

Tehnologija zavarivanja konstrukcije kućišta leptirastog zatvarača primjenom MAG i EPP postupaka zavarivanja

Golubić, Mihael

Master's thesis / Diplomski rad

2023

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:122:714132>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-11-23**



Repository / Repozitorij:

[University North Digital Repository](#)



SVEUČILIŠTE SJEVER
SVEUČILIŠNI CENTAR VARAŽDIN



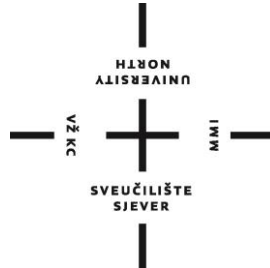
DIPLOMSKI RAD br. 076/STR/20

TEHNOLOGIJA ZAVARIVANJA
KONSTRUKCIJE KUĆIŠTA LEPTIRASTOG
ZATVARAČA PRIMJENOM MAG I EPP
POSTUPKA ZAVARIVANJA

Mihael Golubić

Varaždin, srpanj 2023.

SVEUČILIŠTE SJEVER
SVEUČILIŠNI CENTAR VARAŽDIN
Studij Strojarstva



DIPLOMSKI RAD br. 076/STR/20

TEHNOLOGIJA ZAVARIVANJA
KONSTRUKCIJE LEPTIRASTOG ZATVARAČA
PRIMJENOM MAG I EPP POSTUPKA
ZAVARIVANJA

Student:

Mihael Golubić, 0336021172

Mentor:

doc. dr. sc. Tanja Tomić

Varaždin, srpanj 2023

Prijava diplomskog rada

Definiranje teme diplomskog rada i povjerenstva

ODJEL Odjel za strojarstvo

STUDIJ diplomski sveučilišni studij Strojarstvo

PRISTUPNIK Mihael Golubić

MATIČNI BROJ 0336021172

DATUM 26.09.2022

KOLEGIJ Zavarljivost materijala i pogreške u zavarenims spojevima

NASLOV RADA Tehnologija zavarivanja konstrukcije kućišta leptirastog zatvarača primjenom

MAG i EPP postupaka zavarivanja

NASLOV RADA NA ENGL. JEZIKU Welding technology of butterfly valve housing using GMAW and SAW welding procedures

MENTOR doc.dr.sc. Tanja Tomić, dipl.ing.stroj

ZVANJE Docent

ČLANOVI POVJERENSTVA

1. izv.prof.dr.sc. Sanja Šolić - predsjednica povjerenstva
2. doc.dr.sc. Matija Bušić
3. doc.dr.sc. Tanja Tomić - mentor
4. doc.dr.sc. Tomislav Veliki - rezervni član
5. _____

Zadatak diplomskog rada

BROJ 076/STR/2022

OPIS

U radu je potrebno prikazati tehnologiju zavarivanja kućišta leptirastog zatvarača izrađenog od običnog konstrukcijskog čelika.

Leptirasti zatvarač služi za potpuno ili djelomično zatvaranje cjevovoda i sastoji se od plašta, prirubnice, ukrute, pogonske prirubnice i brtvenog prstena, a koristi se kao regulacijski i sigurnosni dio. Student će obraditi MIG/MAG i EPP postupke zavarivanja, te zavarljivost običnih konstrukcija čelika. Prilikom obrade postupaka zavarivanja student će prikazati opremu za zavarivanje te će dati pregled parametara zavarivanja. Također će prikazati označavanje i pripremu zavarenih spojeva. Prilikom analize utjecajnih čimbenika na zavarljivosti materijala, student će dati pregled grešaka koje se mogu pojaviti prije, za vrijeme i nakon zavarivanja.

U eksperimentalnom dijelu rada student će prikazati odabranu tehnologiju zavarivanja kućišta leptirastog zatvarača, na spoju plašta, na spoju plašta i prirubnice, na spoju kućišta i pogonske prirubnice te na spoju kućišta ukruta i uški, uz odgovarajući pripremu spoja, te odabir parametara. Na kraju rada, i po završetku zavarivanja radnog komada, student će na proizvodu napraviti kontrolu zavara jednom od standardiziranih nerazornih metoda ispitivanja zavara.

ZADATAK URUČEN 26.09.2022

POTPIS MENTORA

Predgovor

Zahvaljujem se mentorici doc. dr. sc. Tanji Tomić na iskazanom povjerenju i vodstvu tijekom izrade ovog diplomskog rada

Također bih se zahvalio tvrtki MIV d.d. na povjerenju, stečenom iskustvu i mogućnosti izrade praktičnog dijela ovog diplomskog rada, te obitelji, prijateljima i kolegama koji su me podržavali kroz pisanje ovog rada.

Sažetak

U ovom radu prikazat će se tehnologija zavarivanja kućišta leptirastog zatvarača od općeg konstrukcijskog čelika. Bit će opisani EPP i MIG/MAG postupci zavarivanja, potrebna oprema, područje primjene te okvirni parametri zavarivanja. Također, analizirat će se pogreške koje se mogu pojaviti u zavarenim spojevima da bi se mogla odrediti tehnologija zavarivanja pogodna za izradu proizvoda zadovoljavajućih mehaničkih, estetskih i eksploatacijskih kriterija. Konačan proizvod podvrgnuti će se nerazornim metodama ispitivanja.

Ključne riječi: MAG zavarivanje, EPP zavarivanje, opći konstrukcijski čelici

Summary

In this paper, the welding technology of the butterfly valve housing made of general structural steel will be presented. The SAW and GMAW welding procedures, the necessary equipment, the field of application and the general welding parameters will be described. Discontinuities that may appear in welded joints will also be analysed, in order to determine a suitable welding technology that will produce a product with satisfactory mechanical, aesthetic and exploitation criteria. The final product will be subjected to non-destructive testing methods.

Keywords: gas metal arc welding (GMAW), submerged arc welding (SAW) , structural steels

Pregled korištenih oznaka i kratica

Oznaka:	Jedinica	Opis
R_e	MPa	Granica razvlačenja
R_m	Mpa	Vlačna čvrstoća
Q	kJ/mm	Unos topline
U	V	Napon
I	A	Jakost struje
A_5	-	Istezljivost
KV	J	Udarna radnja loma
v	mm/min	Brzina zavarivanja
E	mm/s	Brzina dovođenja elektrode
T	°C	Temperatura

Oznaka:	Opis:
Ce	Ekvivalent ugljika
MIG	Metal inert gas
MAG	Metal active gas
GMAW	Gas metal arc welding
SAW	Submerged arc welding
DCEP	Direct current electrode positive
DCEN	Direct current electrode negative
REL	Ručno elektrolučno zavarivanje
EPP	Zavarivanje pod praškom
ZT	Zona taljenja
ZUT	Zona utjecaja topline
J	Joule
V	Volt
A	Amper
MPa	Megapaskal
mm	milimetar
l	litra
min	minuta
N	Newton
k	Stupanj učinkovitosti

Sadržaj

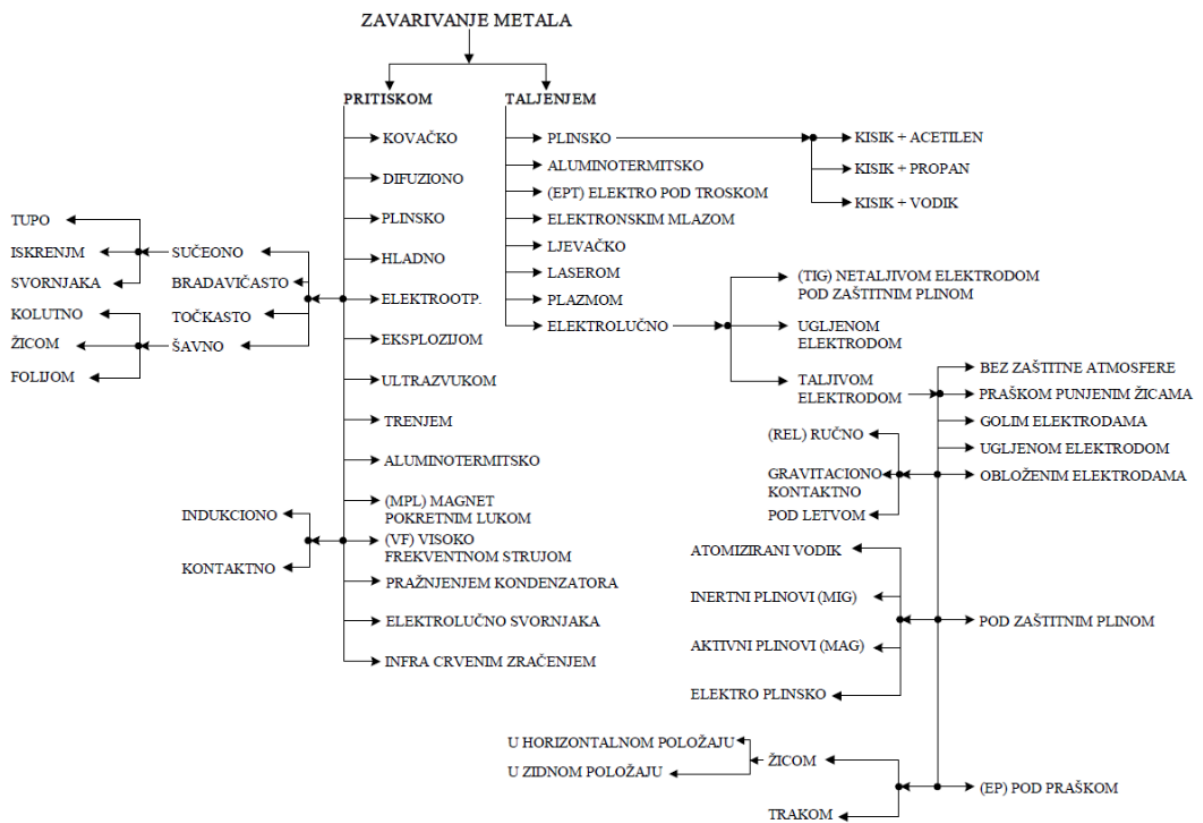
1.	Uvod	1
2.	Leptirasti zatvarač	3
3.	Konstruktivski čelici	7
3.1.	Opći konstruktivski čelici	7
3.2.	Normalizirani sitnozrnati čelici povišene čvrstoće	13
4.	MIG/MAG zavarivanje	16
4.1.	Prijenos materijala kod MIG/MAG postupka zavarivanja	17
4.2.	Oprema za MIG/MAG zavarivanje	18
4.2.1.	Izvor struje	19
4.2.2.	Sustav za Dodavač žice	20
4.2.3.	Pištalj za zavarivanje	23
4.2.4.	Sustav za dovod zaštitnog plina	23
4.3.	Odabir dodatnog materijala pri postupku MIG/MAG zavarivanja	24
4.4.	Odabir zaštitnog plina pri MIG/MAG zavarivanju	25
4.5.	Parametri MIG/MAG zavarivanja	27
4.5.1.	Jakost struje	27
4.5.2.	Promjer žice	28
4.5.3.	Napon luka	28
4.5.4.	Brzina zavarivanja	29
4.5.5.	Slobodni kraj žice	29
5.	Zavarivanje pod praškom – EPP	30
5.1.	Oprema za EPP zavarivanje	30
5.1.1.	Izvor struje	33
5.1.2.	Upravljačka jedinica	34
5.1.3.	Glave i pištolji za zavarivanje	35
5.1.4.	Pomagala	36
5.2.	Dodantni materijal za EPP zavarivanje	37
5.3.	Parametri zavarivanja	41
5.3.1.	Jakost struje	41
5.3.2.	Napon električnog luka	42
5.3.3.	Brzina zavarivanja	43
5.3.4.	Promjer žice	43
5.3.5.	Slobodni kraj žice	44
5.3.6.	Sloj praška	45
5.4.	Tehnike zavarivanja EPP postupkom	45
6.	Zavareni spoj	48
6.1.	Vrste zavarenih spojeva	48
6.2.	Greške u zavarenim spojevima	52
7.	Eksperimentalni dio	59
7.1.	Spoj plašta	64
7.2.	Spoj plašta i prirubnica	67
7.3.	Spoj kućišta i nabi	70
7.4.	Spoj kućišta i ukruta i uški i nogica	73
7.5.	Spoj kućišta i brtvenog prstena	74
7.6.	Kontrola zavara na kućištu	76
7.7.	Analiza rezultata	79
8.	Zaključak	80
9.	Literatura	82

1. Uvod

Zavarivanje je spajanje dvaju ili više istorodnih ili raznorodnih materijala, taljenjem ili pritiskom, s ili bez dodavanja dodatnog materijala na način da se dobije homogeni zavareni spoj. Zavarivanje je neizostavna tehnologija nerastavljivog spajanja u uvjetima eksploatacije zavarenog proizvoda kada se pojavljuju: [1]

- izrazito visoke ili niske temperature,
- promjenljiva (dinamička) i udarna opterećenja,
- agresivni mediji (različite vrste korozivskih utjecaja na osnovni materijal i zavarene spojeve),
- kod nekih proizvodnih procesa i reparaturnih procesa često puta je jedino moguće rješenje ili sa stajališta troškova najprihvatljivije rješenje kod spajanja materijala.

Kao što se može vidjeti na slici 1. postoje dvije osnovne skupine postupaka zavarivanja, a to su zavarivanje taljenjem i zavarivanje pritiskom.[1]



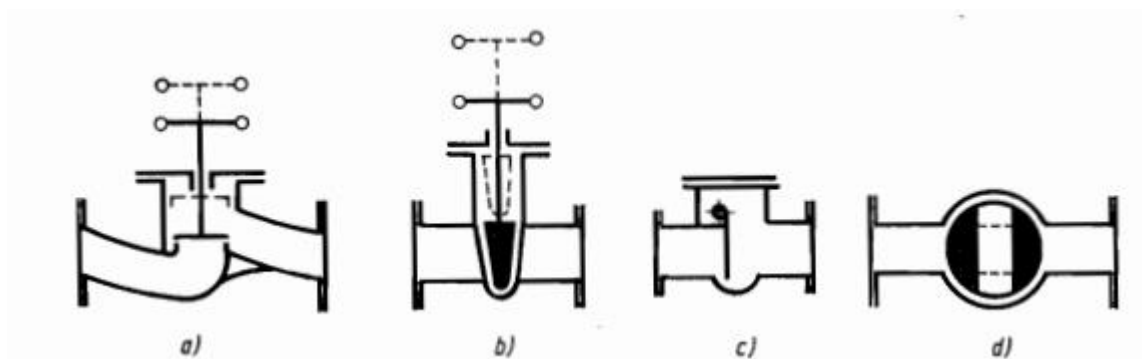
Slika 1 Prikaz svih postupaka zavarivanja [1]

Zavarivač je osposobljen i provjeren radnik za određeni opseg zavarivačkih radova: postupak, materijali, položaj zavarivanja, geometrijske oblike radnog predmeta, uvjete zavarivanja itd.

Zavareni spoj je zavarivanjem ostvarena veza između dva ili više osnovnih materijala. Kod zavarivanja metala taljenjem spoj se sastoji od osnovnog metala, metala zavara i zone utjecaja topline. Zavarljivost je sposobnost materijala, da se pri određenim povoljnim uvjetima zavarivanja ostvari kontinuirani zavareni spoj, koji će svojstvima udovoljiti predviđenim uvjetima i vijeku eksploatacije.[1]

2. Leptirasti zatvarač

Leptirasti zatvarač služi za potpuno ili djelomično zatvaranje cijevnih vodovoda, kako bi se postigli određeni sigurnosni i regulacijski zahtjevi. Osnovna karakteristika različitih zapornih elemenata je smjer gibanja samog elementa za zapiranje. Prema tome postoje četiri vrste zapornih elemenata, koji su prikazani na slici 2, a to su: ventili, zasuni, zaklopke i pipci.[2]



Slika 2 Skice osnovnih vrsta zapornih organa a) ventil b) zasun c) zaklopka d) pipac [2]

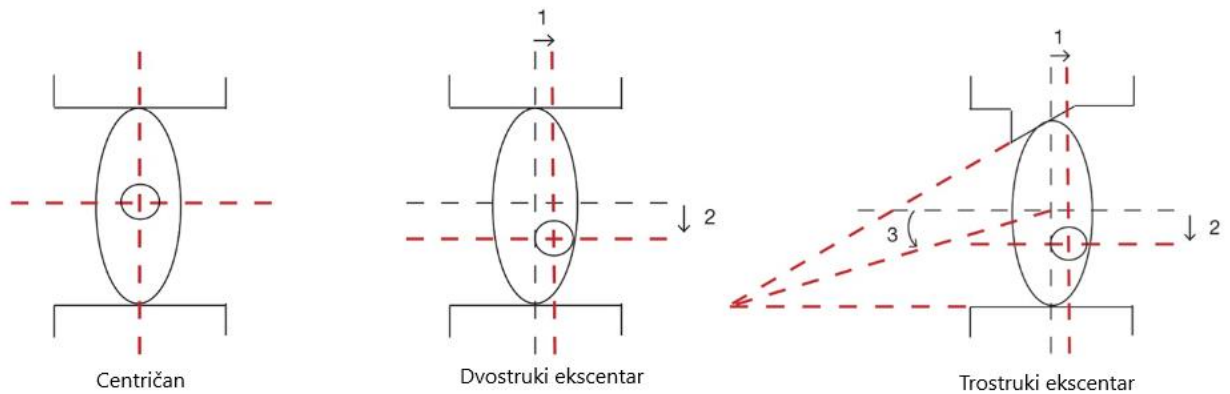
Leptirasti zatvarač pripada u skupinu zaklopki, gdje se zaporno tijelo okreće oko osi koja je okomita na smjer toka, a sam tok je gotovo paralelan s površinom tijela koje zatvara tok. Leptirasti zatvarač upotrebljava se kao regulacijski, sigurnosni i zaporni element cjevovoda. Kućište je najčešće bez proširenja i produženje je cjevovoda. U zatvorenom položaju zaporni element stoji gotovo u okomitom položaju u odnosu na smjer strujanja. Zaporni element leptirastog zatvarača ima oblik diska. Četvrtina kruga dovodi zatvarač od potpuno zatvorenog do potpuno otvorenog položaja te je time omogućeno brzo otvaranje i zatvaranje zatvarača. Pokretanje zapornog elementa odvija se ručno ili električno (pomoću električnog motora) i pomoću odgovarajućih prijenosnih elemenata. Brtvljenje zapornog elementa sa kućištem može se obaviti posebno ugrađenim prstenima ili bez njih. [2]

Vrste leptirastih zatvarača (slika 3):

- centrični leptirasti zatvarač,
- leptirasti zatvarač s dvostrukim ekscentrom,
- leptirasti zatvarač s trostrukim ekscentrom.

Leptirasti zatvarači mogu biti centrični ili ekscentrični. Kod centričnih leptirastih zatvarača osovina je centrirana u sredini diska, a disk je centriran u otvoru zatvarača. Takav zatvarač moguće je ugraditi u cjevovod u horizontalnoj ili vertikalnoj poziciji. [3]

Leptirasti zatvarač s trostrukim ekscentrom primjenjuje se za temperature od $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $300\text{ }^{\circ}\text{C}$. Treći ekscentar omogućuje potpuno odvajanje brtve tijekom otvaranja. Brtveni prsten i površina prstena kućišta kod leptirastog zatvarača s trostrukim ekscentrom imaju konusni oblik, to omogućuje dugi vijek trajanja zatvarača i odlično brtvljenje. [3]



Slika 3 Kategorije ekscentara leptirastog zatvarača [4]

Leptirasti zatvarač s dvostrukim ekscentrom je uređaj koji se koristi za zatvaranje i za reguliranje protoka u cjevovodu. Dvostruki ekscentar smanjuje okretni moment, kontaktnu površinu između sjedišta kućišta i brtve te produžuje vijek trajanja i pouzdanost leptirastog zatvarača.[3]

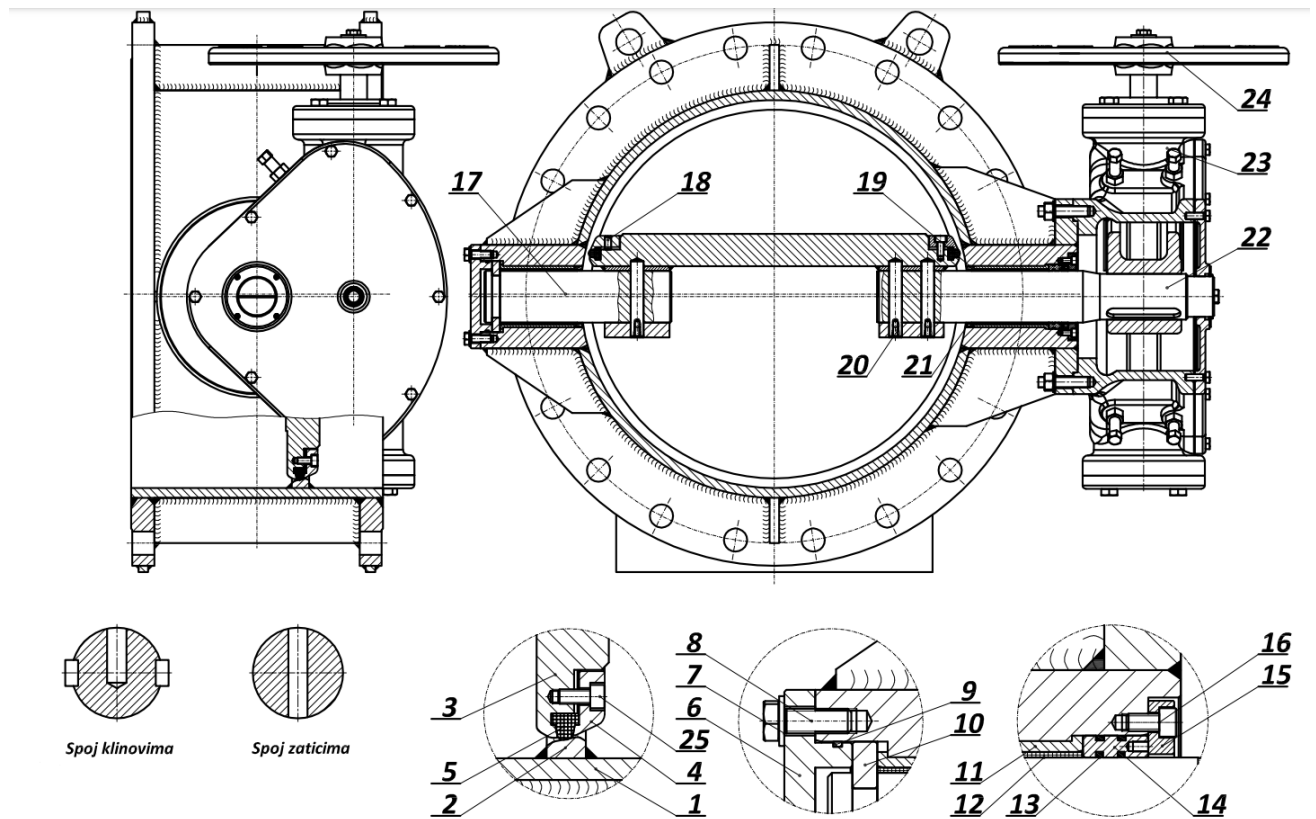
Na slici 4 prikazan je leptirasti zatvarač s dvostrukim ekscentrom.



Slika 4 Leptirasti zatvarač s dvostrukim ekscentrom [5]

Prirubnice leptirastog zatvarača dimenzionirane su prema standardu HRN EN 1092-1:2018 (Prirubnice i njihovi spojevi 1.dio Čelične prirubnice) i HRN EN 1092-2:2018 (Prirubnice i njihovi spojevi 2.dio Lijevano-željezne prirubnice), a ugradbena mjera (duljina između prirubnica) je dimenzionirana prema standardu HRN EN 558:2017 serija 14 (Industrijski zaporni uređaji).

Standardni dijelovi leptirastog zatvarača prikazani su na slici 5.[5]



Slika 5 Standardni dijelovi leptirastog zatvarača [5]

Tablica 1 Popis standardnih dijelova leptirastog zatvarača [5]

Pozicija	Naziv dijela
1.	Kućište
2.	Prsten kućišta
3.	Disk
4.	Prsten diska
5.	Profilni prsten
6.	Poklopac osovine
7.	Podložna pločica
8.	Vijak
9.	„O“ brtva
10.	Dvodijelni prsten
11.	Ležajna puškica
12.	PAP ležaj
13.	„O“ brtva
14.	Brtvenica
15.	Poklopac brtvenice
16.	Vijak
17.	Osovina
18.	Vijak
19.	„O“ brtva
20.	Zatik
21.	„O“ brtva
22.	Vratilo
23.	Reduktor
24.	Ručno kolo
25.	Vijak

3. Konstrukcijski čelici

Konstrukcijski čelici primjenjuju se za razne konstrukcijske dijelove strojeva i uređaja koji imaju potrebu obavljati neku funkciju, primjerice prenose gibanja, spremaju i transportiraju tekućinu ili plinove, zatvaraju, spajaju elemente konstrukcija. Konstrukcijski dijelovi su: osovine, vratila, zupčanici, nosači, opruge, vijci, zatici, poklopci, kućišta, ventili...[6]

Zbog problematike koju donose takvi dijelovi konstrukcijski čelici moraju imati sljedeća svojstva:[6]

1. Mehanička svojstva: visoka granica razvlačenja povezana s dovoljnom plastičnom deformabilnošću – istezljivošću. Poželjno je da površina ispod dijagrama „sila-produljenje“ bude što veća radi sigurnosti od pojave krhkog loma. Dovoljno visoka granica puzanja i čvrstoća pri povišenim temperaturama – ovisno o visini temperature i opterećenja. Dovoljna žilavost i čvrstoća pri normalnim, sniženim i niskim temperaturama; Otpornost na umor u uvjetima promjenjivog opterećenja – dovoljna dinamička izdržljivost.

2. Otpornost na trošenje: ima podosta dijelova koji su u međusobnom dodiru pa iz tog razloga je potrebno da bude što manji gubitak mase to jest promjena stanja površine zbog međusobnog djelovanja u dodiru.

3. Otpornost na koroziju: vrlo bitno svojstvo čelika, ukoliko dođe do stvaranja uvjeta pogodnih za pojavu korozije.

Tehnološka svojstva čelika su: deformabilnost, zavarljivost, oblikovljivost, rezljivost.[6]

3.1. Opći konstrukcijski čelici

Ova vrsta čelika je najzastupljenija u proizvodnji (65 do 80 % mase), pa tako i u primjeni za nosive, zavarene konstrukcije velikih masa kao što su mostovi, dizalice, brodovi, dijelovi vozila, oprema u industriji nafte i plina.[6]

Od općih konstrukcijskih čelika za nosive konstrukcije se zahtijeva nosivost i sigurnost što se osigurava dovoljnom granicom razvlačenja, vlačnom , tlačnom, savojnom i smičnom čvrstoćom, žilavošću.

Od tehnoloških svojstava posebno treba izdvojiti zavarljivost. Kako bi čelik bio što bolje zavarljiv mora imati što manju vrijednost ugljičnog ekvivalenta C_e . Postoje brojne metode za izračun C_e . Prema preporuci Međunarodnog instituta za zavarivanje jednadžba za izračun ekvivalenta ugljika glasi,[6]:

$$C_e = \%C + \frac{\%Mn}{6} + \frac{\%Cr + \%Mo + \%V}{5} + \frac{\%Ni + \%Cu}{15} \leq 0,45 \% \quad (1)$$

Ova jednađba se koristi za posebne brodograđevne čelike i čelike povišene čvrstoće sa sadržajem ugljika iznad 0,18%.

Za uobičajne brodograđevne čelike i druge ugljične čelike normalne čvrstoće jednađba glasi,[6]:

$$C_e = \%C + \frac{Mn}{6} < 0,4 \% \quad (2)$$

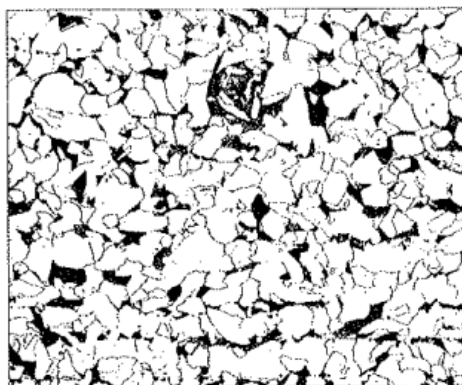
Za nisko legirane čelike sa sadržajem ugljika do 0,18 % koristi se jednađba japanskih autora Ito i Bessyo,[6]:

$$C_e = \%C + \frac{Si}{30} + \frac{Mn + Cu + Cr}{20} + \frac{Ni}{60} + \frac{Mo}{15} + \frac{V}{10} + 5B \leq 0,45 \% \quad (3)$$

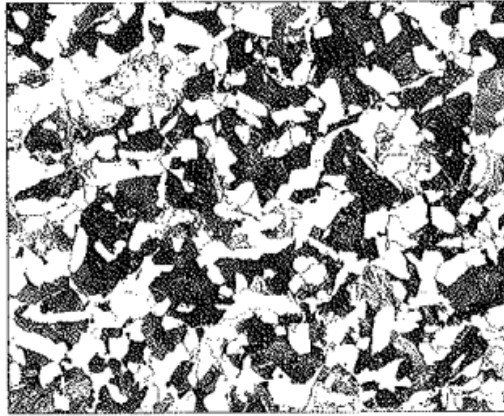
Iz jednađbi je vidljivo da je čelik sa što manjim postotkom ugljika i manjim stupnjem legiranosti bolje zavarljiv. Legirni elementi povisuju prokaljivost, odnosno opasnost od spontanog zakaljivanja.[6]

Uobičajeno je da je čelik s oko 0,25% C na granici dobre zavarljivosti. Povećanjem sadržaja ugljika u čeliku zavarljivost se smanjuje, ali pri tom se ne može govoriti o linearnoj zavisnosti. Ugljik je svakako element s kojim se mora računati, za razliku od fosfora, sumpora i dr. kojih se razina nastoji smanjiti tehnološkim postupkom prerade čelika.[7]

Opći konstrukcijski čelici za nosive konstrukcije su nelegirani čelici s feritno – perlitnom mikrostrukturuom. Zrno će biti sitnije ako se nakon operacije savijanja radni komad podvrgne toplinskoj obradi normalizacijskog žarenja.[6] Na slikama 6 i 7 prikazane su mikrostrukture općeg konstrukcijskog čelika s 0,1 % C i 0,25 % C



Slika 6 Mikrostruktura općeg konstrukcijskog čelika s 0,1%C [6]



Slika 7 Mikrostruktura općeg konstrukcijskog čelika s 0,25% C [6]

Opći konstrukcijski čelici nisu predviđeni za toplinsku obradu zbog svojeg ne zajamčenog kemijskog sastava i nehomogenosti u materijalu. Ovi čelici isporučuju se u toplo valjanom ili normaliziranom stanju, a rjeđe u hladno deformiranom stanju. Vrijednosti mehaničkih svojstava za ovu vrstu čelika kreću se u rasponu od:[6]

$$R_e = 190 - 370 \text{ MPa,}$$

$$R_m = 330 - 700 \text{ MPa,}$$

$$A_5 = 10 - 28 \text{ \%}.$$

Vrijednosti R_e ovise o kemijskom sastavu čelika, udjelu ugljika. Vrijednosti su veće što je veći postotak ugljika i veći udio perlita u mikrostrukturi. Veća čvrstoća se postiže dodatkom Mn i Si te ostalih elemenata. Što je veći omjer Mn/C, to je veća žilavost. Ovo je posebno važno pri niskim temperaturama jer se smanjuje opasnost od krhoga loma. Veći udio Mn povisuje prokaljivost, a time dolazi do opasnosti od spontanog zakaljivanja pri zavarivanju. Normalna temperatura za primjenu općih konstrukcijskih čelika za nosive konstrukcije je između -40 i $+50$ °C. Kod primjena na niskim temperaturama povećava se opasnost od krhkog loma.[6]

Podskupine zavarljivih čelika za nosive konstrukcije:[6]

0 S185 – čelik trgovačke kvalitete bez zajamčenih svojstava, ovaj čelik se primjenjuje za armirano betonske konstrukcije i za nisko opterećene dijelove.

A S235JRG1,S275JRG2 – primjenjuju se za statički manje opterećene konstrukcije spojene zakovicama ili vijcima. Ovi čelici su nešto slabije zavarljivi od ostalih.

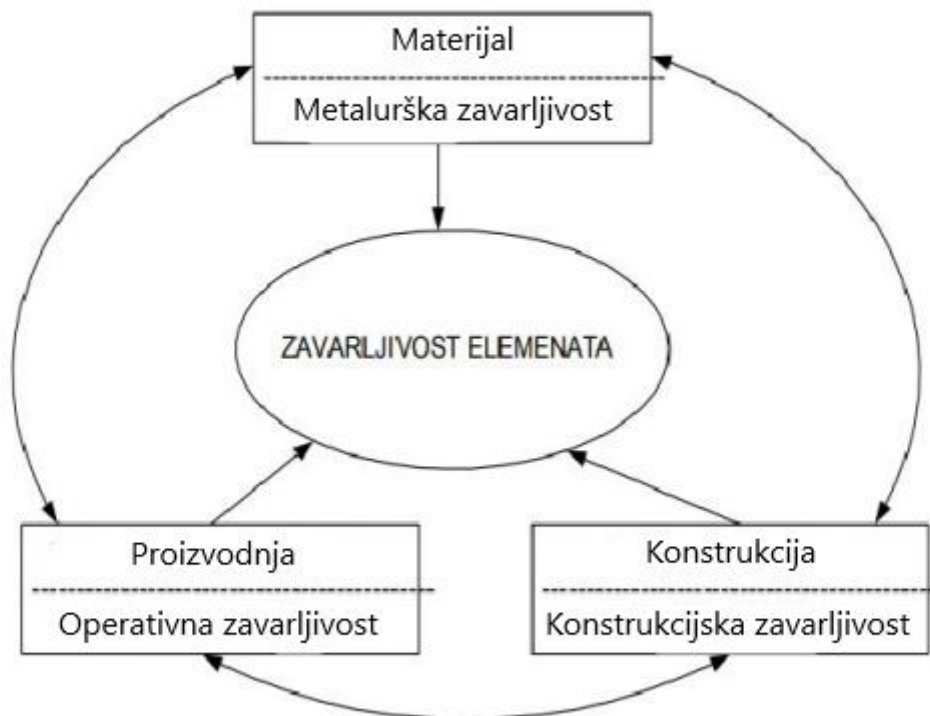
B S235JRG2,S275JRG2, S355JRG2 – primjenjuju se za tlačno i savojno opterećene zavarene konstrukcije gdje nema opasnosti od krhkog loma. Ovi čelici imaju zajamčenu udarnu radnju loma pri $+20$ °C.

C S235J0G3, S275J0G3, S355J0G3 – Primjenjuju se za izradu statički i dinamički opterećene zavarene konstrukcije. Ovi čelici su posebno smireni i imaju zajamčenu udarnu radnju loma pri 0 °C.

D S235J2G3, S275J2G3 i S355J2G3 – primjenjuju se za statički i dinamički oterećene zavarene konstrukcije pri nižim temperaturama. Ovi čelici imaju zajamčenu udarnu radnju loma od 27 [J] pri temperaturi od -20 °C.

Čelici za strojogradnju primjenjuju se za strojne dijelove koji se gibaju u odnosu na druge dijelove (osovine u kliznim ležajima, vretena, manje opterećeni zupčanici) ili prenose sile i momente (klinovi, zatici, vijci, ručice, poluge...). Čelici iz ove skupine su slabije zavarljivi zbog višeg masenog udjela ugljika, imaju veću čvrstoću (500 – 700 MPa), ali manju istežljivost (10- 20%) u odnosu na opće konstrukcijske čelike za nosive konstrukcije.

Zavarljivost čelika iz podskupina A ,B, C, D osigurava nizak maseni udio ugljika (<0,2 %C) što je povoljno i zbog udarnog rada loma. Kod čelika zajamčenog udarnog rada loma (KV) propisan je i manji % P, S i N, a čelici su smireni ili posebno smireni.[6]



Slika 8 Zavarljivost materijala prema normi ISO 581 [8]

Zavarljivost je sposobnost zavarivanja materijala. Metal smatramo zavarljivim onda kada primjenjujući određeni postupak zavarivanja, dobivamo kontinuirani, homogeni zavareni spoj koji zadovoljava predviđene zahtjeve i koji ima zahtijevana mehanička i druga potrebna svojstva.

Prema normi ISO/TR 581:2005 (Weldability — Metallic materials — General principles), metale se smatra zavarljivima u određenom stupnju, određenim načinom zavarivanja i za zadanu svrhu ako se može postići homogenost zavarenog spoja pri uporabi pogodnog postupka zavarivanja, tako da spoj odgovara zahtjevima njihovih lokalnih svojstava i njihova utjecaja na konstrukciju.[7]

Zavarljivost kao kompleksna veličina može se definirati prema elementima zavarljivosti koji su relevantne pojave koje najčešće nastaju u trenu formiranja zavarenog spoja ili tijekom eksploatiranja. Na zavarljivost imaju utjecaj veličina i oblik komada, vrsta prethodno primijenjene toplinske obrade, veličina i oblik konstrukcije, veličina zrna, stanje izrade, primjese, a najznačajniji utjecaj na zavarljivost ima nominalni kemijski sastav materijala. Korelacija kemijskog sastava, prvenstveno sadržaja ugljika, i zavarljivosti, može se izraziti jednadžbama za ekvivalentni ugljik kao i parametarskim jednadžbama. Kao utjecajne veličine na zavarljivost, izrada i konstrukcija dolaze do izražaja tek pri formiranju konkretne zavarene konstrukcije. Istraživanja zavarljivosti obuhvaćaju čitav niz aktivnosti nužnih za dobivanje kvalitetne tehnologije zavarivanja koja je osnova za dobivanje kvalitetnog zavarenog spoja u proizvodnji, koji će biti pouzdan u predviđenim uvjetima u eksploataciji. Osnovne aktivnosti ispitivanja zavarljivosti odnose se na ispitivanja sklonosti različitim vrstama pukotina (hladne, tople, lamelarno odvajanje / cijepanje, pukotine uslijed naknadnog/ponovnog zagrijavanja), transformacijskom otvrdnjavanju, smanjenju žilavosti (sniženje prijelazne temperature iz žilavog u krhko stanje) i dr. [7]

Faktori koji utječu na metaluršku zavarljivost su,[9]:

a) Kemijski sastav materijala

- Sklonost prema nastanku hladnih pukotina
- Sklonost prema starenju materijala
- Sklonost prema otvrdnjavanju
- Sklonost prema pojavi toplih pukotina
- Ponašanje taline
- Temperatura taljenja

b) Metalurška svojstva

- Formacija mikrostrukture
- Veličina zrna

- Anizotropnost kristalne strukture
- Uključci nečistoća
- Mikro i makro segregacije

c) Fizikalna svojstva

- Svojstva toplinske dilatacije materijala
- Svojstvo toplinske provodljivosti
- Točka tališta
- Mehanička svojstva (čvrstoća i žilavost materijala)

Nakon procesa zavarivanja konstrukcija mora zadovoljavati kriterije nosivosti za predviđena naprezanja, ako konstrukcija može podnijeti predviđena naprezanja može se reći da konstrukcija posjeduje konstrukcijsku zavarljivost.

Faktori koji utječu na konstrukcijsku zavarljivost su,[9]:

a) Oblikovanje konstrukcije

- Pravilna raspodjela naprezanja na zavarenoj konstrukciji
- Izvedba zavarenih spojeva
- Debljina radnog komada
- Zarezno djelovanje
- Razlike u krutosti između materijala zavara i osnovnog materijala

b) Uvjeti opterećenja konstrukcije

- Vrsta i iznos naprezanja
- Dimenzijska raspodjela naprezanja
- Brzina djelovanja naprezanja
- Temperatura
- Izloženost konstrukcije u atmosferi podložnoj stvaranju korozije

Izvedbena zavarljivost zavarene konstrukcije je postojeća ako se predviđeni zavareni spojevi mogu izvesti s pravilno odabranim parametrima zavarivanja.[9]

Faktori koji utječu na zavarljivost s izvedbenog stajališta su,[9]:

a) Priprema za zavarivanje

- Vrsta zavarenog spoja
- Oblik zavarenog spoja

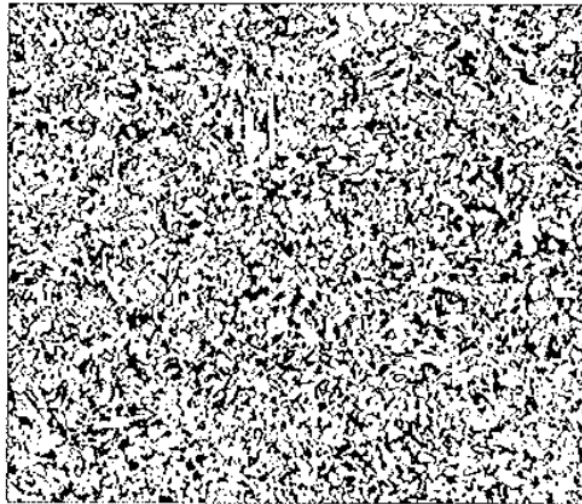
b) Proces zavarivanja uključuje

- Jedan ili više zavarivačkih procesa
- Jednu ili više vrsta dodatnog materijala

- Propisani redoslijed zavarivanja
 - Predgrijavanje
 - Položaj zavarivanja
- c) Toplinska obrada
- Toplinska obrada prije zavarivanja
 - Mehanička obrada
 - Kemijska obrada

3.2. Normalizirani sitnozrnati čelici povišene čvrstoće

Razvili su se iz čelika S355J0G3 (Č0562) i S355J2G3 (Č0563) koji su smireni aluminijem i silicijem i imaju sitnu feritno-perlitnu mikrostrukturu te dovoljnu zavarljivost. Povišeni udio ugljika, odnosno viši udio perlita daje visoku čvrstoću, ali manju zavarljivost čelika i manju žilavost. U daljnjem razvoju čelicima su dodavani mangan, nikal i krom čime se povisila čvrstoća i to preko očvršnuća kristala mješanaca (ferita). Time se formiraju tvrde mikrostrukturne faze, pomiče temperatura pretvorbe austenita prema nižim temperaturama i smanjuje gornja kritična brzina hlađenja. Posljedice navedenog načina povišenja čvrstoće su pogoršana tehnološka svojstva - raste sklonost zakaljivanju pri zavarivanju. Današnji čelici povišene čvrstoće su u pravilu sitnozrnati mikrolegirani. U literaturi se često pojavljuje engleska kratica HSLA – (eng. *High Strength Low Alloyed*) (visokočvrsti niskolegirani čelici). Dodavanjem malih količina pojedinih disperzoidnih elemenata (< 0,1 %) kao što su npr.: Nb, V i Ti uz već spomenuto dodavanje Al, stvaraju se fino raspoređeni nitridi (AlN, VN, TiN), karbidi (VC, NbC) karbonitridi (VCN) koji koče porast austenitnog zrna. Dodaci navedenih elemenata snizuju završnu temperaturu valjanja čime se otežava rekristalizacija austenita te se takav sitnozrnat pretvara u sitnu feritno-perlitnu strukturu, koja se može vidjeti na slici 9. Povišenje vrijednosti granice razvlačenja ostvareno je otežavanjem gibanja dislokacija putem prepreka (granice zrna i disperzirane sitne čestice). Posljedica sitnog austenitnog zrna je, između ostalog, povećana sklonost pretvorbi u perlitnom stupnju, pa je otežano stvaranje martenzita i poboljšana zavarljivost. Sitnozrnati mikrolegirani čelici nisu osjetljivi na krhki lom, a imaju nisku prijelaznu temperaturu. Dobra zavarljivost osigurana je i niskim masenim udjelom ugljika (< 0,2 %C) i Ce < 0,4. Unos topline pri zavarivanju treba tako regulirati da se u zoni utjecaja topline (ZUT-u) ostvari intenzivnost hlađenja kao kod normalizacije.[6] Maksimalni teorijski udjeli legiranih elemenata za S355J2+N čelik prikazani su u tablici 2.



Slika 9 Mikrostruktura sitnozrnatog čelika [6]

Tablica 2 Maksimalni udjeli legirnih elemenata za S355J2 + N čelik [10]

C	Si	Mn	P	S	N	Cu
0,2	0,55	1,6	0,025	0,025	-	0,55

Ovaj čelik može se nabaviti u obliku šipke, cijevi i ploče.

Na slikama 10 i 11 prikazani su proizvodi od čelika S355J2 + N.



Slika 10 Čelik S355J2 + N u šipkastom obliku [11]



Slika 11 Čelik S355J2 + N u obliku ploča [12]

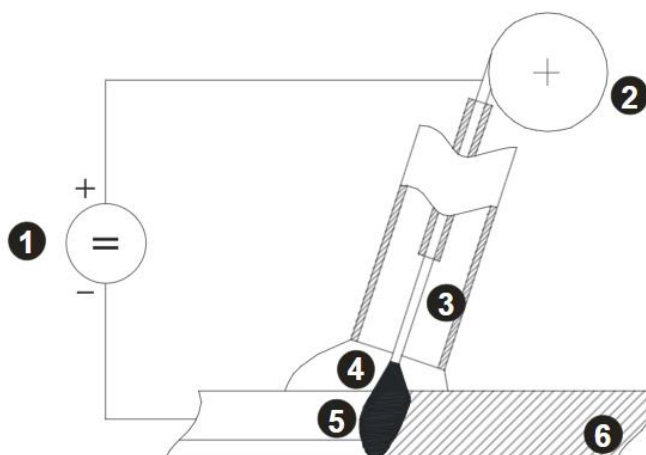
4. MIG/MAG zavarivanje

MIG/MAG je elektrolučni postupak zavarivanja s taljivom kontinuiranom elektrodom u zaštitnoj atmosferi inertnog ili aktivnog plina. Kod MIG/MAG zavarivanja električni luk se uspostavlja kratkim spojem između žice za zavarivanje i radnog komada (najčešće istosmjerne struje) u atmosferi zaštitnog plina. Nakon toga slijedi ravnomjerno dodavanje žice za zavarivanje u električni luk te taljenje žice i formiranje zavarenog spoja. Skraćenica imena dolazi iz punog naziva „Metal Active Gas“ ili „Metal Inert Gas“, dok se u literaturi može pronaći i pod kraticom GMAW (eng. *Gas metal Arc Welding*). MIG/MAG postupak zavarivanja najčešće se koristi za zavarivanje nisko ugljičnih ili nisko legiranih čelika.[1]

Oznaka MAG postupka zavarivanja prema normi HRN EN ISO 4063:2012 (Zavarivanje i srodni postupci - Nomenklatura postupaka i referentni brojevi) je,[13]:

- 135 zavarivanje s punom žicom,
- 136 zavarivanje s praškom punjenom žicom,
- 138 zavarivanje elektrodom s metalnom jezgrom.

Slika 12 prikazuje detalj MIG/MAG postupka zavarivanja.



Slika 12 Detalj procesa MIG/MAG postupka zavarivanja [1]

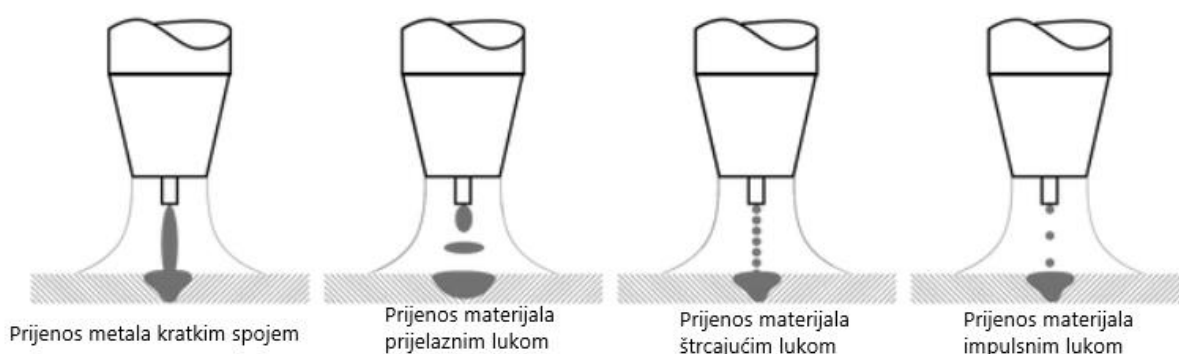
- 1 – Izvor struje za zavarivanje
- 2 – Žica (dodatni materijal)
- 3 – Kontaktne vodilice gorionika i sapnice
- 4 – Zaštitna plinska atmosfera
- 5 – Električni luk
- 6 – Radni komad (osnovni materijal)

4.1. Prijenos materijala kod MIG/MAG postupka zavarivanja

Prijenos materijala kod MIG/MAG postupka zavarivanja može se odvijati na četiri načina,[14]:

- kratkim spojem,
- prijelaznim lukom,
- štrcajućim lukom i
- impulsnim lukom.

Na slici 13 prikazani su prijenosi materijala kod MIG/MAG zavarivanja.



Slika 13 Vrste prijenosa materijala kod MIG/MAG postupka zavarivanja [15]

Prilikom prijenosa materijala kratkim spojevima metal zavara ostvaruje se taljenjem žice pomoću kratkih spojeva. Prijenos metala kratkim spojem koristi male struje i niske napone, te aktivni zaštitni plin CO_2 ili mješavinu plinova argona i ugljikovog dioksida. Ovim postupkom prijenos materijala odvija se pri fizičkom dodiru vrha žice i radnog komada. Faza kratkog spajanja i faza električnog luka čine period pri kojem se odvaja jedna kapljica metala. U prvoj fazi dolazi do odvajanja kapljice kada je žica u dodiru s talinom. Zbog malog unosa topline ovaj postupak ima široku primjenu kod zavarivanja, mogu se zavarivati tanki i debeli materijali u svim položajima. Glavni nedostaci prijenosa metala kratkim spojem su štrcanje i velika vjerojatnost pojave naljepljivanja[16].

Prijelazni luk je kombinacija prijenosa kapljica slobodnim letom i u manjoj mjeri kratkim spojevima. Prijenos metala odvija se tako da se na vrhu žice stvori krupna kapljica metala koja se pod djelovanjem sila koje se javljaju u električnom luku odvajala i pada u talinu („pinch effect“). Ovisno o duljini električnog luka, gustoći i jakosti struje te naponu, neke kapljice mogu toliko narasti da u jednom trenutku dodirnu talinu i tako stvore kratki spoj. Kako bi se postigao prijenos metala potrebne su veće struje zavarivanja (170 A do 235 A) i naponi (22 V do 25 V), ovisno o

promjeru žice. Ovi parametri zavarivanja uzrokuju pojavu većih kapljica koje se nepravilno odvajaju s vrha žice i padaju u talinu. Glavni nedostaci prijenosa metala prijelaznim lukom su velika količina prskanja, neregularnost prijenosa (pojava kratkih spojeva je nepredvidiva i izaziva štrcanje materijala), ograničenost položaja zavarivanja (može se zavarivati samo u horizontalnom položaju), lošije kvašenje taline. [16]

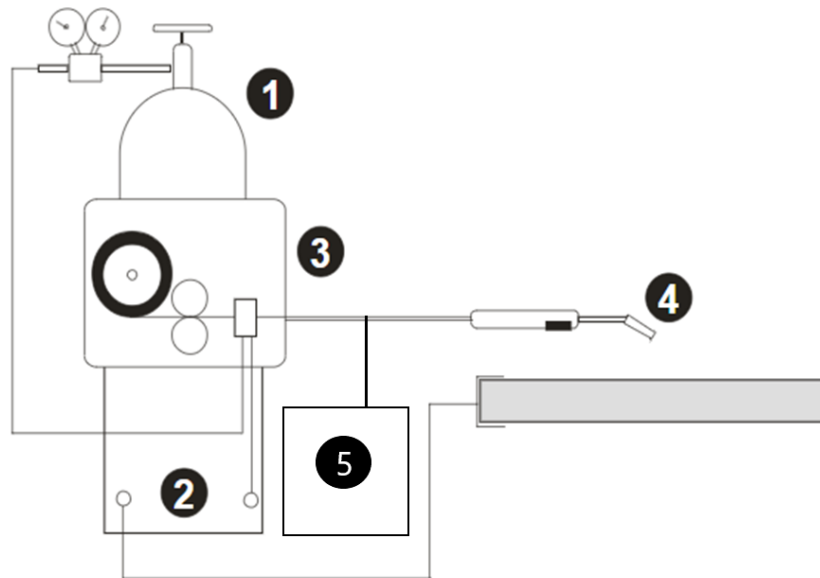
Prijenos metala štrcajućim lukom karakterizira prijenos puno malih kapljica, koji se odvija slobodnim letom kroz atmosferu električnog luka. Prilikom prijenosa metala žica ne dolazi u dodir s osnovnim materijalom. Sile koje djeluju u električnom luku otkidaju kapi rastaljenog metala i usmjeruju ih prema radnom komadu. Parametri koji se koriste su relativno visoki napon (24 V do 40 V) i struja (200 A do 600 A). Promjer kapljica je manji od promjera žice kojom se zavaruje. Ovaj prijenos se primjenjuje kod zavarivanja debljih dijelova u vodoravnom položaju zbog velikog unosa topline. Mješavine plinova s velikim udjelom argona podržavaju prijenos metala štrcajućim lukom.[16]

Prijenos metala impulsnim lukom pripada kontroliranom načinu prijenosa metala. Kapljice se prenose slobodnim letom bez kratkih spojeva. Kod impulsnog zavarivanja izvor struje generira promjenjiv oblik struje koji omogućava otkidanje samo jedne kapljice tijekom impulsa, a količina prijenosa materijala regulira se promjerom žice i brojem impulsa. Impulsni način prijenosa osigurava stabilan i miran električni luk bez rasprskavanja kapljica. Elektromagnetska sila i sila površinske napetosti su najvažnije sile koje utječu na prijenos metala impulsnim lukom. Prosječna struja zavarivanja kod ovog prijenosa metala manja je od kritične struje koja daje nepravilan i neprihvatljiv prijenos metala grubim kapima. Jakost struje varira između minimalne (osnovna struja impulsa) i maksimalne struje (vršna struja impulsa). Prilikom podešavanja parametara potrebno je uskladiti 5 osnovnih parametara (jakost vršne i osnovne struje, širinu impulsa, frekvenciju impulsa, brzinu dodavanja žice) koji utječu na način i stabilnost prijenosa metala.[16]

4.2. Oprema za MIG/MAG zavarivanje

Osnovni dijelovi od kojih se sastoji uređaj za MIG/MAG zavarivanje su: izvor struje, sustav za dovod zaštitnog plina, gorionik, mehanizam za dovođenje žice i sustav za hlađenje vodom.

Na slici 14 shematski je prikazan sustav za MIG/MAG zavarivanje.



Slika 14 Prikaz sustava za MAG zavarivanje [1]

- 1 – Sustav za dovod zaštitnog plina
- 2 – Izvor struje za zavarivanje
- 3 – Mehanizam za dovođenje žice za zavarivanje
- 4 – Gorionik
- 5 – Sustav za vodeno hlađenje

4.2.1. Izvor struje

Kod MIG/MAG zavarivanja koristi se istosmjerna struja jer omogućuje ravnomjeren prijenos žice, male gubitke, dobre karakteristike spoja u širokom rasponu jakosti struje i omogućuje stabilan električni luk.[17]

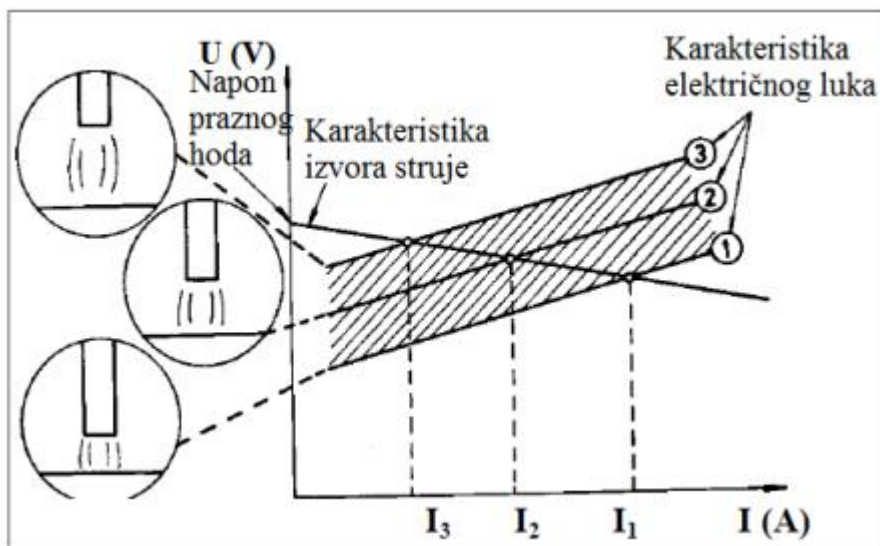
Uređaji koje se koriste kao izvori struje su:[17]

- inverteri,
- ispravljači,
- generatori istosmjerne struje.

Statička karakteristika izvora struje je operativna karakteristika mjerena pod konstantnim opterećenjem izvora struje za zavarivanje u svrhu promatranja ponašanja navedenog izvora pod različitim strujnim opterećenjima.[17]

Statičke karakteristike za izvore struje kod zavarivanja mogu biti:

- strmopadajuća – konstantna jakost struje i
- ravna – konstantan napon



Slika 15 Statička karakteristika izvora struje [18]

Na slici 15 je prikazana blago padajuća statička karakteristika izvora struje koji se koristi za MIG/MAG zavarivanje. Na slici može se uočiti efekt samo regulacije luka. Zavarivač podešava napon na uređaju za zavarivanje, kada je napon podešen na neku vrijednost zavarivač ne može promijeniti duljinu luka primicanjem ili odmicanjem pištolja od obratka. Napon ostaje isti sve dok se na uređaju ne promjeni što znači da će i duljina luka ostati ista. Na slici je prikazano što se događa kada zavarivač primiče ili odmiče pištolj obratku kako bi pokušao smanjiti duljinu električnog luka, premicanjem pištolja obratku raste jakost struje i tali se višak žice. U suprotnom slučaju kada bi se pištolj odmicao od obratka, time se povećava duljina luka, jakost struje će se smanjivati i žica će se sporije taliti. Zavarivač podešava napon na uređaju, a jakost struje se automatski podešava ovisno o: brzini dovođenja žice, promjeru žice i slobodnom kraju.[18]

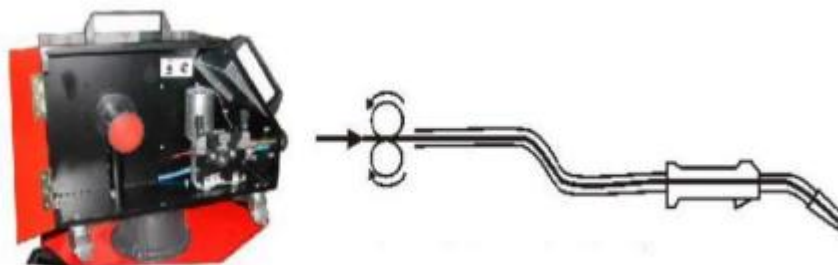
4.2.2. Sustav za dovod žice

Kako bi se kod MIG/MAG postupka kontinuirano dovodila žica potreban je sustav za dovod žice. Žica se dovodi od uređaja gdje je namotana do pištolja gdje se prilikom zavarivanja tali. Putem dodavača žice može se kontrolirati slobodni kraj žice i brzina dodavanja žice. Dodavači žice najčešće su zasebne jedinice koje su montirane na uređaj za zavarivanje.[17]

U praksi se najčešće koriste tri načina dovođenja žice:

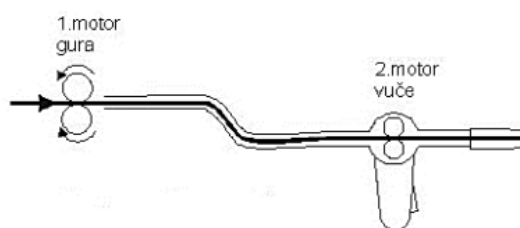
- „Push“
- „Push – pull“
- „Spool gun“

Kod „push“ načina dovođenja žice (slika 16.), žica se kontroliranom brzinom gura kroz vodilicu žice u pištolju do mjesta zavarivanja. Elektronički regulirani istosmjerni motor omogućava kontrolu brzine, a dva ili četiri kotača omogućuju siguran pogon. Kotači žicu vode i guraju kroz kalibrirane utore čije dimenzije i oblik ovise o žici koja se primjenjuje kod zavarivanja (materijal i promjer žice). Pogonski sustav može se ugrađivati u kućište kod kompaktnih uređaja za zavarivanje ili se ugrađuje u posebno kućište kod modularnih uređaja za zavarivanje.[17]



Slika 16 Sustav za dovođenje žice „push“ [17]

Dovođenje žice „push-pull“ metodom (slika 17.) izvodi se tako da se žica gura kontroliranom brzinom pomoću pogonskih kotača kroz vodilicu žice do pogonskih kotača u pištolju koji žicu vuku do mjesta zavarivanja. Drugi pogonski motor koji vuče žicu smješten je u ručki pištolja. Prema izvedbi motor koji vuče žicu može biti električni ili zračni. Prednost ove metode dodavanja žice jest u tome da je žica stalno zategnuta što omogućava sigurno dodavanje žice manjih promjera (0,8 mm) i na većim udaljenostima od izvora (15 m). Nedostaci ovog sustava su njegova cijena i težina samog sustava (pištolj/kabel). [17]



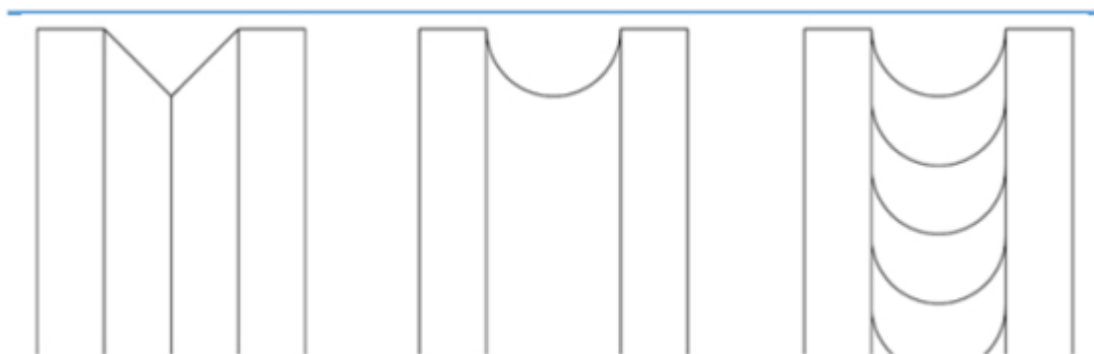
Slika 17 Sustav za dovođenje žice „push-pull“ [17]

„Spool gun“ je posebna izvedba pištolja za MIG/MAG zavarivanje (slika 18.) kod kojeg se pogon za dodavanje žice nalazi na pištolju. Žica se isto tako nalazi na kolutu koji je smješten na kraju pištolja za zavarivanje (kolut promjera 100 mm). Ovaj način dovođenja žice koristi se za male promjere žica (0,6 mm – 1,0 mm) i udaljenosti do 15 m od izvora. [17]



Slika 18 „Spool gun [19]

U sustavu za dovod žice kotači služe za odmotavanje žice, ravnanje žice i uvođenje žice u bužir unutar polikabla. Prilikom odabira bitno je odabrati kotače jednake ili veće tvrdoće od žice kako bi se osiguralo da kotači ne unište žicu tijekom dovođenja do sapnice pištolja. [17] Na slici 19 prikazani su tipovi kotača za izravnavanje žice, a opis kotača može se vidjeti u tablici 3.



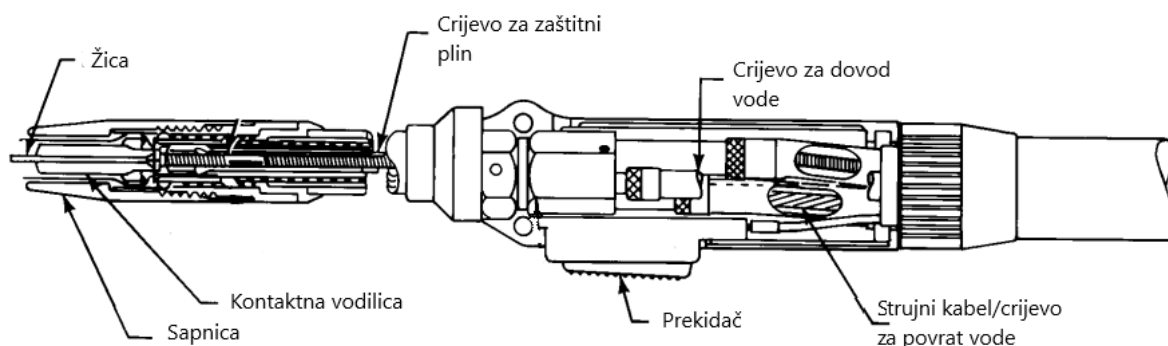
Slika 19 Prikaz tipova kotača za izravnavanje žice [17]

Tablica 3 Vrste tipova kotača za izravnavanje žice [17]

Četvrtasti profil	Okrugli profil	Okrugli profil
Pritisak na žicu	Prati oblik žice	Prati oblik žice Dodatno nareckan
Čelik	Teflon	Teflon
Čelična žica	Aluminijska žica	Praškom punjena žica

4.2.3. Pištolj za zavarivanje

Pištolj za zavarivanje služi za dovod struje, upravljačkih signala, zaštitnog plina i rashladne tekućine. Izbor pištolja za zavarivanje ovisi o vrsti zavarivanja, korištenom zaštitnom plinu, jakosti struje koja će se primjenjivati prilikom zavarivanja i o načinu hlađenja pištolja.[18]. Na slici 20 prikazan je shematski prikaz pištolja za MIG/MAG zavarivanje.



Slika 20 Shematski prikaz pištolja za zavarivanje MIG/MAG postupkom [20]

4.2.4. Sustav za dovod zaštitnog plina

Na kvalitetu zavara i oblik zavarenog spoja uvelike utječe zaštitni plin koji se koristi prilikom zavarivanja. Sustav za dovod zaštitnog plina od spremnika do mjesta zavarivanja sastoji se od: [17]

- redukcijskog ventila s mjeračem protoka,
- elektromagnetskog ventila za otvaranje i zatvaranje protoka,
- polikabela i pištolja za zavarivanje kroz koji plin dolazi do električnog luka.

4.3. Odabir dodatnog materijala pri postupku MIG/MAG zavarivanja

Sastav dodatnog materijala može se neznatno promijeniti kako bi se nadoknadili gubici koji nastaju u zavarivačkom luku ili kako bi se osigurala deoksidacija taline prilikom zavarivanja. U nekim slučajevima to uključuje vrlo male modifikacije sastava dodatnog metala. U određenim situacijama postoji potreba za korištenjem elektroda s odstupajućim kemijskim sastavom od osnovnog materijala kako bi se postigla zahtijevana svojstva metala zavara. Primjerice, najbolja elektroda za upotrebu u MIG/MAG zavarivanju manganske bronce su legure bakra i cinka. [20]

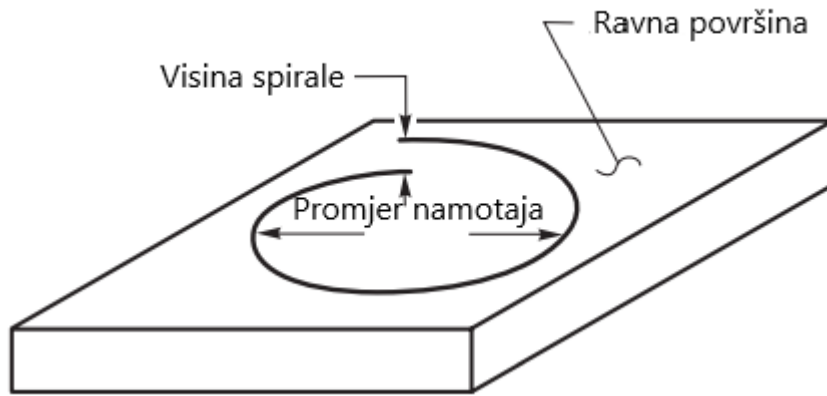
Na odabir zaštitnog plina i žice za zavarivanje utječu sljedeći čimbenici,[20]:

- 1.vrsta osnovnog materijala,
2. zahtijevana mehanička svojstva metala zavara,
3. stanje i čistoća osnovnog metala,
4. specifikacija zahtjeva,
5. položaj zavarivanja i
6. predviđeni način prijenosa metala.

MIG/MAG postupak zavarivanja može se koristiti za navarivanje. Navarivanje je nanošenje dodatnog materijala na određenu površinu u cilju dobivanja sloja željenih dimenzija i svojstava. Navari se obično nanose na ugljične ili manganske čelike i moraju se pažljivo konstruirati i izvesti kako bi se osigurali zadovoljavajući rezultati.

Žice koje se koriste za MIG/MAG zavarivanje promjera su 0.6, 0.8, 1.0, 1.2, 1.6, 2.4 mm. Budući da su veličine elektroda male, a struje relativno visoke, brzina dovođenja žice mora biti velika. [20]

Žica se obično namotava na špule odgovarajuće veličine. Ujednačenost namotaja i odsustvo savijanja važna su razmatranja u pravilnom dovođenju žice. Druge važne karakteristike koje proizlaze iz operacije namotavanja su promjer namotaja i visina spirale žice. Promjer namotaja se odnosi na promjer jedne petlje žice koja se napravi kada se dovoljno žice izreže iz špule da se oblikuje kružnica na ravnoj površini, kao što je prikazano na slici 21. Visina spirale je mjera izdizanja kraja žice iznad ravne površine. Što je veći promjer namotaja, to će dovođenje žice biti jednoličnije, a rezultat toga je smanjena sila trenja prilikom izlaska žice iz kontaktne vodilice. Manji promjer namotaja može uzrokovati pomicanje vrha žice. Veća visina spirale može uzrokovati iznenadno okretanje vrha žice dok izlazi iz kontaktne vodilice. Bilo koji od ovih uvjeta može dovesti do nepravilne strukture zavarenog spoja i neravnomjerne penetracije zavara. Specifikacije za čeličnu žicu općenito zahtijevaju prihvatljivi raspon za promjer namotaja i maksimalnu vrijednost visine spirale. [20]



Slika 21 Namotaj žice [20]

Prije zavarivanja potrebno je odabrati dodatni materijal koji će zadovoljavati slijedeće uvijete: [20]

- Zavar koji će dati mehanička svojstva bolja ili ista kakva ima osnovni metal,
- Zavareni spoj bez neprihvatljivih diskontinuiteta.

Postoje dvije vrste žica kod MIG/MAG postupka zavarivanja, a to su pune i praškom punjene žice. Praškom punjene žice imaju prašak koji sadrži elemente koji poboljšavaju stabilizaciju luka i odgovarajuće legirne elemente. Ove žice imaju dobru stabilnost luka i omogućavaju dobar depozit materijala. U mnogim slučajevima, njihov depozit materijala premašuje pune žice istog promjera. [20]

4.4. Odabir zaštitnog plina pri MIG/MAG zavarivanju

Zaštitni plinovi koji se koriste pri MIG/MAG zavarivanju su argon, helij i ugljikov dioksid. Zaštitnu atmosferu kod zavarivanja čine jedno komponenti plinovi ili mješavine plinova (više komponenti plinovi) koje se sastoje od argona, helija, ugljičnog dioksida, vodika i dušika. Kisik, dušik i vodik koriste se strogo u plinskim mješavinama i to u malim postotcima volumena jer bi u protivnom imali više negativan učinak nego pozitivan. [21]

Argon je jednoatomni kemijski inertni plin bez boje, okusa i mirisa, nije zapaljiv i nije topiv u talini. Dobiva se procesom ukapljivanja i destilacije zraka, i gušći je 1,4 puta od zraka. Intenzivno se koristi kao zaštitni plin u zavarivanju jer ga njegova velika gustoća i svojstva inertnosti čine izrazito povoljnim za korištenje. Može se koristiti samostalno ili u kombinaciji s drugim plinovima zbog postizanja veće stabilnosti električnog luka. Zahvaljujući niskoj energiji ionizacije doprinosi

stabilnosti i uspostavljanju električnog luka uz veliku gustoću struje. U današnjici argon je najčešće upotrebljavani inertni plin. [21]

Helij je isto kao i argon jednoatomni inertni plin, ali male gustoće i atomske mase (iznosi 14% gustoće zraka). Zbog svoje cijene koja je veća od argona u Europi se gotovo i ne koristi. Dobiva se iz prirodnog plina postupkom separacije. U zavarivanju se koristi kada je potreban veliki unos topline kako bi se postigla veća žitkost taline, dubina provara i brzina zavarivanja. Koristi se kao komponenta u mješavinama pri zavarivanju korozijski postojanih čelika, te prilikom zavarivanja aluminijske i magnezijevske koji su „netolerantni“ na uključke oksida. Najviše doprinosi količini depozita kod zavarivanja visokim gustoćama struje zbog izrazite stabilnosti električnog luka. [21]

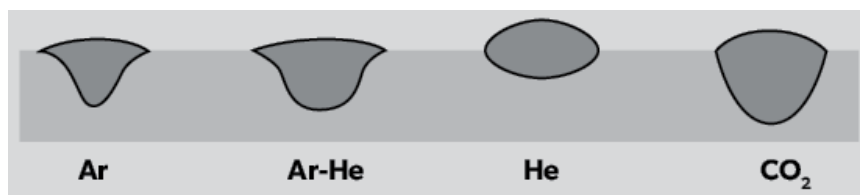
Ugljikov dioksid je reaktivan plin koji se sastoji od dva kemijska elementa: ugljika i kisika. Njegova kemijska reaktivnost dolazi do izražaja u uvjetima zavarivanja kod MAG postupka gdje je potaknuta velikom energijom plazme, molekula CO_2 se u anodnom području luka raspada na ugljikov monoksid i kisik. Slobodni elementi nastali disocijacijom miješaju se s talinom ili u hladnijem, katodnom području rekombiniraju kako bi ponovno nastao CO_2 , što je popraćeno velikim oslobađanjem toplinske energije, a posljedica je veće penetracije. [21]

Kako bi se spriječila reakcija slobodnog kisika s kemijskim elementima koji putuju električnim lukom (stvaranje oksida), dodaju se dezoksidanti poput silicija, mangana i titana u dodatni materijal. Svrha dodatnih elemenata jest da vežu kisik na sebe te ga izlučuju na vrhu taline u obliku troske. Veće količine ugljičnog dioksida znače i veći oksidacijski potencijal, što donosi više troske na površini zavara. Ugljikov dioksid je pogodan za MAG zavarivanje zbog svoje dostupnosti i niske cijene. Negativna strana ugljikovog dioksida je prskanje te uklanjanje tragova prskanja što povećava cijenu zavarivanja. [21]

Kisik je plin koji zauzima 50 % zemljine kore i 21 % atmosfere. Dobiva se postupkom ukapljivanja iz zraka i reagira s gotovo svim elementima izuzev inertnih plinova, neotrovan i nezapaljiv, ali izrazito podržava gorenje. Kod plinskog zavarivanja je idealan plin za povećanje temperature plamena i rezanja. Primjenom kisika povećava se stabilnost električnog luka i žitkost taline, isto tako se i smanjuje površinska napetost taline. Dodavanjem 1 do 5 % kisika poboljšava se spajanje na rubovima i površina zavara je ravnija. [21]

Često se koristi u mješavini s argonom u MAG postupku zavarivanja kako bi se povećala stabilnost električnog luka i kvašenje prilikom zavarivanja niskougljičnih ili korozijski postojanih čelika.

Kisik se koristi samo u plinskim mješavinama i to u malim postotcima.[21] Na slici 22 može se vidjeti utjecaj zaštitnih plinova na izgled zavara.



Slika 22 Utjecaj zaštitnog plina na izgled zavarenog spoja [22]

4.5. Parametri MIG/MAG zavarivanja

Odabir odgovarajućih parametara zavarivanja ključan je za pravilnu tehnologiju zavarivanja. Parametri utječu na penetraciju, geometriju zavara, izgled lica zavara, kvalitetu zavara, itd.

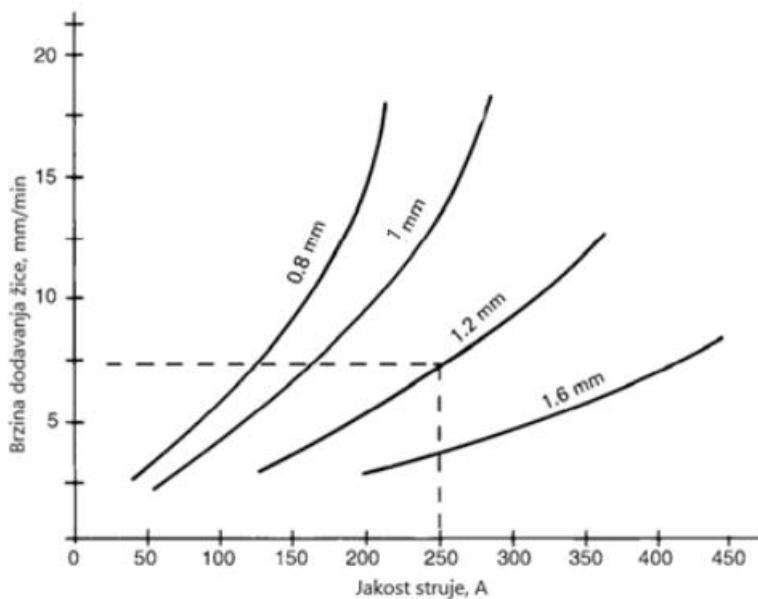
Parametri za MIG/MAG zavarivanje su:[20]

- jakost struje, I [A],
- polaritet elektrode,
- napon, U [V],
- brzina zavarivanja, v [mm/min],
- slobodni kraj žice, mm,
- nagib elektrode,
- položaj zavarivanja,
- promjer elektrode, mm,
- sastav i protok zaštitnog plina i
- induktivitet. L [H]

4.5.1. Jakost struje

Jakost struje zavarivanja ovisi o brzini i promjeru žice, a vrijednost utječe na količinu rastaljenog metala u jedinici vremena. Jakosti struje određuje se prema odabranoj brzini dovođenja žice. Što je veća brzina dovođenja žice, bit će veća i jakost struje zavarivanja. Povećanjem jakosti struje zavarivanja povećava se penetracija i učinak taljenja. Prekomjerno povećavanje jakosti struje dovodi do većeg prskanja materijala za vrijeme zavarivanja. Jakost struje djeluje na

stabilnost električnog luka i penetraciju materijala.[23] Na slici 23. prikazan je odnos jakosti struje i brzine zavarivanja.



Slika 23 Odnos brzine zavarivanja i jakosti struje [20]

4.5.2. Promjer žice

Promjer žice odabire se na temelju debljine osnovnog materijala i položaja zavarivanja. Veći promjeri žice zahtijevaju veću jakost struje i daju veći učinak taljenja. Za određene promjere žica mogu se koristiti različite jakosti struje zavarivanja. Za jednu određenu jakost struje postiže se veći učinak taljenja ako se upotrijebi žica manjeg promjera. [23]

4.5.3. Napon luka

Pri MIG/MAG zavarivanju napon utječe na način prijenosa materijala. Ovisnost duljine i širine električnog luka o naponu je proporcionalna. Povećanjem napona povećava se duljina i širina električnog luka, a smanjenjem napona smanjuje se duljina i širina električnog luka. Korištenjem većeg napona zavarivanja smanjuje se penetracija materijala uslijed toga zavareni spoj ima slabija mehanička svojstva. [18]

4.5.4. Brzina zavarivanja

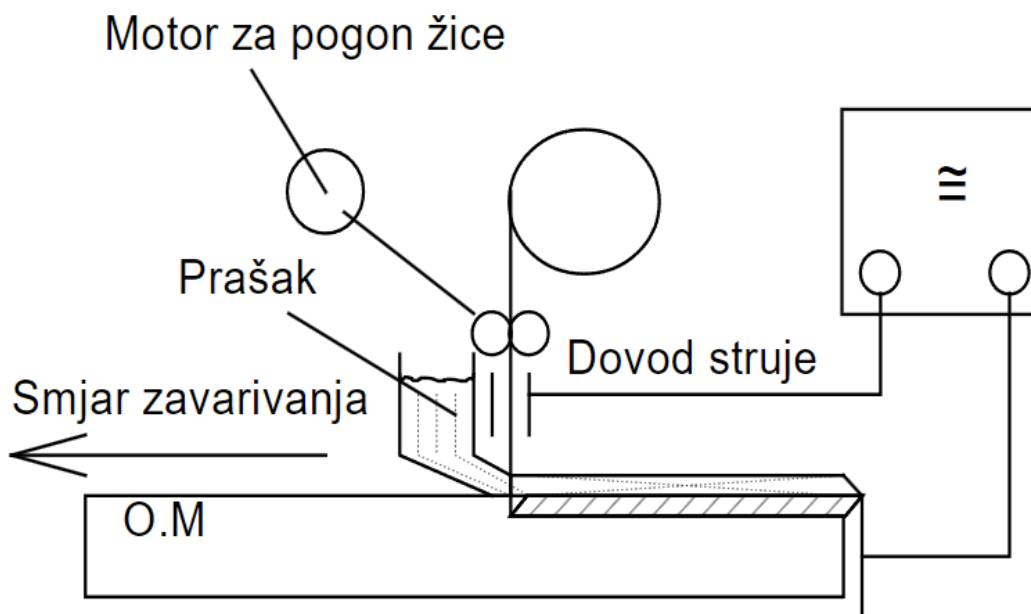
Brzina zavarivanja ovisi o položaju zavarivanja i odabranoj jakosti struje. Povećanjem brzine zavarivanja smanjuje se širina, dubina penetracije i nadvišenje zavara. Isto tako povećanje brzine zavarivanja može imati negativan učinak na mehanička svojstva jer dolazi do promjena kemijskog sastava u zavaru zbog nedovoljne zaštite taline. Preveliko smanjenje brzine zavarivanja smanjuje dubinu penetracije, stvara se velika količina pregrijane taline i smanjuje se ekonomičnost postupka. Prema tome geometrijski profil zavara ovisi o brzini zavarivanja. [23]

4.5.5. Slobodni kraj žice

Pod slobodnim krajem žice razumijeva se dio žice od izlaza iz kontaktne vodilice do početka električnog luka. Duljina slobodnog kraja žice iznosi otprilike 13 puta promjer žice ali ne više od 20 mm. Povećanjem duljine slobodnog kraja žice povećava se električni otpor i žica se jače zagrijava. Tako se uz određenu jakost struje može povećati koeficijent taljenja ako se poveća slobodni kraj žice. U pravilu se nastoji da dužina slobodnog kraja žice bude što manja, kako bi luk bio što kraći. Kod suviše male dužine slobodnog kraja žice dolazi do onečišćenja sapnice i kontaktne vodilice, a može doći i do taljenja žice u samoj vodilici. [23]

5. Zavarivanje pod praškom – EPP

Zavarivanje pod praškom (SAW – eng. *Submerged arc welding*) ubraja se u elektrolučne postupke s taljivom elektrodom pod zaštitom praška. Električni luk se uspostavlja i održava između elektrode i radnog komada, ispod sloja praška. Električni luk i rastaljeni metal prekriveni su praškom čime se sprječava isparavanje, iskrenje, prskanje i zračenje. Prašak ima funkciju zaštite rastaljene taline od utjecaja okolne atmosfere, zaštitu električnog luka i svojim kemijskim sastavom može utjecati na metal zavara. [20] Na slici 24 prikazan je shematski prikaz EPP postupka zavarivanja.



Slika 24 Shematski prikaz EPP zavarivanja [1]

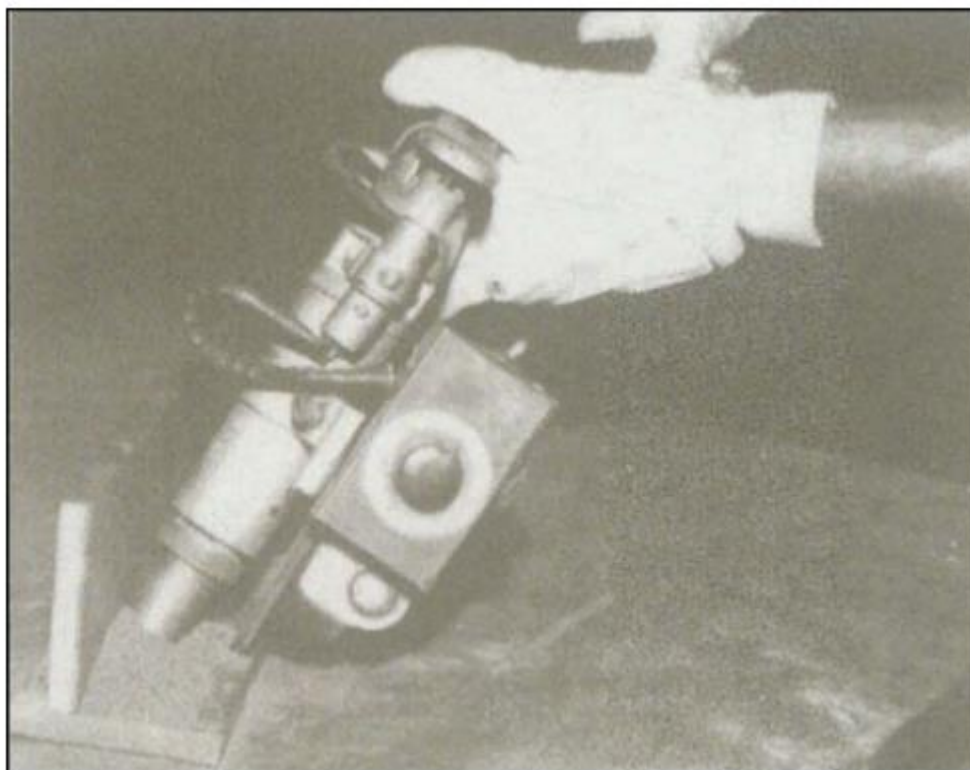
Prašak se kontinuirano dovodi i prekriva električni luk i rastaljeni metal. Toplina koju razvija električni luk postepeno tali dio praška, kraj žice i susjedne rubove osnovnog materijala, stvarajući talinu rastaljenog metala ispod sloja rastaljenog praška i troske. [20]

5.1. Oprema za EPP zavarivanje

U ovom dijelu opisana je oprema koja se koristi za poluautomatizirano, mehanizirano i automatizirano zavarivanje. Osnovna oprema sastoji se od izvora napajanja, sustava za dovod elektrode, sustava za dovod praška, sustava za pomicanje obratka i sustava za upravljanje procesom. Dodatna oprema za EPP zavarivanje uključuje sustav povrata praška i opremu za

pozicioniranje ili rukovanje, ovisno o zahtjevima primjene. Najvažniji parametri su: jakost struje, napon i brzina zavarivanja.

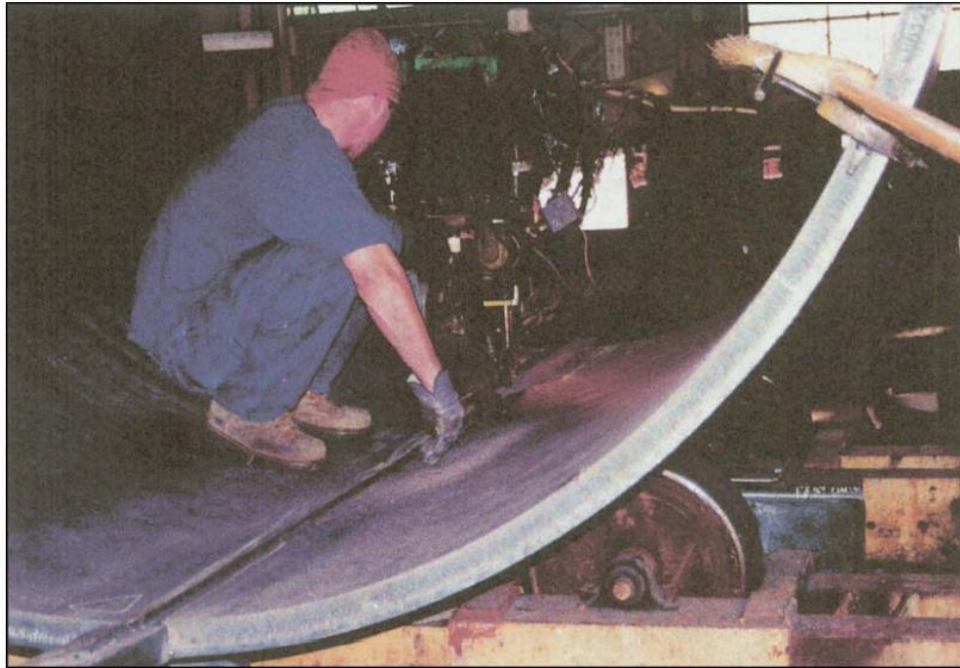
Ručni EPP postupak ima vrlo rijetku primjenu, može se reći da je polu-automatiziran zato što žica dolazi kontinuirano do radnog komada. Prašak se može dovoditi pomoću gravitacijskog lijevka postavljenog na pištolj ili se može dovoditi pod pritiskom kroz crijevo. Ručno zavarivanje pod praškom uobičajeno se koristi na mjestima gdje mehanizirano zavarivanje pod praškom ima ograničenja. Na slici 25 prikazan je ručni EPP postupak zavarivanja. [20]



Slika 25 Ručno zavarivanje pod praškom [20]

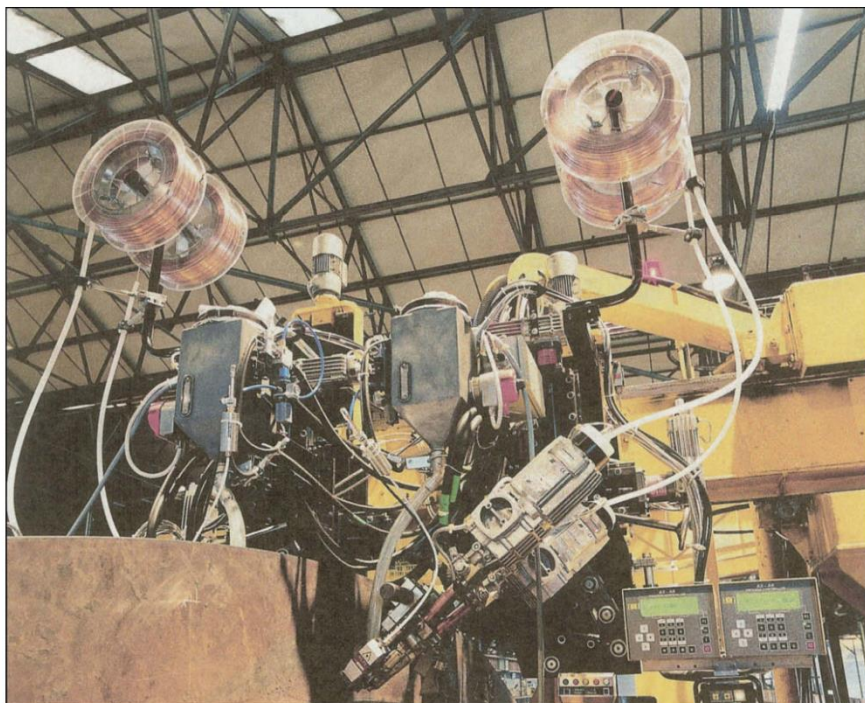
Proces zavarivanja nadzire operater. Uloga operatera je nadziranje parametara zavarivanja, vođenje računa o kontinuiranom i nesmetanom dovođenju praška te uključivanje i isključivanje uređaja za zavarivanje.

Slika 26 prikazuje tipičnu mehaniziranu operaciju zavarivanja pod praškom. [20]



Slika 26 Postupak mehaniziranog zavarivanja pod praškom [20]

Primjer proizvodnog sustava za automatsko zavarivanje pod praškom prikazan je na slici 27.
[20]



Slika 27 Visoko produktivni stroj za zavarivanje pod praškom s 4 glave za zavarivanje [20]

5.1.1. Izvor struje

Izvor struje za zavarivanje pod praškom potrebno je pažljivo odabrati. Jakost struje za zavarivanje utječe na penetraciju i učinak taljenja. Zavarivanje pod praškom koristi visoke struje s visokim radnim ciklusom, stoga se preporučuje izvor napajanja koji može osigurati visoku jakost struje pri 100 % radnog ciklusa. Prikladna su dva opća tipa izvora energije. Izvori istosmjerne struje, koji mogu biti transformatorski ispravljači ili generatori. Oni daju izlaz konstantnog napona ili konstantne jakosti struje. Izvori napajanja izmjeničnom strujom mogu dati ili izlaz konstantne jakosti struje ili izlaz kvadratnog konstantnog napona. [20]

Istosmjerni izvori struje konstantnog napona dostupni su u modelima transformator-ispravljač i generator. Njihova snaga se kreće od 400 A do 1500 A. Izvori struje s nižom snagom također se mogu koristiti za MIG/MAG postupak zavarivanja. Ovi izvori struje koriste se za poluautomatsko zavarivanje pod praškom pri strujama u rasponu od oko 300 A do 600 A s promjerom elektrode od 1,6 mm, 2,0 mm i 2,4 mm. Automatizirano i mehanizirano zavarivanje zahtijeva struje u rasponu od 300 A do preko 1000 A, s promjerom elektroda općenito u rasponu od 2,0 mm do 6,4 mm. Učinak zavarivanja promatramo kroz količinu nataljenog materijala u jedinici vremena kod EPP iznosi 15 g/Ah. Dubina protaljivanja se povećava za 1mm svakih 100 A jakosti struje zavarivanja. Tipični izvor istosmjerne struje konstantnog napona prikazan je na slici 28. [20]



Slika 28 Izvor struje konstantnog napona [20]

Istosmjerni izvori konstantne jakosti struje dostupni su u modelima transformator-ispravljač i generator s nazivnim izlazima do 1500 A. Neki istosmjerni izvori konstante jakosti struje mogu se koristiti za TIG i REL postupak zavarivanja. S izuzetkom zavarivanja tankog lima čelika, izvori

istosmjernje struje konstantne jakosti struje mogu se koristiti za isti raspon primjena kao izvori istosmjernje struje konstantnog napona. Izvori struje s konstantnom jakosti struje nisu samoregulirajući, pa se moraju koristiti s promjenjivom kontrolom brzine dodavanja žice. Ova vrsta kontrole prilagođava brzinu dodavanja žice kao odgovor na promjene napona električnog luka. Napon se prati kako bi se održala konstantna duljina električnog luka. Kod ovog sustava napon električnog luka ovisi o brzini dodavanja žice i promjeru žice. Izvor napajanja kontrolira struju električnog luka. [20]

Neki izvori energije, koji se koriste za zavarivanje pod praškom, mogu se prebacivati između načina rada konstantnog napona i konstantne struje. Dostupni su izvori struje do 1500 A, ali mnogo su češći strojevi od 650 A ili manje.[20]

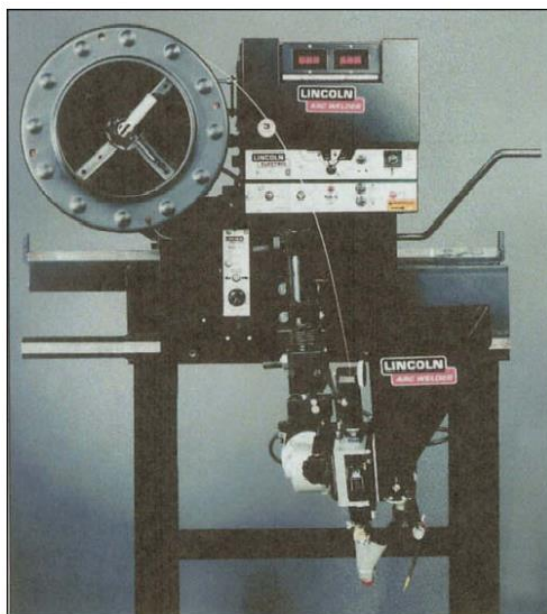
Izvori energije koji se koriste za zavarivanje pod praškom su najčešće transformatori. Dostupni su izvori napajanja jakosti struje od 800 A do 1500 A pri 100% radnom ciklusu. Ako su potrebne veće jakosti struje, ovi se strojevi mogu spojiti paralelno. [20]

5.1.2. Upravljačka jedinica

Osnovni upravljački sustavi za zavarivanje pod praškom sastoje se od sljedećeg: [20]

- Sustav za regulaciju jakosti struje i napona,
- Tipke za pokretanje i zaustavljanje zavarivanja,
- Tipke za regulaciju brzine.

Upravljačke jedinice koje se koriste s izvorima napajanja konstantnog napona održavaju konstantnu brzinu dodavanja žice, dok one koje se koriste s izvorima napajanja konstantne jakosti struje nadziru napon luka i prilagođavaju brzinu dodavanja žice kako bi održale konstantan napon. Najjednostavniji dodavači žice imaju analogne kontrole s jednom tipkom koja održava konstantnu brzinu dodavanja žice. Slika 29 prikazuje tipičnu upravljačku jedinicu.[20]



Slika 29 Upravljačka jedinica [20]

5.1.3. Glave i pištolji za zavarivanje

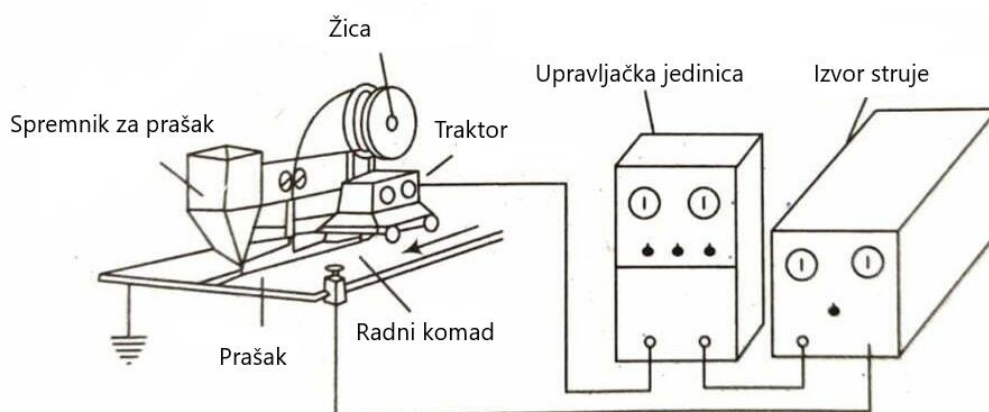
Glava za elektrolučno zavarivanje pod praškom uključuje motor za dodavanje žice i sustav valjka za dodavanje, sklop pištolja i kontaktni vrh te dodatke za montažu i pozicioniranje glave. Motori za dodavanje žice su obično motori za teške uvjete rada s integriranim reduktorskim prijenosnikom. Oni mogu dodavati žicu u rasponu brzina od 0,5 do 14 m/min. Sustav valjaka za dovođenje žice može imati jedan pogonski i jedan pomoćni valjak, dva pogonska valjka ili četiri pogonska valjka. Pogonski sklopovi s četiri valjka omogućuju uvlačenje uz najmanje klizanje žice. Valjci za ulaganje mogu biti tipa V utora ili glatkog U utora. Najčešći su valjci s nazubljenim V utorom. Kada se žica gura kroz cijev, postiže se glatko uvlačenje ako se koriste valjci s nazubljenim V utorom. [20]

Dizajni sklopova pištolja su brojni, ali njihova je svrha uvijek ista. Sklop pištolja vodi žicu kroz kontaktni vrh do zone zavarivanja i isporučuje energiju zavarivanja žici na kontaktnom vrhu. Za poluautomatsko zavarivanje pod praškom, dodavač žice može biti kao kod MIG/MAG postupka zavarivanja koji gura žicu kroz cijev do sklopa pištolja. Ovi dodavači žice prihvaćaju bilo koji od prethodno spomenutih sustava pogonskih valjaka i općenito su sposobni dodavati žicu promjera do 2,4 mm pri brzinama dodavanja žice preko 14 m/min. [20]

5.1.4. Pomagala

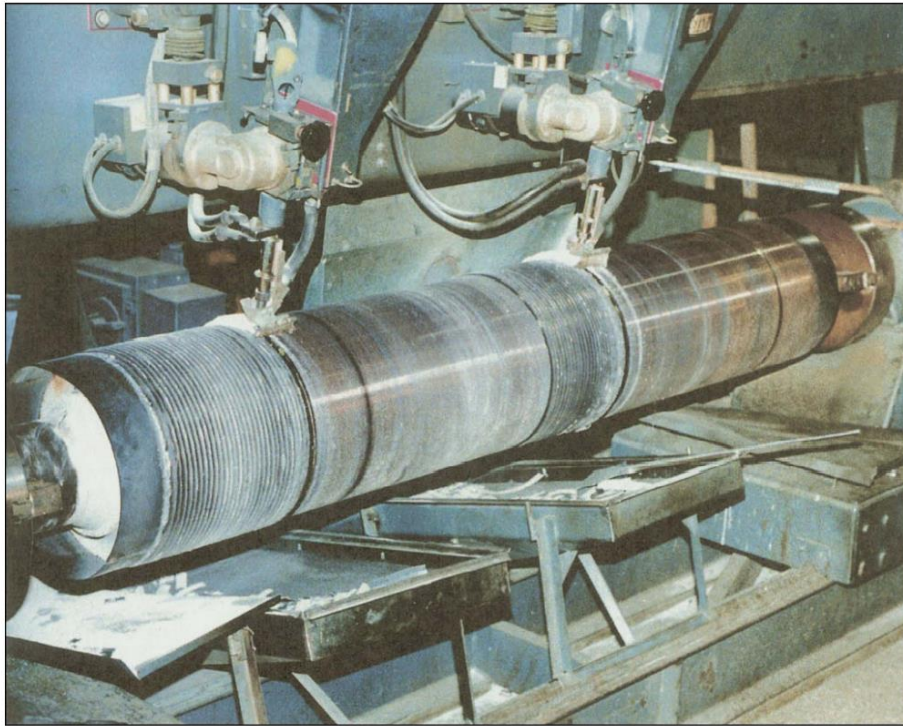
Pneumatski (tlačni) dovod praška koristi se u svim varijantama zavarivanja pod praškom. Mlaznica za prašak obično se postavlja na glavu za zavarivanje kako bi se prašak nanosio malo ispred ili koncentrično sa žicom za zavarivanje. Za poluautomatizirani rad, dovod praška osigurava ili mali lijevak sa gravitacijskim dovodom postavljen na pištolj ili udaljeni spremnik koji koristi komprimirani zrak za guranje praška prema zoni zavara. U oba slučaja, prašak se isporučuje kroz pištolj koji okružuje žicu za zavarivanje. Važno je osigurati da pneumatski sustavi imaju filtere za zrak i sušače kako bi spriječili ulazak vlage, ulja i drugih onečišćenja u sustav. [20]

Traktor osigurava kretanje duž ravnih ili blago zakrivljenih zavarenih spojeva vozeći se po vodilicama postavljenim duž spoja ili vozeći se na samom obratku. Jedinice bez vodilica koriste kotače za navođenje ili neku drugu vrstu mehaničkog uređaja za praćenje spoja. Glava za zavarivanje, upravljačka jedinica, dovod žice i spremnik praška po pravilu se montiraju na traktor. Maksimalne moguće brzine kretanja traktora iznose oko 2,5 m/min.[20] Slika 30 prikazuje shematski prikaz EPP postupka zavarivanja s korištenjem traktora za vođenje.



Slika 30 Shematski prikaz EPP zavarivanja s traktorom [24]

Traktori s bočnim nosačem imaju samo linearni hod. Sposobni su za brzine kretanja veće od 5 m/min. Budući da su sustavi s bočnim nosačima općenito fiksirani, obradak se mora dovesti do stanice za zavarivanje. Najviše se koriste za zavarivanje u radionama. Glava za zavarivanje, žica, lijevak za prašak, a ponekad i upravljačka jedinica montirani su na nosač. Slika 31 prikazuje dvije glave za zavarivanje postavljene na jedan nosač za navarivanje. [20]



Slika 31 Navarivanje uz pomoć dvije glave za zavarivanje [20]

Jedinice za skupljanje praška (usisavači) koje prikupljaju iskorišteni prašak za recikliranje tijekom zavarivanja često se koriste iz ekonomskih razloga kako bi se maksimizirala iskoristivost praška i smanjilo ručno čišćenje. Vлага i ulje moraju se ukloniti iz komprimiranog zraka u sustavu za povrat praška, budući da oni mogu kontaminirati prašak i uzrokovati poroznost u metalu zavara.

Prašak se mora držati na suhom mjestu pri određenoj temperaturi koju propisuje proizvođač. Prašak treba sušiti u pećnici s pravilnom ventilacijom kako bi se osiguralo uklanjanje vlage i održavanje temperature praška.[20]

Svaki postupak zavarivanja pod praškom zahtijeva da se obradak postavi na način koji dopušta da prašak i talina ostanu na mjestu dok se talina ne skrutne. Kako bi se zadovoljio ovaj zahtjev postoji mnogo vrsta učvršćenja i oprema za pozicioniranje.[20]

5.2. Dodatni materijal za EPP zavarivanje

EPP postupkom zavarivanja moguće je zavariti većinu materijala, od običnog ugljičnog čelika do legura na bazi nikla. Većina čelika i legura lako se zavaruju s komercijalno dostupnim žicama i prašcima. [20]

Žicom koja se koristi u kombinaciji s odgovarajućim praškom prilikom EPP zavarivanja dobiva se zavareni spoj koji odgovara ugljičnom čeliku, niskolegiranom čeliku, čeliku s visokim

udjelom ugljika, specijalno legiranom čeliku, nehrđajućem čeliku, leguri nikla. Žica se isporučuje kao puna žica ili traka. [20]

Čelične žice općenito su obložene bakrom, osim onih koje se koriste za zavarivanje nehrđajućih čelika ili za ograničene posebne primjene. Bakreni sloj osigurava dulji vijek trajanja žice i poboljšava električnu vodljivost. Promjer žice koja se koristi za zavarivanje pod praškom može biti u rasponu od 1,6 mm do 6,4 mm. [20]

Prašak koji se koristi kod EPP zavarivanja je mješavina različitih komponenata u obliku zrnatog minerala, određenih veličina zrna. Prašak u EPP zavarivanju ima sljedeće funkcije,[25]:

- zaštita taline,
- stabilizacija električnog luka,
- metalurški utjecaj u procesu zavarivanja.

Zaštita taline ovisi o vrsti praška koja se koristi, o količini praška koja se nanosi i veličini zrna praška. Metalurški utjecaji su reakcije elemenata iz taline praška s talinom zavara, odnosno utjecaj sastavnih elemenata praška na procese otplinjavanja, rafinacije i legiranja metala zavara u procesu zavarivanja. [25]

Vrsta praška razlikuje se prema veličini zrna, obliku, načinu proizvodnje i kemijskom sastavu. Prašak se sastoji od kvarca, vapnenca, manganovih i aluminijevih oksida. Prašci se prema stupnju legiranja Si i Mn dijele na neutralne, aktivne, legirane.[25]

Neutralni prašak je izrađen tako da ne proizvodi značajne promjene u kemijskom sastavu metala zavara. Pogodan je za višeslojno zavarivanje, pogotovo debljine iznad 25 mm. Prilikom jednoslojnog zavarivanja ili zavarivanja preko korodiranih površina može doći do poroznosti u metalu zavara.[25]

Aktivni prašak sadrži male količine mangana i silicija, koji se dodaju kako bi se poboljšala otpornost na poroznost prilikom zavarivanja korodiranih materijala. Ovaj prašak je pogodan za jednoslojno zavarivanje i koristi se za velike brzine zavarivanja. [25]

Legirani prašak sadrži elemente koji se mogu koristiti za dodavanje određenih legura metalu zavara. Na stupanj legiranja veliki utjecaj imaju parametri zavarivanja [25]

Prema načinu proizvodnje prašci se dijele na,[25]:

- aglomerirani prašak,
- taljeni prašak i
- miješani prašak

Aglomerirani prašak je proizveden uz dodatak silikata, tehnologijom rotacije. Prije same proizvodnje sirovine se smrve u male čestice. Mnoge čestice čine zrna koja sadrže ispravan omjer

pojedinih komponenti. Zrna se suše i peku na temperaturi od 600 do 800 °C. Aglomerirani prašak je kemijski heterogen. Obzirom da minerali iz praška nisu reagirali za vrijeme proizvodnje moguće je u njih dodati legirne elemente. Ovo je glavna prednost pred taljivim praškom jer je metal zavara efikasnije zaštićen od oksida iz atmosfere. Ova vrsta praška namijenjena je za široki raspon primjena.[25] Slika 32 prikazuje aglomerirani prašak.



Slika 32 Aglomerirani prašak [26]

Taljivi prašak proizveden je taljenjem svih sastojaka u električnoj peći. Sastojci se tale na temperaturi između 1200 °C i 1400 °C. Nakon skrućivanja taline materijal se trga u zrna koja se suše i prosijavaju. Ovaj prašak je kemijski homogen, te se može usporediti s razbijenim staklom. Taljivi prašci imaju veću čvrstoću zrna nego aglomerirani prašci.[25] Slika 33 prikazuje taljivi prašak.



Slika 33 Taljivi prašak [27]

5.3. Podloge pri EPP zavarivanju prvog sloja

Podloge pri EPP zavarivanju su različito profilirani dijelovi koji se postavljaju uz spoj i s donje strane žljeba kako bi se pravilno zavario korijen zavara. Najkritičnija operacija u proizvodnji zavarivanjem je zavarivanje korijena zavara. Podloge se još primjenjuju jer se njima ostvaruju važne ekonomsko tehnološke prednosti. Najvažnija prednost je toplinska izolacija, koju osiguravaju nemetalne podloge, a povoljno utječe na smanjenje krutih deformacija spoja, jer se izjednačuje brzina hlađenja u licu i korijenu zavara. Korištenje podloga je isplativije s ekonomskog gledišta jer se mogu povećati parametri, čime se spoj izvodi u manje slojeva i kraćem vremenu. [25]

Prema vrsti materijala podloge se mogu razvrstati na,[25]:

- metalne
- podloge iz praška za zavarivanje
- keramičke podloge
- podloge iz stakla

Metalne podloge dijele se u dvije osnovne grupe. U prvu grupu pripadaju podloge koje nakon zavarivanja čine sastavni dio spoja i konstrukcije, a u drugu skupinu pripadaju podloge koje pridržavaju talinu prilikom zavarivanja. Kod zavarivanja tanjih limova EPP postupkom zavarivanja koriste se bakrene podloge u obliku letvi. Limovi su posebnim sistemom pritegnuti na podlogu tako da se ne mogu podizati od podloge prilikom zavarivanja. Budući da se takve bakrene letve jako zagrijavaju kod zavarivanja jačim strujama, obično su hlađene vodom kroz kanale u letvi ili kroz cjevčice priljubljene uz letvu. [25]

Podloga iz praška za zavarivanje izvedena je tako da na sloj praška djeluje armirano gumeno crijevo s komprimiranim zrakom i pritišće prašak uz radni komad. Podloge od praška nisu najpovoljniji odabir za izradu korijena zavara jer se ne može postići kvalitetno oblikovanje korijena zavara. Podloge od praška najviše se primjenjuju kod zavarivanja spojeva s većim zazorom u grlu žlijeba. Talina koja procuri, dođe do praška i tu se skrutne. Takav zavar mora se zavarivati i s druge strane.[25]

Prema vrsti keramike i načinu proizvodnje podloge mogu biti higroskopne ili otporne na vlagu. Pri primjeni higroskopnih podloga mogu se pojaviti poroznosti u zavarenom spoju. Podloge iz stakla mogu biti krute, primjerice obično prozorsko staklo ili elastične izrađene iz staklenog tkanja u više slojeva. Prednost podloga od stakla je u tome da ne postoji opasnost od privarivanja na konstrukciju te zbog svojeg manjeg toplinskog kapaciteta moguća je upotreba kod zavarivanja tankih limova. [25]

5.4. Parametri zavarivanja

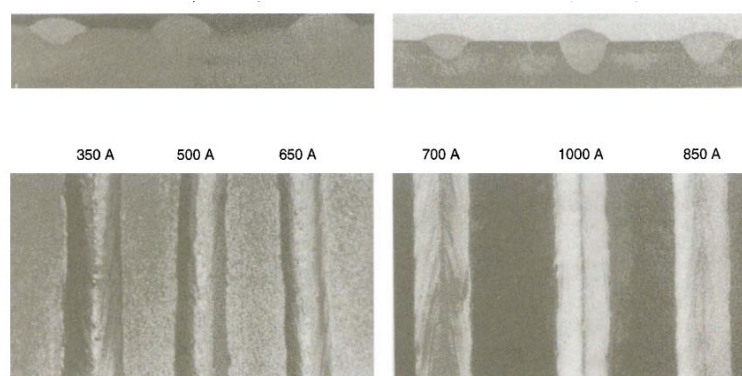
Kontrola parametara kod zavarivanja pod praškom ključna je ako se žele postići visoke stope proizvodnje i zavareni spojevi odgovarajuće kvalitete. Ovi parametri uključuju sljedeće: [20]

- jakost struje, I (A),
- tip praška i raspodjela čestica,
- napon, U (V),
- brzina zavarivanja, v (m/s),
- vrsta i veličina elektrode,
- slobodni kraj žice, mm,
- širina i dubina sloja praška.

Operater mora znati kako parametri utječu na zavarivanje i koje promjene treba napraviti na njima. Od iznimne je važnosti shvatiti da su ovi parametri međusobno povezani. Podešavanje jednog parametra može zahtijevati podešavanje jednog ili više drugih.

5.4.1. Jakost struje

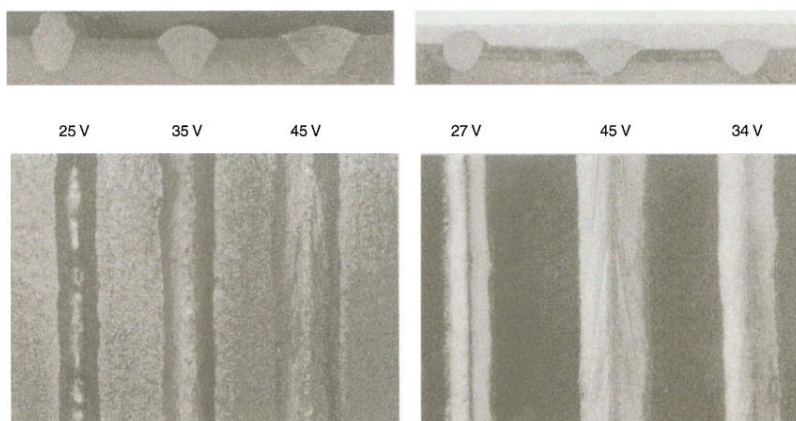
Struja zavarivanja kontrolira brzinu deponiranja materijala, dubinu prodiranja i količinu nanesenog dodatnog materijala. Povećanjem jakosti struje dobiva se bolja penetracija i veći presjek zavara, a smanjenjem jakosti struje može doći do nestabilnosti električnog luka. Utjecaj jakosti struje prilikom zavarivanja prikazan je na slici 34.[20]



Slika 34 Utjecaj jakosti struje na konačni zavareni spoj [20]

5.4.2. Napon električnog luka

Podšavanje napona električnog luka mijenja duljinu luka između elektrode i taline. Ako se ukupni napon poveća, duljina luka se povećava, a ako se napon smanji, duljina luka se smanjuje. Napon električnog luka kod EPP zavarivanja utječe na penetraciju, geometrijski oblik zavora (širina i nadvišenje), utrošak praška i metalurške reakcije. Slika 35 ilustrira utjecaj napona zavarivanja na oblik zavora. [20]



Slika 35 Utjecaj napona luka na konačni zavareni spoj [20]

Povećanje napona električnog luka uz istu jakost struje i istu brzinu zavarivanja može imati učinak stvaranja šireg lica zavora, povećanja potrošnje praška i povećanja poroznosti.

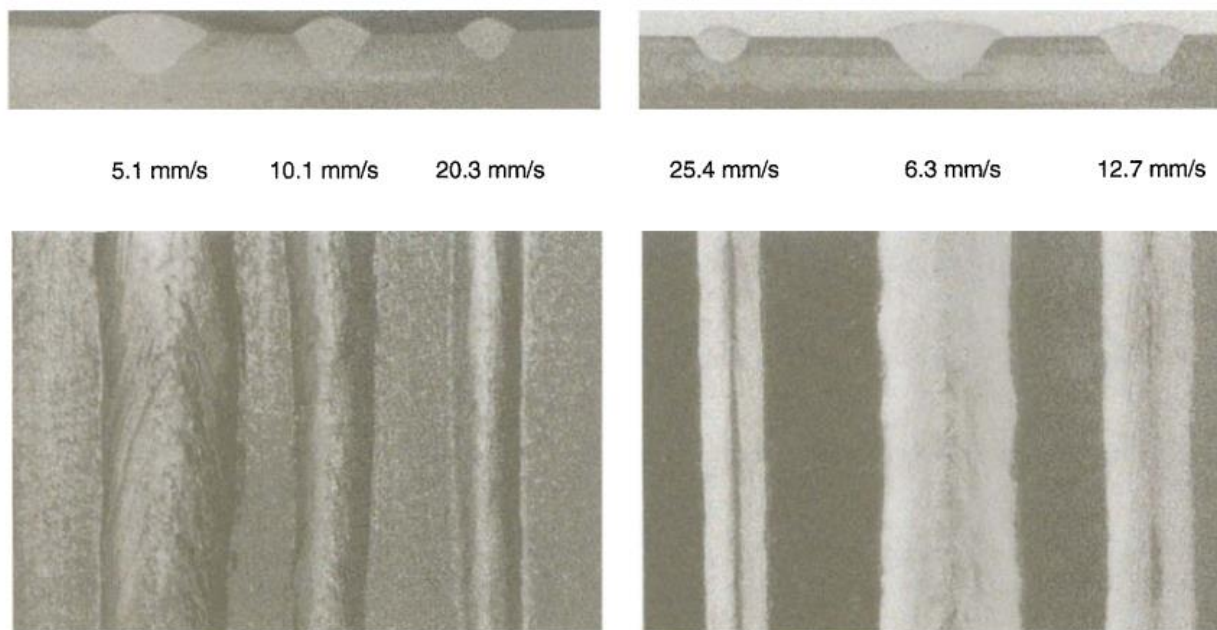
Pretjerano visok napon luka može proizvesti sljedeće,[20]:

- širok oblik lica zavora koji je podložan pucanju,
- otežano uklanjanje troske u zavarenim žljebovima,
- zavar konkavnog oblika koji može biti podložan pucanju,
- povećano udubljenje duž rubova kutnih zavora.
- povećan utrošak praška

Snižavanje napona proizvodi snažan luk koji poboljšava prodiranje u duboki žlijeb. Pretjerano nizak napon stvara visoko, usko lice zavora i uzrokuje teško uklanjanje troske duž rubova zavora.[20]

5.4.3. Brzina zavarivanja

Brzina zavarivanja utječe na penetraciju, geometrijski oblik zavora (širinu i nadvišenje). Kod iste jakosti struje i napona daljnjim povećanjem brzine zavarivanja smanjuje se penetracija i širina zavora. Ako se brzina zavarivanja poveća, snaga ili unos topline po jedinici duljine zavora se smanjuje, a nanosi se manje dodatnog metala po jedinici duljine zavora, što rezultira manje ojačanim zavarima. Tako zavar postaje manji, kao što je prikazano na slici 36. [20]



Slika 36 Utjecaj brzine zavarivanja na konačni zavareni spoj [20]

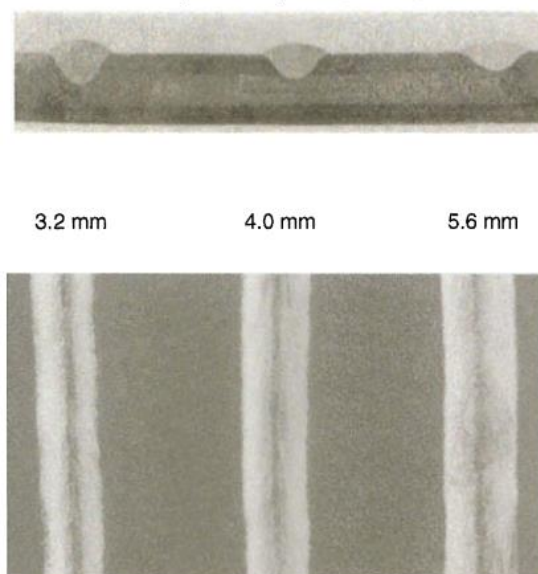
Smanjenjem brzine zavarivanja prodorna sila luka se ublažava rastaljenim metalom. Prevelika brzina može uzrokovati zajede na rubovima. [20]

Pretjerano velike brzine zavarivanja potiču neravnomjeran oblik zavora. Relativno niske brzine zavarivanja osiguravaju vrijeme za ispuštanje plinova iz taline.[20]

5.4.4. Promjer žice

Promjer žice također utječe na brzinu deponiranja dodatnog materijala. Pri bilo kojoj struji, žica malog promjera imat će veću gustoću struje i veću brzinu deponiranja od žice većeg promjera. Međutim, žica većeg promjera može podnijeti jače struje od manje žice i proizvesti veću stopu deponiranja dodatnog materijala pri većoj jakosti struje. Ako je željena brzina dodavanja žice veća (ili niža) nego što je može održati motor za dodavanje, promjena na žicu većeg (ili manjeg)

promjera omogućit će željenu brzinu deponiranja dodatnog materijala. Promjer žice također utječe na oblik i penetraciju zavara, kao što je prikazano na slici 37. [20]



Slika 37 Utjecaj veličine elektrode na zavar [20]

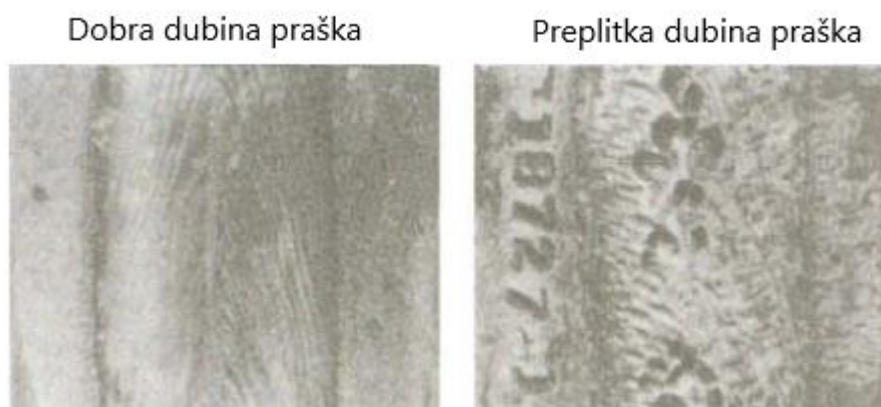
5.4.5. Slobodni kraj žice

Slobodni kraj žice je duljina kojom se žica proteže izvan kontaktnog vrha do radnog komada. Dužina slobodnog kraja žice utječe na dubinu protaljivanja. Na početku zavarivanja, slobodan kraj žice bi trebao biti približno jedanaest puta veći od promjera žice. Kako se postupak razvija, duljina se mijenja kako bi se postigla optimalna brzina taljenja žice s fiksnom jakošću struje. Kontaktne vrhove treba mijenjati u unaprijed određenim intervalima kako bi se osigurali dosljedni uvjeti zavarivanja. Veći slobodni kraj žice dodaje otpor u strujni krug zavarivanja i troši dio energije prethodno dovedene u luk. To jest, dolazi do većeg pada napona u žici između kontaktnog vrha i luka. Niži napon na luku smanjuje prodiranje i utječe na geometrijski oblik zavara, kao što je prikazano na slici 35.[20]

Ostale prednosti slobodnog kraja žice uključuju manji unos topline, uži ZUT, smanjeno prodiranje kod zavarivanja tankih presjeka ili zavarivanja korijena. Međutim, potrebno je paziti na smanjenu penetraciju kako bi se izbjegli uključci troske. Slobodan kraj žice je važna varijabla pri velikim strujama. Zagrijavanje žice zbog otpora između kontaktnog vrha i luka povećava brzinu taljenja žice, ali daje slabiju penetraciju prilikom zavarivanja. [20]

5.4.6. Sloj praška

Širina i dubina sloja granuliranog praška utječe na zavarivanje kao i na izgled i čvrstoću zavara. Ako je granulirani sloj predubok, luk postaje ograničen. Stoga plinovi koji nastaju tijekom zavarivanja ne mogu lako izaći i površina taline postaje iskrivljena, što rezultira zavarenim spojem s grubom površinom. Ako je sloj praška premali, električni luk ne uspijeva potpuno uroniti u prašak, što znači da nema dovoljne zaštite, pa iz tog razloga dolazi do bljeskanja i prskanja. Slika 38 prikazuje učinke pravilne i male dubine praška na izgled površine zavara. [20]



Slika 38 Utjecaj pravilne i premale dubine praška na konačni zavar [20]

5.5. Tehnike zavarivanja EPP postupkom

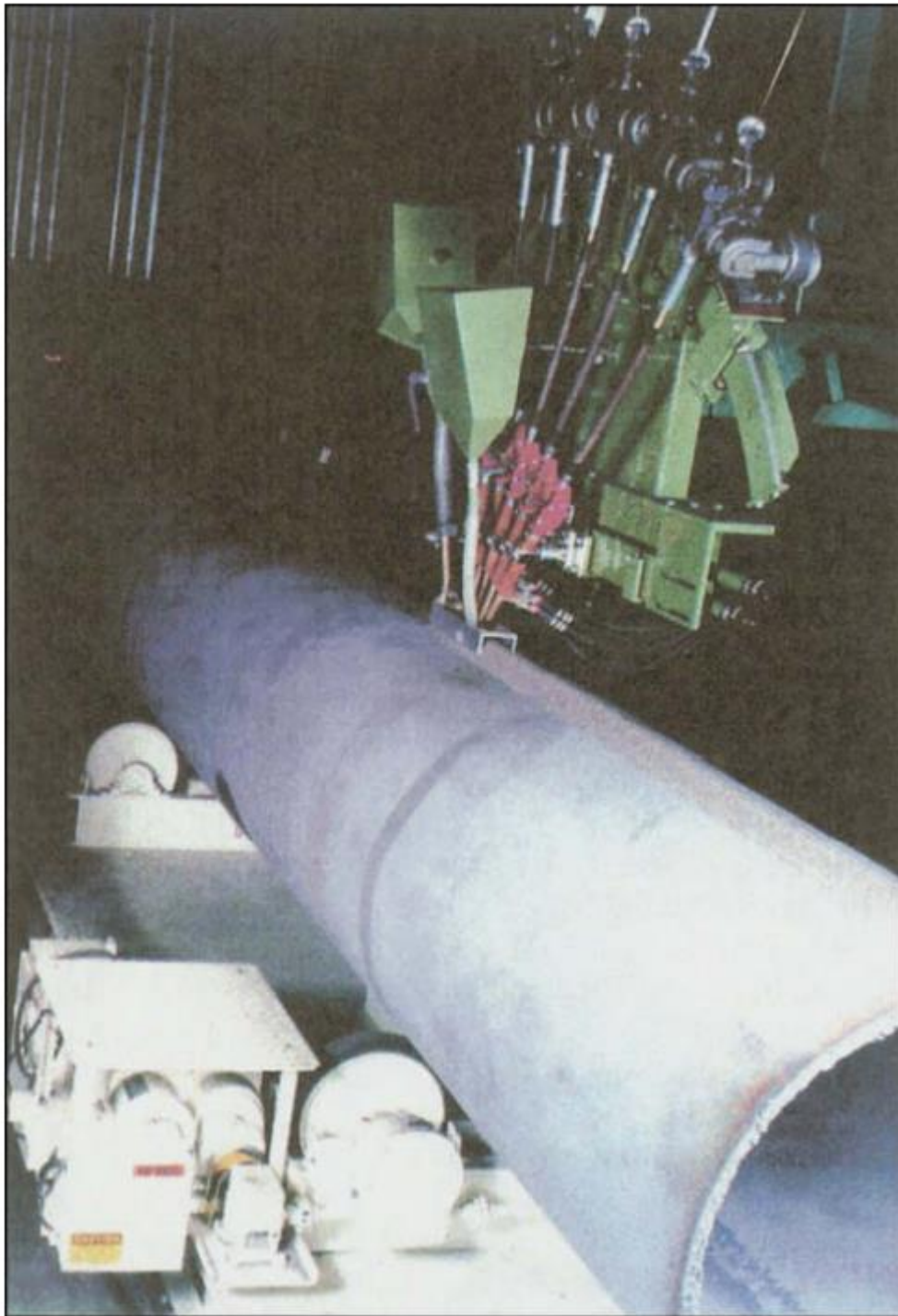
Zavarivanje pod praškom moguće je ostvariti s različitim kombinacijama žica i prašaka pri čemu se može koristiti jedna ili više žica te se može koristiti jedan ili više izvora napajanja koji proizvode izmjeničnu ili istosmjernu struju. Proces je prilagođen širokom rasponu materijala i debljina. Različite konfiguracije s više električnih lukova koriste se za kontrolu profila zavara i povećanje depozita dodatnog materijala u odnosu na postupke koji koriste jedan električni luk za zavarivanje.[20]

Različite vrste izvora energije i prateće opreme dizajnirane su i proizvedene posebno za zavarivanje s više električnih lukova. Ovi relativno sofisticirani strojevi namijenjeni su visokoj proizvodnji na velikim serijama ponavljajućih primjena. [20]

Zavarivanje jednom elektrodom, najčešći je postupak zavarivanja pod praškom. Obično se koristi s polaritetom elektrode na pozitivnom polu, ali se također može koristiti s polaritetom elektrode na negativnom polu kada je potrebno manje prodiranje u osnovni metal.[20]

Konfiguracije s više žica kombiniraju dvije ili više žica za zavarivanje koje ulaze u istu talinu. Žice se napajaju iz jednog ili više izvora energije. Izvori struje mogu biti istosmjerna struja,

izmjenična struja ili oboje. Sustavi zavarivanja s više žica povećavaju depozit. Ovo povećanje u depozitu metala također može rezultirati brzinama zavarivanja do pet puta većim od onih koje se mogu postići jednom žicom. Slika 39 prikazuje automatsko zavarivanje cijevi pod praškom pomoću pet glava za zavarivanje. [20]



Slika 39 Automatsko zavarivanje cijevi s 5 elektroda [20]

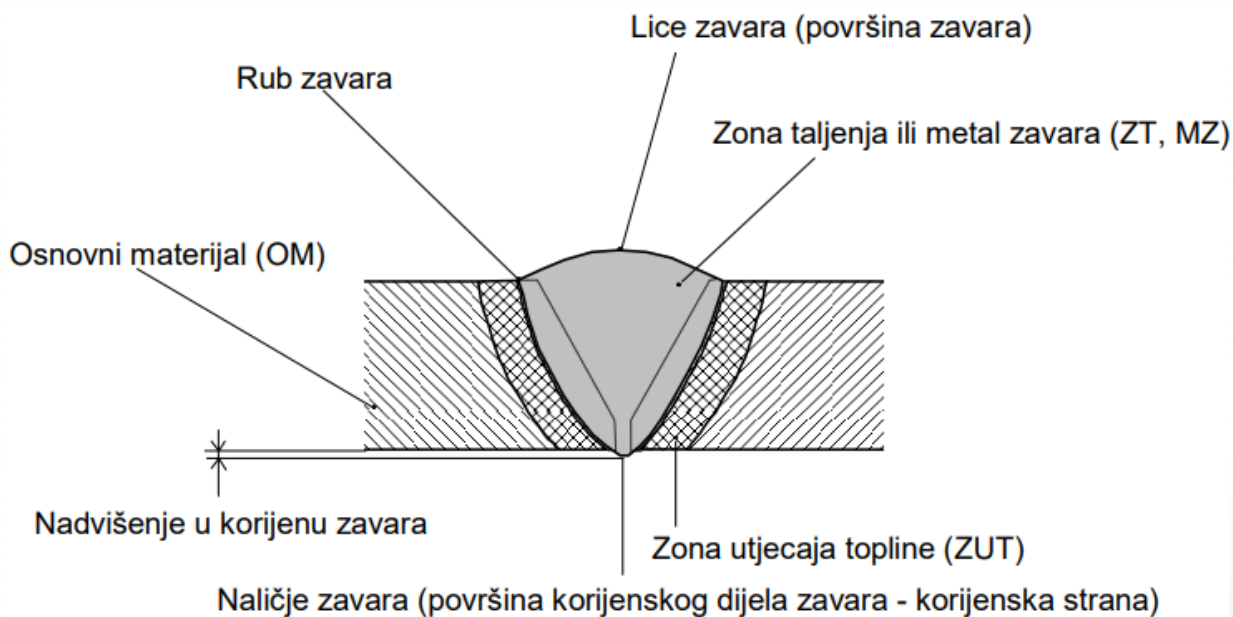
Konfiguracija koja se koristi kod tandem zavarivanja je istosmjerni izvor struje i vodeća žica spojena na pozitivni pol, a druga žica spojena je na izmjenični izvor struje. Ova konfiguracija nudi veće stope depozita dodatnog materijala do 20 kg na sat kada se koriste žice promjera 4,0 mm u odnosu na postupak zavarivanja pod praškom s jednom žicom. Ova se konfiguracija koristi u mehaniziranim ili automatskim operacijama za zavarivanje debelih materijala (25 mm i više) u ravnom položaju za zavarivanje. Treba napomenuti da se ovoj konfiguraciji mogu dodati dodatne prateće žice spojene na izmjeničnu struju, kako bi se poboljšala radna fleksibilnost i povećao depozit dodatnog materijala. [20]

6. Zavareni spoj

Zavareni spoj je zavarivanjem ostvarena veza između dvaju ili više osnovnih materijala.

Kod zavarivanja metodom taljenja spoj se sastoji od osnovnog materijala OM, metala zavara MZ i granice taljenja ZUT (zona utjecaja topline).[28]

Na slici 40 prikazani su dijelovi od kojih se sastoji zavareni spoj.



Slika 40. Dijelovi zavarenog spoja [28]

Zona taljenja (ZT) ili metal zavara (MZ) je onaj dio zavarenog spoja koji je za vrijeme zavarivanja bio rastaljen i u kojem je došlo do pojave kristalizacije i do skrućivanja. Može se sastojati od samo osnovnog materijala ili mješavine osnovnog i dodatnog materijala.[28]


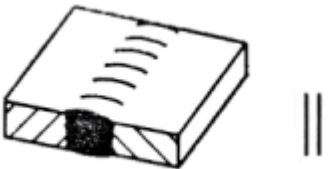


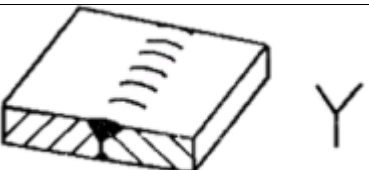
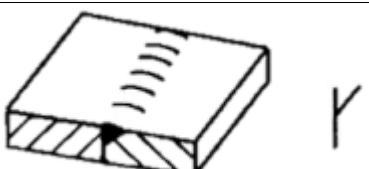

Zona utjecaja topline (ZUT) je dio osnovnog materijala, koji se nalazi neposredno uz rastaljenu zonu, a gdje dolazi do promjene kristalne strukture i mehaničkih svojstava zbog topline unesene zavarivanjem.[28]


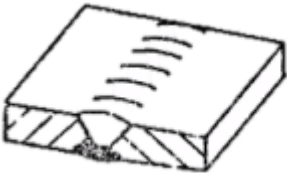
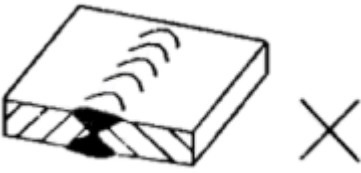
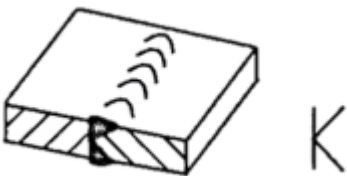
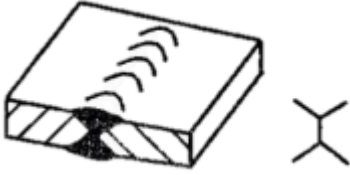
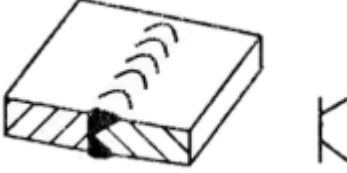

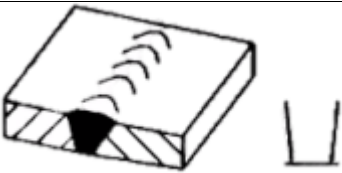
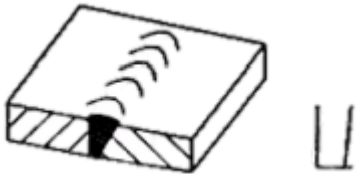
6.1. Vrste zavarenih spojeva

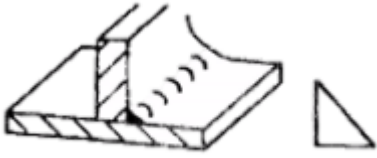
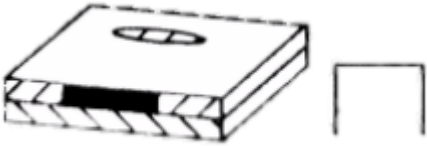
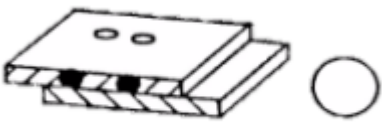



Zavareni se spojevi prema međusobnom položaju zavarenih dijelova dijele na sučeljene, kutne (T - spoj, rubni spoj), naližeće i preklopne spojeve. U praksi se najčešće koriste sučeljeni i kutni spojevi. Rubni dijelovi koji se zavaruju obično se pripremaju za neki oblik žlijeba, odnosno zavara da bi se osigurao kvalitetan zavareni spoj po čitavu presjeku. Rubovi za zavarivanje pripremaju se strojnom obradom, toplinskim rezanjem ili posebnim strojevima za skošavanje rubova. Prema oblicima spojeva mogu biti: I - spoj, V - spoj, X - spoj, U - spoj, dvostruki U - spoj, K - spoj, J -

spoj, dvostruki J - spoj, 1/2V - spoj itd. Označavanje zavarenih spojeva na nacrtima provodi se prema međunarodno priznatim oznakama u skladu s nacionalnim standardima. Svi navedeni spojevi nalaze se u tablici s oznakama i njihovom primjenom (tablica 4).[29]

Tablica 4 Označavanje i primjena zavarenih spojeva prema normi HRN EN ISO 2553:2014
(Zavarivanje i srodni postupci) [29]

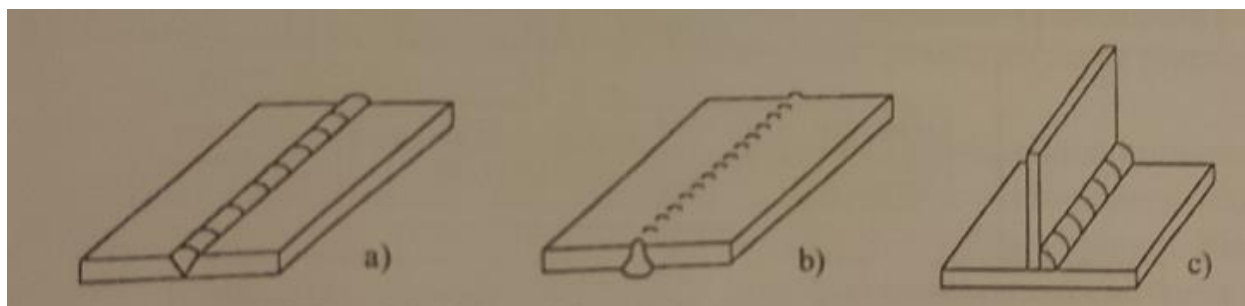
Naziv spoja	Prikaz spoja	Primjena
Rubni spoj		Za vrlo tanke limove. Rub se pretaljuje, obično bez dodatnog materijala.
Sučeljeni I spoj		Za tanke stjenke (2-5 mm). Zavaruje se s jedne ili s obje strane.
Sučeljeni V spoj		Za debljine stjenke 4 - 18 mm. Zavaruje se samo s jedne strane provarom.
Sučeljeni polu V spoj		Kao kod V spoja, na mjestima gdje s druge strane nije moguće ili ne treba skošenje, ili zidni položaj.
Sučeljeni Y spoj		Kao kod V spoja, tamo gdje se ne zahtjeva potpuno provarivanje.
Sučeljeni polu Y spoj		Kao kod polu V spoja, tamo gdje se ne zahtjeva potpuno provarivanje.
Sučeljeni U spoj		Za vrlo debele materijale, debljine od 30 mm. U nekim slučajevima i kod tanjih materijala uz TIG zavarivanje korijena.

Sučeljeni J spoj		Za vrlo debele materijale, tamo gdje drugu stranu nije moguće obraditi.
Sučeljeni V spoj zavareni i s druge strane		Kao kod V spoja, s time da se zavaruje i s korijenske strane.
Sučeljeni X spoj		Za debljine stijenke 15 - 40 mm, a za bakar već od 8 mm. Zavaruje se s obje strane.
Sučeljeni K spoj		Kao kod X spoja, na mjestima gdje s druge strane nije moguće iskositi rub ili u pripremi za zidni položaj. Može biti i kutni spoj.
Sučeljeni dvostruki Y spoj		Kao kod X spoja, tamo gdje se ne zahtjeva potpuno provarivanje ili u pripremi za EPP zavarivanje.
Dvostruki polu Y spoj		Kao kod K spoja, tamo gdje se ne zahtjeva potpuno provarivanje. Može biti i kutni spoj.
Sučeljeni dvostruki U spoj		Za materijale neograničenih debljina, gdje pristup moguć s obje strane
Sučeljeni V spoj većeg razmaka u grlu žlijeba		Za deblje materijale s velikim razmakom u korijenu, obično uz pomoć podloške.
Kutni spoj obostrano zavaren		Za debele materijale, gdje se zavarivanje zahtjeva s obje strane.

Kutni spoj jednostrano zavaren		Za materijale je obično tanji. Zavarivanje samo jedne strane.
Preklopni spoj zavar u prorezu		Gornji materijal je obično tanji. Zavarivanje se izvodi u pripremljenom prorezu.
Preklopni spoj točkasti zavar		Za materijale malih debljina. Zavarivanje se izvodi elektrootporno, točkasto ili točkasto s protaljivanjem.
Preklopni spoj šavni zavar		Za materijale malih debljina. Zavarivanje se izvodi elektrootporno ili protaljivanjem.
Rubni spoj		Za materijale malih debljina. Zavarivanje se izvodi sa ili bez dodatnog materijala.
Navar		Navarena površina. Obično radi poboljšanja svojstava površine osnovnog materijala.

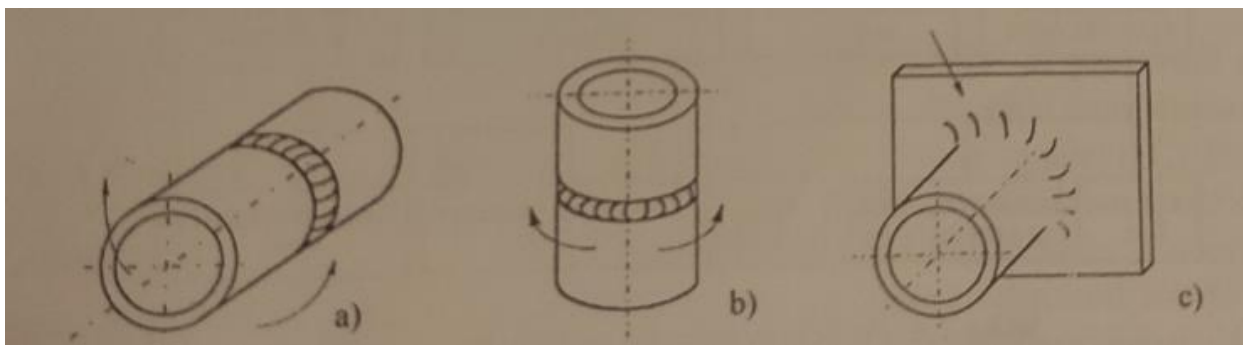
Postoje i druge podjele zavarenih spojeva primjerice prema broju prolaza, kontinuiranosti, funkciji, položaju zavarivanja.

Na slikama 41 i 42 prikazani su položaji zavarivanja.



Slika 41. Položaji i oznake za zavarivanje limova prema normi HRN EN ISO 6947:2012 (Zavarivanje i srodni postupci – Položaj pri zavarivanju) [29]

a) PA - vodoravni b) PE - nadglavni c) PB - vodoravno - okomiti



Slika 42. Položaji i oznake zavarivanja za cijevi prema normi HRN EN ISO 6947:2012 (Zavarivanje i srodni postupci – Položaj pri zavarivanju) [29]

a) cijev fiksna, vodoravna os, zavarivanje prema gore

b) cijev fiksna, okomita os, zidno zavarivanje

c) rotirajuća cijev, vodoravna os, vodoravno - okomito zavarivanje

6.2. Greške u zavarenim spojevima

Vrlo je bitno obratiti pozornost na mogući nastanak pogrešaka u zavarenim spojevima jer svaki tehnološki proces nosi opasnost od nastajanja određenih grešaka. Obzirom na veliki broj utjecajnih čimbenika na kvalitetu zavara, potrebno je obratiti posebnu pozornost pri izradi zavarene konstrukcije, isto tako i kod eksploatacije te konstrukcije. Zavareni spoj mora zadovoljavati određene kriterije kako bi konstrukcija bila u dobrom stanju kroz cijeli eksploatacijski vijek, a to su: trajnost, pouzdanost i sigurnost. Od velike je važnosti poznavanje uvjeta rada i okoline kako bi se odabrao pravilan osnovni materijal i dodatni materijal te postupak i tehnologija zavarivanja. Pogreške u zavarenom spoju metalnih materijala obrađene su, sistematizirane i opisane u normi HRN EN ISO 6520-1:2008 (Zavarivanje i srodni postupci – Razradba geometrijskih nepravilnosti u metalnim materijalima – 1. dio: Zavarivanje taljenjem).[30]

Pogreške u zavarenim spojevima dijele se na:

- Pogreške u zavarenim spojevima koje mogu nastati u izradi,
- Pogreške u zavarenim spojevima koje mogu nastati u eksploataciji.

Pukotina je greška koji može nastati tijekom hlađenja rastaljenog metala ili zbog naprezanja. Pukotine su najopasnije pogreške u zavarenom spoju i u pravilu nisu dopuštene zbog tendencije propagacije kao i vrlo složene mogućnosti predviđanja širenja koja ovisi o svojstvu pukotinske žilavosti. Zbog njihove geometrije (dviije dimenzije izrazito velike u odnosu na treću, oštri rubovi, nepovoljni položaji, velika intenzivnost naprezanja), nosivi presjek zavarenog spoja, osobito ako su položene poprijeko na smjer naprezanja, bitno se smanjuje čvrstoća spoja. [29]

Pukotine se dijele prema mehanizmu nastanka na:[30]

- tople pukotine,
- pukotine nastale pri skrućivanju,
- pukotine nastale zbog rastaljenih faza,
- pukotine nastale zbog otvrdnjavanja,
- pukotine nastale zbog izlučivanja,
- hladne pukotine,
- pukotine nastale zbog krhkosti,
- pukotine nastale skupljanjem materijala,
- pukotine uzrokovane zaostalim vodikom,
- lamelarne pukotine,
- pukotine zbog rubnog zajeda,
- pukotine nastale starenjem.

Tople pukotine kod zavarivanja nastaju na visokim temperaturama tijekom hlađenja taline do čvrstog stanja. Prostiru se po granicama zrna materijala, najčešće po dužini u sredini zavara, ali moguće su i u zoni utjecaja topline. Za razliku od hladnih pukotina gdje je prijelom površina svjetla, kod toplih pukotina prijelomna površina je tamna. Pojava toplih pukotina posebno je povezana s nečistoćama u materijalu, ali i sa legirnim elementima, parametrima zavarivanja, nepovoljnim izborom dodatnog materijala, nepovoljnim oblikom žlijeba.[30]

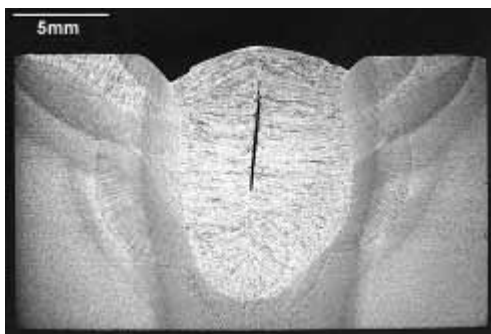
Glavni uzrok nastajanja toplih pukotina u metalu zavara je gubitak sposobnosti metala zavara da podnese naprezanja nastala skupljanjem materijala u posljednjoj fazi skrućivanja pri visokim temperaturama. Skrućivanje zavara započinje od hladnih stranica žlijeba prema sredini, a talina ispunjava razdvojeni dio. U završnoj fazi preostaje tanki film taline između zrna skrućenog materijala. Također u završnoj fazi skrućivanja povećava se onečišćenje taline. [30]

Postoje dva osnovna tipa toplih pukotina: [30]

- kristalizacijske i
- podsolidusne ili likvacijske.

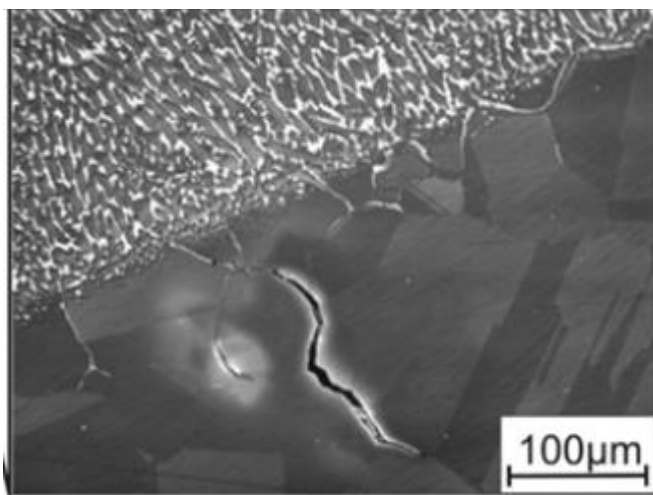
Kristalizacijske tople pukotine nastaju pri kristalizaciji u zoni taljenja. Pri hlađenju rastaljenog materijala u žlijebu zavara dolazi prvo do kristalizacije metala zavara, a eventualno nečistoće ostaju zarobljene između kristala. Djelovanjem naprezanja uslijed skupljanja zavara dolazi do

nastajanja tople pukotine u zoni zavora, u gornjoj zoni zavar, na mjestu gdje su koncentrirane nečistoće. Slika 43 prikazuje solidifikacijsku pukotinu u zavaru. [30]



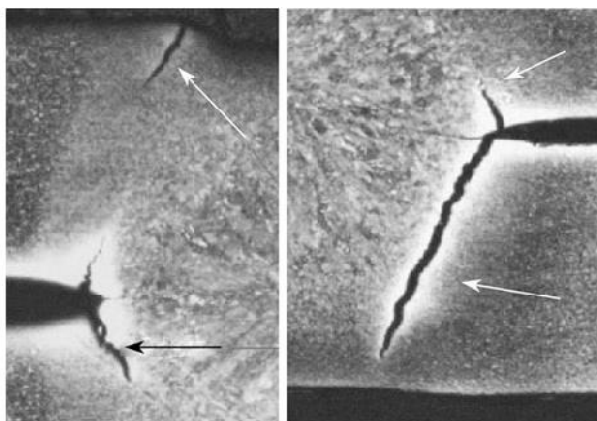
Slika 43. Solidifikacijska pukotina u zavaru [30]

Podsolidusne ili likvacijske pukotine najčešće nastaju u zoni utjecaja topline, poprečno ili okomito na uzdužnu os zavora, ili u smjeru debljine osnovnog materijala. Posljedica su strukturne nehomogenosti – nečistoće koje su raspoređene po granicama zrna osnovnog materijala u zoni utjecaja topline (poput “tankog sloja filma”). Djelovanjem naprezanja pri hlađenju zavarenog spoja, dolazi do nastajanja toplih pukotina podsolidusnog ili likvacijskog tipa, na mjestima gdje su prisutne te nečistoće koje zbog utjecaja topline pri zavarivanju djelomično ili potpuno rastaljene. U zoni utjecaja topline ne dolazi do taljenja osnovnog materijala, ali je došlo do pada čvrstoće po granicama kristalnih zrna zbog omekšavanja ili taljenja “tankih slojeva filma” od nečistoća. Na slici 44 prikazana je likvacijska pukotina u zoni utjecaja topline. [30]



Slika 44. Likvacijska pukotina u ZUT-u [31]

Hladne pukotine (slika 45) nastaju pri hlađenju zavarenog spoja ispod 300 °C, a mogu nastati i nekoliko sati, dana, tjedana nakon zavarivanja, pa su stoga dobile i naziv „zakašnjele“ pukotine. Zbog toga, kontrolu kvalitete metodama bez razaranja (ultrazvuk, penetranti i dr.) potrebno je provoditi barem 48 sati nakon zavarivanja. Hladne pukotine najčešće se javljaju kod čelika povišene i visoke čvrstoće. Hladne pukotine mogu biti vidljive na površini a mogu biti i skrivene. Hladne pukotine mogu nastati u metalu zavara i u osnovnom materijalu odnosno u ZUT-u. Mogu biti orijentirane u smjeru uzdužne osi zavarenog spoja, okomito ili pod nekim kutom u odnosu na uzdužnu os zavarenog spoja. Kod visokočvrstih čelika područje ZUT-a je otpornije na pojavu hladnih pukotina od područja metala zavara. Metal zavara je više legiran i karakterizira ga heterogena mikrostruktura, stoga se ne mogu primijeniti smjernice za izbjegavanje hladnih pukotina za ZUT i na područje metala zavara. Sklonost metala zavara prema nastajanju hladnih pukotina raste s povećanjem čvrstoće čelika, udjela vodika i debljine radnog komada. [30]



Slika 45. Hladne pukotine [30]

Glavni uzročnici nastajanja: [30]

- prisutnost vodika u zavaru,
- osjetljivost mikrostrukture metala na djelovanje vodika,
- metal sklon otvrdnjavanju,
- djelovanje naprezanja nastalih skupljanjem zavara,
- nepovoljan položaj uključaka u zavaru.

Hladne pukotine mogu biti vidljive na površini i nevidljive (u zavarenom spoju), veličine od mikropukotine do makropukotine te mogu biti uzdužne i poprečne.

Pukotine zbog ponovnog zagrijavanja se najčešće javljaju pri naknadnoj toplinskoj obradi. Ovdje postoji velika vjerojatnost ne otkrivanja pukotina prije eksploatacije. Sklonost nastajanju

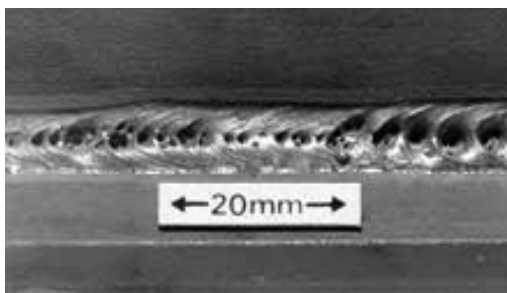
pukotine smanjuje se manjim sadržajem Cr, Mo, V; smanjenjem razine zaostalih naprezanja; predgrijavanjem prije zavarivanja. [30]

Poroznost u metalu zavara (slika 46) je mjesto ispunjeno stlačenim plinom. Poroznosti mogu biti veličina od okom nevidljivih do veličina od nekoliko milimetara. Tijekom hlađenja taline plinovi naglo izranjaju iz metala u obliku mjehurića. Ako je brzina izlučivanja plina manja od brzine skrućivanja metala plinovi ostaju zarobljeni u zavaru. Plinski mjehurići ponekad ostavljaju vidljive šupljine na površini zavara. Veličina i oblici šupljina ovise o količini upijenog, odnosno izlučenog plina iz taline metala zavara i brzine skrućivanja. [30]

Uzroci nastanka poroznosti: [30]

- nečistoće i vlaga na mjestu zavarivanja i u dodatnom materijalu,
- slaba zaštita procesa zavarivanja,
- neispravni parametri i tehnika rada.

Otvorene površinske pore, posebno kod kutnih zavara uzrokuju uvlačenje vlage i koroziju, a mogu narušiti i dinamičku čvrstoću.

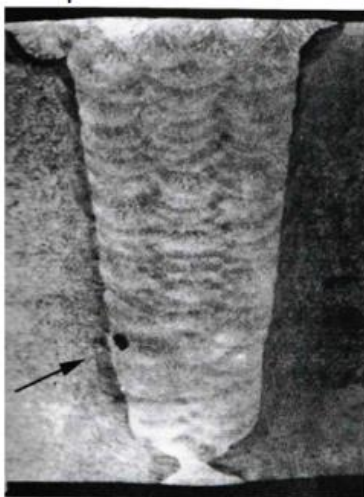


Slika 46. Poroznost [32]

Čvrsti uključci (slika 47) su sva strana tijela u metalu zavara. Uključci mogu biti: nemetali (troska, prašak) i metali (volfram, bakar ...) Uključci troske nastaju zbog nedovoljnog čišćenja među slojevima zavara (posebno često kod kutnih zavara). Troska se često otežano čisti i u dubokim žlijebovima i oštrim uglovima ili kada je prethodni zavar previše ispupčen. Uključak troske može nastati i podvlačenjem rastaljene troske pod talinu metala pri premaloj brzini zavarivanja ili nepravilnoj tehnici rada. Talina troske tada "bježi" ispred električnog luka. Općenito sve vrste uključaka smanjuju čvrstoću zavarenog spoja zbog nehomogenosti i smanjenja presjeka zavarenog spoja. Na mjestima uključaka povećane su koncentracije naprezanja. Uključci oštih rubova djeluju kao inicijatori pukotina. [30]

Izbjegavanje uključaka: [30]

- detaljno uklanjanje troske i prašine prilikom višeslojnog zavarivanja,
- ispravan otvor žlijeba,
- ispravni parametri i pravilna tehnika rada kod ručnog zavarivanja,
- brušenje svih nastavaka zavara.



Slika 47. Čvrsti uključak u zavarenom spoju [30]

Naljepljivanje (slika 48) je pogreška nepostojanja čvrste strukturne veze u zavarenom spoju ili navaru. Nastaje kod zavarivanja taljenjem tako da se talina ohladi na hladnim nepretaljenim površinama osnovnog materijala. Nepotpuni provar je nedovoljno protaljivanje po cijelom presjeku zavarenog spoja, odnosno neprotaljivanje korijena zavara. Po geometriji te su pogreške najsličnije pukotinama. [30]

Najčešći uzroci naljepljivanja:

1. Nepravilna priprema spoja - preuzak žlijeb ne omogućava protaljivanje u dnu, pogotovo kod slabe struje zavarivanja ili prevelikog promjera elektrode,
2. Neispravni parametri zavarivanja,
3. Nepravilna tehnika rada.

Neprovar korijena pojavljuje se kao:

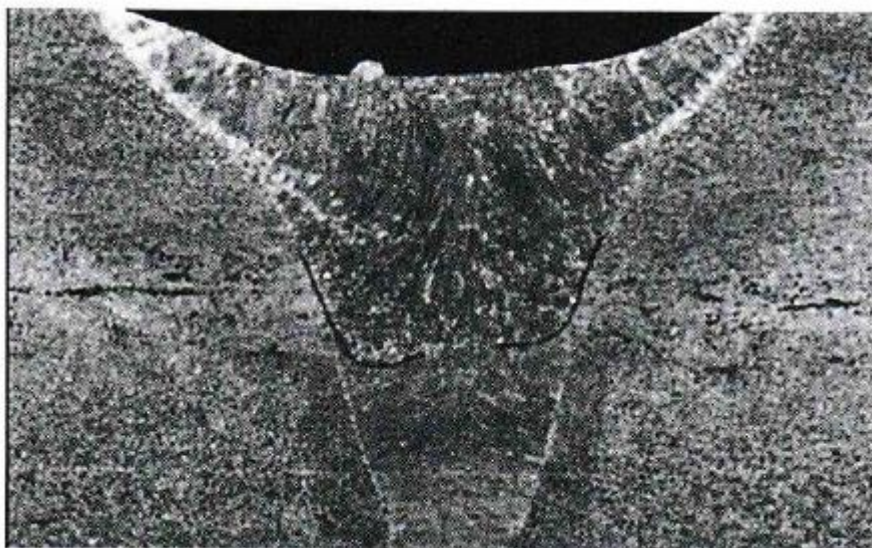
- unutarnja pogreška u zavaru (kod obostranog zavarivanja),
- vanjska pogreška (kod zavarivanja samo sa jedne strane).

Uzroci nedovoljnog provara:

- nepravilna priprema spoja (pre mali razmak u korijenu, preveliko smaknuće limova, pre mali kut žlijeba, prevelika visina grla žlijeba),
- neispravni parametri zavarivanja,
- nepravilna tehnika rada (loše njihanje).

Provar korijena zavara najsloženiji je dio tehnike rada zavarivača kod ručnog zavarivanja. Pogreške naljeppljivanja u zavarenim spojevima u pravilu nisu dopuštene.

Takve pogreške obično su polazna točka loma, nastanka pukotine u eksploatacijskim uvjetima konstrukcije. Naljeppljivanje se može otkriti metodama nerazornih ispitivanja: ultrazvučnom tehnikom i radiografskom tehnikom. [30]



Slika 48. Pogreška naljeppljivanja [30]

Svako odstupanje od propisanog oblika zavara smatra se pogreškom oblika zavara. Njihov je značaj ne samo u lošijoj estetici zavara već i u smanjenoj nosivosti zavarenog spoja, naročito kod dinamički opterećenih konstrukcija. Sve ove pogreške vidljive su već pri vizualnoj kontroli zavarenih spojeva. Antikorozivna zaštita koja se provodi nakon zavarivanja također postavlja zahtjeve na kvalitetu i izgled zavara kako bi se nanošenje boja, premaza ili pocinčavanje uspješno provelo. Zajedi uz zavar djeluju kao inicijacija pukotine iz koje se može javiti potpuni prijelom spoja. Posebno su opasni kod dinamički opterećenih konstrukcija. Kod statički manje opterećenih konstrukcija u određenim slučajevima su i dopustivi. Zajede je potrebno izbrusiti i zaobliti, a ako su i veći potrebno ih je ispuniti navarivanjem. [30]

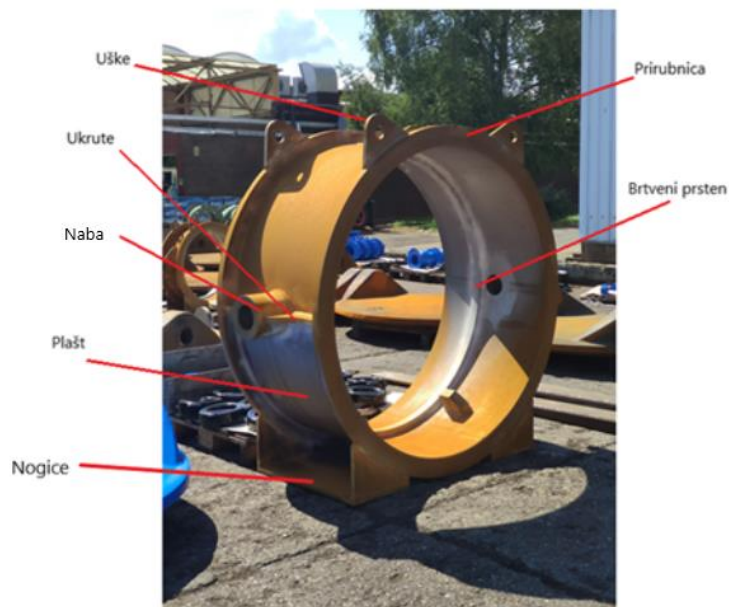
7. Eksperimentalni dio

U eksperimentalnom dijelu će se objasniti tehnologija zavarivanja kućišta leptirastog zatvarača s dvostrukim ekscentrom nazivnog promjera 1500 mm koje je izrađeno od S355J2 + N čelika. Kućište se izrađuje iz dijelova koji su prethodno izrezani postupkom plazma rezanja, savijeni te strojno obrađeni kako bi bili spremni za zavarivanje. Dijelovi kućišta se zavaruju s MAG i EPP postupkom. MAG zavarivanje se koristi za spajanje plašta kućišta, korijenski prolaz spajanja plašta kućišta s priрубnicama i za spajanje ukruta, uški, glavčina i brtvenog prstena na kućište. Nakon zavarivanja svako zavareno kućište se ispituje nerazornom metodom ispitivanja penetrantima kako bi se ispitala površina zavara te kako bi se utvrdilo da nema grešaka u zavarenim spojevima. Kupac prema želji može zatražiti snimanje i ispitivanje zavara rendgenskom ili ultrazvučnom metodom.

Kućište leptirastog zatvarača se sastoji od:

- plašta,
- priрубnica,
- ukruta,
- uški,
- naba,
- nogica i
- brtvenog prstena.

Na slici 49 je prikazano zavareno kućište leptirastog zatvarača DN 1500.



Slika 49 Kućište leptirastog zatvarača

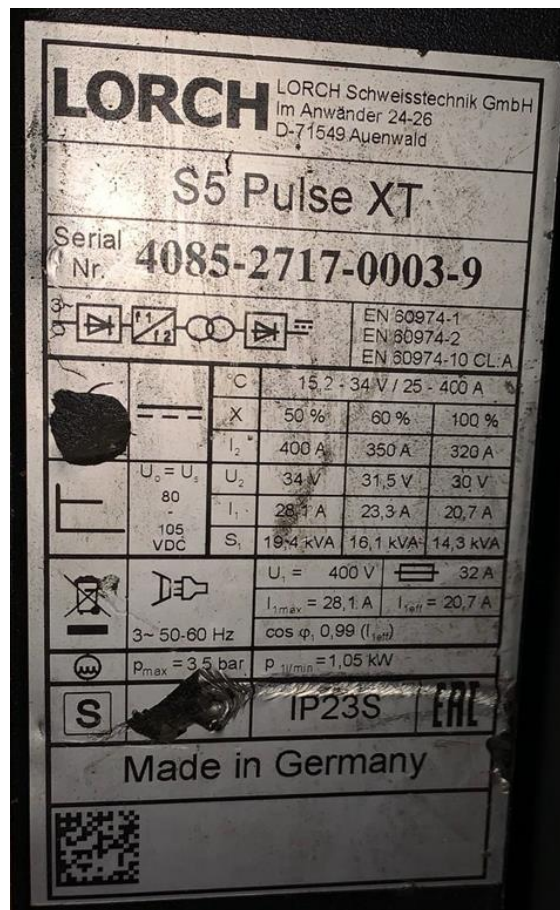
U radu se koristila oprema za MAG zavarivanje od proizvođača LORCH. Sve karakteristike tog uređaja zadovoljavaju parametre kojima je propisano zavarivanje kućišta u daljnjim poglavljima.

KJELLBERG je proizvođač uređaja za EPP zavarivanje čije karakteristike također zadovoljavaju parametre koji su potrebni za zavarivanje kućišta. Uređaj za EPP zavarivanje se sastoji od izvora struje, ruke koja ima na sebi montiran pištolj kroz koji izlazi elektroda i prah te pozicionera. Pozicioner služi kako bi se obradak, u ovom slučaju kućište leptirastog zatvarača, konstantnom brzinom gibalo kružno za potrebe zavarivanja prirubnica.

Slika 50 prikazuje uređaj za MAG zavarivanje marke LORCH, a slike 52, 53, 54 prikazuju uređaj za EPP zavarivanje. Slike 51, 55 i 56 prikazuju pločicu sa specifikacijama uređaja koji su korišteni za zavarivanje kućišta leptirastog zatvarača.



Slika 50 Uređaj za MAG zavarivanje



Slika 51 Specifikacija uređaja za MAG zavarivanje



Slika 52 Izvor struje za EPP zavarivanje



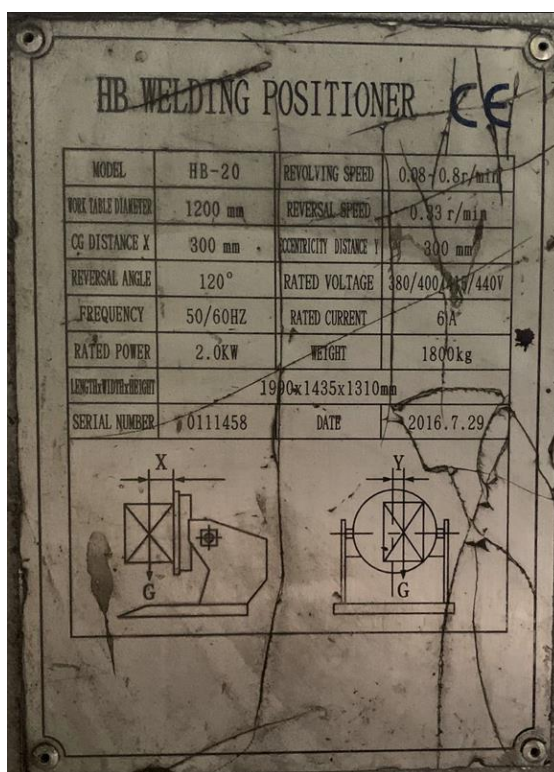
Slika 53 Pozicioner



Slika 54 Ruka sa pištoljem za EPP zavarivanje



Slika 55 Specifikacije uređaja za EPP zavarivanje



Slika 56 Specifikacije pozicionera

7.1. Spoj plašta

Materijal korišten za izradu plašta je čelik S355J2 + N debljine lima 20 mm (kemijski sastav korištenog lima prikazan je u tablici 5). Lim se reže na konačne dimenzije (4712 x 200 mm) pomoću plazma rezača te se nakon rezanja savija na stroju za savijanje. Nakon savijanja potrebno je obraditi rubove odnosno napraviti pripremu za zavarivanje. Na plaštu se radi priprema za X spoj. Priprema se radila ručno, plinskim rezanjem pod kutom od 30° i naknadnim brušenjem kako bi se uklonio srh koji nastaje prilikom rezanja. X priprema spoja omogućuje potpuni provar plašta kako bi se osigurala čvrstoća konstrukcije.

Tablica 5 Kemijski sastav i mehanička svojstva S355J2 + N čelika debljine 20 mm [Prilog 1]

Kemijski sastav											
C [%]	Si [%]	Mn [%]	P [%]	S [%]	Cu [%]	Cr [%]	Ni [%]	Mo [%]	Al [%]	V [%]	Nb [%]
0,170	0,220	1,390	0,016	0,007	0,030	0,010	0,010	0,000	0,037	0,000	0,000
Mehanička svojstva											
R_e						360 MPa					
R_m						510 MPa					
A_5						22,3 %					
KV (-20 °C)						86 J					

Kako bi se provjerilo ima li odabrani materijal za izradu plašta kućišta potrebnu zavarljivost potrebno je izračunati ekvivalent ugljika te iz tog podatka odrediti koliko je odabrani čelik zavarljiv. Za izračun ekvivalenta ugljika korist će se jednadžba prema preporuci Međunarodnog instituta za zavarivanje.

Kriteriji za određivanje zavarljivosti su:

- $C_e < 0,25$ - dobra zavarljivost
- $0,25 < C_e \leq 0,35$ - zadovoljavajuća zavarljivost
- $0,35 < C_e \leq 0,45$ - ograničena zavarljivost
- $C_e > 0,45$ - vrlo loša zavarljivost

$$C_e = \%C + \frac{\%Mn}{6} + \frac{\%Cr + \%Mo + \%V}{5} + \frac{\%Ni + \%Cu}{15} \leq 0,45$$
$$C_e = 0,170 + \frac{1,390}{6} + \frac{0,030 + 0 + 0}{5} + \frac{0,010 + 0,030}{15} = 0,41$$

Dobivena je vrijednost ekvivalenta ugljika 0,41 što je manje od granice koju preporuča međunarodni institut za zavarivanje, što znači da je čelik dovoljno dobro zavarljiv. Čelike čija je vrijednost ekvivalenta ugljika veća od 0,4, potrebno je predgrijati kako bi se smanjila vjerojatnost

pojave hladnih pukotina nakon zavarivanja. Temperatura predgrijavanja određuje se prema Sefferianovoj metodi gdje se prvo izračunava ekvivalent ugljika kemijskog sastava, (prema jednadžbi 4), kako bi se uz pomoć toga dobio integralni ekvivalent ugljika koji ovisi i o debljini čelika (prema jednadžbi 5). Nakon što se izračuna integralni ekvivalent ugljika može se izračunati temperatura predgrijavanja prema jednadžbi 6.

$$C_e = C + \frac{Mn + Cr}{9} + \frac{Ni}{18} + \frac{Mo}{13} \quad (4)$$

$$C_i = C_e \cdot (1 + 0,005 \cdot \delta) \quad (5)$$

Gdje je δ debljina materijala u mm.

$$T_p = 350 \cdot \sqrt{(C_i - 0,25)} \quad (6)$$

Iz navedenih formula dobiveni su sljedeći rezultati potrebni za određivanje temperature predgrijavanja.

$$C_e = C + \frac{Mn + Cr}{9} + \frac{Ni}{18} + \frac{Mo}{13} = 0,17 + \frac{1,390 + 0,030}{9} + \frac{0,010}{18} + \frac{0}{13} = 0,33$$

$$C_i = C_e \cdot (1 + 0,005 \cdot \delta) = 0,33 \cdot (1 + 0,005 \cdot 20) = 0,363$$

$$T_p = 350 \cdot \sqrt{(C_i - 0,25)} = 350 \cdot \sqrt{0,363 - 0,25} = 117,65 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Sefferainovom metodom dobivena je temperatura predgrijavanja od 117,65 °C, ali zbog jednostavnosti procesa temperatura se zaokružuje na prvi viši cijeli broj pa je odabrana temperatura predgrijavanja 118 °C.

Plast se zavaruje MAG postupkom koji prema normi HRN EN ISO 4063:2012 (Zavarivanje i srodni postupci - Nomenklatura postupaka i referentni brojevi) nosi oznaku 135. Prilikom zavarivanja korištena je žica promjera 1,2 mm. Zavareni spoj se izrađuje u 6 prolaza. Parametri za zavarivanje svih 6 prolaza prikazani su u tablici 7. Parametri zavarivanja koji su korišteni prilikom zavarivanja plašta određeni su empirijskom metodom i propisani su u specifikacijama postupka zavarivanja (Prilog 2). Žica koja je korištena za zavarivanje je EZ-SG3 proizvođača Elektroda Zagreb koja je klasificirana prema standardu HRN EN ISO 14341:2020 (Dodatni i potrošni materijali za zavarivanje - Žičane elektrode i depoziti za elektrolučno zavarivanje metalnom taljivom elektrodom u zaštiti plina za nelegirane i sitnozrnate čelike – Razredba), a plin koji je korišten je 93% Argona + 6% ugljičnog dioksida i 1% kisika proizvođača Messer koji je klasificiran prema standardu HRN EN ISO14175:2015 (Dodatni i potrošni materijali za zavarivanje - Plinovi i plinske mješavine za zavarivanje taljenjem i srodne postupke). Tablica 6 prikazuje kemijski sastav žice za zavarivanje. Prema normi HRN EN 1011-1 : 2009 (Zavarivanje - Preporuke za zavarivanje metalnih materijala - 1. dio: Opće smjernice za elektrolučno

zavarivanje) izračunava se unos topline prilikom zavarivanja svakog prolaza slijedećom formulom:

$$Q = k \cdot \frac{U \cdot I}{v} \cdot \frac{60}{10^{-3}} \quad (4)$$

Gdje su: Q – unos topline [kJ/mm]

k – stupanj iskorištenja

U – napon [V]

I – amper [A]

v – brzina zavarivanja [mm/min]

Prema normi HRN EN 1011-1 stupanj iskorištenja (k) za MAG postupak iznosi 0,8, a za EPP postupak iznosi 1. Kako bi se izračunao potreban protok zaštitnog plina prilikom zavarivanja korišteno je praktično pravilo koje glasi da je protok zaštitnog plina 10 puta veći od promjera žice koja se koristi prilikom zavarivanja. U ovom slučaju kod MAG zavarivanja žicom 1,2 mm protok zaštitnog plina biti će 12 l/min.

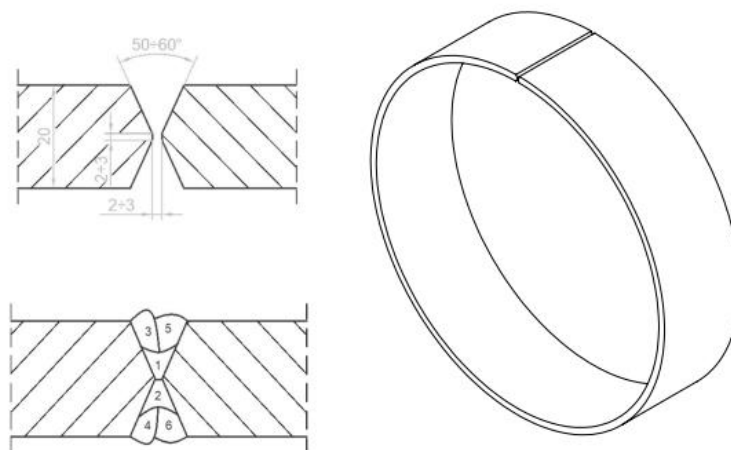
Na slici 57 može se vidjeti nacrt za pripremu X zavara te kako izgleda zavar prema prolazima.

Tablica 6 Kemijski sastav žice EZ-SG3 i mehanička svojstva čistog metala zavara [33]

Kemijski sastav			
C	Mn	Si	Cu
0,12 %	1,8 %	1,1 %	0,3 %
Mehanička svojstva čistog zavara			
R_e		> 460 MPa	
R_m		530 – 680 MPa	
A_5		> 22 %	
KV (-40 °C)		≥ 47 J	

Tablica 7 Parametri zavarivanja plašta [Prilog 2]

Br. Prolaza	Postupak	Promjer žice	Polaritet	El. Struja	Jakost struje (A)	Napon (V)	Brzina zavarivanja (mm/min)	Brzina žice (m/min)	Unos topline (kJ/mm)
1	135	1,2	+	DC	180	20	180	5	0,96
2	135	1,2	+	DC	270	28	280	9	1,27
3-6	135	1,2	+	DC	280	29	230	9	1,69



Slika 57 Vrsta spoja i mjesta prolaza zavar na spoju plašta [Prilog 2]

7.2. Spoj plašta i prirubnica

Prirubnica je, kao i plašt, izrađena iz čelika S355J2 + N. Oblik prirubnice dobiva se savijanjem plosnatog čelika debljine 50 mm te zavarivanjem krajeva kako bi se dobio okrugli oblik. Ovaj proces se radi kod kooperanta zbog procesa savijanja te iz tog razloga izrada prirubnica nije detaljnije razrađena u radu. Priprema prirubnice se sastoji od tokarenja žljebova s unutarnje strane prirubnice kako bi se postigla K priprema spoja prilikom spajanja s plaštom.

Tablica 8 Kemijski sastav i mehanička svojstva S355J2 + N čelika debljine 50 mm [Prilog 3]

Kemijski sastav												
C [%]	Si [%]	Mn [%]	P [%]	S [%]	Cu [%]	Cr [%]	Ni [%]	Mo [%]	Al [%]	V [%]	Nb [%]	
0,150	0,179	1,450	0,019	0,005	0,009	0,050	0,040	0,020	0,030	0,001	0,030	
Mehanička svojstva												
R_e						371 MPa						
R_m						556 MPa						
A_5						28,4 %						
KV (-20 °C)						89 J						

Iako se radi o istom čeliku potrebno je ponovo izračunati ekvivalent ugljika jer se iz atesta proizvođača može vidjeti kako ima razlike u kemijskim sastavima između lima debljine 20 mm koji je korišten za izradu plašta i plosnatog čelika debljine 50 mm koji je korišten za izradu prirubnica.

$$C_e = \%C + \frac{\%Mn}{6} + \frac{\%Cr + \%Mo + \%V}{5} + \frac{\%Ni + \%Cu}{15} \leq 0,45$$

$$C_e = 0,150 + \frac{1,450}{6} + \frac{0,050 + 0,020 + 0,001}{5} + \frac{0,040 + 0,009}{15} = 0,41$$

Dobivena je vrijednost ekvivalenta ugljika 0,41 što je manje od granice koju preporuča međunarodni institut za zavarivanje, što znači da je čelik dovoljno dobro zavarljiv. Čelike čija je vrijednost ekvivalenta ugljika veća od 0,4, potrebno je predgrijati kako bi se smanjila vjerojatnost pojave hladnih pukotina nakon zavarivanja. Temperatura predgrijavanja određena je Sefferainovom metodom isto kao i temperatura predgrijavanja kod zavarivanja plašta.

$$C_e = C + \frac{Mn + Cr}{9} + \frac{Ni}{18} + \frac{Mo}{13} = 0,15 + \frac{1,450 + 0,050}{9} + \frac{0,040}{18} + \frac{0,020}{13} = 0,32$$

$$C_i = C_e \cdot (1 + 0,005 \cdot \delta) = 0,32 \cdot (1 + 0,005 \cdot 50) = 0,4$$

$$T_p = 350 \cdot \sqrt{(C_i - 0,25)} = 350 \cdot \sqrt{0,4 - 0,25} = 135,55 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Sefferainovom metodom dobivena je temperatura predgrijavanja od 135,55 °C, ali zbog jednostavnosti procesa temperatura se zaokružuje na prvi viši cijeli broj pa je odabrana temperatura predgrijavanja 136 °C.

Korijenski zavar s obje strane K spoja izvodi se MAG postupkom jer taj dio zahtijeva potpuni provar i nije fiksno pričvršćen za plašt pa nije moguće izvesti EPP postupak zavarivanja. Nakon korijenskog zavara, ostali zavari izvode se EPP postupkom. Prilikom zavarivanja MAG postupkom korištena je žica promjera 1,2 mm. EPP postupak prema normi HRN EN ISO 4063:2012 nosi oznaku 121. Nakon što zavarivač obostrano zavari obje prirubnice MAG postupkom, diže kućište i postavlja ga na pozicioner kako bi dovršio zavareni spoj EPP postupkom. Parametri postupka za svaki pojedini prolaz prikazani su u tablici 11. Parametri zavarivanja koji su korišteni prilikom zavarivanja plašta i prirubnica određeni su empirijskom metodom i propisani su u specifikacijama postupka zavarivanja (Prilog 4). Za MAG postupak korištena je žica VAC 60 proizvođača JESENICE i korištena je mješavina plinova 82 % Argona i 18 % ugljičnog dioksida, a protok zaštitnog plina prilikom zavarivanja je 12 l/min. Za EPP postupak zavarivanja korištena je čelična žica EPP2 promjera 4 mm proizvođača JESENICE te prašak AR 18.5 istog proizvođača. Žica VAC 60 je pobakrena žica koja se koristi za zavarivanje nelegiranih i legiranih čelika do čvrstoće 540 MPa. Prašak AR 18.5 je rutilni prašak koji se koristi u EPP postupku zavarivanja čelika do granice razvlačenja od 355 MPa. Veličina zrna korištenog praška je u rasponu od 0,2 do 1,6 mm, a specifična težina praška je 1,6 kg/dm³. Ovaj prašak može se koristiti kada se zavaruje istosmjernom ili izmjeničnom strujom do 1000 A. Prije upotrebe potrebno je sušiti prašak na 350 °C u trajanju od 2 sata.

Tablica 9 Kemijski sastav praška AR 18.5 [34]

Kemijski sastav praška (%)		
SiO ₂ + TiO ₂	Al ₂ O ₃ + MnO	CaF ₂
30	55	5

Tablica 10 Kemijski sastav žice VAC 60 i mehanička svojstva čistog metala zavara [35]

Kemijski sastav				
C	Si	Mn	P	S
0,08 %	0,9 %	1,5 %	< 0,025 %	< 0,025 %
Mehanička svojstva čistog metala zavara				
R_e	> 410 MPa			
R_m	510 – 590 MPa			
A_s	> 22 %			
KV (-40 °C)	≥ 47 J			

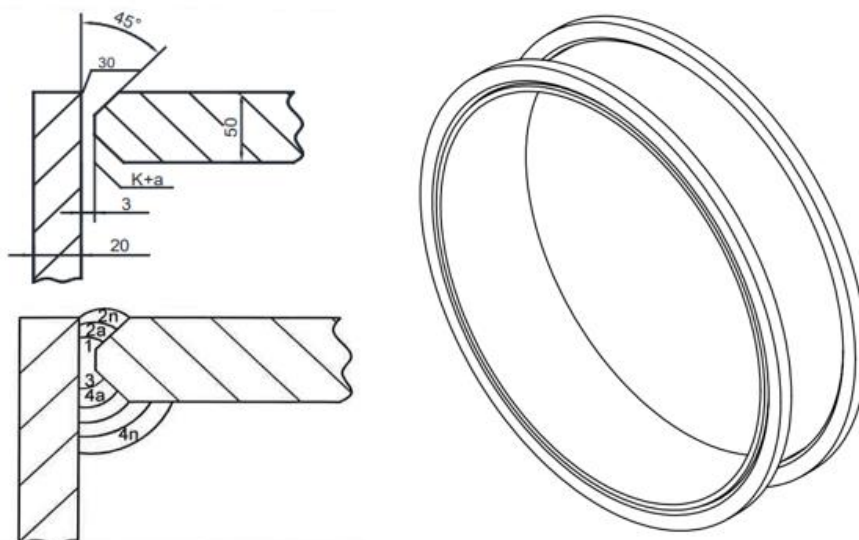
Tablica 11 Kemijski sastav žice EPP 2 i mehanička svojstva čistog metala zavara [35]

Kemijski sastav		
C	Si	Mn
0,06 %	0,25 %	1,10 %
Mehanička svojstva čistog metala zavara		
R_e	> 360 MPa	
R_m	480 – 580 MPa	
A_s	> 24 %	
KV (-20 °C)	> 90 J	

Tablica 12 Parametri zavarivanja za spoj plašta i prirubnica [Prilog 4]

Br. Prolaza	Postupak	Promjer žice	Polaritet	El. Struja	Jakost struje (A)	Napon (V)	Brzina zavarivanja (mm/min)	Unos topline (kJ/mm)
1	135	1,2	+	DC	220	28	300	0,99
2a-2n	121	4	+	DC	630	31	500	2,34
3	135	1,2	+	DC	220	28	300	0,99
4a-4n	121	4	+	DC	630	31	500	2,34

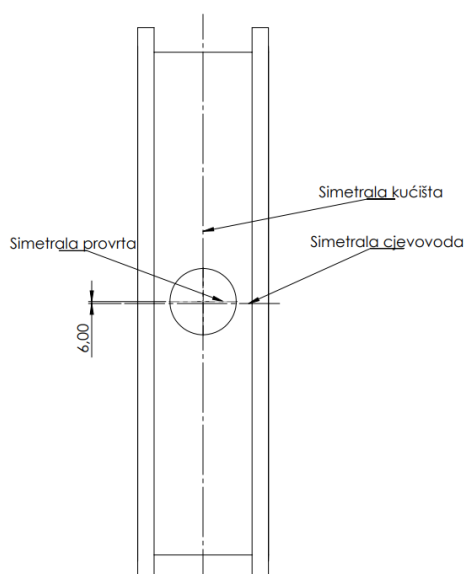
Na slici 61 može se vidjeti priprema zavara i mjesto pojedinog prolaza.



Slika 58 Vrsta spoja i mjesta prolaza zavar na spoju između plašta i prirubnica [Prilog 4]

7.3. Spoj kućišta i nabi

Nabe su debelostijene cijevi od čelika S355J2 + N vanjskog promjera 203 mm i debljine stjenke 50 mm. Kako bi se nabe spojile s kućištom, potrebno je na kućištu napraviti provrte koji se nalaze na horizontalnoj simetrali kućišta i odmaknuti su od simetrale cjevovoda za 6 mm kako bi se postigao ekscentar (slika 59). Nakon što se naprave provrti iste je potrebno razvrtjeti kako bi se postigla kosina pod 30° . Na cijevima se tokare kosine pod 30° duljine 20 mm kako bi se dobila priprema za V spoj.



Slika 59 Pozicija provrta na kućištu

Tablica 13 Kemijski sastav i mehanička svojstva debelo stijene cijevi od S355J2 + N čelika

[Prilog 5]

Kemijski sastav											
C [%]	Si [%]	Mn [%]	P [%]	S [%]	Cu [%]	Cr [%]	Ni [%]	Mo [%]	Al [%]	V [%]	Nb [%]
0,170	0,410	1,420	0,013	0,004	0,07	0,150	0,040	0,040	0,030	0,079	0,002
Mehanička svojstva											
R_e						353 MPa					
R_m						560 MPa					
A_5						32,5 %					
KV (-20 °C)						85 J					

Kemijski sastav čelika koji je korišten za izradu nabe prikazan je u tablici 12. Kako ovaj čelik ima različiti sastav od prijašnjih čelika koji su bili korišteni za izradu kućišta potrebno je provjeriti zavarljivost debelostijene cijevi kako bi se utvrdio stupanj zavarljivosti tog čelika.

$$C_e = \%C + \frac{\%Mn}{6} + \frac{\%Cr + \%Mo + \%V}{5} + \frac{\%Ni + \%Cu}{15} \leq 0,45$$

$$C_e = 0,170 + \frac{1,420}{6} + \frac{0,150 + 0,040 + 0,079}{5} + \frac{0,040 + 0,070}{15} = 0,47$$

Dobivena je vrijednost ekvivalenta ugljika 0,47 što je više od granice koju preporuča međunarodni institut za zavarivanje, što znači da je čelik loše zavarljiv. Čelike čija je vrijednost ekvivalenta ugljika veća od 0,4, potrebno je predgrijati kako bi se smanjila vjerojatnost pojave hladnih pukotina nakon zavarivanja. Temperatura predgrijavanja određena je Sefferainovom metodom isto kao i temperatura predgrijavanja kod zavarivanja plašta.

$$C_e = C + \frac{Mn + Cr}{9} + \frac{Ni}{18} + \frac{Mo}{13} = 0,17 + \frac{1,420 + 0,150}{9} + \frac{0,040}{18} + \frac{0,040}{13} = 0,35$$

$$C_i = C_e \cdot (1 + 0,005 \cdot \delta) = 0,35 \cdot (1 + 0,005 \cdot 50) = 0,44$$

$$T_p = 350 \cdot \sqrt{(C_i - 0,25)} = 350 \cdot \sqrt{0,44 - 0,25} = 152,56 \text{ °C}$$

Sefferainovom metodom dobivena je temperatura predgrijavanja od 152,56 °C, ali zbog jednostavnosti procesa temperatura se zaokružuje na prvi viši cijeli broj pa je odabrana temperatura predgrijavanja 153 °C.

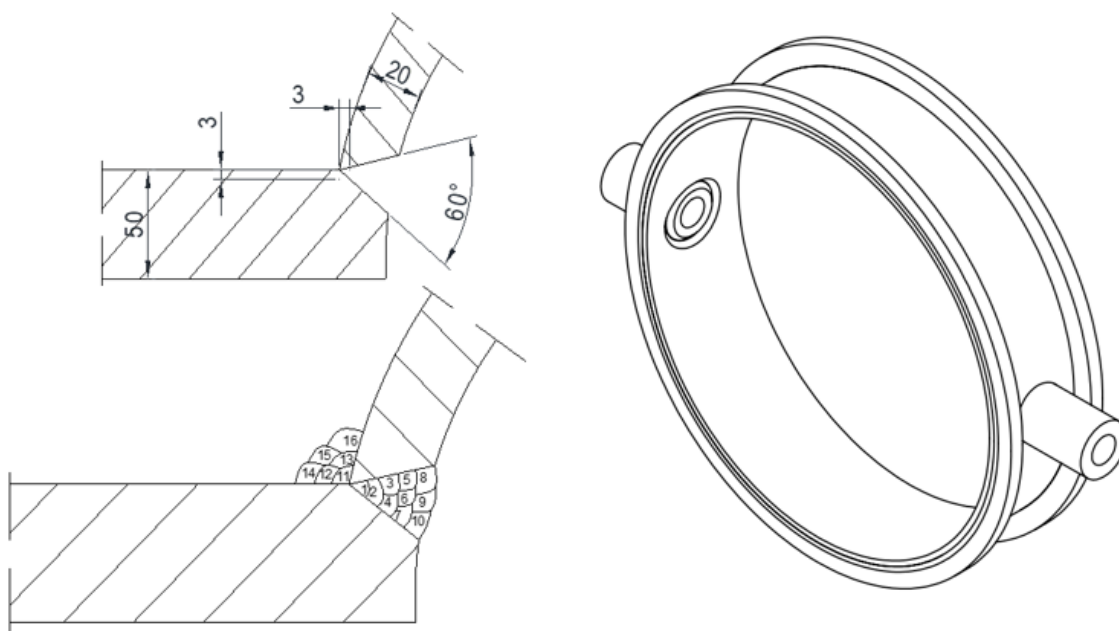
Ovaj spoj se zavaruje MAG postupkom koji prema normi HRN EN ISO 4063:2012 nosi oznaku 135. Prilikom zavarivanja MAG postupkom korištena je žica promjera 1,2 mm. Zavareni spoj se izrađuje u 16 prolaza. Parametri za zavarivanje svih 16 prolaza prikazani su u tablici 13. Parametri zavarivanja koji su korišteni prilikom zavarivanja kućišta i nabe određeni su empirijskom metodom i propisani su u specifikacijama postupka zavarivanja (Prilog 6). Žica koja

je korištena za zavarivanje je EZ-SG3 proizvođača Elektroda Zagreb koja je klasificirana prema standardu HRN EN ISO 14341:2020, a plin koji je korišten je 93% Argona + 6% ugljičnog dioksida i 1% kisika proizvođača Messer koji je klasificiran prema standardu HRN EN ISO 14175:2015, a protok plina prilikom zavarivanja iznosi 12 l/min.

Na slici 60 može se vidjeti priprema zavara i mjesto pojedinog prolaza.

Tablica 14 Parametri zavarivanja za spoj kućišta i pogonskih prirubnica [Prilog 6]

Br. Prolaza	Postupak	Promjer žice	Polaritet	El. Struja	Jakost struje (A)	Napon (V)	Brzina zavarivanja (mm/min)	Brzina žice (m/min)	Unos topline (kJ/mm)
1	135	1,2	+	DC	180	21	180	5	1,01
2-7	135	1,2	+	DC	270	29	300	8	1,25
8-10	135	1,2	+	DC	280	29	300	9	1,29
11	135	1,2	+	DC	270	29	280	9	1,34
12-16	135	1,2	+	DC	280	29	280	9	1,39



Slika 60 Vrsta spoja i mjesta prolaza zavar na spoju između kućišta i pogonskih prirubnica [Prilog 6]

7.4. Spoj kućišta i ukruta i uški i nogica

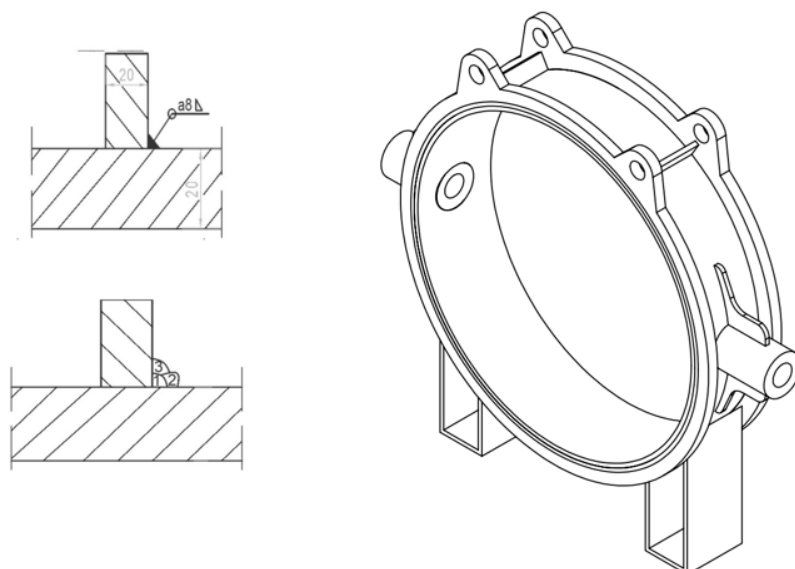
Ukrute, uške i nogice izrezane su iz čelika S355J2 + N debljine 20 mm. Ukrute služe da dodatno ojačaju konstrukciju zatvarača kako prilikom eksploatacije ne bi došlo do havarije. Uške služe za lakše manipuliranje samim zatvaračem prilikom obrade i ugradnje, a nogice služe za rasterećenje cjevovoda kako prilikom eksploatacije ne bi sva težina bila na cjevovodu već zatvarač stoji na zemlji. Kod ovih dijelova nije bila potrebna prethodna obrada za spajanje već su samo odstranjeni srhovi nakon postupka plazma rezanja. Temperatura predgrijavanja, kao i ekvivalent ugljika, za ove dijelove kućišta (ukrute, uške i nogice) su isti kao i kod plašta jer se izrađuju iz istog lima.

Spojevi ukruta, uški, nogica zavaruju se MAG postupkom koji prema normi HRN EN ISO 4063 nosi oznaku 135. Prilikom zavarivanja MAG postupkom korištena je žica promjera 1,2 mm. Spojevi se izrađuju u 3 prolaza. Parametri za zavarivanje sva 3 prolaza prikazani su u tablici 14. Parametri zavarivanja koji su korišteni prilikom zavarivanja kućišta, ukruta, uški i nogica određeni su empirijskom metodom i propisani su u specifikacijama postupka zavarivanja (Prilog 7). Žica koja je korištena za zavarivanje je EZ-SG3 proizvođača Elektroda Zagreb koja je klasificirana prema standardu HRN EN ISO 14341:2020, korišteni plin je 93% Argona + 6% ugljičnog dioksida i 1% kisika proizvođača Messer koji je klasificiran prema standardu HRN EN ISO14175:2015, a protok plina prilikom zavarivanja iznosi 12 l/min.

Na slici 61 može se vidjeti priprema zavara i mjesto pojedinog prolaza.

Tablica 15 Parametri zavarivanja za spoj kućišta i uški i ukruta [Prilog 7]

Br. Prolaza	Postupak	Promjer žice	Polaritet	El. Struja	Jakost struje (A)	Napon (V)	Brzina zavarivanja (mm/min)	Brzina žice (m/min)	Unos topline (kJ/mm)
1	135	1,2	+	DC	270	28	280	8	1,3
2-3	135	1,2	+	DC	280	29	300	9	1,3



Slika 61 Vrsta spoja i mjesta prolaza zavar na spoju između kućišta i uški ili ukruta [Prilog 7]

7.5. Spoj kućišta i brtvenog prstena

Prsten je izrađen iz nehrđajućeg čelika 1.4301, vanjskog promjera 1498 mm, unutarnjeg promjera 1410 mm i debljine 30 mm. Tablica 15 prikazuje kemijski sastav i mehanička svojstva čelika 1.4301. Prsten nije potrebno prethodno obraditi kako bi se zavario jer se radi kutni zavar debljine 8 mm. Nehrđajući čelici općenito imaju dobru zavarljivost s toga nije potrebno raditi provjeru zavarljivosti čelika. Za ovaj spoj temperatura predgrijavanja biti će ista kao i kod spoja na plaštu. Prsten se na kućište zavaruje MAG postupkom praškom punjenom žicom jer je taj dio u dodiru sa medijem koji će teći kroz zatvarač pa je prijeko potrebno da zavar bude što bolji kako ne bi došlo do havarije prilikom eksploatacije. U eksploataciji može doći do propuštanja medija koji teče kroz ovaj zatvarač ako zavar nije dobar, a prilikom zatvaranja klapne može doći i do otkidanja dijelova brtvenog prstena jer zavar nije dovoljno jak. Prema normi HRN EN ISO 4063 MAG postupak praškom punjenom žicom nosi oznaku 136. Ovaj spoj se izvodi u obliku kutnog spoja i radi se u 3 prolaza, a parametri za svaki pojedini prolaz su prikazani u tablici 17. Parametri zavarivanja koji su korišteni prilikom zavarivanja kućišta i brtvenog prstena određeni su empirijskom metodom i propisani su u specifikacijama postupka zavarivanja (Prilog 9). Za zavarivanje korištena je rutilna žica DW-309MoL promjera 1,2 mm proizvođača KOBELCO koja je klasificirana prema standardu EN ISO 17633:2018 (Dodatni i potrošni materijali za zavarivanje - Žice punjene praškom i šipke za elektrolučno zavarivanje sa zaštitnim plinom i bez zaštitnog plina za nehrđajuće čelike i čelike otporne na visoke temperature - Razredba), korišteni plin je 82% Argona + 18% ugljičnog dioksida proizvođača Messer koji je klasificiran prema standardu

HRN EN ISO14175:2015, a protok plina prilikom zavarivanja iznosi 17 l/min. Tablica 16 prikazuje kemijski sastav žice za zavarivanje i mehanička svojstva metala zavara.

Na slici 62 može se vidjeti priprema zavara i mjesto pojedinog prolaza.

Tablica 16 Kemijski sastav i mehanička svojstva čelika 1.4301 [Prilog 8]

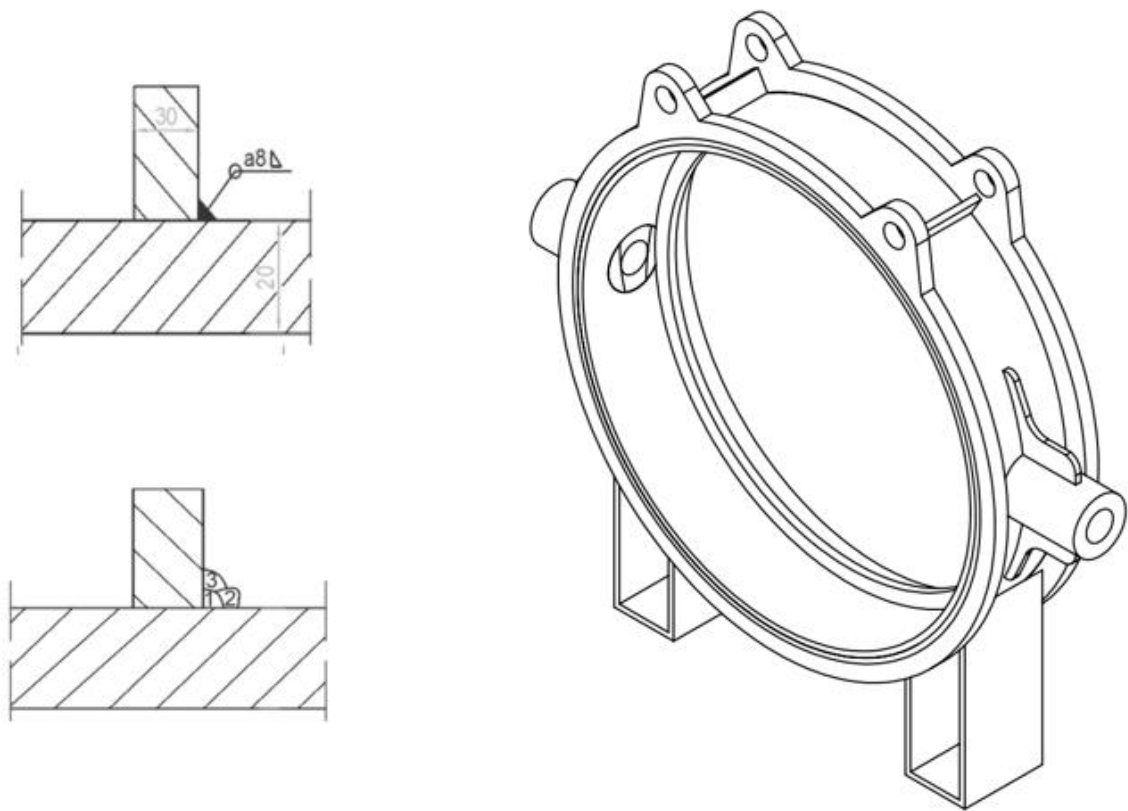
Kemijski sastav							
Cr	Ni	Mn	Si	N	C	P	S
18,24 %	8,05 %	1,51 %	0,35 %	0,082 %	0,022 %	0,0420 %	0,02 %
Mehanička svojstva							
R_e				324 MPa			
R_m				626 MPa			
A_5				48 %			
Tvrdoća				175 HB			

Tablica 17 Kemijski sastav žice DW-309MoL i mehanička svojstva čistog zavara [36]

Kemijski sastav							
C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo
0,02 %	0,7 %	1,4 %	0,018 %	0,007 %	12,7 %	23,2 %	2,3 %
Mehanička svojstva čistog zavara							
R_e				540 MPa			
R_m				700 MPa			
A_s				> 30 %			
KV (-20 °C)				> 42 J			

Tablica 18 Parametri zavarivanja za spoj kućišta i brtvenog prstena [Prilog 9]

Br. Prolaza	Postupak	Promjer žice	Polaritet	El. Struja	Jakost struje (A)	Napon (V)	Brzina zavarivanja [mm/min]	Brzina žice [m/min]	Unos topline (kJ/mm)
1	136	1,2	+	DC	250	34	350	11	1,17
2-3	136	1,2	+	DC	260	34	350	11	1,21



Slika 62 Vrsta spoja i mjesta prolaza zavar na spoju između kućišta i brtvenog prstena [Prilog 9]

7.6. Kontrola zavara na kućištu

Na kućištu se nakon zavarivanja provodi kontrola zavarenog spoja nerazornom metodom ispitivanja, vizualno i penetrantom. Postupak ispitivanja penetrantom određen je normom HRN ISO 3452-1:2021 (Nerazorno ispitivanje -- Ispitivanje penetrantima -- 1. dio: Opća načela). Prema normi HRN ISO 3452-1:2021 postupak ispitivanja penetrantom sastoji se od čišćenja zavarenog spoja nakon zavarivanja (mehanički i kemikalijama), nanošenja penetranta, odstranjivanja viška penetranta, nanošenja razvijачa i pregledavanja zavarenih spojeva nakon što razvijач odstoji. Za ispitivanje penetrantom korišteni su bili proizvodi proizvođača TIDE. Nakon čišćenja zavarenog spoja nanosi se penetrant, koji se pusti da odstoji 25 minuta kako bi djelovao (popunio pukotine ili druge nesavršenosti na površini zavarenog spoja). Penetrant djeluje na principu kvašenja površine (močenje površine), to je najvažnija osobina penetranta koja mu omogućava kontinuirano i jednoliko prekrivanje površine. Kvašenje je fizikalna pojava uvjetovana smanjenjem površinske napetosti tekućine. Nakon što penetrant odstoji, višak se odstranjuje i nanosi se razvijач bijele boje kako bi se dobio kontrast te kako bi se vidio penetrant koji je crvene boje. Razvijач djeluje oko 25 minuta. Uloga razvijачa je povlačenje penetranta iz pukotine i širenje na površinu radnog komada kako bi ga ispitivač lakše uočio. To je moguće jer je razvijач pun šupljina i prolaza koji se ponašaju

kao cjevčice pa dolazi do kapilarnog efekta. Nakon što razvijač odstoji 25 minuta, provjeravaju se zavareni spojevi. Penetrantsko ispitivanje radi se na svim zavarenim konstrukcijama koje se proizvode, ali ukoliko kupac zahtjeva, rade se radiografska ispitivanja zavarenih spojeva. U ovom slučaju je rađena samo penetrantska metoda ispitivanja zavarenih spojeva. Nakon ispitivanja ispitivači koji su osposobljeni prema normi HRN EN ISO 9712:2022 (Nerazorno ispitivanje - Kvalifikacija i certifikacija NDT osoblja) potpisuju ispitni list (Prilog 10). Ispitivač prve razine pregledava zavarene spojeve i potpisuje se na listi kao ispitivač, a ispitivač druge razine kontrolira ispitivanje i potpisuje se na listi kao kontrolor. Na ispitnom listu su prikazani svi podaci vezani za ispitivanje zavarenih spojeva kućišta. U Prilogu 11 može se vidjeti certifikat ispitivača prema normi HRN EN ISO 9712:2022, na certifikatu su prikazane metode kojima ispitivač smije ispitivati zavarene spojeve kako bi rezultati ispitivanja bili važeći.

Na slikama 63, 64, 65 može se vidjeti ispitivanje penetrantom zavarenih spojeva kućišta, uški, ukruta i glavčina.



Slika 63 Ispitivanje penetrantom zavarenog spoja ukruta, plašta i nabe



Slika 64 Ispitivanje penetrantom zavarenog spoja plašta i nabe



Slika 65 Ispitivanje penetrantom zavarenog spoja kućišta i uški

7.7. Analiza rezultata

Prilikom ispitivanja penetrantom ocjenjivanje se provodi slijedećim koracima:

- pronalaženje grešaka u zavarenom spoju,
- tumačenje grešaka,
- klasificiranje grešaka (određivanje u koju skupinu grešaka pripada pronađena greška),
- ocjena prihvatljivosti zavarenog spoja ovisno o pronađenim greškama.

Ispitani su svi zavareni spojevi na kućištu leptirastog zatvarača te nisu pronađene površinske greške (pukotine) u zavarenim spojevima, što se može vidjeti na slikama 65, 66, 67 gdje su prikazani neki od ispitanih zavarenih spojeva. Time zavareni spojevi zadovoljavaju kriterije prihvatljivosti prema normi HRN EN ISO 23277:2015 (Nerazorno ispitivanje zavara -- Ispitivanje penetrantima - Razine prihvatljivosti) te takvo kućište može ići u daljnju obradu odvajanjem čestica. U slučaju da su bile pronađene greške, kućište bi moralo ići na doradu što znači da bi se utrošilo više resursa u izradu te bi na kraju bilo skuplje za proizvesti, a samim time i dobit na krajnjem proizvodu bila bi manja. Provedena metoda ispitivanja penetrantom ograničena je isključivo na površinu zavarenih spojeva, jer tom metodom nije moguće pronaći greške unutar zavarenog spoja.

8. Zaključak

Opći konstrukcijski čelici su najzastupljeniji u proizvodnji, koriste se svugdje za mostove, dizalice, brodove, dijelove vozila itd. Najbitnija svojstva ovih čelika su granica razvlačenja i vlačna čvrstoća. S obzirom da ova vrsta čelika ima vrijednost ugljičnog ekvivalenta do 0,4 koristi se za zavarene konstrukcije. Većina leptirastih zatvarača izrađena je od općeg konstrukcijskog čelika S355 koji ima granicu razvlačenja od 355 MPa što ga čini primjerenim za izradu konstrukcija koje će duže vrijeme biti izložena tlačnom opterećenju.

MIG/MAG postupak se široko primjenjuje kod zavarivanja općih konstrukcijskih čelika zbog jednostavnosti opreme, učinkovite zaštite taline uslijed djelovanja zaštitnog plina i modernizirane opreme koja može imati prethodno programirane parametre zavarivanja za određene vrste materijala. EPP zavarivanje najčešće se koristi kada se radi o dugačkim zavarima jer ovim postupkom mogu se postići visoke brzine zavarivanja s velikim depozitom dodatnog materijala.

Leptirasti zatvarač se izrađuje s dva postupka zavarivanja. Prvi postupak je MAG zavarivanje i koristi se za zavarivanje korijena prirubnica, zavarivanje plašta i sve ostale dodatke kućištu poput ukruta i uški. Korijen zavara prirubnica zavaren je MAG postupkom kako bi se osigurao potpuni provar zavara i kako bi prirubnice bile fiksirane za plašt i kako bi bilo moguće cijelu konstrukciju staviti na pozicioner za zavarivanje. Zavarivanje pod praškom se koristi kako bi se popunio žlijeb visine 20 mm i širine 30 mm jer to mora biti vrlo čvrst zavar bez grešaka. Pošto je postupak zavarivanja pod praškom automatski postupak, (ne dolazi do toliko grešaka kao što bi bio slučaj kod ručnog MAG postupka) isključen je ljudski faktor i takvi zavari su često besprijeekorni te vrlo rijetko sadrže greške. U zavaru ne bi smjele biti greške jer su ti ventili namijenjeni za primjenu na visokim tlakovima. Ako bi kućište bilo loše zavareno postajala bi velika mogućnost da kućište propusti medij prilikom eksploatacije. Svaki proizvod ima svoju funkciju. Kako bi leptirasti zatvarač izvršio svoju funkciju potrebno ga je izraditi pravilnim tehnologijama da ima sposobnost podnošenja vlačnog opterećenja kojim je opterećen te da regulira ili zatvori protok medija u cjevovodu. Odabirom ispravnih postupaka zavarivanja i ispitivanja zavarenih spojeva osigurava se kvaliteta i sigurnost proizvoda, te se tvrtka osigurava da je isporučila ispravan proizvod. Proces ispitivanja zavarenih spojeva na kućištu leptirastog zatvarača od velike je važnosti, te je za pravilno provođenje ispitivanja potrebno dobro poznavati postupke ispitivanja i zahtjeve norme prema kojoj se ispituje. Ovi ventili se isto tako ispituju na ispitnoj stanici pomoću vode kako bi se tvrtka dodatno osigurala da će proizvod služiti svrsi i kako neće doći do problema prilikom eksploatacije medija. Leptirasti zatvarač osigurava rad crpnih stanica i dobavu pitke vode do teško dostupnih mjesta. Specifičnost ovog proizvoda čine njegova dva ekscentra koja služe za adekvatno otvaranje i zatvaranje bez da se dodatno troši ili oštećuje brtvena površina.



Sveučilište
Sjever



IZJAVA O AUTORSTVU

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, MIHAEL GOČUBIĆ (ime i prezime) pod punom moralnom, materijalnom i kaznenom odgovornošću, izjavljujem da sam isključivi autor/ica završnog/diplomskog (obrisati nepotrebno) rada pod naslovom TEHNOLOGIJA ZAVARIVANJA KONSTRUKCIJE LEPTIČASTOG ZATVORAČA (upisati naslov) te da u navedenom radu nisu na nedozvoljeni način (bez pravilnog citiranja) korišteni dijelovi tuđih radova.

Student/ica:
(upisati ime i prezime)

Gočubić
(vlastoručni potpis)

Sukladno čl. 83. 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.

Sukladno čl. 111. Zakona o autorskom pravu i srodnim pravima student se ne može protiviti da se njegov završni rad stvoren na bilo kojem studiju na visokom učilištu učini dostupnim javnosti na odgovarajućoj javnoj mrežnoj bazi sveučilišne knjižnice, knjižnice sastavnice sveučilišta, knjižnice veleučilišta ili visoke škole i/ili na javnoj mrežnoj bazi završnih radova Nacionalne i sveučilišne knjižnice, sukladno zakonu kojim se uređuje znanstvena i umjetnička djelatnost i visoko obrazovanje.

9. Literatura

- [1] S. Kralj, Š. Andrić, Osnove zavarivačkih i srodnih postupaka, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 1992
- [2] K. H. Decker, Elementi strojeva, Golden marketing – Tehnička knjiga, 2006.
- [3] A.M. Pintarić, Postupak tlačnog ispitivanja leptirastog zatvarača u proizvodnom poduzeću prema normi HRN EN 12266-1, Diplomski rad, Sveučilište sjever, 2020.
- [4] ...<https://www.avkvalves.eu/en/insights/product-insights/butterfly-valves/what-is-a-butterfly-valve> dostupno 26.09.2022.
- [5] ... <https://miv.hr/> dostupno 26.09.2022.
- [6] T. Filetin, F. Kovačiček, J. Indof: Svojstva i primjena materijala, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Sveučilište u Zagrebu, 2011.
- [7] M. Dunder, G. Salopek, M. Horvat, V. Kondić, M. Marković, Pristup određivanju zavarljivosti čelika, Tehnički glasnik Vol.9 No.3, 2015, 291-297 str
- [8] EN ISO 581:2005, Weldability - Metallic materials – General principles
- [9] M. Ratajec, Sistematizacija ispitnih metoda za određivanje zavarljivosti, Diplomski rad, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Sveučilište u Zagrebu, 2015.
- [10] ...<https://www.thyssenkrupp-materials-processing-europe.com/en/c-steel/hot-strip/s235jr-s355k2/s355j2>, dostupno, 22.03.2023.
- [11] ...<https://www.round-bars.com/products/s355j2g3-steel/>, dostupno 12.09.2022.
- [12] ...<https://www.csteelindia.com/s355j2+n-plates-supplier-exporter.html>, dostupno, 12.09.2022.
- [13] BS EN ISO 4063: 2012, Welding and allied processes — Nomenclature of processes and reference numbers
- [14] M. Horvat, V. Kondić, D. Brezovečki, Opravdanost primjene MAG forceArc postupka zavarivanja u izradi čeličnih konstrukcija, Tehnički glasnik Vol.8 No.3, 2014, 288–294 str
- [15] ...<https://www.pinnacleonline.co.za/blogs/frequently-asked-questions/what-is-mig-welding> dostupno 20.09.2022.
- [16] M. Jurica: Utjecaj zaštitnog plina i načina prijenosa metala na svojstva zavarenog spoja čelika X80, Doktorski rad, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Sveučilište u Zagrebu, 2015.
- [17] M. Mikulić: Modificirani MAG postupci za visokoučinsko zavarivanje, Diplomski rad, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Sveučilište u Zagrebu, 2015.
- [18] N. Atlija, MAG postupak zavarivanja, Diplomski rad, Sveučilište u Rijeci, 2016.
- [19] <https://www.millerwelds.com/accessories/mig-welding-accessories/mig-guns/spool-guns/spoolmatic-30a-spool-gun-m14800>, dostupno 26.02.2023.
- [20] A. O'Brien, Welding Handbook Ninth edition Volume 2, Welding processes part 1, American Welding Society, 2004.
- [21] L. Bilić, Utjecaj plinova na svojstva zavarenog spoja pri MAG zavarivanju konstrukcijskih čelika, Završni rad, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Sveučilište u Zagrebu, 2009.
- [22] ...<https://www.assda.asn.au/blog/311-shielding-gases-for-welding-and-their-effects-on-stainless-steel-properties> dostupno, 20.09.2022.
- [23] S. Štavalj, Stabilnost procesa MAG zavarivanja s trokomponentnim plinskim mješavinama, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Sveučilište u Zagrebu, 2017.
- [24] <https://itiquestionbank.com/submerged-arc-welding-in-hindi/>, dostupno, 06.11.2022.

- [25] F. Vusić: Primjena EPP postupka pri zavarivanju čelika SA516Gr70, Diplomski rad, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Sveučilište u zagrebu, 2015.
- [26] <https://www.indiamart.com/proddetail/submerged-arc-flux-7588592462.html>, dostupno, 06.11.2022
- [27] https://www.sino-welding.com/data/upload/images/HJ331_.webp, dostupno, 26.02.2022.
- [28] M. Golubić: Odabir zaštitnih plinova pri TIG zavarivanju nehrđajućih čelika, Završni rad, Sveučilište sjever, Varaždin, 2020.
- [29] M. Gojić, Tehnike spajanja i razdvajanja materijala, Metalurški fakultet, Sisak, 2003.
- [30] I. Juraga, K. Ljubić, M. Živić, I. Garašić: Pogreške u zavarenim spojevima, Hrvatsko društvo za tehnike zavarivanja, Zagreb, 2015.
- [31] ...<https://www.twi-global.com/technical-knowledge/faqs/faq-what-is-hot-cracking-solidification-cracking> dostupno 20.09.2022
- [32] ...<https://www.twi-global.com/images/00015/9603.jpg> dsotupno 20.09.2022
- [33] ...<https://www.ezg.hr/proizvodi/wire/EZSG3.html>, dostupno, 26.02.2023.
- [34] ...<https://honex.rs/wp-content/uploads/pdf/AR185.pdf>, dostupno, 26.02.2023
- [35] ...https://honex.rs/wp-content/uploads/downloads/Elektorde_web.pdf,dostupno 26.02.2023.
- [36] ...https://kobelcowelding.nl/wp-content/uploads/Catalogue/43_DW-309MoL.pdf, dostupno, 26.02.2022.

Popis slika

Slika 1 Prikaz svih postupaka zavarivanja [1].....	1
Slika 2 Skice osnovnih vrsta zapornih organa a) ventil b) zasun c) zaklopka d) pipac [2]	3
Slika 3 Kategorije ekscentara leptirastog zatvarača [4].....	4
Slika 4 Leptirasti zatvarač s dvostrukim ekscentrom [5].....	4
Slika 5 Standardni dijelovi leptirastog zatvarača [5].....	5
Slika 6 Mikrostruktura općeg konstrukcijskog čelika s 0,1%C [6]	8
Slika 7 Mikrostruktura općeg konstrukcijskog čelika s 0,25% C [6].....	9
Slika 8 Zavarljivost materijala prema normi ISO 581 [8]	10
Slika 9 Mikrostruktura sitnozrnatog čelika [6].....	14
Slika 10 Čelik S355J2 + N u šipkastom obliku [11]	14
Slika 11 Čelik S355J2 + N u obliku ploča [12].....	15
Slika 12 Detalj procesa MIG/MAG postupka zavarivanja [1]	16
Slika 13 Vrste prijenosa materijala kod MIG/MAG postupka zavarivanja [15]	17
Slika 14 Prikaz sustava za MAG zavarivanje [1]	19
Slika 15 Statička karakteristika izvora struje [18].....	20
Slika 16 Sustav za dovođenje žice „push“ [17].....	21
Slika 17 Sustav za dovođenje žice „push-pull“ [17]	21
Slika 18 „Spool gun [19]	22
Slika 19 Prikaz tipova kotača za izravnavanje žice [17]	22
Slika 20 Shematski prikaz pištolja za zavarivanje MIG/MAG postupkom [20]	23
Slika 21 Namotaj žice [20]	25
Slika 22 Utjecaj zaštitnog plina na izgled zavarenog spoja [22]	27
Slika 23 Odnos brzine zavarivanja i jakosti struje [20].....	28
Slika 24 Shematski prikaz EPP zavarivanja [1]	30
Slika 25 Ručno zavarivanje pod praškom [20].....	31
Slika 26 Postupak mehaniziranog zavarivanja pod praškom [20].....	32
Slika 27 Visoko produktivni stroj za zavarivanje pod praškom s 4 glave za zavarivanje [20]	32
Slika 28 Izvor struje konstantnog napona [20]	33
Slika 29 Upravljačka jedinica [20]	35
Slika 30 Shematski prikaz EPP zavarivanja s traktorom [24]	36
Slika 31 Navarivanje uz pomoć dvije glave za zavarivanje [20]	37
Slika 32 Aglomerirani prašak [26]	39
Slika 33 Taljivi prašak [27]	39

Slika 34 Utjecaj jakosti struje na konačni zavareni spoj [20].....	41
Slika 35 Utjecaj napona luka na konačni zavareni spoj [20].....	42
Slika 36 Utjecaj brzine zavarivanja na konačni zavareni spoj [20].....	43
Slika 37 Utjecaj veličine elektrode na zavar [20].....	44
Slika 38 Utjecaj pravilne i premale dubine praška na konačni zavar [20]	45
Slika 39 Automatsko zavarivanje cijevi s 5 elektroda [20]	46
Slika 40. Dijelovi zavarenog spoja [28]	48
Slika 41. Položaji i oznake za zavarivanje limova prema normi HRN EN ISO 6947:2012 (Zavarivanje i srodni postupci – Položaj pri zavarivanju) [29]	51
Slika 42. Položaji i oznake zavarivanja za cijevi prema normi HRN EN ISO 6947:2012 (Zavarivanje i srodni postupci – Položaj pri zavarivanju) [29]	52
Slika 43. Solidifikacijska pukotina u zavaru [30].....	54
Slika 44. Likvacijska pukotina u ZUT-u [31].....	54
Slika 45. Hladne pukotine [30].....	55
Slika 46. Poroznost [32]	56
Slika 47. Čvrsti uključak u zavarenom spoju [30].....	57
Slika 48. Pogreška naljepljivanja [30].....	58
Slika 49 Kućište leptirastog zatvarača.....	59
Slika 50 Uređaj za MAG zavarivanje.....	60
Slika 51 Specifikacija uređaja za MAG zavarivanje	61
Slika 52 Izvor struje za EPP zavarivanje.....	61
Slika 53 Pozicioner.....	62
Slika 54 Ruka sa pištoljem za EPP zavarivanje	62
Slika 55 Specifikacije uređaja za EPP zavarivanje	63
Slika 56 Specifikacije pozicionera	63
Slika 57 Vrsta spoja i mjesta prolaza zavar na spoju plašta [Prilog 2].....	67
Slika 58 Vrsta spoja i mjesta prolaza zavar na spoju između plašta i prirubnica [Prilog 4]	70
Slika 59 Pozicija provrta na kućištu	70
Slika 60 Vrsta spoja i mjesta prolaza zavar na spoju između kućišta i pogonskih prirubnica [Prilog 6].....	72
Slika 61 Vrsta spoja i mjesta prolaza zavar na spoju između kućišta i uški ili ukruta [Prilog 7]..	74
Slika 62 Vrsta spoja i mjesta prolaza zavar na spoju između kućišta i brtvenog prstena [Prilog 9]	76
Slika 63 Ispitivanje penetrantom zavarenog spoja ukruta, plašta i nabe	77
Slika 64 Ispitivanje penetrantom zavarenog spoja plašta i nabe	78



Slika 65 Ispitivanje penetratom zavarenog spoja kućišta i uški78

Popis tablica

Tablica 1 Popis standardnih dijelova leptirastog zatvarača [5]	6
Tablica 2 Maksimalni udjeli legirnih elemenata za S355J2 + N čelik [10]	14
Tablica 3 Vrste tipova kotača za izravnavanje žice [17]	23
Tablica 4 Označavanje i primjena zavarenih spojeva prema normi HRN EN ISO 2553:2014 (Zavarivanje i srodni postupci) [29]	49
Tablica 5 Kemijski sastav i mehanička svojstva S355J2 + N čelika debljine 20 mm [Prilog 1] ..	64
Tablica 6 Kemijski sastav žice EZ-SG3 i mehanička svojstva čistog metala zavara [33]	66
Tablica 7 Parametri zavarivanja plašta [Prilog 2]	66
Tablica 8 Kemijski sastav i mehanička svojstva S355J2 + N čelika debljine 50 mm [Prilog 3] ..	67
Tablica 9 Kemijski sastav praška AR 18.5 [34]	69
Tablica 10 Kemijski sastav žice VAC 60 i mehanička svojstva čistog metala zavara [35]	69
Tablica 11 Kemijski sastav žice EPP 2 i mehanička svojstva čistog metala zavara [35].....	69
Tablica 12 Parametri zavarivanja za spoj plašta i pribornica [Prilog 4].....	69
Tablica 13 Kemijski sastav i mehanička svojstva debelo stijene cijevi od S355J2 + N čelika [Prilog 5] 71	
Tablica 14 Parametri zavarivanja za spoj kućišta i pogonskih pribornica [Prilog 6]	72
Tablica 15 Parametri zavarivanja za spoj kućišta i uški i ukruta [Prilog 7]	73
Tablica 16 Kemijski sastav i mehanička svojstva čelika 1.4301 [Prilog 8]	75
Tablica 17 Kemijski sastav žice DW-309MoL i mehanička svojstva čistog zavara [36]	75
Tablica 18 Parametri zavarivanja za spoj kućišta i brtvenog prstena [Prilog 9]	75

Prilozi

1. Atest materijala za S355J2+N čelik korišten za izradu plašta
2. Specifikacije postupka zavarivanja za spoj plašta
3. Atest materijala za S355J2+N čelik korišten za izradu prirubnica
4. Specifikacije postupka zavarivanja za spoj plašta i prirubnica
5. Atest materijala za S355J2+N čelik korišten za izradu nabi
6. Specifikacije postupka zavarivanja za spoj kućišta i nabe
7. Specifikacije postupka zavarivanja za spoj kućišta, ukruta, uški i nogica
8. Atest materijala za čelik W.Nr.1.4301 korišten za izradu brtvenog prstena
9. Specifikacije postupka zavarivanja za spoj kućišta i brtvenog prstena

		www.officinetecnosider.it P.IVA 02494780303 info@officinetecnosider.it - Fax: 0431620543 - Tel: 0431621000 - 33100 Udine (ITALIA) - Via Treggio n.18 Officine Tecnosider S.r.l. Società Unipersonale				QUALITY MANAGEMENT SYSTEM IN COMPLIANCE WITH THE STANDARD ISO 9001:2015 CERTIFIED BY RINA CER N. 23531/11/S																				
Type of Inspection document: Certificato di collaudo/Inspection certificate/Abnahmeprüfzeugnis - UNI EN 10204:2005				3.1																						
Applicable product standard:				UNI EN 10025-2:2019																						
CUSTOMER: KOVINTRADE DD ADDRESS: Mariborska Cesta 7 3000 CELJE SVN Customer Number: 0260				AS3.1 Mill test certificate n° C044623 Delivery note n° D122008475 01/09/2022		AS3 Delivery note n° 01/09/2022 Internal order 2022/001526 Customer reference 4510253204																				
DIMENSIONAL PARAMETERS AND TOLERANCES:																										
HOT ROLLED STEEL PLATES																										
N°	Heat/Batch	Plate @ @ @	Steel Grade Quality @ @	State of Supply	Theoretical weight (kg)	Marking	Thickness	Width	length	Flatness	Surface Class	D.O.P. REFERENCE	HEAT TREATMENT	NOTES												
1	84279/AD	018.2806.04.0.A	30.0X1500.0X6000.0	Normalizing Rolling	2120.00	LABEL + LSP	B	-0/+70	-0/+200	N	B sub 3	355 T2 1640	Temp./soaking/cooling													
2	84279/AD	018.2806.04.0.B	30.0X1500.0X6000.0	Normalizing Rolling	2120.00	LABEL + LSP	B	-0/+70	-0/+200	N	B sub 3	355 T2 1640														
3	A051059/AJ	01T.4292.04.0.C	20.0X2000.0X6000.0	Normalizing Rolling	1884.00	LABEL + LSP	B	-0/+70	-0/+200	N	B sub 3	355 T2 1640														
4	A051040/AN	01T.4292.04.0.A	20.0X2000.0X6000.0	Normalizing Rolling	1884.00	LABEL + LSP	B	-0/+70	-0/+200	N	B sub 3	355 T2 1640														
5	A051040/AN	01T.4292.04.0.B	20.0X2000.0X6000.0	Normalizing Rolling	1884.00	LABEL + LSP	B	-0/+70	-0/+200	N	B sub 3	355 T2 1640														
6	A051040/AN	01T.4292.04.0.C	20.0X2000.0X6000.0	Normalizing Rolling	1884.00	LABEL + LSP	B	-0/+70	-0/+200	N	B sub 3	355 T2 1640														
7	A051040/AN	01T.4292.04.0.D	20.0X2000.0X6000.0	Normalizing Rolling	1884.00	LABEL + LSP	B	-0/+70	-0/+200	N	B sub 3	355 T2 1640														
MECHANICAL TESTS AND PARAMETERS:																										
TENSILE:																										
N	Heat/Batch	Specimen	Spec. Th. (mm)	Dir.	Shape	Loc.	Temp. T (°C)	ReL (MPa)	ReM (MPa)	Rp 0.2% (MPa)	Av (%)	2% Rm/MS (MPa)	Bend Test	Grain	KV Dim. (mm)	KV Dir	KV KV T (°C)	KV1 (J)	KV2 (J)	KV3 (J)	KV avg (J)	Z (%)	H1	H2	H3	H Results
1	84279/AD	SC223943	30.00	T			RT	371	515	26.4	1.4	MSH			10x10x55	L	-20	92	73	77	81	0	0	0	0	0
2	A051040/AN	SC223554	20.00	T			RT	360	510	22.3	1.4				10x10x55	L	-20	86	64	76	75	0	0	0	0	0
3	A051059/AJ	SC223857	20.00	T			RT	365	525	22.0	1.4				10x10x55	L	-20	83	63	66	71	0	0	0	0	0
HEAT CHEMICAL ANALYSIS:																										
1	Heat n. @ @	C%	Mn%	Si%	S%	P%	Cr%	Ni%	Cu%	As%	Ti%	Nb%	Mo%	V%	Nb%	B%	Sn%	H ppm	O ppm	CEOs	PCMs	NOTES				
	84279	0.193	1.427	0.185	0.005	0.010	0.015	0.023	0.008	0.000	0.001	0.000	0.001	0.003	0.001	0.000	0.000	0.000	0.437	0.272						

Notes: Issued in agreement with TÜV SÜD Industrie Service GmbH on 2012-06

CO Signature: _____
 Quality Manager: Favaleasa Eros

UT Operator Signature: _____
 Operator: Favaleasa Eros level II
 N°PNS-227000255P#2 (UNI EN ISO 9712:2012)
 N°S#-2210000255P#5 (SNT TICA)

Quality Manager: Favaleasa Eros

Third Part Inspection Signature: _____

Notes:

We hereby certify that the products mentioned above are in compliance with order prescription and that test of surface and dimensional aspect were successful. Radioactivity control according to D. Lgs. 230/98. Result: Complying. The goods here certified have Italian origin (European Community). No addition of mercury compounds during the rolling process. Steel marking: @ on sticky label, @ on hard die punch.

This document (and any attachment) was posted by Officine Tecnosider S.r.l. and may contain confidential information intended only to the recipient. When the is not the addressee, please inform us immediately by e-mail and delete the message, with any attachments without retaining a copy. Any unauthorized use of the contents of this message does not constitute a breach of the duty to take cognizance of the correspondence between other parties, except the most serious offense, and the responsibility for the consequences of civil and criminal penalties. Forging to be attributed to Lead Auditor, Director, n. 199603 (Codes for the Protection personal data).

Pag. 1 / 2
 M 851 10 01 Rev. 04



www.officinetecnosider.it
 P.IVA 02494780303
 info@officinetecnosider.it - Fax. 0431620543 - Tel. 0431621000 -
 33100 Udine (ITALIA) - Via Treppo n.18
 Officine Tecnosider S.r.l. Società Unipersonale



QUALITY MANAGEMENT SYSTEM
 IN COMPLIANCE WITH THE STANDARD
 ISO 9001:2015 CERTIFIED BY RINA CER N. 23531/11/S

Type of inspection document

Certificato di collaudo/Inspection certificate/Abnahmeprüfzeugnis - UNI EN 10204:2005

3.1

Applicable product standard

UNI EN 10025-2:2019

CUSTOMER: KOVINTRADE DD

ADDRESS: Mariborska Cesta 7
 3000 CEUJE

SVN

Customer Number: 0260

01/09/2022

01/09/2022

2022/001526

4510253204

HEAT CHEMICAL ANALYSIS:

Heat n. @#	Cr	Mn%	Si%	S%	P%	C%	Ni%	Ca%	As%	Ti%	Nb%	Al%	Mo%	V%	Ni%	B%	Sn%	H ppm	O ppm	CE%	PCMs%	NOTES			
2 A051040	0.170	1.390	0.220	0.007	0.016	0.010	0.010	0.030	0.000	0.000	0.004	0.037	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.405	0.249	
3 A051059	0.170	1.390	0.210	0.007	0.014	0.010	0.000	0.020	0.000	0.000	0.005	0.032	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.405	0.248	

Notes: Issued in agreement with TÜV SÜD Industrie Service GmbH on 2012-05

CQ Signature:

Quality Manager: Favalezza Eros

A05

Third Part Inspection Signature:

A05

Notes:

UT Operator Signature:

Operator: Favalezza Eros level II
 NFND-227000255FM2 (UNI EN ISO 9712:2012)
 NF SMI-227000255PM5 (SMI TCAI)



Quality Manager Eros Favalezza

We hereby certify that the products mentioned above are in compliance with order prescription and that test of surface and dimensional aspect were successful. Radioactivity control according to D. Lgs. 230/98. Result: Complying. The goods here certified have Italian origin (European Community). No addition of mercury compounds during the rolling process. Steel making process: BCP.

Plate marking: @ on story label, @ on hand dip punch.



11

802

This document (and any attachment) was passed by Officine Tecnosider S.r.l. and may contain confidential information intended only to the recipient. When he is not the addressee, please inform us immediately by e-mail and delete the message, with any attachments without retaining a copy. Any unauthorized use of the contents of this message does not constitute a breach of the duty to have cognizance of the correspondence between other parties, except the most serious offenses, and lays the responsibility for the consequences of civil and criminal penalties. Referring to be addressed to Legislative Decree n. 136/03 (Code for the Protection personal data).



Pag. 2 / 2

M_951_10_01
 Rev. 04

Prilog 2

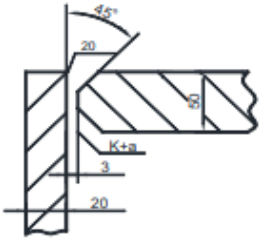
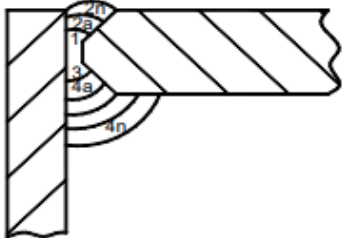
SPECIFIKACIJA POSTUPKA ZAVARIVANJA (PSZP) WELDING PROCEDURE SPECIFICATION (PWPS) EN ISO15609							1 Date 24.3.2021.	
Ime zavarivača: Welder name:		SZP-br: WPS-No:	sušecni spoj S355		Broj crteža: Drawing No:			
Postupak: Welding proces:	135	Spoj br.: Weld Joint No.:			Spoj Joint	X spoj	BW	
Atest postupka: WPQR No.:	0036TSS-IS-21-03- 1234-002	Nadzorni organ: Insp.authority:	TUV SÜD		Kontrola: Control:	-		
Detailj: Detail:	Weld No			Koeffcijent zavarenog spoja: Welding factor:		-		
		Dio: Component:	Debljina: Thickness:		Materijal: Material:	Standard: Standard:		
Osnovni materijal: Base metal:	M1	PLATE, FLAT BAR	20-80		S355J2+N	EN 10025-2		
	M2	PLATE, FLAT BAR	20-80		S355J2+N	EN 10025-2		
PODACI O DODATNOM MATERIJALU Filler metals data								
Dodatni materijal Filler metals		Naziv Designation		Proizvođač Manufacturer		Standard: Standard:		
Elektroda Electrode								
Žica Wire		EZ-SG3		ELEKTRODA ZAGREB		EN ISO14341-A: G 46 4 M 4Si1		
Prašak Flux								
Plin Gas		93% Ar + 6% CO2+1%O2		MESSER		EN ISO14175-M24		
PARAMETRI ZAVARIVANJA Parameters of welding								
Br. prolaza Interpass No.	Postupak Welding process	Promjer Diameter	Polaritet Polarity	El. struja DC/AC	Jakost struje (A) Amps	Napon (V) Volts	Brzina zavarivanja Welding speed (mm/min)	Brzina žice Wire speed (m/min)
1	135	1,2	+	DC	180	20	180	5
2	135	1,2	+	DC	270	28	280	9
3+6	135	1,2	+	DC	280	29	230	9
Žljebljenje / postupak: Method of back gouging:	Yes/grinding			Sušenje elektrode/praška: Electrode drying:				
Predgrijavanje: Preheat:	>118°C (t>25 mm)			Odžarivanje: Heat treatment after welding:		-		
Protok plina. Gas Flow:	12 l/min			Toplinski unos: Heat input:		0,97+1,69 kJ/mm		
Položaj zavarivanja: Position:	položeni (PA)			Međuslojna temperatura: Interpass temperature:		<220°C		
Sastavio: Made by:				Odobrio: Approval				

Prilog 3

A01 Liberty Ostrava a.s. Vratimovská 689/117 719 00 Ostrava-Kunčice Česká republika TEL.: +420-595682303		A02 INSPECTION CERTIFICATE "3.1" EN 10204:2004		Z02 Ostrava, 23.12.2021 A03 Document No. 1001095044		A04 																																																																																																				
A07 Purchaser's Order No. and/or Item No. 5105-2200-C21-037692-DB																																																																																																										
A08 Manufacturer's Job No. 1481 74948 0 1		A10 Delivery Advise No. 8101330794/ 000010 14/21/036072		A06 Customer/consignee STROJOPROMET D.O.O. ZAGREBACKA 6 10292 SENKOVEC Croatia																																																																																																						
A09 Supplier's Order No. 3100487916/10																																																																																																										
Product, Dimensions, Steel designation, Condition, Terms of Delivery, Any supplementary requirements: B01, B02, B03, B04, B05, B09 FLAT STEEL BARS P- 80X50 acc.to EN 10058:2018 Length 6.100 mm + 100 mm / - 0 mm Quality S355J2+M acc.to EN 10025-2:2019																																																																																																										
B13 Actual weight		23.114,000 KG																																																																																																								
C71 Chemical Analysis of Liquid Alloy (%)																																																																																																										
<table border="1"> <thead> <tr> <th>B07 Heat No.</th> <th>Test type</th> <th>C70</th> <th>C [%]</th> <th>MN [%]</th> <th>SI [%]</th> <th>P [%]</th> <th>S [%]</th> <th>N [%]</th> <th>CU [%]</th> <th>NI [%]</th> <th>CR [%]</th> <th>MO [%]</th> <th>V [%]</th> <th>AL [%]</th> <th>B [%]</th> <th>TI [%]</th> <th>NB [%]</th> <th>B08</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td>>0 <0.20</td> <td>>0 <1.6</td> <td>>0,14 <0.25</td> <td>>0 <0.025</td> <td>>0 <0.025</td> <td></td> <td>>0 <0.55</td> <td>>0 <0.42</td> <td>>0 <0.28</td> <td>>0 <0.11</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>Places</td> <td>Bunches</td> </tr> <tr> <td>43697K</td> <td>H</td> <td>0</td> <td>0.15</td> <td>1.45</td> <td>0.179</td> <td>0.019</td> <td>0.005</td> <td>0.010</td> <td>0.09</td> <td>0.04</td> <td>0.05</td> <td>0.02</td> <td><0.001</td> <td>0.030</td> <td>0.0034</td> <td><0.001</td> <td>0.03</td> <td></td> <td>10</td> </tr> <tr> <th>B07 Heat No.</th> <th>Test type</th> <th>C70</th> <th>AS [%]</th> <th>SN [%]</th> <th>CA [%]</th> <th>CEV [%]</th> <td colspan="13"></td> </tr> <tr> <td>43697K</td> <td>H</td> <td>0</td> <td>0.003</td> <td>0.004</td> <td>0.0018</td> <td>0.41</td> <td colspan="13"></td> </tr> </tbody> </table> Continuation see Attachment								B07 Heat No.	Test type	C70	C [%]	MN [%]	SI [%]	P [%]	S [%]	N [%]	CU [%]	NI [%]	CR [%]	MO [%]	V [%]	AL [%]	B [%]	TI [%]	NB [%]	B08				>0 <0.20	>0 <1.6	>0,14 <0.25	>0 <0.025	>0 <0.025		>0 <0.55	>0 <0.42	>0 <0.28	>0 <0.11						Places	Bunches	43697K	H	0	0.15	1.45	0.179	0.019	0.005	0.010	0.09	0.04	0.05	0.02	<0.001	0.030	0.0034	<0.001	0.03		10	B07 Heat No.	Test type	C70	AS [%]	SN [%]	CA [%]	CEV [%]														43697K	H	0	0.003	0.004	0.0018	0.41													
B07 Heat No.	Test type	C70	C [%]	MN [%]	SI [%]	P [%]	S [%]	N [%]	CU [%]	NI [%]	CR [%]	MO [%]	V [%]	AL [%]	B [%]	TI [%]	NB [%]	B08																																																																																								
			>0 <0.20	>0 <1.6	>0,14 <0.25	>0 <0.025	>0 <0.025		>0 <0.55	>0 <0.42	>0 <0.28	>0 <0.11						Places	Bunches																																																																																							
43697K	H	0	0.15	1.45	0.179	0.019	0.005	0.010	0.09	0.04	0.05	0.02	<0.001	0.030	0.0034	<0.001	0.03		10																																																																																							
B07 Heat No.	Test type	C70	AS [%]	SN [%]	CA [%]	CEV [%]																																																																																																				
43697K	H	0	0.003	0.004	0.0018	0.41																																																																																																				
5 Test results																																																																																																										
2 Tensile test acc.to EN ISO 6892-1:2017				4 Charpy impact test acc.to EN ISO 148-1:2017																																																																																																						
Heat No.	C00 Specimen No.	C02	C11 Yield of proof limit	C12 Tensile strength	C13 Elongat on A5									C03 Test temperature (°C)	C40 KV2	C41	10.00																																																																																									
					A5									°C	C04 min	C04 max	J (J/cm2)																																																																																									
	C04 Regulation		>335	>470 <630	21.0									-20.00	27.0																																																																																											
43697K	20740158	0	371	556	28.4																																																																																																					
43697K	20740161	0												-20.00	89	94	105	78																																																																																								
Continuation see Attachment																																																																																																										
6 Bend test according to EN ISO 7438:2016																																																																																																										
C52	Bend Test																																																																																																									
C53	Rebend test																																																																																																									
Environmental product declaration: EPD-7210002																																																																																																										
C93 The mass activity ionizing radiation value in liquid alloy analysis does not exceed 100 Bq/kg.				B06, Z04 1020 06 LO-L-SM-2/09-CPR-21-1 EN 10025-1																																																																																																						
Z01 The Manufacturer confirms that such Product is in duly compliance with Order's requirements, the Purchase Contract's requirements and that it has been tested in duly compliance with technical requirements				Designed for the following application: Civil and machine engineering Intended to be used in welded, bolted and riveted structures Weldability: Guaranteed through kitchen equivalent (Cv) Performance expressed as indicated in the Declaration of Performance Dangerous substance: No performance determined																																																																																																						
D01 The inspection and the test were carried out on the delivered product or on a product test unit.				Z02, Z03, A05  Liberty Ostrava a.s. Issued by: <i>Ilona Filipková</i> 719 00 Ostrava-Kunčice IC: 45193258 017																																																																																																						
				WORKS INSPEKTOR IDENTIFICATION No. 14 Zdeněk Podesva PHONE: +420 595682303 replaces seal and signature Issued by: Ilona Filipková																																																																																																						

LIBERTY OSTRAVA D.O.O.
 SVJERENA ISPRAVNA KOPIJA
 Datum: 23.12.2021
 08-04-2022

Prilog 4

SPECIFIKACIJA POSTUPKA ZAVARIVANJA (SZP) WELDING PROCEDURE SPECIFICATION (WPS)							1 Date 8.12.2015.	
Ime zavarivača: Welder name:		SZP-br: WPS-No:	EPP-2		Broj crteža: Drawing No:			
Postupak: Welding proces:	121+135	Spoj br.: Weld Joint No.:		Spoj Joint	T spoj		FW+BW (HY)	
Atest postupka: WPQR No.:	0036-SI-14-08- 1234-001	Nadzorni organ: Insp.authority:	TUV SÜD		Kontrola: Control:	-		
Detalj: Detail:					Koeficijent zavarenog spoja: Welding factor:	-		
Način prijenosa metala:	Dio: Component:		Debljina: Thickness:	Materijal: Material:	Grupa:		Standard: Standard:	
Osnovni materijal: Base metal:	M1	PLATE	30-120	S355J2+N	1.1.	1.2.	EN 10025-2	
	M2	PLATE	15-60	S355J2+N	1.1.	1.2.	EN 10025-2	
PODACI O DODATNOM MATERIJALU Filler metals data								
Dodatni materijal Filler metals	Naziv Designation		Proizvođač Manufacturer		Standard: Standard:			
Elektroda Electrode								
Zica Wire	EPP2+VAC 60		JESENICE		EN ISO14171: S2+ EN ISO14341 G3Si1			
Prašak Flux	AR 18.5		JESENICE		EN ISO 14174: SA ARI 88 AC			
Plin Gas	82% Ar + 18% CO2		MESSER		EN ISO14175-M21			
PARAMETRI ZAVARIVANJA Parameters of welding								
Br. prolaza Interpass No.	Postupak Welding process	Promjer Diameter	Polaritet Polarity	El. struja DC/AC	Jakost struje (A) Amps	Napon (V) Volts	Brzina zavarivanja Welding speed (m/min)	Unos topline Q (kJ/mm), min ; max
1	135	1,2	+	DC	220	28	0,3	0,99
2a÷2n	121	4	+	DC	630	31	0,5	2,34
3	135	1,2	+	DC	220	28	0,3	0,99
4a÷4n	121	4	+	DC	630	31	0,5	2,34
Zijebljenje / postupak: Method of back gouging:	-				Sušenje elektrode/praška: Electrode drying:	350°C/1h		
Predgrijavanje: Preheat:	135°C				Odžarivanje: Heat treatment after welding:	-		
Protok plina. Gas Flow:	12 l/min				Vrsta i promjer W elektrode: Type and diameter of the W electrode:	-		
Položaj zavarivanja: Position:	položeni (PA)				Vrsta pripreme i čišćenje: Type of preparation and cleaning:	TOKARENJE TURNING		
Međuslojna temperatura: Interpass temperature:	<220°C				Njihanje (širina prolaza): Swinging (width passage):	-		
								
Sastavio: Made by:				Odobrio: Approval				



THIS DOCUMENT IS REPRODUCED BY A COMPUTERIZED SYSTEM AND IS CONFORM TO THE ORIGINAL

SPR

CITIC PACIFIC SPECIAL STEEL

QUALITY CERTIFICATE

CERTIFICATE NO.: IT22002396

ACC TO EN10088 J2



HUBEI XINYEGANG
NO. 316 HUANGSHI
CHINA PC435000



CONTRACT NO: YTH1316438C
TO: SBC&M S.P.A.
VIA MARZINGA, 31 - 27038 PARONA LOMELLINA (PV) - ITALY
DESIGNATION OF GOODS: PRODE NEW S155MS STEEL TUBE
CE MARKING JUST FOR S155MS PRODUCTION SPECIFICATION: XTC0201A13-2014 ACC TO EN10088-1 - S155MS EN10088-1 E255N EN 10162-3 255MS1CI (Gha grade steel)

Batch No.	Grade		Technical Spec. No.	Heat No.	Size (mm)	Pieces	Number	Weight (kg)	Total Length (m)	Delivery Condition	Manufacture Process
T22002396	S155MS/255MS/255MS1CI		XTC0201A13-2014-02	2080116Z	2003/50	6	3	6.688	35.44	normalised	Electric/Hot/Hot-C
1. Chemical Composition (Wt):	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Co	Al	Y
	0.17	0.41	1.42	0.013	0.004	0.16	0.04	0.04	0.07	0.030	0.076
Ladle											
Product	1										
	2										

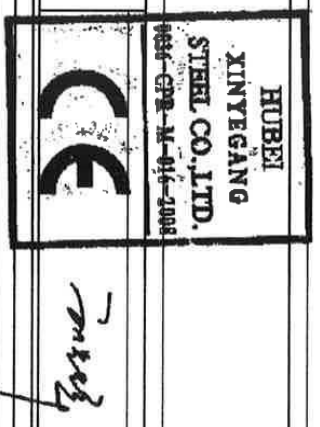
1. Mechanical Properties Examination		2. Impact tests:	
Temperature (°C)	direction	Temperature (°C)	dimension (mm)
R _m temp	Longitudinal	-20	101/10/65
		-20	101/10/85
			Impact V-notch Depth
			2mm
			2mm
			direction
			transverse
			longitudinal
			absorbed energy (MJ/C)
			95
			94
			82
			48
			72

1. normalizing temperature (°C): 927
 2. normalizing soaking time (min): 30
 3. normalizing cooling method: air cooling

IV. Dimensions, Appearance and Surface Quality:
 1. dimensions, appearance and surface quality: good

V. NOT:
 Ultrasonic Test
 Result: good
 standard: ISO 10863-10
 test level: 102-C
 direction: longitudinal
 test location: full length

Date: 2022/1/3
 Inspector: Wang Chao
 Manager of inspection: Liu Guangjun



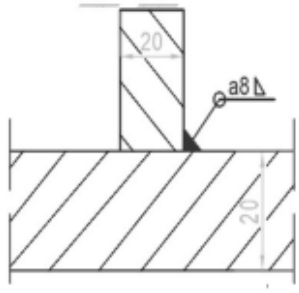
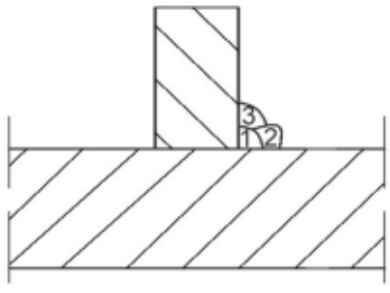
Handwritten signature: Wang Chao

A. RABAZZI

Prilog 6

SPECIFIKACIJA POSTUPKA ZAVARIVANJA (SZP) WELDING PROCEDURE SPECIFICATION(WPS)					6 Date 24.3.2021.			
Ime zavarivača: Welder name:	-	SZP-br: WPS-No:	Glavčine + plašt kućišta V + a	Broj crteža: Drawing No:				
Postupak: Welding proces:	GMAW 135	Spoj br.: Weld Joint No.:		Spoj Joint	FW+BW			
Atest postupka: WPQC No.:	0036TSS-IS-21-03- 1234-002	Nadzorni organ: Insp.authority:	TUV SUD	Kontrola: Control:				
Detailj: Detail:	WELD No			Koeficijent zavarenog spoja: Welding factor:				
		Dio: Component:	Debljina: Thickness:	Materijal: Material:	Standard: Standard:			
Osnovni materijal: Base metal:	t1 t2	PLATE HUB	20=40 20=80	S355J2+N S355J2+N	EN 10025-2 EN 10210			
PODACI O DODATNOM MATERIJALU Filler metals data								
Dodatni materijal Filler metals	Naziv Designation		Proizvođač Manufacturer		Standard: Standard:			
Elektroda Electrode								
Žica Wire	EZ-SG3		ELEKTRODA ZAGREB		EN ISO 14341-A; G 46 4 M 4Si1			
Prašak Flux	-		-		-			
Plin Gas	93% Ar + 6% CO2 + 1% O2		MESSER		EN ISO 14175-M24			
PARAMETRI ZAVARIVANJA Parameters of welding								
Br. prolaza Interpass No.	Postupak Welding process	Promjer Diameter	Polaritet Polarity	El. struja DC/AC	Jakost struje (A) Amps	Napon (V) Volts	Brzina zavarivanja Welding speed (mm/min)	Brzina žice Wire speed m/min
1	MAG (135)	1,2	+	DC	180	21	180	5
2÷7	MAG (135)	1,2	+	DC	270	29	300	8
8+10	MAG (135)	1,2	+	DC	280	29	300	9
11	MAG (135)	1,2	+	DC	270	29	280	9
12÷16	MAG (135)	1,2	+	DC	280	29	280	9
Zijebljenje / postupak: Method of back gouging:	Yes/grinding		Sušenje elektrode/praška: Electrode drying:		-			
Predgrijavanje: Preheat:	153°C		Odžarivanje: Heat treatment after welding:		-			
Protok plina. Gas Flow:	12 l/min		Toplinski unos: Heat input:		1+1,39 kJ/mm			
Položaj zavarivanja: Position:	položeni (PA)		Meduslojna temp: Interpass temp.:		<220°C			
Sastavio: Made by			Odobrio: Approval					

Prilog 7

SPECIFIKACIJA POSTUPKA ZAVARIVANJA (SZP) WELDING PROCEDURE SPECIFICATION (WPS)						2b Date 22.3.2021.		
Ime zavarivača: Welder name:	-		SZP-br: WPS-No:	kutni spoj a8 S355	Broj crteža: Drawing No:			
Postupak: Welding proces:	GMAW 135		Spoj br.: Weld Joint No.:		Spoj Joint	FW		
Atest postupka: WPQC No.:	0036TSS-IS-21-03- 1234-002		Nadzorni organ: Insp.authority:	TUV SUD	Kontrola: Control:			
Detalj: Detail:	WELD No			Koeфицијent zavarenog spoja: Welding factor:				
		Dio: Component:		Debljina: Thickness:		Materijal: Material:	Standard: Standard:	
Osnovni materijal: Base metal:	M1	PLATE		>5	S355J2+N	EN 10025-2		
	M2	PLATE		>5	S355J2+N	EN 10025-2		
PODACI O DODATNOM MATERIJALU Filler metals data								
Dodatni materijal Filler metals		Naziv Designation		Proizvođač Manufacturer		Standard: Standard:		
Elektroda Electrode								
Žica Wire		EZ-SG3		ELEKTRODA ZAGREB		EN ISO14341-A: G 46 4 M 4Si1		
Prašak Flux		-		-		-		
Plin Gas		93% Ar + 6% CO2 + 1% O2		MESSER		EN ISO 14175-M24		
PARAMETRI ZAVARIVANJA Parameters of welding								
Br. prolaza Interpass No.	Postupak Welding process	Promjer Diameter	Polaritet Polarity	El. struja DC/AC	Jakost struje (A) Amps	Napon (V) Volts	Brzina zavarivanja Welding speed (mm/min)	Brzina žice Wire speed m/min
1	MAG (135)	1,2	+	DC	270	28	280	8
2÷3	MAG (135)	1,2	+	DC	280	29	300	9
Žljebljenje / postupak: Method of back gouging:		-		Sušenje elektrode/praška: Electrode drying:		-		
Predgrijavanje: Preheat:		118°C		Odžarivanje: Heat treatment after welding:		-		
Protok plina. Gas Flow:		12 l/min		Toplinski unos: Heat input:		1,3 kJ/mm		
Položaj zavarivanja: Position:		položeni (PA)		Meduslojna temp.: Interpass temp.:		<220°C		
								
Sastavio: Made by:			Odobrio Approval:					

Prilog 8



INSPECTION CERTIFICATE

Certificate Type : EN 10204/3.1

Our Sales OrderNo	101938	Invoice No.	11210121	Certificate No.	2017-23014
Customer Order No.	20-NN03552-0	Invoice Date	16-06-2021	Date	17-06-2021

Customer **MDM, d.o.o.**
Brnciceva ulica 17, 1231 Ljubljana - Crnuce
SVN

Trade Mark **AIL**

Inspector,s Mark : **AIL1**

Material Details					
Stainless Steel Flat HRAP Sol. Ann					
Steel Grade	304 / 304L / 1.4301 / 1.4307	Shape	Flat	Size	50x30 mm
Heat No.	900729	Tolerance	EN-10058	Length Of Bars	5.000-6.200 meter
Net Weight	0.576 MT	Number Of Bars	8	Melting Process	EF/AOD/MEMS.
Bundle Nos	F1421				
Requirements	AD 2000 MARKBLATT W10 ASTM A 182:2020 DIN EN 10272:2016	AD 2000 MARKBLATT W2 ASTM A 276:2017 PED 2014/68/EU	ASME SA 182:2020 ASTM A 479:2019	ASME SA 479:2019 DIN EN 10088-3:2014	

Chemical Analysis %

Element	C	Si	Mn	P	S	N2	Cr	Ni									
Min							18.0000	8.0000									
Max	0.0300	1.0000	2.0000	0.0450	0.0300	0.1000	19.5000	10.5000									
Obs	0.0220	0.3500	1.5100	0.0420	0.0200	0.0820	18.2400	8.0500									

Mechanical Properties

	YS(Fp 0.2%) (N/mm2)	UTS (N/mm2)	% Elongation	% Reduction Area	Hardness (BHN)	Charpy Impact V Notch (Longitudinal) (Joules)				
	ISO 6892-1:2016	ISO 6892-1:2016	ISO 6892-1:2016	ISO 6892-1:2016	ISO 6506-1:2014	Temp.Deg	Result			
Min.	205.00	515.00	45.00	50.00		C				
Max.		700.00			215.00		1	2	3	Avg.
Result	324.72	626.82	48.00	64.00	175.00					

Heat Treatment :

Solution Annealed @ 1050°C, Soaking for 1hr-10mins & Water Quenching.

Remarks

- * Country Of Origin Of Goods - India
- * Free From Radioactivity - verified through Gamma Ray Spectrometer
- * No Mercury Contamination
- * Micro & Macro Test - Satisfactory
- * No welding has been performed on the material
- * Visual & dimensional Inspection- ok
- Material identification tested through X-Ray based portable spectrometer
- * IGC Test:DIN EN ISO 3651-2:1998 Method A :ok

We confirm that the material is manufactured & supplied in accordance to the Purchase Order

QA Head/NDT Inspector
AAMOR INOX LIMITED

Aamor Inox Limited

A-30, Site IV, UPSIDC Industrial Area, Sahibabad, Ghaziabad 201010, Uttar Pradesh, India, Tel: +91 120 4564585 / 86
Email:- info@aamorinox.com, Website:- www.aamorinox.com

Prilog 9

SPECIFIKACIJA POSTUPKA ZAVARIVANJA (SZP) WELDING PROCEDURE SPECIFICATION (WPS)					2a Date 19.1.2021.			
Ime zavarivača: Welder name:	-	SZP-br: WPS-No:	kutni spoj a8 S355+ inox 136	Broj crteža: Drawing No:				
Postupak: Welding proces:	FCAW 136	Spoj br.: Weld Joint No.:		Spoj Joint	FW			
Atest postupka: WPQC No.:	0036TSS-IS-20-12- 1234-001	Nadzorni organ: Insp.authority:	TUV SUD	Kontrola: Control:				
Detalj: Detail:	WELD No		Koeфицијent zavarenog spoja: Welding factor:					
	Dio: Component:		Debljina: Thickness:	Materijal: Material:	Standard: Standard:			
Osnovni materijal: Base metal:	M1	PLATE	>5	S355J2+N	EN 10025-2			
	M2	PLATE (FLAT BAR)	>5	1.4301/1.4571	EN 10028-7			
PODACI O DODATNOM MATERIJALU Filler metals data								
Dodatni materijal Filler metals	Naziv Designation		Proizvođač Manufacturer		Standard: Standard:			
Elektroda Electrode								
Žica Wire	DW-309MoL		KOBELCO		EN ISO17633-A: T 23 12 2 L R M21 3			
Prašak Flux	-		-		-			
Plin Gas	82% Ar + 18% CO2		MESSER		EN ISO 14175-M21			
PARAMETRI ZAVARIVANJA Parameters of welding								
Br. prolaza Interpass No.	Postupak Welding process	Promjer Diameter	Polaritet Polarity	El. struja DC/AC	Jakost struje (A) Amps	Napon (V) Volts	Brzina zavarivanja Welding speed (mm/min)	Brzina žice Wire speed m/min
1	136	1,2	+	DC	250	34	350	11
2+3	136	1,2	+	DC	260	34	350	11
Zijebljenje / postupak: Method of back gouging:	-		Sušenje elektrode/praška: Electrode drying:		-			
Predgrijavanje: Preheat:	118°C		Odžarivanje: Heat treatment after welding:		-			
Protok plina. Gas Flow:	17 l/min		Toplinski unos: Heat input:		1,17+1,21 kJ/mm			
Položaj zavarivanja: Position:	položeni (PA)		Međuslojna temp: Interpass temp.:		<150°C			
Sastavio: Made by:			Odobrio Approval:					

Prilog 10

Izveštaj o ispitivanju penetrantima/ Report on testing with penetrants		QOM 09230	
Broj/Number: 66B/52		Strana/Page:	
Projekt/Project: NP300/RN9000		Naručitelj/Buyer: KUPAC	
Naziv objekta/Object name: LZ 1500 PN2,5		Dio objekta/Object part: KUČIŠTE 1/BODY 1	
Norma ili standard ispitivanja/Standard of testing: EN ISO 3452-1		Kriterij prihvatljivosti/Acceptability criteria: EN 23277 all welds : l<4 ; d<6	
Proizvođač sredstava za ispitivanje/Producer of testing devices: TIEDE		Površina/Surface: PJESKARENA/SAND BLASTING	
Penetrant/Penetrant: tip/šarža/Type/cast Nr. PWL-1/130408		Vrijeme penetracije/Time of penetration: 25'	
Razvijatelj/Developer: tip/šarža/Type/cast Nr. DL-20/150305		Vrijeme djelovanja razvijачa/Duration of developer operation: 25'	
Sredstvo za čišćenje/Cleaning device: tip/šarža/Type/cast Nr. RL-40/150401		Temperatura površine ispitivanog objekta/ Surface temperature of examined object: 18 °C	
Skica mjesta ispitivanja/Sketch of examination place:			
Zavar br./Weld Nr. (mjesto ispitivanja/place of testing)		Opseg ispitivanja/ Range of testing:	
		Rezultati/Results	
		Zadovoljava/Satisfies	
		Dorada/Finishing	
all welds		100%	
		Da/Yes	
		BRUŠENJE/GRINDING	
Datum/Ispitivač: Date/Examiner:		Pregledao i odobrio: Inspected and approved by:	



CERTIFICATE

No.: 1055/2015-0

Date and place of birth:

Scope: Certification of persons for NDT

Applicable standard: HRN EN ISO 9712:2012

Method	Level	Valid until	Industrial sector Product sector	Certification
ET	--	--	--	--
MT	--	--	--	--
PT	2	28. 5. 2020.	B; c, f, t, w PED 97/23/EC	IC
RT	--	--	--	--
UT	--	--	--	--
VT	2	7. 10. 2020.	B; c, f, t, w PED 97/23/EC	IC

ET - Eddy current testing, MT - Magnetic testing, PT - Penetrant testing,
RT - Radiographic testing, UT - Ultrasonic testing, VT - Visual testing

A - manufacturing, B - pro- and in-service testing which includes manufacturing,
C - railway maintenance, D - aerospace, E - shipbuilding

c - castings, f - forgings, w - welds, wp - wrought products, t - tubes and pipes

PED - Pressure Equipment Directive EU 97/23/EC

IC - initial certification, AP - renewal, P - expansion, R - recertification

Signature of the certified person


Miro Džago
Head of the Certification Centre

Zagreb, 22. 10. 2015.

THIS CERTIFICATE WAS ISSUED IN ACCORDANCE WITH CSNDT SCHEME FOR CERTIFICATION OF PERSONS FOR NON-DESTRUCTIVE TESTING ACCEPTED AND CERTIFIED UNDER MULTILATERAL AGREEMENTS (MIRA) BY THE EFNDT AND ICNDT. Certification Centre of Croatian Society of Non-Destructive Testing LLC is accredited by the Croatian Accreditation Agency for Certification of persons for non-destructive testing (Accreditation Certificate No. 5060). Certification body is approved by the Ministry of Economy for certification of persons for non-destructive testing in accordance with PED Directive 97/23/EC conforming to Regulation on Pressure Equipment (Official Gazette No. 20/2015).

EFNDT
ICNDT
The World Organisation for NDT
OB-12/7-en

CROatian SOCIETY OF
NON-DESTRUCTIVE TESTING LLC for services
Certification Centre
Croatian Engineering Association

