

Navarivanje kao reparaturna tehnologija

Soldatek, Filip

Undergraduate thesis / Završni rad

2021

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University North / Sveučilište Sjever**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:122:860154>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

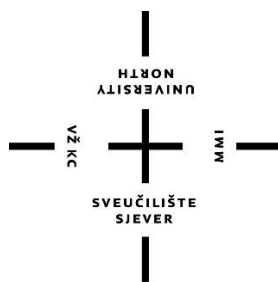
Download date / Datum preuzimanja: **2024-11-27**



Repository / Repozitorij:

[University North Digital Repository](#)



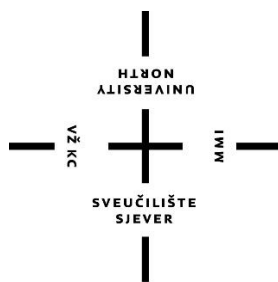


Sveučilište Sjever

Navarivanje kao reparaturna tehnologija

Filip Soldatek, 2104/336

Varaždin, ožujak, 2021. godine



Sveučilište Sjever

Proizvodno strojarstvo

Završni rad br. 368/PS/2021

Navarivanje kao reparaturna tehnologija

Student

Filip Soldatek, 2104/336

Mentor

doc. dr. sc. Matija Bušić dipl. ing. stroj.

Varaždin, ožujak, 2021. godine

Prijava završnog rada

Definiranje teme završnog rada i povjerenstva

ODJEL Odjel za strojarstvo

STUDIJ preddiplomski stručni studij Proizvodno strojarstvo

PRISTUPNIK Filip Soldatek

JMBAG 2104/336

DATUM 30.09.2021.

KOLEGIJ Tehnologija III

NASLOV RADA Navarivanje kao reparaturna tehnologija

NASLOV RADA NA ENGL. JEZIKU Hardfacing as repair technology

MENTOR dr.sc. Matija Bušić

ZVANJE docent

ČLANOVI POVJERENSTVA

- doc. dr. sc. Zlatko Botak, predsjednik povjerenstva
- doc. dr. sc. Matija Bušić, mentor, član povjerenstva
- doc. dr. sc. Tomislav Veliki, član povjerenstva
- dipl. ing. stroj. Marko Horvat, zamjenski član povjerenstva
-

Zadatak završnog rada

BROJ 368/PS/2021

OPIS

U završnom radu potrebno je, na temelju dostupnih podataka iz literature, proučiti ručno elektrolučno zavarivanje. Posebno detaljno proučiti tehnologiju i dodatne materijale koji se koriste za navarivanje tvrdih slojeva. Navesti primjere primjene navarivanja u praksi.

U eksperimentalnom dijelu rada odrediti parametre navarivanja tvrdih površina na zadanim bešavnim cijevima općeg konstrukcijskog čelika. Prije navarivanja sastaviti plan eksperimenta. Definirati potrebu za predgrijavanjem prije navarivanja. Nakon navarivanja na navarenim slojevima izvršiti mjerenje tvrdoće. Izmjeriti kružnost cijevi prije i nakon navarivanja. Donijeti zaključak o rezultatima i o utjecaju odabranih parametara na rezultate. U radu je potrebno navesti svu korištenu literaturu te eventualno dobivenu pomoć.

ZADATAK URUČEN

POTPIS MENTORA

M. Bušić

PREDGOVOR

Želio bih se zahvaliti svom mentoru gospodinu doc. Dr. sc. Matiji Bušiću na svom uloženom trudu, strpljenju i vremenu, kako u samom pisanju završnog rada tako i pri provedbi eksperimenta. Naravno, htio bih se i zahvaliti svim profesorima na Sveučilištu Sjever, koji su mi boravak na Sveučilištu učinili lijepim i vrlo zanimljivim i korisnim životnim iskustvom u kojem sam stekao mnogo novih znanja i vještina.

No, najveću zahvalu dugujem svojoj obitelji i svojim prijateljima, sa kojima sam ove 3 godine zajedno učio, radio i nadilazio sve prepreke. Uvijek su bili tu za mene, kao i ja za njih, te bez njihove pomoći ne bih sada bio tu gdje jesam. Također, ogromnu zahvalu dugujem svojoj djevojci, koja me uvijek motivirala kada je bilo najteže i "tjerala" me da se trudim više kada je to bilo potrebno.

SAŽETAK

U ovom radu govori se o navarivanju kao reparativnoj tehnologiji. Kako bi mogli razumjeti proces navarivanja te njegovu svrhu, prvo je potrebno razraditi sve vrste navarivanja, kao i njihove karakteristike. Detaljno će biti obrađeni postupci zavarivanja, njihove karakteristike, svojstva, podjela procesa i automata za zavarivanje te mnogi drugi parametri.

Sadržaj

| | | |
|--------|---|----|
| 1. | Uvod | 1 |
| 2. | Ručno elektrolučno zavarivanje obloženim elektrodama(REL) | 3 |
| 2.3. | Parametri za zavarivanje | 6 |
| 3. | Označavanje elektroda | 8 |
| 3.1. | Dodatni materijali, standardi za označavanje elektroda..... | 12 |
| 3. | Zavarivanje sa taljivom elektrodom u zaštitnoj plinskoj atmosferi | 17 |
| 4. | Zavarivanje s netaljivom elektrodom u zaštitnoj plinskoj atmosferi (TIG)..... | 20 |
| 4.1. | Oprema za TIG zavarivanje..... | 22 |
| 4.2. | Primjena TIG postupka zavarivanja u praksi..... | 23 |
| 5. | Zavarivanje plazmom | 24 |
| 6. | Navarivanje kao reparatura tehnologija | 27 |
| 6.1. | Potrebni koraci prije izvođenja postupka navarivanja | 32 |
| 6.2. | Primjeri primjene navarivanja iz prakse | 34 |
| 7. | Praktični dio rada..... | 35 |
| 7.1. | Oprema za navarivanje | 36 |
| 7.1.1. | Tehničke karakteristike stroja | 37 |
| 7.2. | Elektrode za navarivanje..... | 37 |
| 7.2.1. | Tehničke karakteristike elektroda..... | 38 |
| 8. | Navarivanje cijevi | 39 |
| 8.1. | Navarivanje prve cijevi | 39 |
| 8.2. | Navarivanje druge cijevi | 39 |
| 9. | Ispitivanje kružnosti cijevi | 40 |
| 9.1. | Ispitivanje kružnosti hladne cijevi | 40 |
| 9.2. | Ispitivanje kružnosti predgrijavane cijevi | 41 |
| 10. | Ispitivanje tvrdoće cijevi..... | 43 |
| 10.1. | Ispitivanje tvrdoće navara na hladnoj cijevi | 43 |
| 10.2. | Ispitivanje tvrdoće navara na predgrijanoj cijevi | 44 |
| 11. | Zaključak | 46 |
| 12. | Literatura | 47 |
| 13. | Popis slika..... | 49 |
| 14. | Popis tablica..... | 51 |
| 15. | Popis shema | 52 |

Popis korištenih kratica

| Opis oznake | Oznaka |
|-----------------------|--------|
| Zona utjecaja topline | ZUT |
| Zona taljenja | ZT |
| Osnovni materijal | OM |
| Dodatni materijal | DM |
| Izmjenična struja | AC |
| Istosmjerna struja | DC |

Popis korištenih fizikalnih veličina i pripadajućih mjernih jedinica:

| Opis oznake | Oznaka | Jedinica |
|----------------|--------|----------|
| Jakost struje | I | A |
| Promjer jezgre | d_j | mm |

1. Uvod

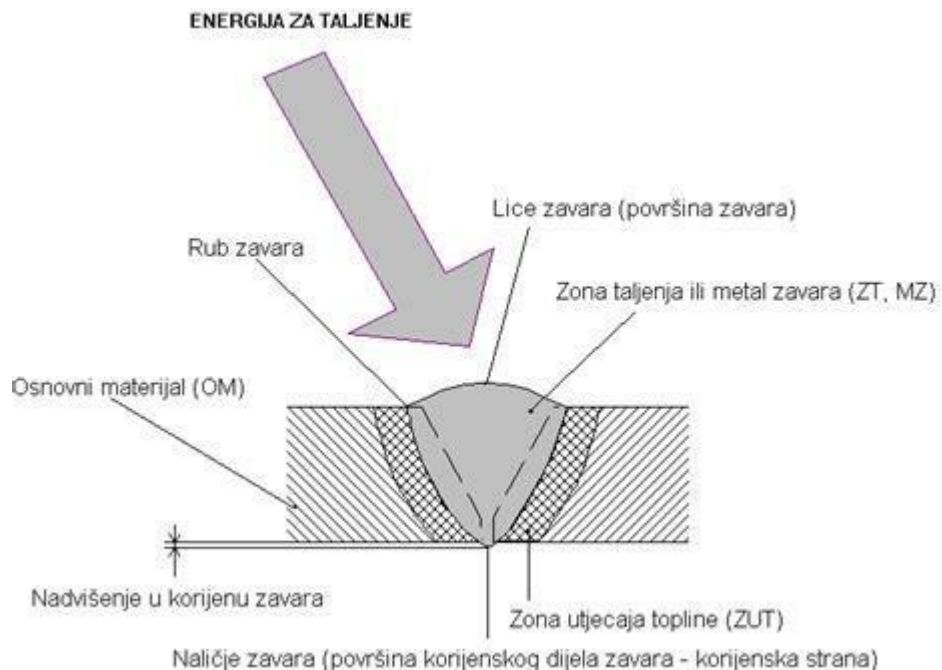
Zavarivanjem se naziva proces spajanja dvaju ili više dijelova sa ili bez dodatnog materijala u svrhu dobivanja nerastavljivog spoja. Zavarivati se mogu metalni i nemetalni materijali.

Sastav zavarenog spoja čine zona taljenja (ZT) i zona utjecaja topline (ZUT). Zona taljenja (ZT) jest dio spoja koji se tijekom procesa zavarivanja tali, i pri kojem dolazi do kristalizacije. Zona taljenja se sastoji od osnovnog materijala (OM) ili mješavine osnovnog i dodatnog materijala (DM). Zona utjecaja topline (ZUT) je dio osnovnog materijala (OM) u kojem je zbog utjecaja unesene topline prilikom zavarivanja došlo do promjene kristalne strukture. Širina zone utjecaja topline (ZUT) ovisi o unosu topline, najčešće se kreće između 2 i 8 mm. [1]

Prema načinu spajanja metode zavarivanja se dijele na dvije velike grupe:

1.zavarivanje taljenjem – zavarivanje materijala u rastaljenom stanju na mjestu spoja, uz dodatni materijal ili bez njega

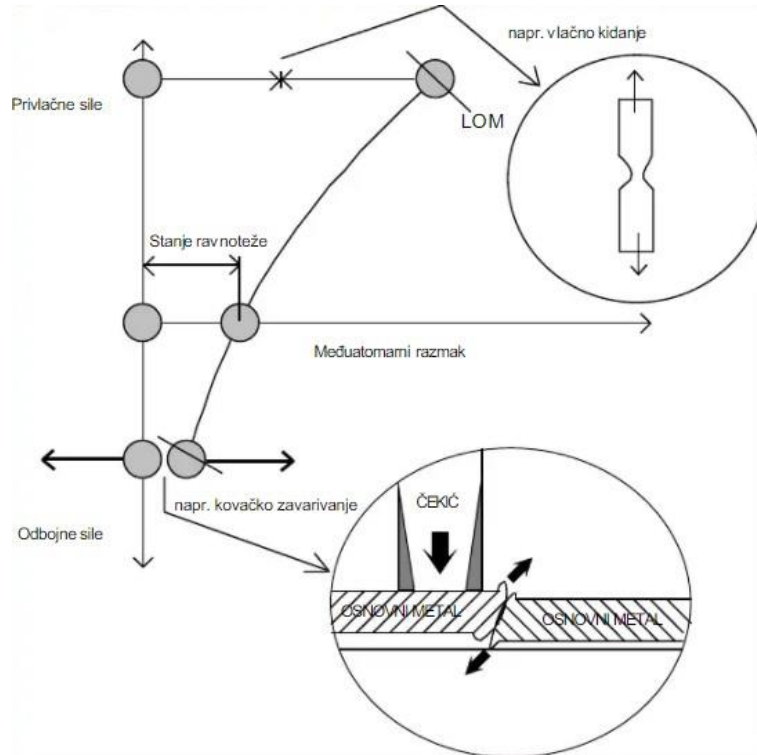
- plinsko zavarivanje
- elektrolučno zavarivanje



Slika 1. Zavarivanje taljenjem [2]

2.zavarivanje pritiskom – zavarivanje materijala u čvrstom ili omekšanom stanju na mjestu spoja s pomoću pritiska ili udarca

- kovačko zavarivanje
- elektrootporno zavarivanje



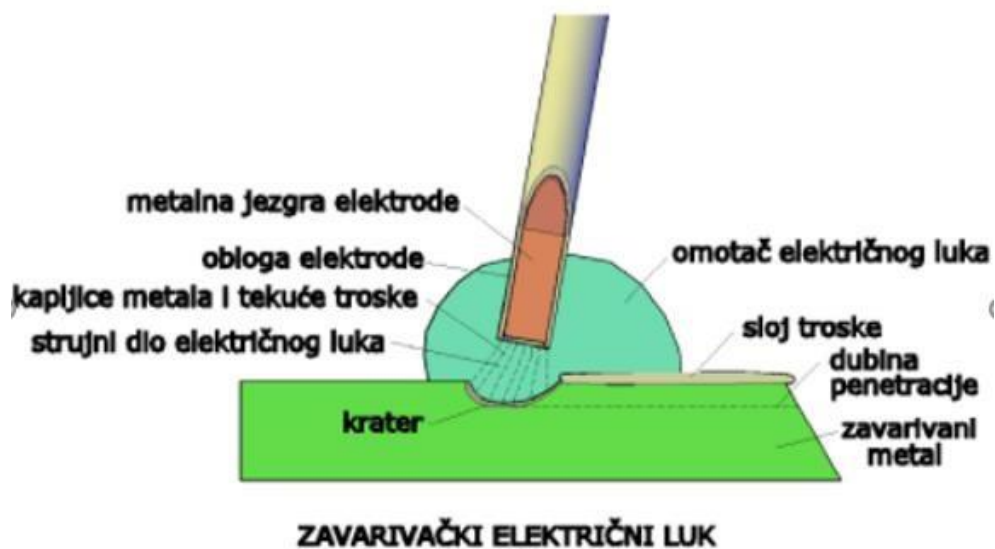
Slika 2. Zavarivanje pritiskom [1]

Tablica 1. Podjela postupaka zavarivanja [3]

| Zavarivanje taljenjem | Zavarivanje pritiskom |
|---------------------------|-------------------------------|
| - Elektrolučno | - Kovačko |
| - Aluminotermitsko | - Plinsko |
| - EPT Elektro pod troskom | - Difuzijono |
| - Elektronskim mlazom | - Hladno |
| - Ljevačko | - Elektrootporno |
| - Laserom | - Eksplozijom |
| - Plazmom | - Aluminotermitsko |
| - Elektrolučno | - Trenjem |
| - Plinsko: | - MPL-Magnet pokretnim lukom |
| - Kisik acetilen | - VF-visokofrekventom strujom |
| - Kisik propan | - Elektrolučno svornjaka |
| - Kisik vodik | - Infracrvenim zračenjem |

2. Ručno elektrolučno zavarivanje obloženim elektrodama (REL)

Ovaj je postupak zavarivanja jednostavan za rukovanje, te i najjednostavniji od svih postupaka zavarivanja. Primjenjuje se za zavarivanje i navarivanje većine vrsta metala istosmjernom ili izmjeničnom strujom, a električni luk se uspostavlja između vrha elektrode i radnog komada. Postupak je ručni, što ujedno i znači da je neophodan čovjek, odnosno zavarivač.



Slika 3. REL postupak zavarivanja [4]

Ovaj se postupak zavarivanja uglavnom izvodi u zračnoj atmosferi, zbog toga elektrode sadrže oblogu koja prilikom taljenja na zavaru čini zaštitu od vanjskih utjecaja na sam zavar. Zaštitu električnog luka i taline obavljaju plinovi i troska koji nastaju pri taljenju zbog izgaranja obloge elektrode.

Materijal zavara koji se dobiva zavarivanjem sa elektrodama mora imati mehanička svojstva ovisno o zahtjevima koji se postavljaju prema konstrukciji koju se zavaruje. To znači da se elektrodama mora napraviti zavareni spoj koji pored odgovarajuće vlačne čvrstoće ima visoku udarnu žilavost i istežanje. Elektrode za navarivanje se koriste za navarivanje istrošenih površina strojnih dijelova ili površina kojima je potrebno

promijeniti svojstva ovisno o traženim svojstvima i eksploataciji. Neki materijali su skloniji trošenju trenjem, udarcima, tlaku i abraziji, stoga ih se navaruje kako bi im se poboljšala svojstva na takve vrste trošenja. Obloge takvih elektroda za navarivanje najčešće su bazične i sadrže znatnije količine legirajućih elemenata kao što su Cr, Mn, W, Mo itd. Oni stvaraju karbide za postizanje visoke tvrdoće navarenog sloja.

Npr. elektrode koje se koriste za dobivanje srednje tvrdoće (275- 325 HB i 375 – 450 HB) su bazične i debelo obložene elektrode E1-UM-300 (EZ-300 TN) i E1-UM-400 (EZ-400-TN), a oznake elektroda proizlaze iz norme HRN EN ISO 2560:2020 za obložene elektrode za navarivanje. Za tvrdo navarivanje se koriste elektrode sa bazičnom i debelom oblogom E6-UM-60 (EZ-650- TN) za navare tvrdoće od 57 do 62 HRC, rutilna visokouglična elektroda E6-UM-60-GR (EZ-Abra 60) za navare do tvrdoće od 60 HRC i bazično – grafitne visokoučinske elektrode E10-UM-65_GRZ (EZ-Abra 65) za navare do tvrdoće od 65 HRC, čije oznake također proizlaze iz norme HRN EN 14700:2012 za obložene elektrode za navarivanje. Označavanje elektroda prema normama HRN EN ISO 2560:2020 i HRN EN 14700:2012 se nalazi u tablicama niže.[6]



Slika 4. Primjer elektroda za REL postupak zavarivanja [5]

Funkcija obloge na elektrodama:

električna funkcija – utječe na stabilnost električnog luka

fizikalna funkcija – utječe na zaštitu taline od vanjskih utjecaja

metalurška funkcija – u oblozi elektrode nalaze se komponente koje vrše legiranje metala zavara te utječu na deoksidaciju taline. [3]

Vrste obloga i svojstva:

1.bazična – bazična elektroda daje dobru žilavost i čvrstoću zavora, traži posebnu opremu za zavarivača, zavaruje se isključivo na (+) polu, visina luka je jednaka pola promjera elektrode. Materijal obloge se tali zajedno sa žicom te stvara trosku koja je lakša od čelika, pa stoga pliva na zavaru i pokriva ga. Plinovi koji se oslobađaju prilikom taljenja obloge stvaraju zaštitni omotač oko mjesta zavarivanja i ne dopuštaju prilaz kisiku i dušiku iz zraka u taljevinu, tako je zavareni spoj oslobođen štetnih plinova i nemetalnih primjesa.

2.rutilna – rutilna obloga daje stabilan električni luk, može se raditi i na istosmjernoj i na izmjeničnoj struji, estetski daje lijep zavar, lako se radi sa njome, daje nešto lošija mehanička svojstva

3.kisela – daje ista svojstva kao i bazična

4.celulozna –imaju srednje debelu oblogu, s 15 % celuloze, 30 % titanijevog dioksida (rutil), ferolegure, silikati, dezoksidansi, i drugo, te stvara mnogo plinova i malo troske (otpada), koja se lako otklanja

Prednosti ručnog elektrolučnog postupka zavarivanja:

- relativno jeftina oprema
- širok spektar elektroda
- koristi se za sve konstrukcijske čelike (Cu, Ni, Ti i dr.)
- koristi se za sve debljine zavora (od 1 mm do 25 mm)
- izvedivo višeslojno zavarivanje
- zavarivanje izvedivo u svim položajima
- jednostavan postupak za naučiti

Nedostaci ručnog elektrolučnog postupka zavarivanja:

- postupak je ručni (ne može se ukloniti ljudski faktor greške)
- prilikom zavarivanja se oslobađa puno plinova (potrebna ventilacija)
- na zavaru se stvara troska (opasnost od troske u zavaru)
- otpad – mora se ukloniti (prihvat elektrode koji ostane)
- prekidi i uspostavljanje luka – moguće nesavršenosti i pogreške



Slika 5. Einzel 151 aparat za REL postupak zavarivanja [8]

2.3. Parametri za zavarivanje

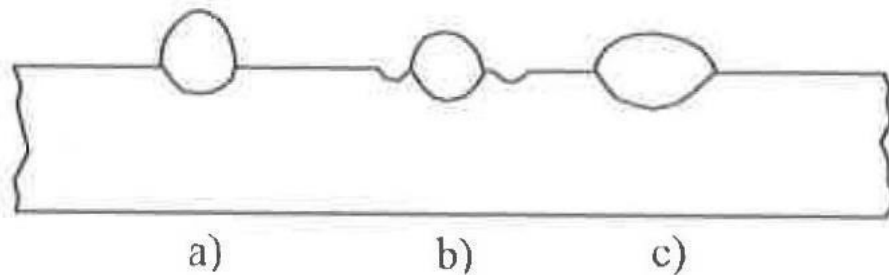
Zavarivati se može istosmjernom ili izmjeničnom strujom odgovarajuće jakosti i napona. Izbor vrste struje, odnosno vrste izvora struje, se određuje prema vrsti materijala koji se zavaruju, vrsti korištenih elektroda, zavarljivosti materijala, položaju zavarivanja te vrsti i dimenzijama konstrukcije itd.

Jakost struje zavarivanja ovisi o promjeru i vrsti elektrode, debljini materijala koji se zavaruju, vrsti materijala koji se zavaruju, položaju zavarivanja, postupku zavarivanja te vještini zavarivača. Kod REL postupka zavarivanja, zavarivač bira jedino struju zavarivanja na uređaju. Struja zavarivanja je propisana od strane proizvođača elektroda, a često se može birati i na temelju iskustva.

Približna vrijednost struje za zavarivanje jest 30 do 40 A za svaki mm promjera jezgre (d_j): $I = (30 - 40) \cdot d_j$, gdje je d_j promjer jezgre elektrode a I jakost struje. Za

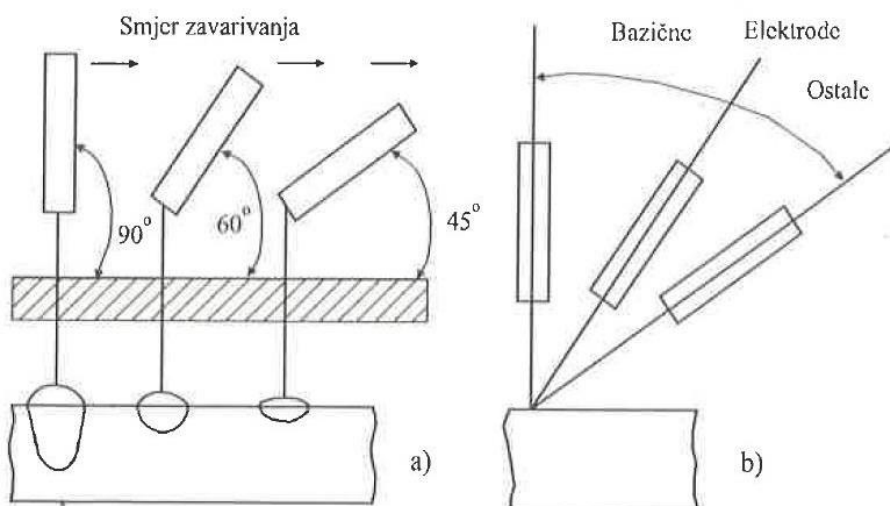
zavarivanje u pravilnim položajima je potrebna jakost struje manja za 15 do 20 % od one propisane. Sa nižom strujom zavarivanja dobije se nadvišen i uzak zavar, odnosno navar. U slučaju prevelike struje se dobiva široko razliveni zavar, sa većom penetracijom i nagibom uz rubove zavara.

Kada se koristi odgovarajuća struja zavarivanja, tada zavar ima zadovoljavajuću penetraciju, malo je nadvišen i ima blagi prijelaz prema osnovnom materijalu. Pravilno odabrana jakost struje ostali parametri zavarivanja daju lijep izgled zavara, kao i bolju kvalitetu i mehanička svojstva.



Slika 6. Prikaz utjecaja struje zavarivanja na oblik navara (zavara) – a) pre mala struja zavarivanja, b) pre velika struja zavarivanja i c) odgovarajuća struja zavarivanja [9]

Također, na oblik i kvalitetu zavara utječe i nagib elektrode, ona se mora voditi okomito na talinu, jer je u tom slučaju električni luk najkraći. Rutilne i kisele elektrode drže se pod kutom od 60° do 70° u odnosu na smjer zavarivanja. Ako je nagib elektrode manji od navedenoga, tada je dubina penetracije manja. Sa većinom obloženih elektroda se može zavarivati u svim položajima. [1][3]



Slika 7. Nagib elektrode a) utjecaj nagiba na penetraciju, b) preporučeni nagib elektrode[9]

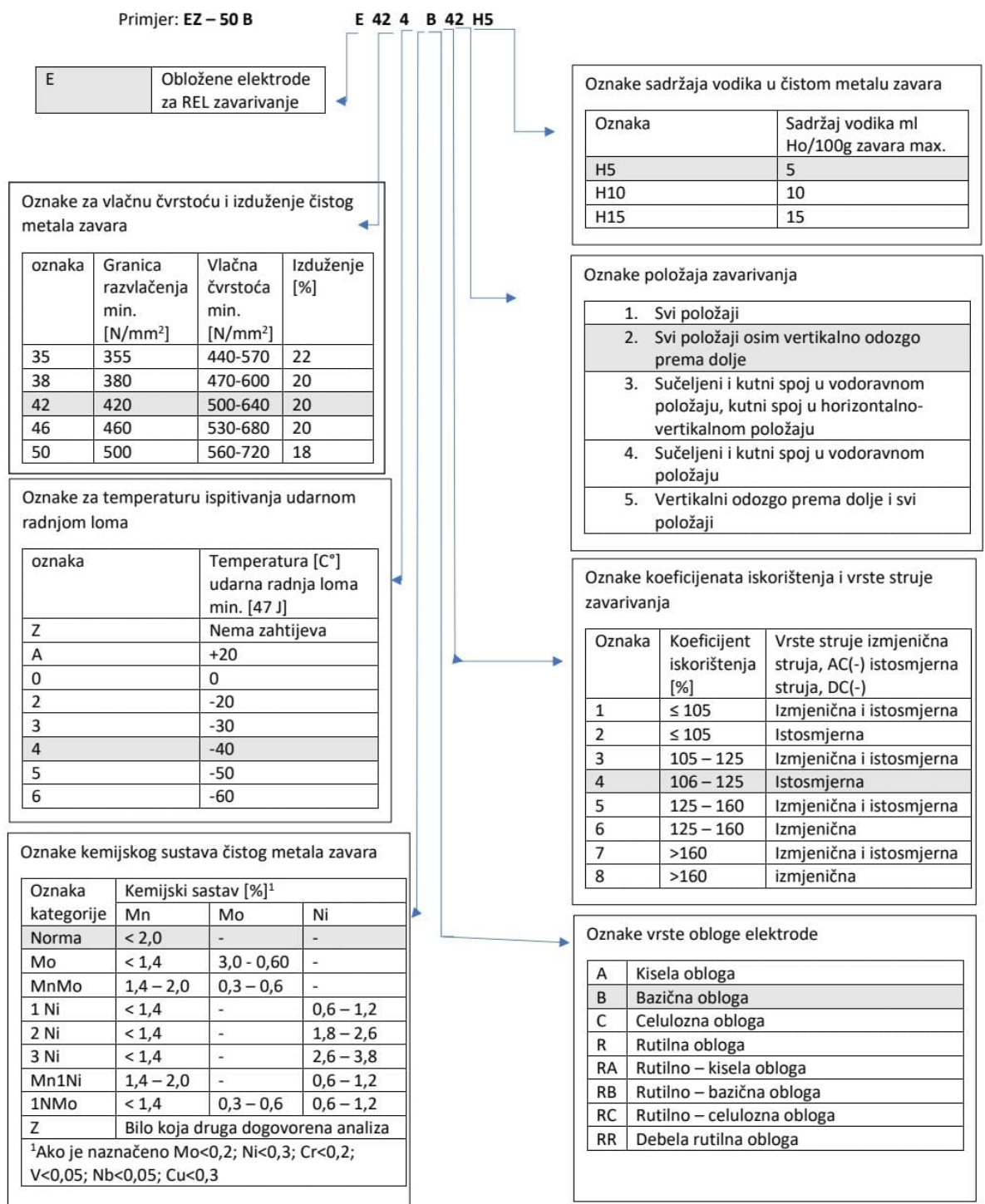
3. Označavanje elektroda

Kako bi se olakšala identifikacija elektroda, uvedeno je standardizirano označavanje i to posebno za pojedine vrste konstrukcijskih materijala. Osim standardne oznake elektrode, potrebno je imati u vidu i oznake proizvođača. Oznake, sastav, mehanička svojstva, osnovne karakteristike i primjene obloženih elektroda date su u katalogima.

Međunarodni standard HRN EN ISO 2560:2020 utvrđuje zahtjeve za klasifikaciju obloženih elektroda i taloženih metala u stanju nakon zavarivanja za ručno elektrolučno zavarivanje nelegiranih i sitnozrnatih čelika s minimalnom granicom plastičnosti do 500 MPa ili minimalnom vlačnom čvrstoćom do 570 MPa.

Također, ovaj međunarodni standard je kombinirana specifikacija koja predviđa klasifikaciju temeljenu na sustavu koji se temelji na čvrstoći i prosječnoj energiji udarca od 47 J na sve metale zavara, ili na temelju sustava koji se temelji na vlačnoj čvrstoći i prosječnoj energiji udarca od 27 J na sve metale zavara.

Na shemi niže (Shema 1.), naveden je primjer označavanja elektroda za niskolegrane čelike prema normi HRN EN ISO 2560:2020. [6]



Shema 1. Označavanje elektroda prema normi HRN EN ISO 2560:2020

Europski se standard HRN EN 14700:2014 primjenjuje na materijale za tvrdo navarivanje. Područje primjene obuhvaća površine novih konstrukcijskih elemenata, poluproizvode i površinske popravke konstrukcijskih elemenata, koji moraju biti otporni na mehanička, kemijska, toplinska ili kombinirana opterećenja.

Ovim europskim standardom utvrđuju se zahtjevi za razvrstavanje dodatnog materijala na temelju kemijskog sastava cjelokupnog metala zavara obloženih elektroda, žica za zavarivanje, omotača, zaštitnih traka, sinteriranih traka, sinteriranih šipki i metalnog praha te na kemijskom sastavu čvrste tvari žice, čvrste šipke, pune trake i lijevane šipke.

Na shemi niže, (Shema 2.) naveden je primjer označavanja elektroda za navarivanje prema normi HRN EN ISO 14700:2014. [7]

Primjer: EZ - ABRA 60

E Fe 14

E Obložena elektroda za REL zavarivanje

Oznake legiranja i kemijskog sastava

| Oznaka legiranja | Svojstvo navara | Kemijski sastav, [%] | | | | | | | | | ostalo |
|------------------|-----------------|----------------------|-------------|-------------|-------------|-----------|------------|-------------|--------|---------------|--------|
| | | C | Cr | Ni | Mn | Mo | W | V | Nb | ostalo | |
| Fe 1 | P | ≤ 0,4 | ≤ 3,5 | - | 0,5 – 3,0 | ≤ 1,0 | ≤ 1,0 | ≤ 1,0 | - | - | Fe |
| Fe 2 | P | 0,4 – 1,2 | ≤ 7,0 | ≤ 1,0 | 0,5 – 3,0 | ≤ 1,0 | ≤ 1,0 | ≤ 1,0 | - | - | Fe |
| Fe 3 | st | 0,2 – 0,5 | 1,0 – 8,0 | ≤ 5,0 | ≤ 3,0 | ≤ 4,5 | ≤ 10,0 | ≤ 1,5 | - | Co, Si | Fe |
| Fe 4 | st(p) | 0,2 – 1,5 | 2,0 – 6,0 | ≤ 4,0 | ≤ 3,0 | ≤ 10,0 | ≤ 19,0 | ≤ 4,0 | - | Co, Ti | Fe |
| Fe 5 | c p s t w | ≤ 0,5 | ≤ 0,1 | 17,0 – 22,0 | ≤ 1,0 | 3,0 – 5,0 | - | - | - | Co, Al | Fe |
| Fe 6 | g p s | ≤ 2,5 | ≤ 10,0 | - | ≤ 3,0 | ≤ 3,0 | - | - | ≤ 10,0 | Ti | Fe |
| Fe 7 | c p t | ≤ 0,2 | 4,0 – 30,0 | ≤ 6 | ≤ 3 | ≤ 2,0 | - | ≤ 1,0 | ≤ 1,0 | Si | Fe |
| Fe 8 | g p t | 0,2 – 2,0 | 5,0 – 18,0 | - | 0,3 – 3,0 | ≤ 4,5 | ≤ 2,0 | ≤ 2,0 | ≤ 10,0 | Si Ti | Fe |
| Fe 9 | k (n) p | 0,3 – 1,2 | ≤ 19,0 | ≤ 3,0 | 11,0 – 18,0 | ≤ 2,0 | - | ≤ 1,0 | - | Ti | Fe |
| Fe 10 | c k (n) p z | ≤ 0,25 | 17,0 – 22,0 | 7,0 – 11,0 | 3,0 – 8,0 | ≤ 1,5 | - | - | ≤ 1,5 | Si | Fe |
| Fe 11 | c n z | ≤ 0,3 | 18,0 – 31,0 | 8,0 – 20,0 | ≤ 3,0 | ≤ 4,0 | - | - | ≤ 1,5 | Cu | Fe |
| Fe 12 | c (n) z | ≤ 0,08 | 17,0 – 26,0 | 9,0 – 26,0 | 0,5 – 3,0 | ≤ 4,0 | - | - | ≤ 1,5 | - | Fe |
| Fe 13 | g | ≤ 1,5 | ≤ 6,5 | ≤ 4,0 | 0,5 – 3,0 | ≤ 4,0 | - | - | - | B, Ti | Fe |
| Fe 14 | g (c) | 1,5 – 4,5 | 25,0 – 40,0 | ≤ 4,0 | 0,5 – 3,0 | ≤ 4,0 | - | - | - | - | Fe |
| Fe 15 | g | 4,5 – 5,5 | 20,0 – 40,0 | ≤ 4,0 | 0,5 – 3,0 | ≤ 2,0 | - | - | ≤ 10,0 | B | Fe |
| Fe 16 | g z | 4,5 – 7,5 | 10,0 – 40,0 | - | ≤ 3,0 | ≤ 9,0 | ≤ 8,0 | ≤ 10,0 | ≤ 10,0 | B, Co | Fe |
| Fe 20 | c g t z | WCa ²³ | - | - | - | - | - | - | - | - | Ni |
| Ni 1 | c p t | ≤ 1,0 | 15,0 – 30,0 | Ostatak | 0,3 – 1,0 | ≤ 6,0 | ≤ 2,0 | ≤ 1,0 | - | Si, Fe, B | Ni |
| Ni 2 | c k p t z | ≤ 0,1 | 15,0 – 30,0 | Ostatak | ≤ 1,5 | ≤ 28,0 | ≤ 8,0 | ≤ 1,0 | ≤ 4,0 | Co, Si, Ti | Ni |
| Ni 3 | c p t | ≤ 1,0 | 1,0 – 15,0 | Ostatak | 0,3 – 1,0 | ≤ 6,0 | ≤ 2,0 | ≤ 1,0 | - | Si, Fe, B | Ni |
| Ni 4 | c k p t z | ≤ 1,0 | 1,0 – 15,0 | Ostatak | ≤ 1,5 | ≤ 28,0 | ≤ 8,0 | ≤ 1,0 | ≤ 4,0 | Co, Si, Ti | Ni |
| Ni 20 | c g t z | WCa ²³ | - | - | - | - | - | - | - | - | Co |
| Co 1 | c k t z | ≤ 0,6 | 20,0 – 35,0 | ≤ 10,0 | 0,1 – 2,0 | ≤ 10,0 | ≤ 15,0 | - | ≤ 1,0 | Fe | Co |
| Co 2 | t z (c) (s) | 0,6 – 3,0 | 20,0 – 35,0 | ≤ 4,0 | 0,1 – 2,0 | - | 4,0 – 10,0 | - | - | Fe | Co |
| Co 3 | t z (c) (s) | 1,0 – 3,0 | 20,0 – 35,0 | ≤ 4,0 | ≤ 2,0 | ≤ 1,0 | 6,0 – 14,0 | - | - | Fe | Co |
| Cu 1 | c (n) | - | - | ≤ 6,0 | ≤ 15,0 | - | - | - | - | Al, Fe, Sn | Cu |
| Al 1 | c n | - | - | 10,0 – 35,0 | ≤ 0,5 | - | - | - | - | Cu, Si | Al |
| Cr | g n | 1,0 – 5,0 | Ostatak | - | ≤ 1,0 | - | - | 16,0 – 35,0 | - | Fe, B, Si, Zr | Cr |

c- otpornost na koroziju

n- nemogućnost

g- otpornost na trošenje abrazijom

p- otpornost na udarce

k- povećava tvrdoću eksploatacijom

s- svojstvo brzoreznih čelika

(.)- ne mora se odnositi na sva legiranja unutar grupe

¹⁾Legiranja koja nisu navedena u tablici označavaju se na isti način, ali se ispred oznake legiranja navede slovo „Z“

²⁾Volfram karbidi ili sintorirani (lomljeni ili sforoidni)

Shema 2. Označavanje elektroda prema normi HRN EN 14700:2014

3.1. Dodatni materijali, standardi za označavanje elektroda

Dodatni se materijali za navarivanje po standardima dijele u nekoliko grupa, svaka grupa je određena prema karakteristikama i vrsti uporabe. Za materijale za tvrdo navarivanje se koristi standard HRN EN 14700:2012. [7]



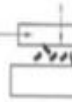
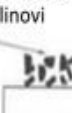
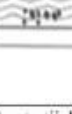

U tablici 2., koja se nalazi niže, su date usporedne oznake dodatnih materijala za navarivanje po standardima HRN EN 14700:2014 i HRN EN ISO 2560:2020 zajedno sa oznakama odgovarajućih postupaka zavarivanja po standardu HRN EN ISO 4063:2012. [6][7]

Tablica 3. Usporedno označavanje dodatnih materijala prema normama HRN EN 14700:2014 i HRN EN ISO 2560:2020 te oznakama odgovarajućih postupaka zavarivanja po HRN EN ISO 4063:2012 [6][7]

| VRSTA MATERIJALA | HRN EN 14700:2014 | HRN EN ISO 2560:2020 | HR EN ISO 3581:2012 |
|---|--------------------------|--|--|
| Obložena elektroda | E | E | 111 |
| Puna žica i šipka | S | G (za plinsko plameno navarivanje) WSG – TIG navarivanje MSG – MIG,MAG navarivanje UP – navarivanje pod zaštitom praška | 311 141 131,135,52,15 121 |
| Praškom punjena žica i praškom punjene šipke | T | MF – navarivanje žica punjenom praškom WSG MSG UP | 141 136,137,15,52 121,122 |
| Livene šipke | R | G WSG | 311 141 |

U tablici 3. koja se nalazi niže, dati su primjeri različitih vrsta trošenja i odgovarajućih dodatnih materijala za navarivanje, označenih prema normi HRN EN 14700:2014. [7]

Tablica 4. Primjeri različitih vrsta trošenja i odgovarajućih dodatnih materijala za navarivanje prema normi HRN EN 14700:2014 [7]

| Struktura sistema trošenja-habanja | Vrsta trošenja- habanja | Primjeri | Simboli materijala | | |
|---|---|---|---|----------------------------------|---------------------|
| Površinsko trenje Čvrsto tijelo-čvrsto tijelo-čestice  | Habanje trenjem | Vodice | Fe1,Fe2,Fe3,Cu1 | | |
| | Habanje odskokom | Kovački čekići | Fe9,Fe10,Al1,Ni2,Ni4 | | |
| | Habanje udarcima | Zubi zupčanika, ventili | Fe1,Fe2,Fe3 | | |
| | Habanje kotrljanjem | Tramvajske šine, skretnice | Fe9,Fe10 | | |
| | | Kotači vagona | Fe1,Fe2,Fe3,Fe9 | | |
| | Habanje trenjem | Kolosjerci | Fe1,Fe9,Fe10 | | |
| | Habanje kotrljanjem i udarcima | Vodice ljevačkih alata | Fe7 | | |
| | Termički šok | Valjci u valjaonicama | Fe3,Fe5,Fe7,Fe8 | | |
| | | Pogonski kotači, motalice | Fe3 | | |
| | | Kovački alat | Fe3,Fe4,Fe6,Fe8,Co1,Co2,Co3,Ni2,Ni4 | | |
| | Nabadanje udarcima i klizanjem na hladno | Oštrice škara, zigosanje | Fe4,Fe5,Fe8,Co1,Co2,Co3 | | |
| | Nabadanje udarcima i klizanjem na vruće | Oštrice škara za rad na vrućem | Fe4,Fe3,Co2,Ni2,Ni4 | | |
| | | Alat za probijanje | Fe4,Fe3,Co2,Ni2,Ni4 | | |
| | Čvrsto tijelo-čvrsto tijelo-čestice  | Habanje udarcima i klizanjem | Čelične drobilice, čekić drobilica | Fe6,Fe8,Fe9,Fe14 | |
| | | | Ruke mlinova čekićara | Fe6,Fe8,Fe9 | |
| Valjak u poljoprivredi | | | Fe6,Fe8,Fe9,Fe13,Fe14,Fe15 | | |
| Dijelovi drobilica u cementari | | | Fe6,Fe8,Fe9 | | |
| Prsteni mlina za rude i ugljen | | | Fe6,Fe8,Fe13,Fe14,Fe15,Fe16 | | |
| Šipke rešetki | | | Fe13,Fe14,Fe15 | | |
| Čekići mlinova za ugljen | | | Fe8,Fe13,Fe14,Fe15 | | |
| Ploče otporne na habanje | | | Fe13,Fe14,Fe15 | | |
| Čvrsto tijelo-čestice Visoki pritisak na površinu udarci  | | | Habanje udarcem i klizanjem | Plugovi, lopatice pumpi | Fe15,Fe20,Ni20 |
| | | | | Zljebovi | Fe14,Fe15,Fe20,Ni20 |
| | Ploče otporne na habanje | Fe14,Fe15,Ni1,Ni2,Ni3,Ni4,Ni20 | | | |
| Čvrsto tijelo-čvrsto tijelo-čestice Visoki pritisak na površinu  | Habanje ljuštenjem | Preše | Fe14,Fe15,Fe20,Ni1,Ni3,Ni20,Co2,Co3,Cr1 | | |
| | | Plužni transporteri | Fe14,Fe15,Fe20,Ni1,Ni3,Ni20,Co2,Cr1 | | |
| | | Lopatice pumpi | Fe15,Fe20,Ni20 | | |
| | | Zupci turpije, brane | Fe6,Fe2,Fe8 | | |
| | | Plugovi | Fe2,Fe6,Fe8,Fe20,Ni20 | | |
| | | Dijelovi miješalice | Fe6,Fe8,Fe14,Fe20,Ni1,Ni3,Ni20 | | |
| | | Preše za cigle | Fe6,Fe8,Fe14,Ni1,Ni3 | | |
| | | Dijelovi mlinova, prstenovi mlinova | Fe14 | | |
| | | Čvrsto tijelo -čestice i plinovi  | Habanje čestica | Zatvarači visokih peći i plinova | Fe6,Fe7,Fe8 |
| | | | | Sjedište | Fe6,Fe8,Fe8[Fe16] |
| Ljevak za punjenje visoke peći | Fe15,Fe16 | | | | |
| Ventilator, lopatice rotora, ojačanja | Fe10,Fe15,Fe16,Fe20,Ni1,Ni2,Ni4,Ni20 | | | | |
| Drobnice, šipke rešetka | Fe15,Fe16 | | | | |
| Ploče otporne na habanje | Fe14,Fe15,Fe20,Ni1,Ni3,Ni20 | | | | |
| Čvrsto tijelo- tečnost i čestice  | Habanje ispiranjem | Mlaznice cjevovoda, ploče otporne na habanje | Fe14,Fe15 | | |
| | | Sidra | Fe6,Fe8 | | |
| | | Pumpe za tečnost | Fe6,Fe7,Fe8,Ni1,Ni3 | | |
| | | Dijelovi miješalice | Fe6,Fe7,Fe8 | | |
| | Korozija uzrokovana erozijom | Propeler u brodogradnji | Cu1 | | |
| | | Vodne turbine | Fe7, Cu1 | | |
| | | Čvrsto tijelo -tečnost korozija | Postrojenja u kemijskoj industriji | Fe7,Fe11,Fe12 | |
| Brtvene površine ventila | Fe7,Co1,Co2,Co3 | | | | |

U tablicama 4., 5., 6., 7. i 8., koje se nalazi niže je dano nekoliko primjera dodatnih materijala sa usporednim oznakama prema normi HRN EN 14700:2014 i HRN EN ISO 2560:2020. [6][7]

Tablica 5. Primjeri dodatnih materijala i karakteristika prema normi HRN EN 14700:2014 i HRN EN ISO 2560:2020.[6][7]

| Obložene elektrode za navarivanje | HRN EN 14700:2014 | HRN EN ISO 2560:2020 |
|-----------------------------------|-------------------|----------------------|
| UTOP 38 | Fe3 | E 3-UM-40-T |
| UTOP 55 | Fe8 | E 6-UM-60-T |
| TOOLDUR | Fe4 | E 4-UM-60-65 S |
| E DUR 250 | Fe1 | E 1-UM-250 |
| E DUR 300 | Fe1 | E 1-UM-300 |
| E DUR 400 | Fe1 | E 1-UM-400 |
| E DUR 500 | Fe2 | E 1-UM-50 |
| E DUR 600 | Fe8 | E 6-UM-60 |
| E DUR 60 R | Fe8 | E 6-UM-55 |
| E DUR 600 Si | Fe8 | E 6-UM-55 |
| TOOLDUR Co | / | ~ E3-UM-50-CTZ |
| E DUR Cr 13 | Fe8 | E 5-UM-CGP |
| ABRADUR 54 | Fe8 | E 6-UM-55-G |
| ABRADUR 58 | Fe14 | ~ E 10-UM-60-G2 |
| ABRADUR 60 | Fe14 | E 10-UM-60-GR |
| ABRADUR 64 | Fe15 | ~ E 10-UM-65-GR |
| ABRADUR 65 | Fe16 | ~ E 10-UM-65-G |
| ABRADUR 66 | Fe16 | E 10-UM-65-GR |
| CrWC 600 | Fe16 | E 10-UM-60-C |
| E Mn 14 | Fe9 | E 7-UM-200-KP |
| E Mn 14 Cr 4 | Fe9 | ~ E 7-UM-200-KP |
| E Mn 17 Cr 13 | Fe9 | / |
| E Mn 17 Cr 10 Nb 3 | Fe9 | / |
| DUROSTEL 1 E | Co3 | E 20-UM-55-ZCT |
| DUROSTEL 1 P | Co3 | G/WSG-20-GO-55-ZCT |
| DUROSTEL 6 E | Co1 | E 20-UM-40-ZCT |
| DUROSTEL 6 P | Co1 | G/WSG-20-GO-45-ZCT |
| DUROSTEL 12 E | Co3 | E 20-UM-50-ZCT |
| DUROSTEL 12 P | Co3 | G/WSG-20-GO-50-ZCT |
| DUROSTEL 21 E | / | E 20-UM-300-CKZT |
| DUROSTEL F P | / | G/WSG-20-GO-40-ZCT |

Tablica 6. Primjer visokolegiranih elektroda za posebnu namjenu [6][7]

| Visokolegirane elektrode za posebnu namjenu | HRN EN 14700:2014 | HR EN ISO 4063:2012 | A-5.4 / A-5.11 |
|---|-------------------|---------------------|----------------|
| INOX B 18/8/6 | Fe10 | E 18 8 Mn B 22 | ~ E 307-15 |
| INOX R 18/8/6 Fe | Fe10 | E 18 8 Mn R 53 | ~ E 307-16 |
| INOX R 18/8/6 | Fe10 | E 18 8 Mn R 12 | E 307-17 |
| INOX R 25/20 | Fe12 | E 25 20 R 12 | E 310-16 |
| INOX B 25/20 | Fe12 | E 25 20 B 42 | E 310-15 |
| INOX R 20/25 L | Fe11 | E 20 25 5 Cu LR 23 | E 385-17 |

Tablica 7. Primjer žica za zavarivanje u plinskim mješavinama MIG/MAG postupka [6][7]

| Žice za zavarivanje u plinskim mješavinama MIG, MAG postupak | HRN EN 14700:2014 | HRN EN 12534:2002 | A-5.9 / A-5.28* |
|--|-------------------|-------------------|-----------------|
| TIG 25/14 NC Si | Fe12 | W 23 12 L Si | ER 309 L Si |
| TIG 18/8/6 Si | Fe10 | W 18 8 Mn | ~ ER 307 |
| TIG 25/20 | Fe12 | W 25 20 | ER 310 |
| MIG 25/14 NC Si | Fe12 | G 23 12 L Si | ER 309 L Si |
| MIG 18/8/6 Si | Fe10 | G 18 8 Mn | ER 307 |
| MIG 25/20 | Fe12 | G 25 20 | ER 310 |

Tablica 8. Primjer punjenih žica za navarivanje [6][7]

| Punjene žice za navarivanje | HRN EN 14700:2014 | HRN EN ISO 2560:2020 |
|-----------------------------|-------------------|-------------------------------------|
| FILTUB DUR 3 | Fe1 | MSG1-GF-M21-250/MSG1-GF-C1-250 |
| FILTUB DUR 5 | Fe1 | MSG1-GF-M21-250/MSG1-GF-C1-250 |
| FILTUB DUR 12 | Fe7 | MSG5-GF-M21-40-P/MSG5-GF-C1-40-P |
| FILTUB DUR 14 | Fe8 | MSG6-GF-M21-55-GP/MSG6-GF-L1-55-GP |
| FILTUB DUR 15 | Fe8 | MSG5 -GF-M21-50-P/MSG5-GF-C1-50-P |
| FILTUB DUR 16 | Fe13 | MSG6-GF-M21-60-GP/MSG6-GF-C1-60-GP |
| FILTUB UTOP 38 | Fe3 | MSG5-GF-M21-40-P/MSG5-GF-C1-40-P |
| FILTUB UTOP 55 | Fe8 | MSG6-GF-M21-55-GP/MSG6-GF-C1-55-GP |
| FILTUB UTOP Co | Fe3 | MSG 6-GF-M21-55-GP/MSG6-GF-C1-55-GP |
| FILTUB UTOP Mo1 | Fe3 | MSG 5-GF-M21-50-GP/MSG5-GF-C1-50-GP |

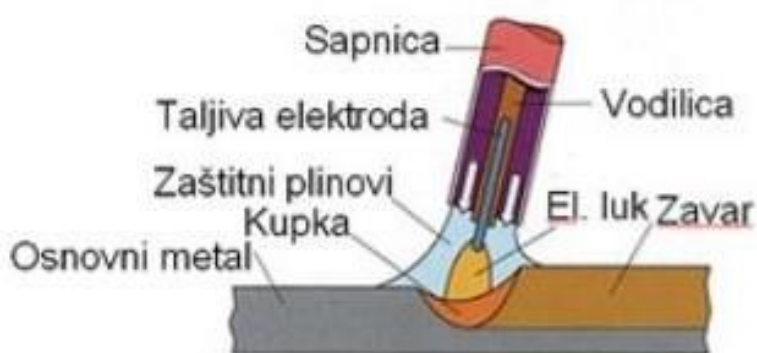
Tablica 9. Primjer punjenih žica za navarvanje u kombinaciji praškom [6][7].

| Punjene žice za navarivanje u kombinaciji praškom | HRN EN 14700:2014 | HRN EN ISO 2560:2020 |
|--|-------------------|----------------------|
| FILTUB DUR 205 | Fe3 | UP1-GF-BFB-165-350 |
| FILTUB DUR 212 | Fe3 | UP5-GF-BFB4 652-40 |
| FILTUB DUR 215 | Fe8 | UP5-GF-BFB4 652-55 |
| FILTUB DUR 17 | Fe14 | UP5-GF-BCS 256-40 |

3. Zavarivanje sa taljivom elektrodom u zaštitnoj plinskoj atmosferi

Kod konvencionalnog se MIG/MAG postupka električni luk uspostavlja i održava između vrha taljive metalne elektrode i zavarenog metala. Električni luk stvara potrebnu toplinu te osigurava taljenje dodatnog materijala i spajanih rubova osnovnog materijala u okruženju zaštitnog plina.

Kada se kao zaštitni plinovi koriste neutralni ili inertni plinovi (argon, helij ili mješavina plinova), tada se ovaj postupak naziva MIG postupak zavarivanja (Metal Inert Gas). A kada se kao zaštitni plin koriste aktivni plinovi (najčešće CO₂ i njegove mješavine drugim plinovima), tada se taj postupak naziva MAG postupak zavarivanja (Metal Active Gas).

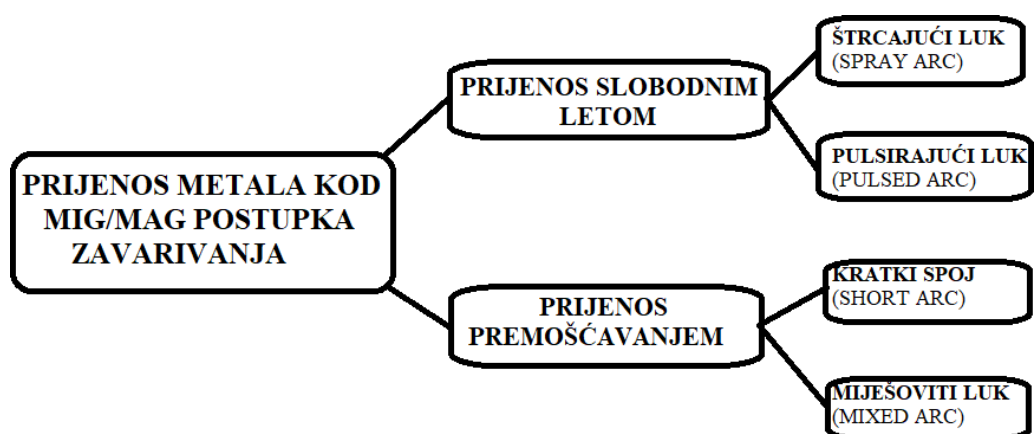


Slika 8. MIG/MAG postupak zavarivanja [3]

Kod ovog postupka zavarivanja, metalna je elektroda u obliku žice namotane na kolut, te se potiskuje pomoći potisnog mehanizma kroz pištolj za zavarivanje do mjesta taljenja gdje se u električnom luku tali i prenosi u rastaljeni metal. Inertni plin tada štiti talinu od štetnog utjecaja kisika i dušika iz zraka.

Promjeri žica i parametri zavarivanja MIG ili MAG postupkom odabiru se prema debljini zavarenih komada i prema položaju zavarivanja. Najčešće korištena žica je ona promjera presjeka 0,6 do 2,4 mm, koja je pobakrena kako bi se osigurao bolji električni kontakt i bolja zaštita od korozije.

Osnova procesa kod MIG/MAG postupka je prijenos metala (rastaljene kapljice) sa vrha elektrode (dodatnog materijala) na osnovni materijal (zavareni spoj).



Slika 9. Osnovni mehanizam prijenosa metala kod MIG/MAG postupka zavarivanja [3]

Dakle, prijenos metala se ostvaruje kratkim spojem elektrode i radnog komada ili kada se kapljica odvoji prije uspostave kratkog spoja što je moguće zbog velike količine energije koja je unesena u proces.

Primjena, produktivnost i kvaliteta zavarenog spoja MIG/MAG postupkom zavarivanja direktno ovise o primijenjenom mehanizmu prijenosa metala.



Slika 10. Primjer aparata za MIG/MAG postupak zavarivanja [9]

Prednosti MIG/MAG postupka zavarivanja:

- brzina zavarivanja (do 1 m/min)
- mogu se zavarivati tanki, srednji i debeli komadi
- mogu se zavarivati sve vrste metala
- može se zavarivati u svim položajima
- postupak zavarivanja se može potpuno automatizirati i robotizirati

Nedostaci MIG/MAG postupka zavarivanja:

- oprema je skupa
- treba postojati visok stupanj pozornosti oko zaštite zbog plina
- postoji opasnost od naljepljivanja [3][8][9]

4. Zavarivanje s netaljivom elektrodom u zaštitnoj plinskoj atmosferi (TIG)

TIG postupak zavarivanja (Tungsten inert gas) se temelji na uspostavi i održavanju električnog luka između volframove netaljive elektrode i radnog komada, uz zaštitu neutralnog ili inertnog plina, tj. odgovarajuće mješavine plinova.

TIG postupak zavarivanja istosmjernom strujom (DC) se koristi za zavarivanje nehrđajućih čelika (INOX), konstrukcijskih čelika te ugljičnih i niskougljičnih čelika, a uz određene uvjete može se koristiti i za zavarivanje aluminijskih legura korištenjem helija i argona.

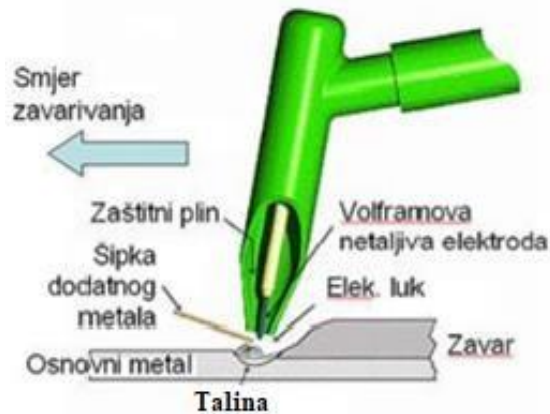


Slika 11. TIG zavarivanje INOX-a istosmjernom strujom [11]

TIG postupak zavarivanja izmjeničnom strujom (AC) se koristi za gotovo sve slučajeve zavarivanja aluminijskih legura i magnezijevih legura. Normalno se najčešće TIG postupak zavarivanja koristi za zavarivanje tankih osnovnih materijala, zavarivanje kraćih zavara, korijena zavarenih spojeva itd.

Ovaj je postupak prvobitno bio razvijen kako bi se omogućilo zavarivanje magnezija i njegovih legura, a danas se već koristi za zavarivanje različitih metala, od aluminijskih, titana, nehrđajućih čelika, tankih čeličnih limova i drugih neželjeznih materijala i legura.

Kao zaštitni plinovi, koriste se helij ili argon, a svrha im je stvoriti zaštitnu atmosferu koja se može lako ionizirati i štiti vrh elektrode i talinu od kontaminacije kisikom i drugim plinovima iz okoline.



Slika 12. TIG zavarivanje [3]

Prednosti TIG postupka zavarivanja:

- koncentriranost električnog luka
- minimalna količina štetnih plinova
- nema troske i prskanja
- moguće izvoditi zavarivanje u svim položajima
- moguće zavarivanje širokog spektra metala i njihovih legura
- moguće zavarivanje raznorodnih materijala
- moguće zavarivanje tankih materijala
- vrlo pogodan postupak za izvođenje reparaturnih radova
- ako se spoj pravilno izvede, on spada u najkvalitetnije zavarene spojeve izvedene elektrolučnim postupkom
- vrlo lijep zavar

Nedostaci TIG postupka zavarivanja:

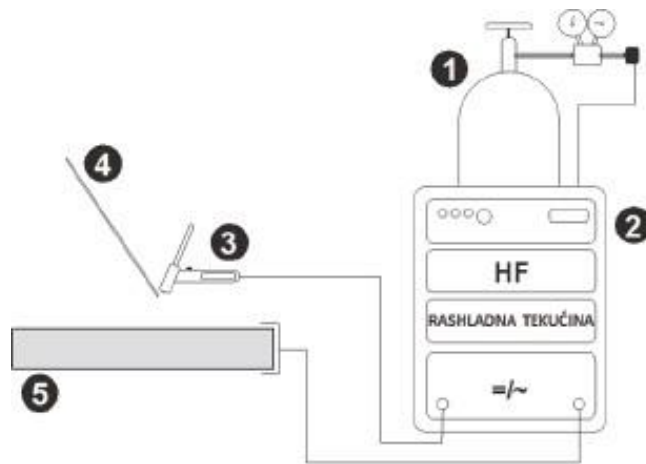
- mala brzina zavarivanja
- mali depozit dodatnog materijala
- zahtijevana je priprema zavarenog spoja
- postupak nije ekonomičan pri zavarivanju debljih pozicija > 6 mm
- skuplja oprema za zavaravanje i zaštitni plinovi
- zahtjevan postupak zavarivanja, potrebna dulja izobrazba

- postupak se teško izvodi na otvorenim prostorima
- kod izvođenja zavarivanja u zatvorenom prostoru je potrebna ventilacija
- pojačano UV zračenje

4.1. Oprema za TIG zavarivanje

Osnovni dijelovi konvencionalnog uređaja za TIG postupak zavarivanja su:

- 1.izvor struje za zavarivanje
- 2.vodič struje i plina
- 3.gorionik
- 4.sustav za hlađenje
- 5.sustav za dovođenje zašitnog plina

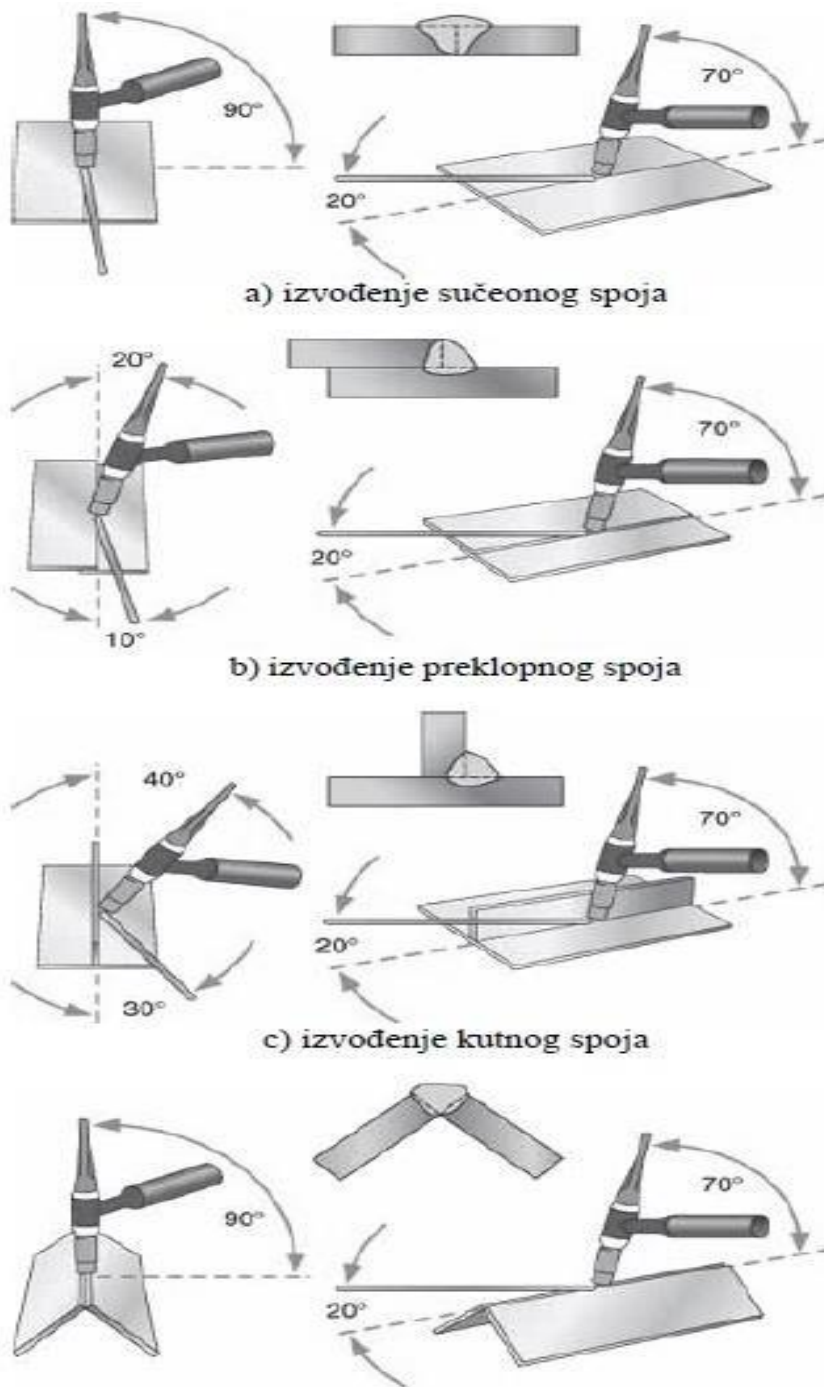


Slika 13. Shematski prikaz opreme za TIG postupak zavarivanja [11]

Na slici 13. nacrtan je shematski prikaz standardne opreme za TIG zavarivanje. Označeno brojem 1. jest zašitni plin, 2. sapnica gorionika, 3. električni luk, 4. rastaljeni materijal, 5. osnovni materijal.

4.2. Primjena TIG postupka zavarivanja u praksi

Ovaj postupak zavarivanja iziskuje najdužu izobrazbu od svih elektrolyčnih postupaka zavarivanja. No on se može primijeniti na gotovo sve vrste metala i njihovih legura, kao i na zavarivanje raznorodnih materijala. [3][11]

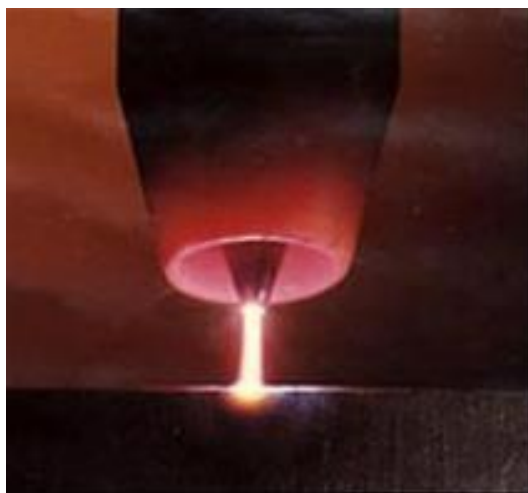


Slika 14. Tehnike izvođenja TIG postupka zavarivanja [11]

5. Zavarivanje plazmom

Uvjeti za nastanak plazme se stvaraju porastom tlaka plina koji prolazi električnim lukom (stanje ioniziranih plinova). Mlaz plazme jest mlaz vrućih plinova, koji na površini predmeta kojeg se zavaruje ili navaruje, proizvodi koncentriranu gustoću snage do 500 W/mm^2 . U plinu koji prolazi električnim lukom dolazi do disocijacije i ionizacije zbog energije električnog luka. Temperatura električnog luka vrlo je visoka pošto je električni luk zbog oblika sapnice koncentriran u usko područje. Plin, koji je pretvoren u plazmu, se nakon izlaska iz sapnice vraća u stabilno stanje, te prenosi energiju preuzetu iz električnog luka na osnovni materijal.

Kako bi se stvorila plazma, električni luk se uspostavlja između W elektrode koja je spojena na „-“, pol izvora struje, te osnovnog materijala (preneseni luk) i između W elektrode i hlađenih usta sapnice pištolja (nepreneseni luk).



Slika 15. Prikaz sapnice za plazma zavarivanje [3]

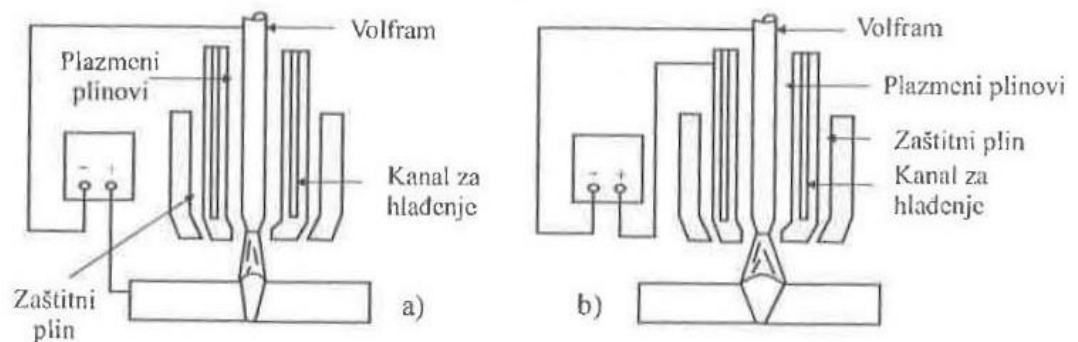
Postupak plazma zavarivanja prenesenim lukom jest sličan zavarivanju netaljivom elektrodom, ali je električni luk znatno uži, veća je penetracija, bolji je prijenos topline i brzina zavarivanja.

Plazma zavarivanjem neprenesenim lukom toplina se na zavareni dio prenosi samo plazmom, a velika je prednost što zavareni komad nije uključen u strujni krug i ne mora biti električni vodič.

Pištolj za plazma zavarivanje je sličan onom za TIG postupak zavarivanja, ali je W elektroda uvučena u sapnicu i ima kanal za plazmeni plin i obavezan sustav hlađenja

vodom. Tokom vodenog hlađenja stupa električnog luka u otvoru dolazi do suženja luka, pojačava se gustoća snage mlaza plazme i temperatura poraste na 10000 do 20000 K.

U usporedbi sa otvorenim električnim lukom kod TIG postupka zavarivanja mlaz plazme daje bolji prijenos topline, veću brzinu zavarivanja i dublju penetraciju.

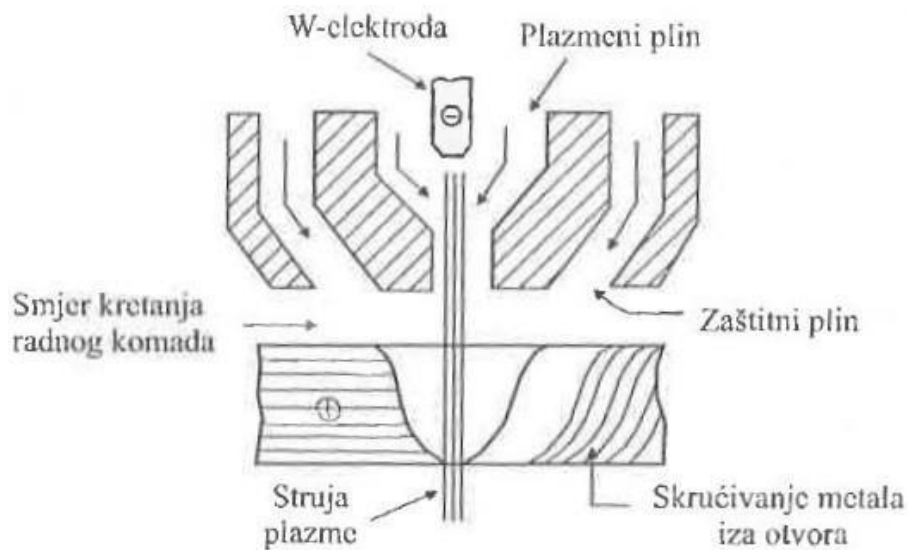


Slika 16. Shematski prikaz plazme sa prenesenim lukom (a) i sa neprenesenim lukom (b) na osnovni materijal [12]

Plazma postupak zavarivanje se izvodi bez dodatnog materijala (protaljivanje spojnih rubova) ili uz dodatni materijal (žica). Za plazma postupak zavarivanja se koriste plazmeni i zaštitni plinovi. Plazmeni su plinovi obično argon (0,5 – 2,5 l/min), dušik, vodik, helij i njihove mješavine. U današnje vrijeme se više koriste uređaju koji za plazmeni plin koriste zrak, što je i najjeftinije, ali je elektroda u takvim slučajevima od cirkonija i drukčijeg je oblika, a kao zaštitni plin se koriste argon, helij i njihove mješavine (Ar + 1-5% H₂, Ar +25-50% He – za zavarivanje titana), ponekad se dodaju i male količine nekih aktivnih plinova.

Kod postupka zavarivanja plazmom se koriste tehnika taljenja i tehnika protaljivanja. Kod tehnike taljenja se materijal tali na sličan način kao i kod TIG postupka zavarivanja (kod tankih limova, višeslojnih i kutnih spojeva). Kod tehnike protaljivanjem plazmeni mlaz protaljuje čitavu debljinu osnovnog materijala, time stvarajući u materijalu otvor oblika ključanice, a zavareni spoj nastaje tako što rastaljeni materijal zbog površinske napetosti zatvara taj otvor. Tehnika protaljivanja se još zato naziva i tehnikom ključanice, a ovom se tehnikom mogu u jednom prolazu zavarivati Al-legure debljine do 12 mm, nije potrebno ukošavanje rubova, može se raditi ručno ili mehanizirano u svim položajima zavarivanja.

Iako se ovaj postupak ne koristi za zavarivanje svih materijala, potrebno je naglasiti da je pogodan za praktički sve tehničke materijale. Plazma postupkom zavarivanja najčešće se zavaruju visoko legirani čelici i Ti – legure. Zbog prisutnosti visoke gustoće snage, materijal u blizini zavarenog spoja se slabo zagrijava, te su deformacije minimalne. Zavareni se spoj priprema kao čeon.



Slika 17. Shematski prikaz principa zavarivanja plazmom [12]

Prednosti plazma zavarivanja:

- razmak između pištolja (sapnice) i osnovnog materijala nije kritična veličina
- stabilan električni luk
- velika brzina zavarivanja
- duboko i potpuno pretaljivanje u jednom prolazu i uska zona utjecaja toplote

Nedostaci plazma zavarivanja:

- velika osjetljivost pištolja u usporedbi sa pištoljem za TIG postupak zavarivanja
- pištolj se mora hladiti vodom (destilirana voda)
- nužno je točno održavanje razmaka između vrha elektrode i sapnice [3][11]

6. Navarivanje kao reparatura tehnologija

U zavarivačkim radovima, veliki udio čini reparativno navarivanje. Navarivanje dakle, kao takvo obuhvaća širok spektar materijala. Navarivanjem se može „nadoknaditi“ odnosno nadodati potrošeni materijal na neki osnovni materijal/komad, može se navariti novi sloj materijala i time omogućiti dulji vijek trajanja konstrukcije, mogu se sanirati pukotine, udubljenja, posljedice korozije i greške kod lijevanja.

Navarivanje je reparativni postupak kojim se nekom djelu/komadu ili konstrukciji produljuje vijek trajanja ili se pak koristi u svrhu izrade novog proizvoda radi dobivanja posebnih svojstava. U svrhu navarivanja se koriste svi postupci zavarivanja.

Bitne su razlike između navarivanja i zavarivanja. Zavarivanjem se međusobno spajaju dva osnovna materijala (komada), uz primjenu dodatnog materijala. Navarivanje se izvodi zbog popunjavanja istrošenih površina ili radi poboljšanja površina na nekom strojnom djelu ili alatu.



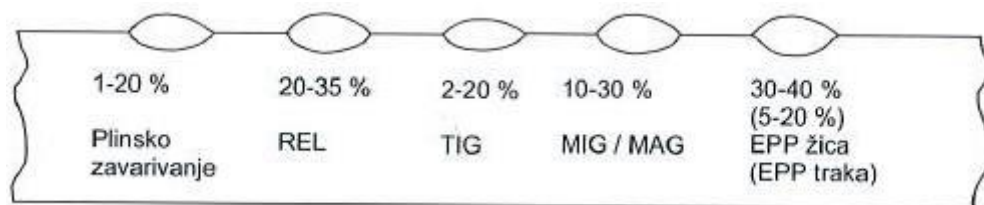
Slika 18. Dograđivanje strojnog dijela [13]

Prilikom navarivanja se zbog lokalnog ograničenja taljenja osnovnog materijala postiže čvrsta veza između osnovnog materijala i navarenog sloja. Pritom postoji opasnost od nepoželjnih mikrostrukturnih promjena i naprezanja, što se može manifestirati u obliku pukotina i deformacija obrađivanog komada. Kako bi se takve

poteškoće spriječile, često se provodi predgrijavanje, tj. žarenje nakon navarivanja. Oprema, dodatni materijal kao i tehnika rada su slični kao i kod zavarivanja.

No, kod navarivanja se također pojavljuje i nekoliko problema, a to su:

- utjecaj miješanja dodatnog materijala sa osnovnim materijalom u strukturi navara
- utjecaj različitog koeficijenta istežanja kod navarivanja raznorodnih materijala
- izbor dodatnog materijala u odnosu na zahtjeve površine koja se navaruje
- izbor osnovnih materijala koji se mogu navarivati



Slika 19. Stupanj miješanja dodatnog sa osnovnim materijalom kod različitih postupaka zavarivanja ili navarivanja [9]

Kvaliteta se zavarenog spoja smanjuje s pojavom miješanja dodatnog i osnovnog materijala.

Postotak miješanja se, dakle, mora održati na minimumu kako bi se kvaliteta spoja održala dobrom, te se postotak računa prema izrazu:

$$\frac{OM}{OM + DM} \cdot 100 = \text{Postotak miješanja}$$

pri čemu je OM oznaka za osnovni materijal, a DM oznaka za dodatni materijal.

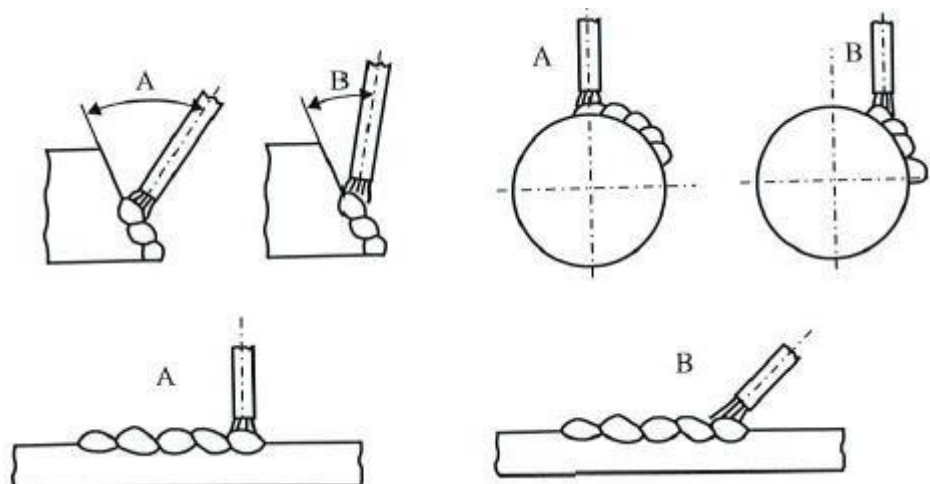
Osnovno pravilo kod navarivanja jest izabrati postupak koji daje najmanji stupanj miješanja dodatnog i osnovnog materijala. Npr. prilikom navarivanja oštih rubova i malih površina se koristi TIG postupak navarivanja ili plinsko navarivanje. Za navarivanje manjih do srednjih površina se koristi REL postupak navarivanja, a za navarivanje velikih površina se koristi MIG/MAG postupak navarivanja.

Plazma postupkom se mogu navarivati i najmanji dijelovi zbog visoke gustoće energije.

Kod postupaka s visokim stupnjem miješanja dodatnog i osnovnog materijala nužno je navarivanje provesti u nekoliko slojeva. Slojevi koji se dobiju navarivanjem redovno su deblji od 2 mm, a mogu biti debljine i do čak 20 mm (to se može postići kod višeslojnog navarivanja). Odabirom odgovarajućih parametra navarivanja (jakost struje, količina dodatnog materijala, brzina navarivanja) mogu se izbjeći pogreške kod navarivanja (pogreške vezanja na osnovni materijal, poroznost...).

Navarivanjem u samo jednom prolazu se dobivaju slojevi debljine od 0,5 do 3 mm, čiji se sastav zbog miješanja značajno razlikuje od sastava obrađivanog materijala. Npr. navarivanjem čelika sa 25 mas. % Cr i 13 mas. % Ni na ugljični čelik dobiva prvi sloj sastava cca 18 mas. % Cr i 9 mas. % Ni, a naknadni se slojevi sve više približavaju sastavu dodatnog materijala. Dobiveni slojevi navarivanjem su hrapavi, te je potrebna naknadna obrada brušenja ili toplog valjanja.

Prilikom navarivanja, sa stajališta tehnike se obraća velika pozornost na to da se dobije što manji stupanj miješanja dodatnog i osnovnog materijala. Kod navarivanja postupkom REL, koji se koristi najčešće u svrhu reparatura, kao i kod ostalih elektrolučnih postupaka, koristi se manja, tj. minimalna jakost struje, ali dovoljno velika da se osigura dobar spoj navara.

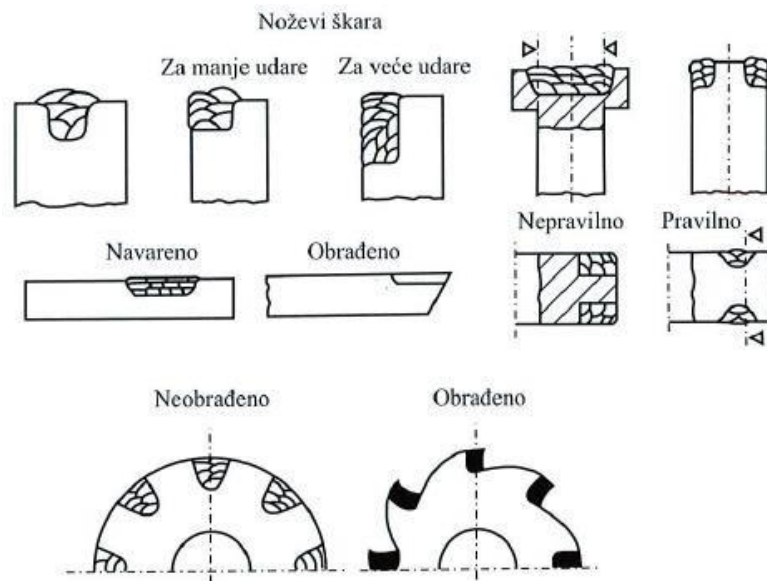


Slika 20. Prikaz tehnika navarivanja radi smanjenja stupnja miješanja dodatnog i osnovnog materijala. (A – pogrešno, B – ispravno) [9]

Ukupni se problem navarivanja ne može riješiti uporabom jednog dodatnog materijala, jer su i različiti mehanizmi i tipovi trošenja materijala (abrazivo, umor površine, tribokorozija...).

Kako bi se odabrao optimalan dodatni materijal nužno je poznavati očekivano trošenje površine. Dodatni se materijali za navarivanje klasificiraju prema standardim DIN, ISO, AWS-ASTM itd. Kako bi se napravio pravilan izbor, koriste se preporuke proizvođača dodatnih materijala za navarivanje.

Kako bi se povećala otpornost na trošenje, navaruju se slojevi visoke tvrdoće, koji se ponekad i ne obrađuju strojnom obradom, ovisno o vrsti eksploatacije. U tom slučaju, najčešće se dodaju kompleksni dodatni materijali, kod kojih udio karbida (W, V, Cr) u osnovi može iznositi do 50 %, a u iznimnim slučajevima i do 80 %. Takvi dodatni materijali, koji imaju visok udio karbida, mogu biti samo u praškastom obliku. U pravilu se nakon navarivanja i hlađenja sa temperature navarivanja provodi popuštanje na željenu razinu tvrdoće. Za ovakve postupke navarivanja, gdje je potrebno nanošenje dodatnog materijala sa visokim udjelom karbida, iznimno je pogodan plazma postupak.



Slika 21. Primjeri navarivanja za izradu alata za strojnu obradu [9]

Kada bi se povećala otpornost na koroziju, koriste se čisti metali (nikal), ali i legure sa visokom korozivskom otpornošću (Cr-Ni čelici, dupleks čelici). Navareni slojevi koji služe za zaštitu od korozije nanose se na glatke plohe ili na gotove dijelove/komade.

Kod posebnih slučajeva korozivskih uvjeta koriste se superlegure na bazi kobalta i nikla. Naknadna toplinska obrada nije potrebna, ali u nekim izuzetnim slučajevima je potrebna (popuštanje zaostalih naprezanja ili uklanjanje segregacije kod austenitnih čelika).

Ugljični, nehrđajući i legirani konstrukcijski čelici se mogu prevlačiti navarivanjem. Za prevlačenje lakim metalima se razvijaju posebni dodatni materijali. U pravilu, čelici se mogu prevlačiti navarivanjem neovisno o njihovom stanju, ali se najčešće provodi nakon kaljenja i popuštanja. Kod osnovnih materijala koji su kaljivi, poželjno je da, ako zona utjecaja topline ne predstavlja smetnju, se navarivanje provede u zakaljenom stanju. Tako se onda popuštanje izvodi zajednički.

Prednosti postupka navarivanja na ostale reparativne postupke:

- djelomično rastaljeno stanje osnovnog materijala osigurava bolju metaluršku vezu navarenog sloja i osnovnog materijala
- moguće je nanošenje navarenih slojeva većih debljina (najčešće od 1 do 10 mm)
- moguće nanošenje višestrukih slojeva

-moguće nanošenje navarenih slojeva na bilo koje metalne materijale (čelik, obojeni metali)

-navarivanjem se može mijenjati veliki raspon parcijalnih željenih slojeva koji imaju otpornost na trošenje i koroziju

-postupak je vrlo učinkovit

Nedostaci postupka navarivanja s obzirom na druge reparativne postupke:

-moguća relativno velika deformacija obrađivanih dijelova/komada zbog visokih unosa topline, te moguće eventualne martenzitne transformacije nakon hlađenja

-otežano nanošenje navarenog sloja na dijelove kompliciranih oblika

-potrebna je dodatna obrada, ako je potrebna točna geometrija površine

6.1. Potrebni koraci prije izvođenja postupka navarivanja

Kako bi se navarivanje moglo izvesti na najkvalitetniji način, te kako bi navareni sloj imao najbolja moguća svojstva, potrebno je izvesti sljedeće korake:

1. skupiti što više podataka o vrsti oštećenja, osnovnom materijalu, radnom komadu i uvjetima eksploatacije kojima je isti bio izložen, kao što su:

-vrsta i stanje osnovnog materijala (ona se može utvrditi kemijskom analizom, mjerenjem tvrdoće, brušenjem itd.)

-vrsti i uzroku oštećenja ili greške u materijalu koju je potrebno sanirati kao što su površinska oštećenja, nepravilno rukovanje materijalom/komadom, eksploatacija, uzrok, oblik i dubina oštećenja, vrsta pukotine, količina izhabanog ili izgubljenog materijala zbog nekih drugih utjecaja, te da li je od prije na komadu bilo vršeno reparaturno navarivanje

-radni vijek i radna okolina, korozijske materije, radne temperature itd.

2. pomno isplanirati i pripremiti plan reparacije reparativnim navarivanjem, koji mora sadržavati podatke o:

-vrsti radnog komada, njegovim dimenzijama i obliku te mogućnostima transporta

-površinsku kvalitetu te debljinu navarenog sloja (glatka ili gruba površina, visoki ili niski navari te možda čak i navari sa pukotinama)

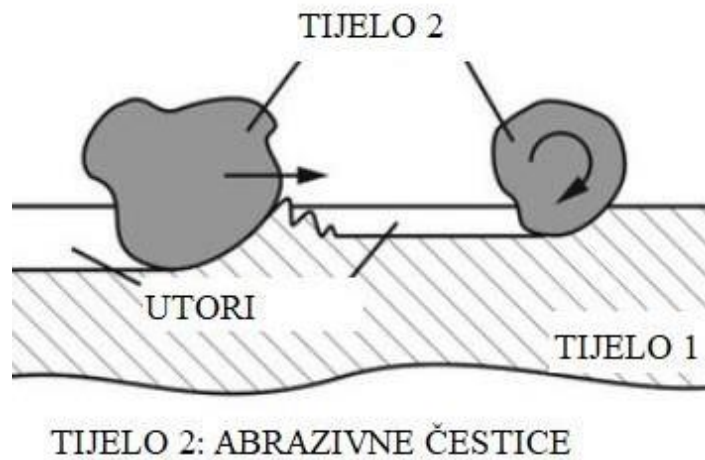
-vrstama obrade materijala/komada prije i poslije navarivanja (predgrijavanje, mogućnost termičke obrade)

-vrsti dodatnog materijala za navarivanje čiji izbor je moguć jedino ako je poznat način eksploatacije konstrukcije/radnog komada, vrsta osnovnog materijala te vrsti trošenja istog, pri čemu se u obzir uzimaju mehanički, termički i kemijski utjecaji na osobine materijala i međusobne kombinacije tih utjecaja

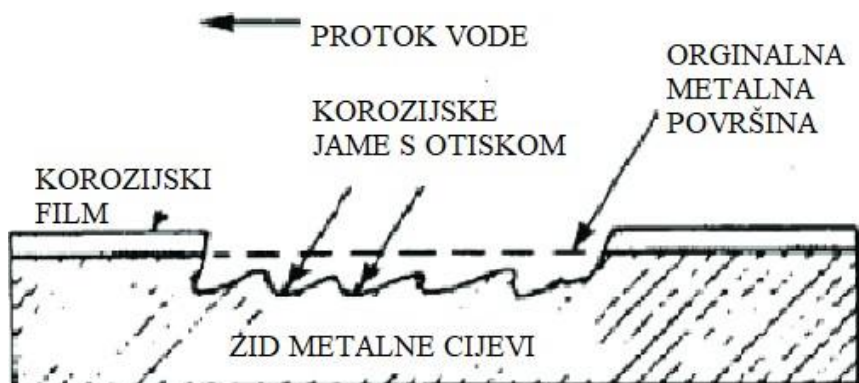
-postupku i parametrima izvođenja navarivanja

-kontroli nakon reparativnog navarivanja

-vrstama mehaničkog trošenja (abrazija česticama, habanje, erozija itd. - slike 23. i 24.)



Slika 22. Abrazivno trošenje česticama [14]



Slika 23. Erozijska metalna [15]

6.2. Primjeri primjene navarivanja iz prakse

Navarivanjem se mogu reparirati mnoge deformacije kao što su rupe na osnovnom materijalu, udubine, ogrebotine itd. Također, navarivanjem se još i mogu poboljšati površinska svojstva materijala. Primjer toga su zubi na žlici bagera. Zubi su izloženi intenzivnom abrazivnom trošenju, te da bi mogli dulje trajati i biti otporni na trošenje, oni se tvornički navaruju kako bi se postigla površinska tvrdoća veća od tvrdoće osnovnog materijala, a osnovni materijal ostane žilav i otporan na udarce. Time se osigurava mnogo manji stupanj trošenja zuba, ali i otpornost istih na udarce zbog žilave jezgre.



Slika 24. Zub žlice na bageru. [16]

Kod strojnih dijelova koji su izloženi konstantnom trošenju, kao što su zupčanci, noževi za mljevenje otpada itd., navarivanje se također koristi kako bi se stvorila tvrda površina otporna na trošenje a da jezgra ostane žilava i otporna na udarna opterećenja. [17][18]

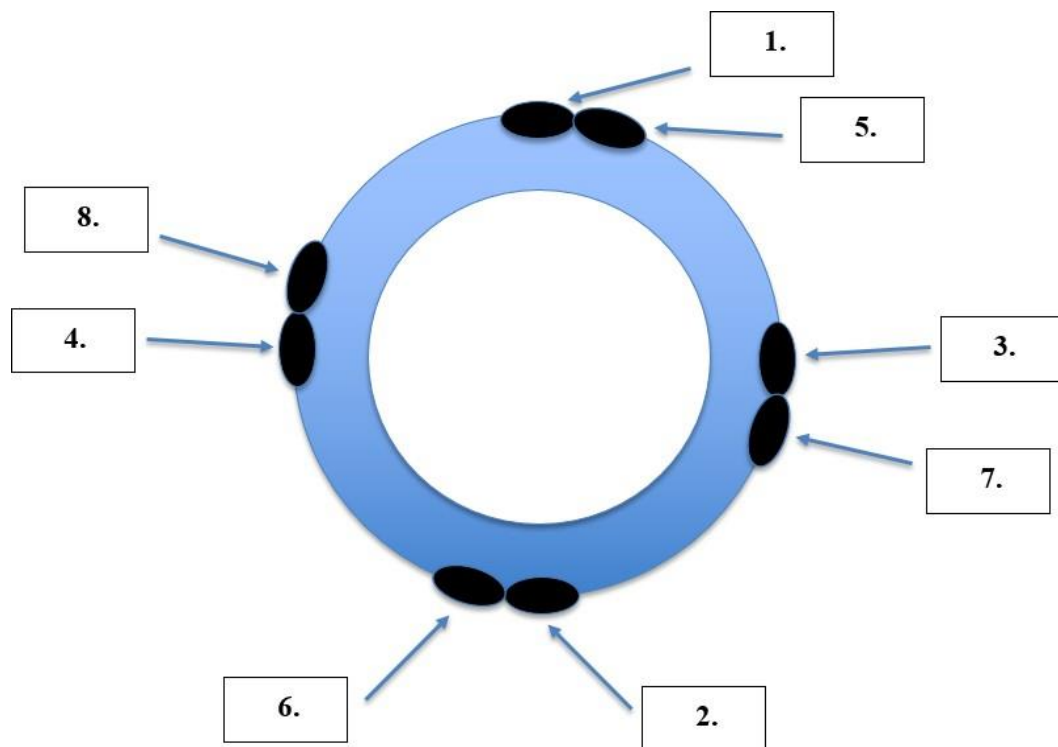


Slika 25. Navareni noževi za mljevenje otpada. [18]

7. Praktični dio rada

Kao praktični dio rada, izvedeno je navarivanje REL postupkom zavarivanja sa bazičnim elektrodama na bešavnim debelostjenim cijevima. Materijal korišten za praktični dio rada – Čelična debelostjena cijev S355J2H/E355+AR/P355, prema EN 10210-1/EN 10210-2/EN 10297-1/EN 10216-3, bešavna, toplo valjana cijev, vanjskog promjera 70 mm te debljine stijenke 5 mm. Navarivanje je rađeno u PA položaju. Praktični dio rada odrađen je u prostoru laboratorija na Sveučilištu Sjever. Ovaj postupak navarivanja je vršen REL postupkom zavarivanja sa bazičnim elektrodama XSUPER Abra Tec 5006 na zavarivačkom stroju Varstroj VARTIG 2005 AC/DC.

Navarivanje je vršeno po dužini cijevi, te su navarivani slojevi unakrsni (slika 27.) u svrhu smanjenja deformacija, strukturnih promjena, promjene kružnosti i zagrijavanja cijevi/osnovnog materijala. Ako je navar stavljen na poziciju 1. prema slici, tada će sljedeći nakon njega biti stavljen na poziciju 2. itd.



Slika 26. Smjer i raspodjela navara na cijevi [17]

Navarivanje je vršeno na dvije cijevi, odnosno radi se o jednoj bešavnoj cijevi koja je prerezana kako bi se dobile dvije duljine 600 mm. Jedna cijev je bila hladna, odnosno nije predgrijavana, a druga cijev je predgrijavana na 100 °C. Ovime je omogućeno da nakon navarivanja, ispitivanjem tvrdoće navara na obje cijevi, te ispitivanjem kružnosti, budu dobiveni različiti rezultati koji se na kraju mogu usporediti i kako bi se moglo vidjeti koja je cijev ostvarila bolje „rezultate“ ovih ispitivanja.

7.1. Oprema za navarivanje

Od opreme za izvedbu praktičnog djela zadatka, korišten je stroj za zavarivanje „Varstroj – Vartig 2005 AC/DC“.



Slika 27. Varstroj – Vartig 2005 AC/DC [17]

Strojevi Vartig su uglavnom namijenjeni za zavarivanje TIG postupkom, no omogućavaju i zavarivanje obloženom elektrodom, koje je korišteno u ovom praktičnom

zadatku. Područje upotrebe ovih zavarivačkih strojeva je široko, od radionica do industrije, te se preporučuju za zavarivanje konstrukcijskih čelika, nehrđajućih čelika i AL materijala. Također, ova vrsta strojeva omogućava digitalni prikaz parametara zavarivanja i LED signalizaciju režima rada.

7.1.1. Tehničke karakteristike stroja

- napajanje od 23 V/50 Hz
- osigurač spor 20 A
- područje zavarivanja TIG DC 5 – 200 A
- područje zavarivanja TIG AC 5 – 200 A
- područje zavarivanja MMA (REL) 5 – 170 A
- područje zavarivanja MMA (REL) 20,2 – 26,8 A
- napon zavarivanja TIG 10,2 – 18 V
- intermitencija TIG AC/DC 35 % 200 A / 200 A
- intermitencija TIG AC/DC 60 % 175 A / 180 A
- intermitencija TIG AC/DC 100 % - 145 A / 155 A
- prečnik elektrode zavarivanja MMA (REL) 1,5 – 4 mm
- tip gorionika TIG – BO5 200 G 4 m
- masa 23 kg
- dimenzija D x Š x V (mm) 465 x 225 x 480 mm

7.2. Elektrode za navarivanje

Za navarivanje korištene su EutecTrode XSUPER AbraTec 5006 bazične elektrode. Ove elektrode se koriste za navarivanje slojeva otpornih na trošenje, abraziju, tlak i umjeren utjecaj na čelične komponente, uključujući nisko legirane i manganske čelike.



Slika 28. EutecTrode XSUPER AbraTec 5006 bazične elektrode. [17]

7.2.1. Tehničke karakteristike elektroda

- visoka stopa taloženja
- vrlo jednostavne za korištenje
- moguće kontaktno zavarivanje
- jednostavno uklanjanje troske
- stvaraju navar tvrdoće do 59 HRC [19]

8. Navarivanje cijevi

U sljedeća dva stanja pokusa detaljno je opisano navarivanje hladne cijevi i navarivanje predgrijane cijevi. Cijev koja nije predgrijavana, u daljnjem tekstu, biti će oslovljena kao "prva cijev", a cijev koja je predgrijavana biti će oslovljena kao "druga cijev".

8.1. Navarivanje prve cijevi

Prva cijev je navarena na način da su navarene dvije linije (linija 1. i linija 2., slika 26.), te je cijev ostavljena je sa strane da se slobodno ohladi u zračnoj atmosferi. Time je minimaliziran utjecaj topline na promjenu strukture i promjenu kružnosti cijevi.

Kada se temperatura cijevi spusti na 40 – 50 °C, kreće se sa sljedećom serijom navara. Dakle navaruje se linija 3. i 4 (slika 26.), te se ponavlja postupak hlađenja.

8.2. Navarivanje druge cijevi

Druga cijev je predgrijavana na 100°C. Princip navarivanja je bio isti kao i kod prve cijevi, navarivane su linije unakrsno i nakon dvije navarene linije ostavljena je cijev da se ohladi. Jedina razlika kod druge i prve cijevi je što se kod druge cijevi temperatura ne spušta ispod 100 °C. Navarivanje je izvršeno sa istim parametrima, istim strojem i istim elektrodama.

9. Ispitivanje kružnosti cijevi

U daljnjem tekstu je objašnjen postupak ispitivanja kružnosti prve i druge cijevi, te je na kraju napravljena usporedba rezultata ispitivanja kod prve i druge cijevi. Kružnost je mjerena na način da su cijevi centrirane i stegnute u amerikaner tokarskog stroja, pri čemu je na cijev prislonjen precizni mjerni sat pomoću modularne ruke. Mjerni sat ima podjelu skale na 0,01 mm, čime se vrlo precizno može očitati odstupanje od kružnosti. Mjerni sat se namjesti na jednu točku na cijevi tako da pokazuje 0, te se dalje, okretanjem cijevi mogu vidjeti odstupanja, tj. odstupanje od kružnosti.

Dijelovi mjernog sata su :

- stabilno metalno kućište otporno na udarce
- podesive oznake za toleranciju
- vijci za pozicioniranje
- zupčanica, zupčanik iz kaljenog alatnog čelika
- zamjenjivi dodirni svornjaci

9.1. Ispitivanje kružnosti hladne cijevi

Ispitivanjem kružnosti prve cijevi, prije navarivanja, dobiven je podatak da je odstupanje od kružnosti bilo 0,2 mm. Naravno, prilikom ispitivanja prve i druge cijevi, rezultat ispitivanja kružnosti bio je isti, kružnost je odstupala 0,2 mm.



Slika 29. Ispitivanje kružnosti hladne cijevi prije navarivanja. [17]

Nakon navarivanja, ispitivanjem kružnosti prve cijevi je ustanovljeno da kružnost odstupa 0,12 mm. To bi značilo da se kružnost „popravila“ u odnosu na početno stanje, ali to nije bilo bitno. Bitno je da li je došlo do promjene, odnosno potreban je podatak za usporedbu. Dobiveni podatak govori da se kružnost cijevi od početnog stanja promijenila za 0,08 mm. Dakle, kod hladne je cijevi, iako je nakon svake2 sloja navara ostavljena da se slobodno hladi u zračnoj atmosferi, došlo do određene deformacije.



Slika 30. Ispitivanje kružnosti hladne cijevi nakon navarivanja. [17]

9.2. Ispitivanje kružnosti predgrijavane cijevi

Ispitivanjem kružnosti druge cijevi dobiven je isti podatak kao i kod mjerenja kružnosti hladne cijevi (što je i bilo za očekivati jer su one izrezane od jedne cijevi). Dakle, odstupanje od kružnosti prije predgrijavanja i navarivanja je iznosilo 0,2 mm.



Slika 31. Kružnost cijevi prije predgrijavanja i navarivanja [17]

Nakon što je cijev navarena, ostavljena je da se ohladi slobodno u zračnoj atmosferi na sobnoj temperaturi, te nakon što se cijev ohladila kreće se sa ispitivanjem kružnosti. Ispitivanjem kružnosti kod pregrijane cijevi je izmjereno da se kružnost nije promijenila, već je ostalo odstupanje od kružnosti od 0,2 mm.

Dakle, predgrijavanje cijevi, te kontrolirano navarivanje i puštanje cijevi da se slobodno hladi između navara doprinjelo je tome da cijev zadrži prvobitni oblik te da se minimalno deformira, odnosno u ovom slučaju ne deformira.

10. Ispitivanje tvrdoće cijevi

U daljnjem tekstu objašnjen je način na koji je mjerena tvrdoća cijevi te tvrdoćazavara na obje cijevi. Rezultati mjerenja će biti uspoređeni te će se prema dobivenim rezultatima vidjeti koja je cijev ostvarila bolje rezultate (veću tvrdoću).

10.1. Ispitivanje tvrdoće navara na hladnoj cijevi

Po završetku sa ispitivanjem kružnosti na hladnoj cijevi, slijedi ispitivanje tvrdoće navara na istoj. Tvrdoća je mjerena sa tvrdomjerom „dynaROCK II“, koji je potrebno prije samog mjerenja kalibriran (slika 33.), na način koji je propisan uputstvima uređaja. „DynaROCK II“ je prijenosni uređaj za testiranje tvrdoće materijala. Mjerenje se vrši pomoću kuglice koja mjeri tvrdoću materijala prema broju odskoka i visini odskoka, nakon njezinog puštanja da udari o materijal. Ova se metoda još naziva i „Leep hardness testing method“. Prednost ovog uređaja za mjerenje jest ta što se mjerenje može vršiti u svim položajima. Rezultati testiranja se odmah konfiguriraju u skale tvrdoće HRB, HRC, HV, HB, HS i vlačnu čvrstoću.

Ovo mjerenje je omogućilo da se napravi usporedba kolika je razlika u tvrdoći navara na hladnoj i predgrijanoj cijevi. Za svaku cijev je izvedeno 5 mjerenja jer je mjerena na različitim mjestima na cijevi, odnosno na navarima. Jedina mana ovog uređaja za mjerenje jest ta što je za mjerenje potrebna čim ravnija površina, koju je teško dobiti nakon navarivanja.



Slika 32. Uređaj za mjerenje tvrdoće i kalibriranje istog. [17]

Mjerenje tvrdoće je izvedeno i na samoj cijevi, te su dobiveni sljedeći podatci:

Tablica 10. Mjerenje tvrdoće na cijevi/osnovnom materijalu [17]

| Mjerenja: | HLD | HV | HB |
|------------|--------|-----|--------|
| 1.Mjerenje | 389 | 131 | 129 |
| 2.Mjerenje | 392 | 133 | 132 |
| 3.Mjerenje | 391 | 132 | 131 |
| Prosjek: | 393,67 | 132 | 130,67 |

Mjerenjem tvrdoće navara na prvoj cijevi dobiveni su sljedeći podatci:

Tablica 11. Mjerenje tvrdoće navara na hladnoj cijevi [17]

| Mjerenja: | HRC | HLD | HV |
|------------|-------|-------|-----|
| 1.Mjerenje | 38,7 | 630 | 374 |
| 2.Mjerenje | 38,6 | 630 | 374 |
| 3.Mjerenje | 46,7 | 693 | 470 |
| 4.Mjerenje | 46,2 | 688 | 463 |
| 5.Mjerenje | 45,2 | 680 | 449 |
| Prosjek: | 43,08 | 664,2 | 426 |

10.2. Ispitivanje tvrdoće navara na predgrijanoj cijevi

Ispitivanje tvrdoće je, kao i kod hladne cijevi, izvršeno prije predgrijavanja na samoj cijevi, odnosno osnovnom materijalu, te su dobiveni isti rezultati kao i kod ispitivanja tvrdoće hladne cijevi.

Nakon što se cijev ohladila na sobnu temperaturu te nakon što je izvršeno ispitivanje kružnosti, slijedi ispitivanje tvrdoće navara. Ispitivanje se vršilo istim aparatom za mjerenje tvrdoće kao i kod hladne cijevi „dynaROCK II“, te je izvršeno isti broj ispitivanja (5 ispitivanja), kako bismo na posljepku mogli rezultate tvrdoće dobivene kod hladne cijevi usporediti sa onima dobivenim na predgrijanoj cijevi.

Rezultati ispitivanja tvrdoće navara na predgrijanoj cijevi su pokazali sljedeće:

Tablica 12. Rezultati ispitivanja tvrdoće navara na predgrijanoj cijevi [17]

| Mjerenja: | HRC | HLD | HV |
|-----------------|--------------|--------------|--------------|
| 1.Mjerenje | 46,1 | 688 | 462 |
| 2.Mjerenje | 46,5 | 691 | 467 |
| 3.Mjerenje | 45,1 | 677 | 447 |
| 4.Mjerenje | 45,4 | 682 | 451 |
| 5.Mjerenje | 43,7 | 668 | 431 |
| Prosjek: | 45,36 | 681,2 | 451,6 |

Uspoređujući rezultate mjerenja tvrdoće navara na hladnoj cijevi i na predgrijanoj cijevi, uočava se da su rezultati mjerenja pokazali da su navari napredgrijanoj cijevi postigli nešto veću tvrdoću.

Prosjek rezultata ispitivanja tvrdoće navara na hladnoj cijevi:

Tablica 13. Isječak iz tablice 6. [17]

| | HRC | HLD | HV |
|-----------------|--------------|--------------|------------|
| Prosjek: | 43,08 | 664,2 | 426 |

Prosjek rezultata ispitivanja tvrdoće navara na predgrijanoj cijevi:

Tablica 14. Isječak iz tablice 7. [17]

| | HRC | HLD | HV |
|-----------------|--------------|--------------|--------------|
| Prosjek: | 45,36 | 681,2 | 451,6 |

Ovim ispitivanjem, zaključuje se, da se predgrijavanjem osnovnog materijala, u ovom slučaju bešavne cijevi, postižu bolja svojstva navara kao i manje strukturne promjene te manje deformacije oblika osnovnog materijala. Navarivanjem hladnog osnovnog materijala se u kratkom roku u materijal unosi velika količina topline, što rezultira deformacijom te strukturnim promjenama, dok se kod predgrijanog osnovnog materijala temperatura diže postepeno, što doprinosi tome da se materijal ne deformira u tolikoj mjeri, te ne dolazi do većih strukturnih promjena. [17]

11. Zaključak

Zavarivanje i navarivanje su vrlo bitni postupci u današnjoj proizvodnji. Postupci zavarivanja konstanto evoluiraju te se svakim danom pokušavaju unaprijediti postojeći postupci i tehnologije. MIG/MAG, TIG pa čak i REL postupak zavarivanja je danas moguće potpuno automatizirati, što omogućuje eliminaciju greške, odnosno ljudskog faktora i čini proizvodnju i kvalitetu, u nekim aspektima boljom.

Navarivanje je danas također vrlo zastupljen postupak reparacije ali i postupak koji se koristi za poboljšavanje kvalitete nekog proizvoda. Uzevši za primjer zube na žlici bageru, koji se navaruju tvornički kako bi se dobio tvrdi površinski sloj, a jezgra bi ostala elastična. Na taj se način ti isti zubi sporije troše i mogu podnijeti veće opterećenje bez deformacija i većeg trošenja. Ako se govori o reparaturi pukotine, rupe, udubine, sve su to greške i deformacije koje se navarivanjem mogu popraviti. Dakle, navarivanje je postupak koji se koristi u velikoj mjeri kako bi se osnovni materijal popravio zbog nekih oštećenja ili se pak osnovnom materijalu navarivanjem može povećati tvrdoća i otpornost na trošenje, koroziju, abrazivno trošenje itd.

Zaključak praktičnog djela rada, pokusa, je da se navarivanjem površina unosi velika količina topline u materijal. Materijal se može vrlo lako deformirati, zato je potrebno kontrolirano navarivati kako se u osnovni materijal ne bi dovelo previše topline. Prilikom unosa prevelike količine topline materijalu se mijenja struktura i deformiraju se oblik i dimenzije istog. Predgrijavanjem osnovnog materijala se mogu eliminirati strukturne promjene te veće deformacije osnovnog materijala, kao i kontrolirano zagrijavanje i hlađenje istog.

Također, ako se radi o kvaliteti navarenog sloja, na predgrijanom osnovnom materijalu će navar biti kvalitetniji te će imati bolja svojstva nego pri navarivanju na hladni osnovni materijal. U praktičnom dijelu rada dokazano je da se predgrijana cijev prilikom navarivanja nije deformirala, te je tvrdoća navarenog sloja bila veća nego ona kod hladne cijevi.

12. Literatura

- [1] Zavarivanje.info 2021; "Osnovni postupci zavarivanja"
<https://www.zavarivanje.info/cd/2689/osnovni-postupci-zavarivanja> (pristup 1.09.2021.)
- [2] Mislaw Hugo Peshut; 29.04.2014 "Postupci zavarivanja"
<https://www.scribd.com/doc/220944326/Postupci-zavarivanja?fbclid=IwAR34T2vzagUZFSzuzPSu5jAlihjRZdRnlaZwA4DIzTFFfbrBcfyi4XXDjh4> (pristup 26.07.2021)
- [3] RAM Rijeka 2011; "RAM – Proizvodnja i trgovina opremom i alatima za autogeno rezanje i zavarivanje d.o.o."
<https://www.ram-rijeka.com/Repository/Dokumenti/Osnovni-postupci-zavarivanja.pdf> (pristup 26.07.2021.)
- [4] "Wikipedia" https://hr.wikipedia.org/wiki/Elektrolu%C4%8Dno_zavarivanje
(27.07.2021.)
- [5] Microcer d.o.o. 2020; "Elektroda Rutilna 2,5mm Oerlikon Supercord" (pristup 16.07.2021)
<https://microcer.rs/elektroda-rutilna-25-saf-fro-ductil-4334>
- [6] HZN e-Glasilo 30.10.2020; "HRN EN ISO 2560:2020"
<https://repositorij.hzn.hr/norm/HRN+EN+ISO+2560%3A2020>
- [7] HZN e-Glasilo 30.04.2014; "HRN EN ISO 14700:2014"
<https://repositorij.hzn.hr/norm/HRN+EN+ISO+2560%3A2020>
- [8] Einhell Croatia d.o.o. 2021; "Aparat za elektrolučno zavarivanje Einhel 151" (pristup 16.07.2021)
<https://www.einhell.hr/shop/hr-hr/tc-ew-150.html>
- [9] Mirko Gojić; Površinska obradba materijala
(pristup 29.07.2021.)

Sisak, 2010. Udžbenici sveučilišta u Zagrebu
- [10] "AGRO ŽIL" <http://www.agrozil.rs/aparati-za-varenje/438-aparat-za-zavarivanje-telwin-mig-mag-mastermig-2202.html> (pristup 26.07.2021.)
- [11] "Zavarivanje profila i limova TIG, MIG i MAG postupkom zavarivanja"
<https://www.ipo-tools.hr/blog-hr/savjet-za-biranje-aparata--za-zavarivanje>
(pristup 28.07.2021)
- [12] Mirko Gojić; Tehnike spajanja i razdvajanja materijala
Sisak, 2003. Sveučilište u Zagrebu, Metalurški Fakultet

13. Popis slika

| | |
|--|----|
| Slika 1. Zavarivanje taljenjem [2] | 1 |
| Slika 2. Zavarivanje pritiskom [1] | 2 |
| Slika 3. REL postupak zavarivanja [4] | 3 |
| Slika 4. Primjer elektroda za REL postupak zavarivanja [5] | 4 |
| Slika 5. Einhel 151 aparat za REL postupak zavarivanja [8] | 6 |
| Slika 6. Prikaz utjecaja struje zavarivanja na oblik navara (zavara) – a) pre mala struja zavarivanja, b) pre velika struja zavarivanja i c) odgovarajuća struja zavarivanja [9] | 7 |
| Slika 7. Nagib elektrode a) utjecaj nagiba na penetraciju, b) preporučeni nagib elektrode[9] ... | 7 |
| Slika 8. MIG/MAG postupak zavarivanja [3] | 17 |
| Slika 9. Osnovni mehanizam prijenosa metala kod MIG/MAG postupka zavarivanja [3] | 18 |
| Slika 10. Primjer aparata za MIG/MAG postupak zavarivanja [9] | 18 |
| Slika 11. TIG zavarivanje INOX-a istosmjernom strujom [11] | 20 |
| Slika 12. TIG zavarivanje [3] | 21 |
| Slika 13. Shematski prikaz opreme za TIG postupak zavarivanja [11] | 22 |
| Slika 14. Tehnike izvođenja TIG postupka zavarivanja [11] | 23 |
| Slika 15. Prikaz sapnice za plazma zavarivanje [3] | 24 |
| Slika 16. Shematski prikaz plazme sa prenesenim lukom (a) i sa neprenesenim lukom (b) na osnovni materijal [12] | 25 |
| Slika 17. Shematski prikaz principa zavarivanja tehnikom ključanice [12] | 26 |
| Slika 18. Događivanje strojnog dijela [13] | 27 |
| Slika 19. Stupanj miješanja dodatnog sa osnovnim materijalom kod različitih postupaka zavarivanja ili navarivanja [9] | 28 |
| Slika 20. Prikaz tehnika navarivanja radi smanjenja stupnja miješanja dodatnog i osnovnog materijala. (A – pogrešno, B – ispravno) [9] | 30 |
| Slika 21. Primjeri navarivanja za izradu alata za strojnu obradu [9] | 31 |
| Slika 22. Abrazivno trošenje česticama [14] | 33 |

| | |
|---|----|
| Slika 23. Erozija metala [15] | 33 |
| Slika 24. Zub žlice na bageru. [16]..... | 34 |
| Slika 25. Navareni noževi za mljevenje otpada. [18] | 34 |
| Slika 26. Smjer i raspodjela navara na cijevi [17]..... | 35 |
| Slika 27. Varstroj – Vartig 2005 AC/DC [17]..... | 36 |
| Slika 28. EutecTrode XSUPER AbraTec 5006 bazične elektrode. [17] | 38 |
| Slika 29. Ispitivanje kružnosti hladne cijevi prije navarivanja. [17] | 40 |
| Slika 30. Ispitivanje kružnosti hladne cijevi nakon navarivanja. [17] | 41 |
| Slika 31. Kružnost cijevi prije predgrijavanja i navarivanja [17] | 42 |
| Slika 32. Uređaj za mjerenje tvrdoće i kalibriranje istog. [17] | 43 |

14. Popis tablica

| | |
|---|----|
| Tablica 1. Podjela postupaka zavarivanja [3]..... | 2 |
| Tablica 2. Podjela postupaka zavarivanja [3]..... | 2 |
| Tablica 3. Usporedno označavanje dodatnih materijala prema normama HRN EN 14700:2014 i HRN EN ISO 2560:2020 te oznakama odgovarajućih postupaka zavarivanja po HRN EN ISO 4063:2012 [6] | 12 |
| Tablica 4. Primjeri različitih vrsta trošenja i odgovarajućih dodatnih materijala za navarivanje prema normi HRN EN 14700:2014 [6] | 13 |
| Tablica 5. Primjeri dodatnih materijala i karakteristika prema normi HRN EN 14700:2014 i HRN EN ISO 2560:2020.[6] | 14 |
| Tablica 6. Primjer visokolegiranih elektroda za posebnu namjenu [6] | 15 |
| Tablica 7. Primjer žica za zavarivanje u plinskim mješavinama MIG/MAG postupka [6] | 15 |
| Tablica 8. Primjer punjenih žica za navarivanje [6] | 15 |
| Tablica 9. Primjer punjenih žica za navarivanje u kombinaciji praškom [6]. | 16 |
| Tablica 10. Mjerenje tvrdoće na cijevi/osnovnom materijalu [17] | 44 |
| Tablica 11. Mjerenje tvrdoće navara na hladnoj cijevi [17]..... | 44 |
| Tablica 12. Rezultati ispitivanja tvrdoće navara na predgrijanoj cijevi [17] | 45 |
| Tablica 13. Isječak iz tablice 6. [17]..... | 45 |
| Tablica 14. Isječak iz tablice 7. [17]..... | 45 |

15. Popis shema

| | |
|---|----|
| Shema 1. Označavanje elektroda prema normi HRN EN ISO 2560 2020 | 9 |
| Shema 2. Označavanje elektroda prema normi HRN EN 14700 2014 | 11 |

Sveučilište Sjever



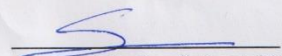
IZJAVA O AUTORSTVU

I
SUGLASNOST ZA JAVNU OBJAVU

Završni/diplomski rad isključivo je autorsko djelo studenta koji je isti izradio te student odgovara za istinitost, izvornost i ispravnost teksta rada. U radu se ne smiju koristiti dijelovi tuđih radova (knjiga, članaka, doktorskih disertacija, magistarskih radova, izvora s interneta, i drugih izvora) bez navođenja izvora i autora navedenih radova. Svi dijelovi tuđih radova moraju biti pravilno navedeni i citirani. Dijelovi tuđih radova koji nisu pravilno citirani, smatraju se plagijatom, odnosno nezakonitim prisvajanjem tuđeg znanstvenog ili stručnoga rada. Sukladno navedenom studenti su dužni potpisati izjavu o autorstvu rada.

Ja, Filip Soldatek pod punom moralnom, materijalnom i kaznenom odgovornošću, izjavljujem da sam isključivi autor završnog rada pod naslovom Navarivanje kao reparaturna tehnologija te da u navedenom radu nisu na nedozvoljeni način (bez pravilnog citiranja) korišteni dijelovi tuđih radova.

Student:
Filip Soldatek


(vlastoručni potpis)

Sukladno Zakonu o znanstvenoj djelatnosti i visokom obrazovanju završne/diplomske radove sveučilišta su dužna trajno objaviti na javnoj internetskoj bazi sveučilišne knjižnice u sastavu sveučilišta te kopirati u javnu internetsku bazu završnih/diplomskih radova Nacionalne i sveučilišne knjižnice. Završni radovi istovrsnih umjetničkih studija koji se realiziraju kroz umjetnička ostvarenja objavljuju se na odgovarajući način.

Ja, Filip Soldatek neopozivo izjavljujem da sam suglasan s javnom objavom završnog rada pod naslovom Navarivanje kao reparaturna tehnologija čiji sam autor.

Student:
Filip Soldatek


(vlastoručni potpis)