opasnost od buke 34

3.10 Opasnost od pada aparata 34

3.11 Opasnost od pokretnih delova 35

3.12 Čitajte uputstva 35

3.13 Statički elektricitet (ESD) može oštetiti PC računarske table 35

3.14 H.F. radijacija može uzrokovati smetnje 36

3.15 Pokretni delovi mogu izazvati povrede 36

3.16 Žica za zavarivanje može povrediti 36

3.17 Elektrolučno zavarivanje može izazvati smetnje 37

4 REL POSTUPAK ZAVARIVANJA OBLOŽENIM ELEKTRODAMA POMOĆU INVERTORSKIH UREĐAJA 38
4.1. Osnove zavarivanja REL postupkom obloženim elektrodama 38
4.2 Parametri zavarivanja 39
4.3 Operativne radnje pri korišćenju invertora pri zavarivanju REL postupkom obloženim elektrodama 45
4.3.1 Podešavanje električnih karakteristika uređaja pre zavarivanja 45
4.3.2 Pripremne radnje pre početka zavarivanja 46
4.3.3 Uspostavljanje i održavanje električnog luka 47
4.3.4 Pozicioniranje držača elekrtode 48
4.3.5 Uslovi zavarivanja koji utiču na oblikovanje kvalitetnog šava 49
4.4 Veština zavarivanja REL postupkom 50
4.4.1 Horizontalno zavarivanje 50
4.4.2 Vertikalno zavarivanje 52
4.4.3 Nadglavno zavarivanje 53
4.5 Izbor dodatnog materijala – elektroda 55

5 TIG POSTUPAK ZAVARIVANJA POMOĆU INVERTORSKIH UREĐAJA .. 85
5.1 Osnove zavarivanja TIG postupkom 85
5.2 Parametri zavarivanja 87
5.3 Operativne radnje TIG postupkom pomoću invertora 90
5.3.1 Pripremne radnje za zavarivanje TIG postupkom 92
5.3.2 Povezivanje gorionika sa instalacijom 92
5.3.3 Izbor prečnika netopljive elektrode 94
5.3.4 Oštrenje netopljive elektrode 95
5.3.5 Podešavanje izlazne veličine vrha netopljive elektrode 98
5.4 Veština zavarivanja TIG postupkom 99
5.4 1 Uspostavljanje i održavanje električnog luka 100
5.4.2 Pozicioniranje gorionika i dodatnog materijala 100
5.4.3 Završetak i prekidanje luka 102
5.4.4 Zavarivanje limova TIG postupkom 103
5.4.5. Zavarivanje cevi 107
5.5 Izbor zaštitnog gasa 107
5.6 Izbor dodatnog materijala 110

6 GREŠKE ZAVARENIH SPOJEVA. POSTIZANJE POTREBNOG KVALITETA ZAVARENIH SPOJEVA 115
6.1 Greške tokom zavarivanja 115
6.2. Greške u zavarenim spojevima i uzroci nastajanja 116

7 PROVERA TEHNOLOGIJE I OSPOSOBLJENOSTI ZAVARIVAČA ZA ELEKTROLUČNO ZAVARIVANJE 122

8 ZAKLJUČAK 124

9 PRILOG 1 – OBELEŽAVANJE ZAVARENIH SPOJEVA U TEHNIČKIM DOKUMENTACIJAMA 126

10 PRILOG 2 - TEHNIČKI USLOVI ZAVISNO OD NIVOA KVALITETA ZAVARENIH SPOJEVA 134

10. 1 Definisanje potrebnog kvaliteta zavarenog spoja 134

11 PRILOG 3 - PREGLED ČELIKA SHODNO STANDARDIMA SRPS, DIN, GOST, AISI, ISO, SA FIZIČKO-HEMIJSKIM SVOJSTVIMA I STEPENOM ZAVARLJIVOSTI 141

LITERATURA 148

1. UVOD

Zavarivanje invertorima predstavlja savremeni način zavarivanja. Primena invertora u zavarivanju kao izvora, dobila je na značaju pre nešto više od 10 godina. Opšta tendencija je da će se u daljoj perspektivi ići ka tome, da će se tehnologija zavarivanja isključivo zasnivati na korišćenju ovih uređaja.

Korišćenjem zavarivačkih invertora omogućeno je da zavarivanje kao veština bude olakšano i manje veštim izvršiocima. Invertori se razvijaju kao elektronski uređaji i sve više se primenjuju i za druge procese.

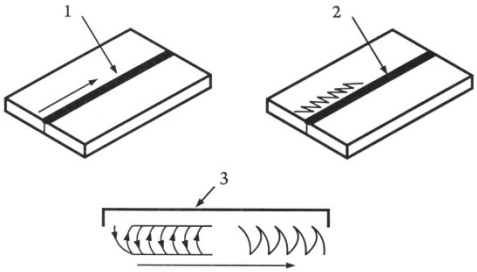
Cilj ove knjige je da se daju neke opšte karakteristike zavarivanje REL i TIG postupaka zavarivanja korišenjem invertora. Poznavanje osnovnih karakteristika tehnologija zavarivanja obloženom elektrodom (REL postupak) i zavarivanja netopljivom elektrodom u zaštiti gasa (TIG postupak) su preduslov za praktično korišćenje ovih uređaja za poslove zavarivanja.

2. POJAM INVERTORA. INVERTORSKI UREĐAJI ZA ZAVARIVANJE

U elektrotehnici, pod invertorom se podrazumeva uređaj koji električnu energiju jednosmerne struje pretvara u električnu energiju naizmenične struje. Za pretvaranje električne energije jednosmerne u naizmeničnu koriste se usmerače koje su po sastavu potpuno iste sa živinim usmeračima sa anodnim rešetkama. Usmerače sa rešetkom pri odgovarajućem podešavanju pomeranja napona rešetke prema anodnom naponu i pod uslovom da je anodni napon usmerače viši od napona mreže naizmenične struje, pretvaraju u invertore i energiju jednosmerne struje transformišu u energiju naizmenične struje koju predaju mreži naizmenične struje.

U zavisnosti od sprege usmerača postoje jednofazni i višefazni invertori. Mogućnost primene invertora su višestruke, osnovni razlog je višestruk, tj. invertori se primenjuju sve više zato što zbog jednostavnih

ostvariti veća brzina, ali to neznači da se ona mora primeniti. Brzina zavarivanja je kao parametar zavarivanja uslovljena i jačinom struje, brojem prolaza, itd.



Slika 24: Načini vođenja elektrode 1. pravolinijsko, 2 i 3 vođenje sa poprečnim kretanjem elektrode

4.4 Veština zavarivanja REL postupkom

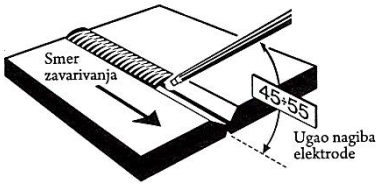
4.4.1 Horizontalno zavarivanje

Horizontalno zavarivanje daje preduslove za najlakše postizanje potrebnog kvaliteta zavarenog spoja. Pri zavarivanju sučeonih spojeva u horizontalnom položaju treba se držati preporuka proizvođača za dodatni materijal. Važno je pravilno izabrati prporučene parametre zavarivanja. Veličina prskanja koju može nastati zavisi od vrste elektrode i podešenih parametara zavarivanja (napona, jačine struje i brzine zavarivanja). Veliko prskanje je štetno i treba ga izbeći. Rasprskane kapljice ne znače samo dodatni materijal, koji se stvara oko zavara, već je to i dodatni rad. Koreni zavar treba pažljivo očistiti od troske. Ne očišćena troska može biti podloga za stvaranje zareza i prslina u šavu.

Sučeono zavarivanje u horizontalnom položaju

Potrebno je da zavarivač izvodi zavar sa penetracijom koja neće biti preterana niti nedovoljna. Da bi se to postiglo treba paziti na jačinu struje, rastojanje između ivica zavarenih delova, dužinu luka ugla i prečnika elektrode. Elektroda treba biti postavljena pod uglom od 45-50°

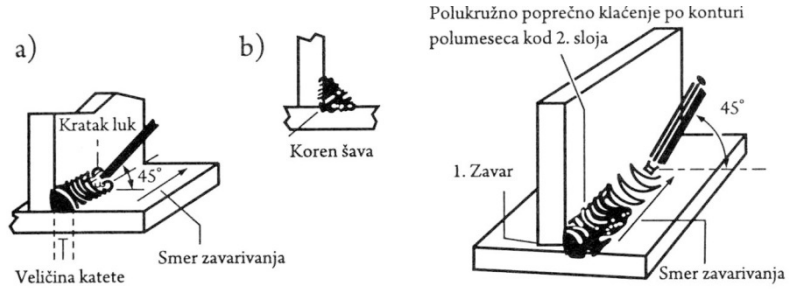
od horizontalne površine i da se nalazi u osnoj ravni spoja. Ako se poveća ugao elektrode, povećava se i penetracija spoja i obratno.



Slika 25: Držanje elektrode pri horizontalnom zavarivanju spoju ili navaru

Horizontalno ugaono zavarivanje je teže od zavarivanja sučeonih spojeva, jer je potrebno i neutralisati silu zemljine teže pri stvaranju rastopa. Tanji limovi se zavaruju u jednom prolazu, dok se deblji zavaruju u više prolaza. Na slici 25 je prikazan način vođenja elektrode i položaj pri zavarivanju „T“ spoja

Pri zavarivanju na debljim limovima sa više prolaza, drugi prolaz i sledeće zahteva da se vođenje elektrode odvija sa poprečnim klaćenjem. Na krajevima svakog poprečnog klaćenja treba učiniti malu zadršku radi dobijanja dobrog uvara između metala šava i osnovnog materijala bez zareza. Ugaono zavarivanje u horizontalnom položaju se izvodi ako se radni komadi smeju pokretati onda ugao elektrode je 45°od površina limova. Ako se radni komadi ne mogu pokretati treba eliminisati horizontalno kretanje tokom zavarivanja, a položaj elektrode da bude pod uglom od 45-50° u pravcu kretanja i pod uglom od 40° prema horizontalnoj ravni.



Slika 26: Zavarivanje ugaonih spojeva u horizontalnom položaju

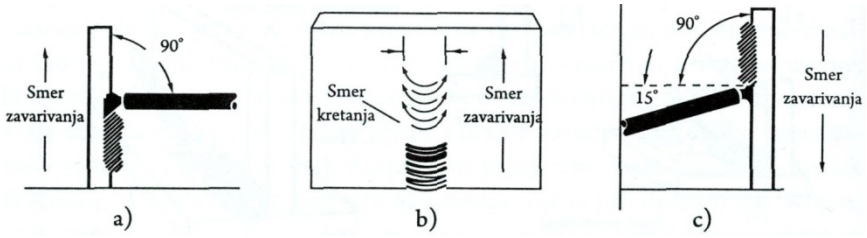
4.4.2 Vertikalno zavarivanje

Sučeono zavarivanje u vertikalnom položaju

Za zavarivanje debljine do 4 mm ne moraju se zakošavati ivice. Zavaruje se odozdo prema gore, a za tanke limove može i od gore prema nadole. Elektroda u odnosu na osnovnu ravninu, postavljena je pod uglom od 90-120°, a kretanje je u ,,U" obliku sa naglašenim kretanjem na završecima (slika 27). Najčešće se struja zavarivanja bira da bude 10-15% manja od struje za horizontalno zavarivanje. Pri zavarivanju sučeonih spojeva u vertikalnom položaju treba koristiti elektrode manjih prečnika radi ograničenja kupatila rastopljenog materijala. Za bolje penetriranje i pravilan zavar zavarivanje mora da se ponovi i unazad.

Ugaono zavarivanje u vertikalnom položaju.

Za vertikalno ugaono zavarivanje važe ista pravila kao i za sučeono. Samo struja zavarivanja treba da je oko 10% veća od odgovarajuće struje za sučeoni spoj. Potrebno je da je pravilan ugao između elektrode i materijala.



Slika 27: Zavarivanje sučeonih spojeva na limovima u vertikalnom položaju

Pri zavarivanju vertikalnih ugaonih spojeva ili preklopnih spojeva u vertikalnom položaju elektrodu treba držati po uglom od 90° prema limovima ili ne više od 15° od horizontale, radi pravilne regulacije rastopljenog materijala Luk treba da je kratak radi postizanja dobrog uvara i provara osnovnog materijala. Pri zavarivanju ,,T" spojeva u vertikalnom položaju treba početi spoj u dnu i zavarivati nagore, a elektroda treba da se poprečno kreće po shemi konture prikazanoj na slici 28.

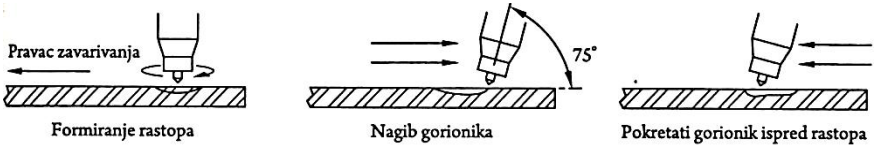
5.4 1 Uspostavljanje i održavanje električnog luka

Uspostavljanje električnog luka za TIG postupak zavarivanja može se izvesti dodirom ili povlačenjem (kresanjem) i korišćenjem visoke frekvencije VF. U slučaju invertora korisiti se VF postupak uspostavljanja električnog luka koji karakteriše sledeće: pouzdano i brzo uspostavljanje električnog luka pri čemi promena struje je objašnjena u tački 2.3.7. Ovaj postupak karakteriše uspostavljanje luka na rastojanju pomoću elektronske opreme. Daleko je lakše zavarivati i održavati električni luk.

5.4.2 Pozicioniranje gorionika i dodatnog materijala

Počinjanje zavarivanja podrazumeva veštinu zavarivača da održava luk i dodaje dodatni materijal u rastop. Kada se luk uspostavi treba držati TIG gorionik sa volframovom elektrodom pod uglom od 15° u odnosu na vertikalnu ravan, tj. ravan u kojoj se formira zavarivačko kupatilo. Dodatni materijal se unosi u zonu električnog luka pod uglom od 15° u odnosu na horizontalnu površinu.

Da bi postupak zavarivanja počeo, luk se obično pomera po malim krugovima dok se ne dobije kupatilo rastopljenog metala pogodne veličine. Stvaranjem rastopa i odgovarajućeg stapanja na nekom mestu, može se povećati brzina i zavarivati polako, pomerajući elektrodu uzduž delova koji se međusobno zavaruju, čime će se progresivno topiti susedne ivice osnovnog materijala.

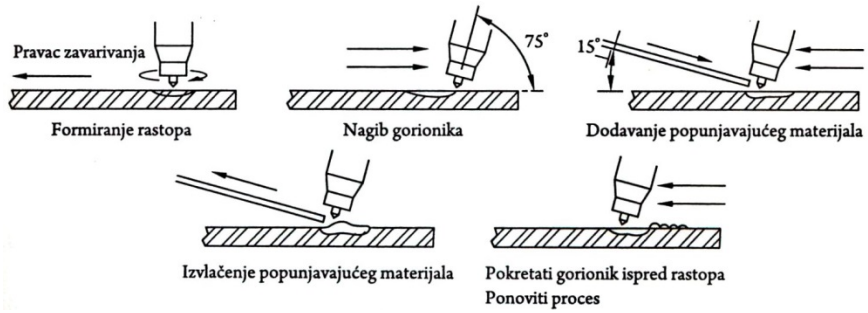


Slika 46: Počinjenje i izvođenje zavraivanja TIG postupkom bez korišćenja dodatnog materijala

Primena zavarivanja bez korišćenja dodatnog materijla je kada se zavaruju sučeoni ili rubni spojevi tankih limova gde se topljenjem

osnovnog materijala postiže stapanje rubnih ivica (spoj sa naleglim ivicama). Ovaj način zavarivanja je karakterističan za spajanje limove debljina manjih od 1 mm uz korišćenje adekvatnih vrednosti struja zavarivanja.

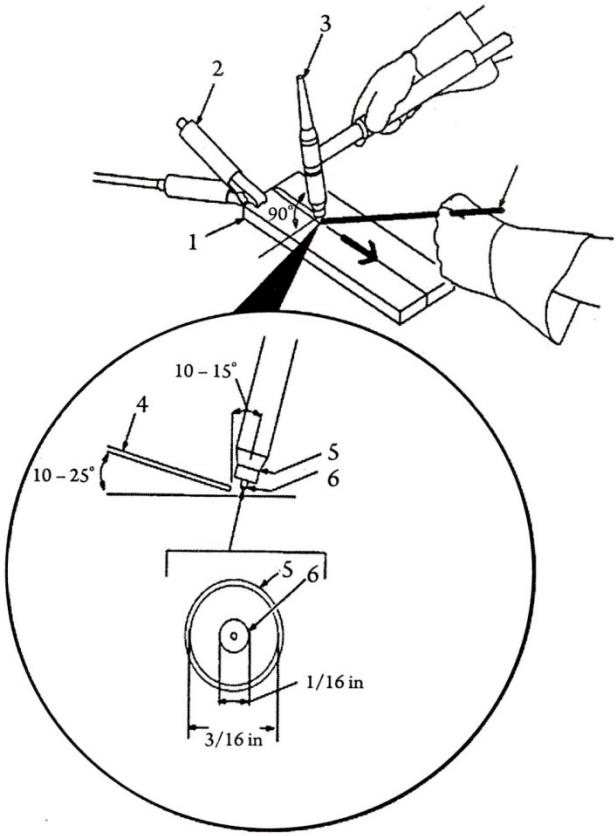
Ugao popunjavajućeg dodatnog materijala i netopljive elektrode ne sme biti isti, jer bi toplota mogla otopiti popunjavajući materijal pre nego što treba. Dodatni materijal (popunjavajuća žica) mora biti gurnuta u zavarivački rastop, a ne uvučena toplotom luka. Ako se na kraju dodatnog materijala formira kugla znači da nešto nije u redu, tj. moguće je da nekorektan ugao dodatnog materijala prema uglu gorionika ili nedovoljno uvučena žica u rastop. Ne treba uvalačiti netopljivu elektrodu u rastop.



Slika 47: Pokreti gorionikom za vreme zavarivanja uz korišćenje dodatnog materijla

Priprema osnovnog i dodatnog materijala, podešavanje veličine izlaza elektrode, kvalitet gasa, zona dejstva zaštitnog gasa bez uticaja promaje, veličina parametara zavarivanja (jačina struje,brzina zavarivanja,protok gasa, položaj luka, ...) su uticajni faktori na postizanje potrebnog kvaliteta zavarenog spoja.

Stabilan luk se obezbeđuje pravilnim vođenjem elektrode i dodavanja dodatnog materijla (žice) uz formiranje tečenja rastopa na obe strane žljeba osnovnog materijala. Na slici 48 dat je prikaz kako bi trebalo da izgleda način izvođenja zavarivanja materijla sa tehnikom vođenja gorionika i dodavanja žice i njihovim međusobnim položajem pri zavarivanju u horizontalnom položaju.



1. osnovni materijal; 2 masa; 3. gorionik ; 4 dodatni materijal (žica); 5. keramička dizna; 6. netopljiva elektroda

Slika 48: Položaj elektrode i dodatnog materijla kod zavarivanja TIG postupkom

5.4.3 Završetak i prekidanje luka

Prekidanje zavarivanja se postiže postepenim povlačenjem elektrode od zone zavarivanja. S obzirom da invertor ima radnu karakteristiku promene struje zavarivanja (slika 13) sa mogućnošću smanjivanja na završnu vrednost to se proces završetka zavara izvodi bez bojazni od