

# Robotizirano zavarivanje dna transformatorskog kotla

---

**Kuzmić, Mirela**

**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:122:467267>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-07-15**



*Repository / Repozitorij:*

[University North Digital Repository](#)





**Sveučilište  
Sjever**

**Diplomski rad br. 100/STR/2023**

## **Robotizirano zavarivanje dna transformatorskog kotla**

**Mirela Kuzmić, 2798/336**

Varaždin, lipanj 2023. godine





# Sveučilište Sjever

Odjel za Strojtarstvo

Diplomski rad br. 100/STR/2023

## Robotizirano zavarivanje dna transformatorskog kotla

**Student**

Mirela Kuzmić, 2798/336

**Mentor**

Doc. dr. sc. Matija Bušić, dipl. ing. stroj.

Varaždin, lipanj 2023. godine

# Prijava diplomskog rada

## Definiranje teme diplomskog rada i povjerenstva

ODJEL Odjel za strojarstvo

STUDIJ diplomski sveučilišni studij Strojarstvo

PRISTUPNIK Mirela Kuzmić

JMBAG 0336026686

DATUM 02.10.2023.

KOLEGIJ Suvremene proizvodne tehnologije

NASLOV RADA Robotizirano zavarivanje dna transformatorskog kotla

NASLOV RADA NA ENGL. JEZIKU Robotic welding of the bottom of a transformer tank

MENTOR dr. sc. Matija Bušić

ZVANJE docent

### ČLANOVI POVJERENSTVA

1. doc dr. sc. Jasna Leder Horina, predsjednica povjerenstva
2. doc. dr. sc. Matija Bušić, mentor, član povjerenstva
3. doc. dr. sc. Zlatko Botak, član povjerenstva
4. doc. dr. sc. Tomislav Veliki, zamjenski član
- 5.

VZ  
KC

MMI

## Zadatak diplomskog rada

BROJ 100/STR/2023

### OPIS

U teoretskom dijelu diplomskog rada na osnovi podataka iz literature potrebno je opisati MIG/MAG postupak zavarivanja. Potrebno je definirati i vrednovati sve utjecajne parametre u procesu te također opisati opremu koja se koristi za MIG/MAG zavarivanje. Detaljnije opisati mogućnosti robotizacije MIG/MAG zavarivanja, definirati problematiku koja se pojavljuje u takvom zavarivanju te metode izrade programa koji se primjenjuju za vođenje robota.

U eksperimentalnom dijelu rada potrebno je opisati robotski sustav koji se koristi za zavarivanje dna transformatorskog kotla te također opisati tehnologiju zavarivanja. Definirati sve dijelove i funkcije robotiziranog sustava za MIG/MAG zavarivanje. Opisati podešavanje robotskog sustava te izradu upravljačkog programa. Na kraju je potrebno provesti nerazorno ispitivanje zavarenih spojeva jednom od preporučenih metoda te izmjeriti geometriju zavarenih spojeva. Prema izmjerenim vrijednostima dimenzija donijeti zaključak o prihvatljivosti proizvoda i razlozima postojanja odstupanja u izmjerenim vrijednostima. U radu je potrebno navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

ZADATAK URUČEN

02.10.2023.



M. Bušić



### 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, Mirela Kuzmić (ime i prezime) pod punom moralnom, materijalnom i kaznenom odgovornošću, izjavljujem da sam isključivi autor/ica ~~završnog/diplomskog~~ (obrisati nepotrebno) rada pod naslovom Robotizirano zavarivanje dna transformatorskog kotla (upisati naslov) te da u navedenom radu nisu na nedozvoljeni način (bez pravilnog citiranja) korišteni dijelovi tuđih radova.

Student/ica:  
(upisati ime i prezime)

Mirela Kuzmić  
(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.

## **Predgovor**

*Po završetku svog petogodišnjeg fakultetskog obrazovanja želim se najprije zahvaliti svojoj obitelji i prijateljima što su bili moj vjetar u leđa i podrška u najtežim trenucima studiranja.*

*Zahvaljujem se svom mentoru doc. dr. sc. Matiji Bušiću koji me vodio uputama i savjetima kroz rad te nesebično prenosio znanje tijekom studiranja.*

*Također, zahvaljujem se svim profesorima i asistentima koji su imali veliku ulogu ka ostvarenju mog sna.*

*Jedno veliko hvala poduzeću Ferokotao d.o.o. te osobito Radovanu Čavleku, IWS i Zoranu Bogdanoviću, dipl. ing. stroj., EWE što su mi svojom stručnošću, znanjem i iskustvom pomogli u eksperimentalnom dijelu diplomskog rada.*

*Mirela Kuzmić*

## Sažetak

Tema ovog diplomskog rada je robotizirano zavarivanje dna transformatorskog kotla. U prvom, teorijskom dijelu rada, opisana je tehnologija zavarivanja te su ukratko opisani najzastupljeniji postupci zavarivanja. Budući da je u eksperimentalnom dijelu bio primijenjen MAG postupak zavarivanja, isti je detaljnije opisan sa parametrima koji utječu na geometriju zavara. S obzirom da se kod MAG postupka mogu koristiti pune žice i praškom punjene žice (FCAW), iste su ukratko uspoređene. Navedene su prednosti i nedostaci postupka, oprema za zavarivanje, prikazani su primjeri primjene postupka i naposljetku su prikazane i opisane greške koje se najčešće javljaju kod navedenog postupka. Objasnjeno je robotizirano zavarivanje te su opisane vrste programiranja robota.

Na početku eksperimentalnog dijela rada objašnjen je proizvod koji se robotski zavarivao. Detaljno je objašnjeno programiranje robota, opisana je ispitna stanica u kojoj se provelo zavarivanje te je opisan korišteni robot. Nadalje, objašnjeno je podešavanje robota koje je potrebno napraviti prije početka zavarivanja. Opisani je suvremeni CMT MIG/MAG postupak koji se koristio te je dani prikaz redoslijeda odvijanja robotiziranog zavarivanja. Prikazana je dobivena geometrija zavara i na kraju je provedeno ispitivanje penetrantom.

**Ključne riječi:** robotizirano zavarivanje, robotizirano programiranje, dno transformatorskog kotla, suvremeni CMT MIG/MAG postupak,



## **Abstract**

The topic of this thesis is robotic welding of the bottom of a transformer tank. In the first, theoretical part of the work, welding technology is described and the most common welding procedures are briefly described. Since the MAG welding procedure was applied in the experimental part, it is described in more detail with the parameters related to the geometry of the weld. Since solid wires and powder-filled wires (FCAW) can be used in the MAG process, they are briefly compared. The advantages and disadvantages of the procedure, welding equipment, examples of application of the procedure are shown and finally, the mistakes that most often occur with the mentioned procedure are shown and described. Robotic welding is explained and the types of robot programming were described.

At the beginning of the experimental part of the work, the product that was robotically welded was explained. The programming of the robot is explained in detail, the test station where the welding was performed is described, and the robot which was used is described. Furthermore, the adjustment of the robot that needs to be done before starting welding is explained. The modern CMT MIG/MAG procedure used is described, and it is a representation of the sequence of robotic welding. The obtained geometry of the weld is presented and at the end a penetrant test was performed.

Keywords: robotic welding, robot programming, transformer boiler bottom, modern CMT MIG/MAG procedure

## Popis korištenih kratica

<b>Ni</b>	nikal
<b>Cu</b>	bakar
<b>Mn</b>	mangan
<b>C</b>	ugljik
<b>S</b>	sumpor
<b>P</b>	fosfor
<b>Cr</b>	krom
<b>N<sub>2</sub></b>	dušik
<b>CO<sub>2</sub></b>	ugljičkov dioksid
<b>DM</b>	dodatni materijal
<b>OM</b>	osnovni materijal
<b>L<sub>el</sub></b>	legirni elementi
<b>MIG</b>	elektrolučno zavarivanje taljivom žicom u zaštiti inertnog plina
<b>MAG</b>	elektrolučno zavarivanje taljivom žicom u zaštiti aktivnog plina
<b>TCP</b>	koordinatni sustav alata
<b>CMT</b>	modificirani način prijenosa metala kratkim spojem (eng. <i>Cold Metal Transfer</i> )
<b>FCAW</b>	praškom punjena žica
<b>PTP</b>	dvopoložajno upravljanje, točka – točka programiranje (eng. <i>Point to Point Control Robot</i> )
<b>CP</b>	kontinuirano upravljanje (eng. <i>Continuos – Path Control Robot</i> )
<b>VKV</b>	visoko kvalificirani radnik
<b>NKV</b>	nisko kvalificirani radnik
<b>SSG</b>	stupanj slobode gibanja
<b>4D</b>	prljavo, opasno, teško, dosadno (eng. <i>Dirty, Dangerous, Difficult, Dull</i> )
<b>DC</b>	istosmjerna struja (eng. <i>Direct Current</i> )
<b>ZUT</b>	zona utjecaja topline

## Popis korištenih fizikalnih veličina i pripadajućih mjernih jedinica

Oznaka	Opis	Mjerna jedinica
$Q$	Toplina	J
$I$	Jakost struje	A
$U$	Napon	V
$v_z$	Bzina zavarivanja	cm/min
$v_{\dot{z}}$	Brzina dovoda žice	m/min
$q$	Protok plina	l/min
$L$	Slobodni kraj žice	mm
$B$	Udaljenost sapnice od radnog komada	mm

## Sadržaj

1.	Uvod.....	1
2.	Zavarivanje .....	2
2.1.	Postupci zavarivanja.....	3
3.	MIG/MAG zavarivanje .....	6
3.1.	Utjecaj parametara na geometriju zavara .....	7
3.1.1.	<i>Utjecaj jakosti struje zavarivanja.....</i>	7
3.1.2.	<i>Utjecaj napona zavarivanja .....</i>	8
3.1.3.	<i>Utjecaj brzine zavarivanja .....</i>	9
3.1.4.	<i>Utjecaj slobodnog kraja žice.....</i>	10
3.1.5.	<i>Utjecaj zaštitnog plina .....</i>	11
3.2.	Praškom punjena žica.....	12
3.3.	Prednosti i nedostaci postupka .....	13
3.4.	Oprema za MIG/MAG zavarivanje.....	14
3.5.	Primjeri primjene.....	15
3.6.	Greške u zavarenom spoju kod MIG/MAG zavarivanja.....	16
4.	Robotizirano zavarivanje .....	17
4.1.	MIG/MAG robotizirano zavarivanje.....	20
4.2.	Roboti za zavarivanje .....	21
4.3.	Robotizirano programiranje .....	21
4.3.1.	<i>Vrste programiranja robota.....</i>	22
5.	Eksperimentalni dio .....	25
5.1.	Programiranje robota.....	27
5.2.	Robotizirano zavarivanje.....	31
5.2.1	<i>Igm robot.....</i>	32
5.2.2	<i>Podešavanje robotskog sustava.....</i>	34
5.2.3	<i>Redoslijed zavarivanja .....</i>	35
5.2.4	<i>Parametri zavarivanja.....</i>	36
5.3.	Mjerenje geometrije zavarenih spojeva.....	44
5.4.	Ispitivanje penetrantom .....	45
6.	Zaključak.....	47
7.	Literatura.....	49
	Popis slika .....	51
	Popis tablica.....	66

## Prilozi

# 1. Uvod

Ova tema rada odabrana je s razlogom što je industrijski robot jedna od karika u lancu suvremene proizvodnje. Može se reći da je već u nekim tvornicama prisutna industrija 4.0. To znači da je robot zamijenio čovjeka na poslovima koje on nije želio ili mogao obavljati. Osim toga, robot radi 0-24 h 365 dana u godini. Primjenom robota se omogućuje prilagođavanje proizvodnog procesa kao odgovor na tehnološke izazove u „tvornicama budućnosti“. Krajnji cilj je stvoriti „tvornicu budućnosti“ u kojoj će se fizička radna snaga svesti na minimum te u kojoj će prevladavati visoke tehnologije tj. automatizacija, zatim da bude integrirana i optimizirana proizvodnja i na kraju da se proizvodi dovoljno materijalnih dobara za potrebe društva. Svaka promjena za sobom nosi nesigurnost. Za opstanak na tržištu uvelike igra ulogu sposobnost prilagodbe i brzina prilagođavanja. Industrijska proizvodnja pripada dinamičkoj okolini. Za dinamiku su zaslužne inovacije. Firma Ferokotao d.o.o. u kojoj je izveden eksperimentalni dio rada je odličan primjer metaloprerađivačke industrije u kojoj se pretežito proizvode velike serije distributivnih transformatora te je cilj da isti budu u većoj mjeri zavareni pomoću robota, a da se potreba za radnikom svede na minimum. Tržište konstantno raste, a samim time raste i potražnja za novim proizvodima. Tendencija je povećanje proizvodnje, ali sa smanjenjem uloženog vremena i troškom proizvodnje. Teži se napraviti proizvod koji je kvalitetom bolji, brži i jednostavniji od konkurencije. U ovom radu namjera je pokazati da li se može uštedjeti na vremenu, dobiti na preciznosti i točnosti kada robot umjesto radnika zavaruje dno transformatorskog kotla. Ako bude slučaj, intencija je da robot zavaruje proizvod u cijelosti, od okvira do dna transformatorskog kotla. Kao rezultat toga moglo bi doći do smanjenja troškova proizvodnje uz povećanje kvalitete proizvoda s padom ukupne cijene proizvoda što bi dovelo do rasta konkurentnosti na tržištu.

## 2. Zavarivanje

Zavarivanje spada u interdisciplinarno područje zbog toga što su obuhvaćena znanja iz mehanike, termodinamike, matematike, fizike, kemije, materijala itd. Zavarivanje je jedna od tehnika spajanja najmanje dva ili više materijala kod koje se može dogoditi kombinacija da su svi materijali istorodni ili pak raznorodni, a njihov spoj se dobiva taljenjem, pritiskom ili kombinacijom taljenja i pritiska. Zavarivati se može korištenjem dodatnog materijala ili bez njega. Navedena metoda spajanja ima važnu ulogu kod gradnje čeličnih konstrukcija (brodogradnja, gradnja mostova, strojogradnja itd.), cjevovoda, tračnica, spremnika, nosivih strojnih dijelova itd [1].

Za razliku od ostalih postupaka spajanja, zavarivanjem je unos dodatnog materijala sveden na minimum. Glavna, a ujedno i najveća prednost zavarivanja je cijena, za dobivanje spoja potrebno je utrošiti značajno manje materijala. Potrebno je osigurati da se koriste radni materijali bez prašine, masti i prljavštine te je potrebno obratiti pažnju na izbor vrste spoja [2].

Postoji nekoliko podjela po kojima se dijele postupci zavarivanja:

- a) Prema načinu nositelja energije – električni luk, plinski plamen, plazma, laser, električni snop itd.
- b) Prema vrsti osnovnog materijala – metali, nemetali
- c) Prema svrsi spajanja postupka zavarivanja – zavarivanje spajanjem, navarivanje
- d) Prema stupnju mehanizacije – ručno, automatizirano, mehanizirano, robotizirano [1].

Kod zavarivanja se koriste dvije struje, istosmjerna i izmjenična. Ovisno ako je OM na (+) ili (-) polu, istosmjernom strujom više se zagrijava (+) pol. Kod izmjenične struje, toplina koja se razvija u električnom luku jednaka je i na katodi i na anodi [3].

S obzirom na način kojim se spajaju materijali, zavarivanje se dijeli na:

1. Zavarivanje taljenjem – spajanje materijala postiže se toplinom koja je razvijena iz plamena ili je nastala iz električnog luka, plazma mlazom i laserskom zrakom
2. Zavarivanje pritiskom – pod djelovanjem mehaničkog pritiska, koji je kombiniran s toplinom, dolazi do spajanja materijala

## 2.1. Postupci zavarivanja

Danas postoji mnogo postupaka zavarivanja, no najvažniji su: plinsko zavarivanje, zavarivanje električnim lukom –REL, MIG/MAG, TIG, EPP, plazma zavarivanje, zavarivanje električnim otporom te lasersko zavarivanje [1].

Kod plinskog zavarivanja upotrebljava se  $C_2H_2/O_2$  plamenik kojim se tali radni materijal i šipka za zavarivanje. Taj postupak je nešto manje uobičajen u industriji, koristi se za održavanje, reparaturu, prvenstveno se zavaruju cijevi (nelegirani čelici)[2]. Postoje tri vrste plamena, neutralni, reducirajući i oksidirajući. Postupak je vrlo fleksibilan sa jednostavnom opremom. Primjenjuje se lijeva ili desna tehnika rada ovisno o slučaju. Ukoliko je potrebno zavariti debele stjenke, ovaj postupak se ne preporuča [1].

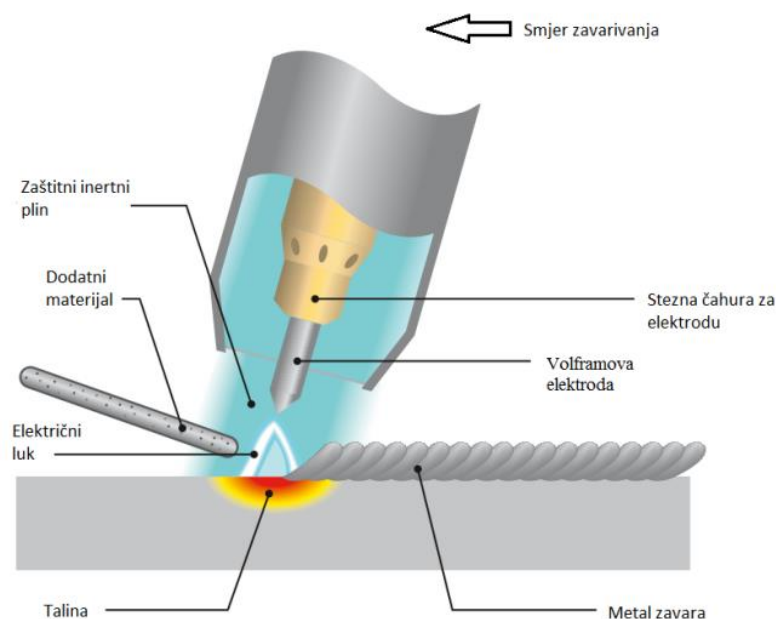
Za razliku od plinskog zavarivanja, REL zavarivanjem se mogu zavariti materijali svih debljina te sve vrste materijala. Ovaj postupak je primijenjen za sva područja, bilo da se radi u radionici ili na terenu. Mana je što se dodatni materijal ne može iskoristiti u potpunosti pa je gubitak oko 30 %. REL postupak je slabo sklon automatizaciji. Nedostatak je i taj što tijekom zavarivanja dolazi do rasprskavanja i troske, potrebno je imati kontrolu nad rukovanjem elektrodom. REL zavarivanje se kao i plinsko zavarivanje koristi za zavarivanje cijevi, kod čeličnih konstrukcija i brodogradnje, za nelegirane, niskolegirane i visokolegirane čelike [1,4].

Elektrotoporno zavarivanje (EO) je postupak zavarivanja kod kojeg se metal zagrijava i tali toplinom koja se stvara uslijed električnog otpora pri čemu se ne stvara električni luk. Kvaliteta elektrotopornih zavarenih spojeva najviše ovisi o: jačini struje zavarivanja, sili pritiska na elektrode, vremenu zavarivanja, dimenzijama vrhova elektroda, vremenu prianjanja elektroda i vremenu održavanja sile pritiska na elektrodama [4].

Kod EO zavarivanja primjenjuju se struje visoke jakosti od 100 do 300 000 A. Najčešće primjenjivani postupci EO zavarivanja su [1,5]:

- točkasto zavarivanje
- bradavičasto zavarivanje
- šavno (kolutno) zavarivanje
- sučeljeno zavarivanje.

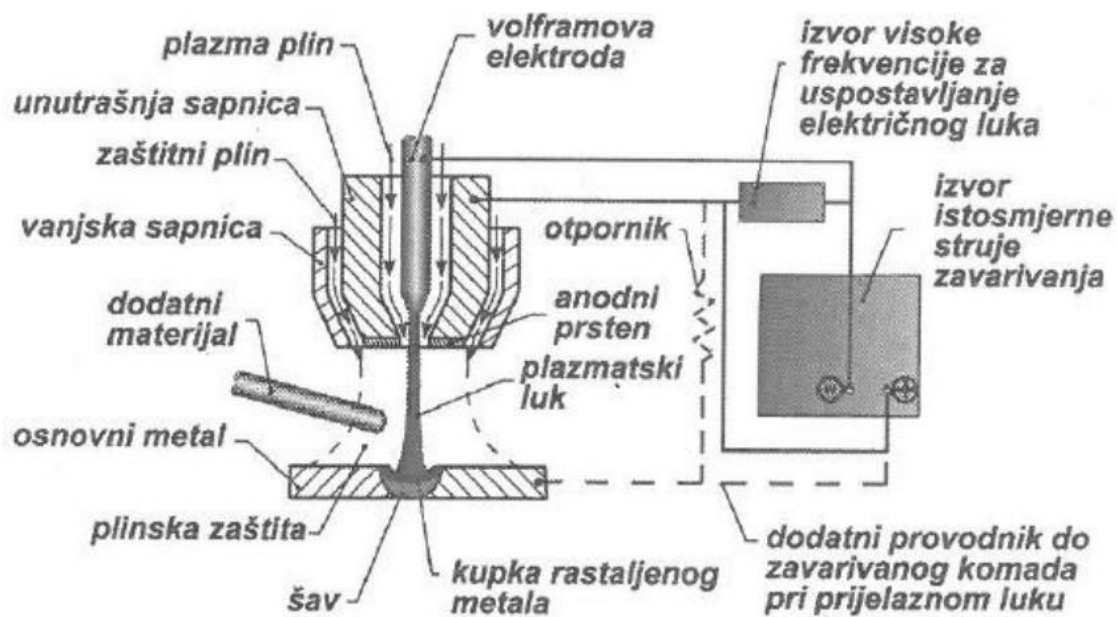
Učenje TIG-a iziskuje trud pošto ga je vrlo teško naučiti, a sam postupak zahtjeva posebnu opremu za zavarivanje. TIG zavarivanjem proizvode se zavari visoke kvalitete. S obzirom da su danas sve veći zahtjevi za većom produktivnošću, počelo se istraživati A-TIG zavarivanje kod kojeg se primjenjuju aktivacijski premazi. Problem kod istog je određivanje optimalnog sastava. Jedna od razlika po čemu se TIG postupak razlikuje od drugih postupaka je ta što kod njega nema prijenosa kapljica metala te rasprskavanja. Time je već u startu zavar čist i kvalitetan, sa smanjenim isparavanjem i dimovima. Da bi se uspostavio električni luk, vrh elektrode može biti u dodiru sa radnim komadom, a i ne mora. Električni luk se uspostavlja između netaljive elektrode koja je izrađena od volframa ili njegovih legura te osnovnog materijala. Izvori struje kod TIG zavarivanja su transformatori, inverteri i ispravljači. Oni imaju konstantnu strujnu karakteristiku te se može obaviti impulsno TIG zavarivanje. Zavarivanje nehrđajućih čelika uvijek se ostvaruje istosmjernom strujom (DC) te elektrodom na (-) polu. Ukoliko se radi o ručnom TIG postupku onda se kao dodatni materijal upotrebljava šipka, dok se kod automatiziranog TIG postupka koristi namotana žica [3]. Zona koja se zagrijava, rastaljeni OM i DM, za vrijeme procesa štiti se od kontaminacije okolnim plinovima iz atmosfere tako da se inertni plinovi upuhuju kroz sapnicu izrađenu od keramike koaksijalno smještenu oko netaljive volframove elektrode. Inertni zaštitni plin je u većini slučajeva Ar, He ili mješavina ta dva plina. Na slici 2.1. dat je prikaz TIG postupka zavarivanja na kojoj je točno definiran pravilan položaj elektrode i DM. Kut između pištolja i horizontale treba biti od 75° do 80°, a DM se dodaje pod kutom od 10° do 20°. Vrh volframove elektrode izlazi iz keramičke sapnice 3 - 5 mm. Radni komad treba biti na razmaku od elektrode 6 - 10 mm [1,4,6].



Slika 2.1. Prikaz TIG postupka zavarivanja [6]



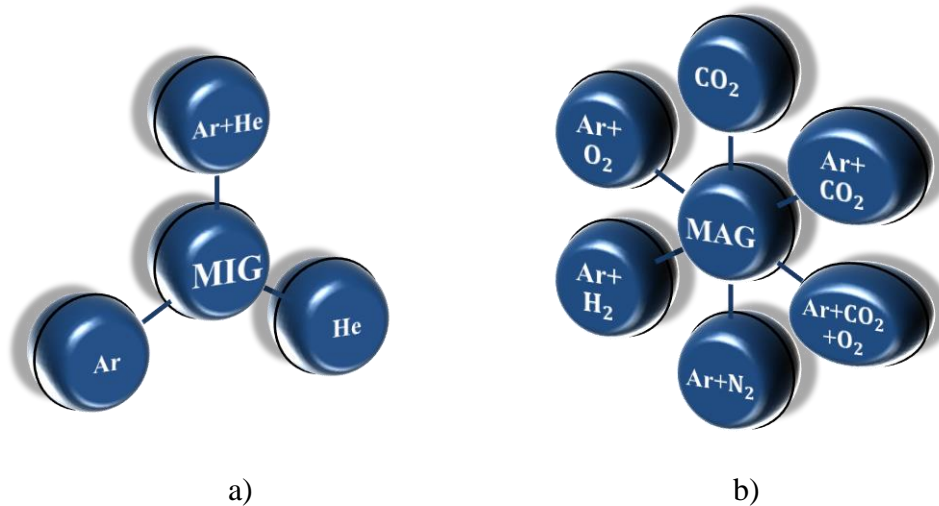
Plazma zavarivanje je također jedan od značajnijih postupaka zavarivanja. Postupak se razvio iz TIG postupka. Za dobivanje plazmenog mlaza potreban je određeni plin koji se tlači prolaskom kroz električni luk. Električni luk uspostavlja se između volframove elektrode spojene na (-) pol izvora struje i radnog komada ili sapnice pištolja. Plin se tijekom prolaska kroz električni luk ionizira i disocira te izlazi iz istog u obliku plazme. Za razliku od TIG-a kod kojeg se luk formira slobodno, kod plazma zavarivanja luk se formira obilno hlađenom bakrenom sapnicom. Nakon što je plin izašao velikom brzinom u obliku plazme iz sapnice, vraća se u stabilno stanje i pritom prenosi energiju koju je uzeo iz električnog luka na radni komad. Zavareni spoj nastaje na način da se koncentriranim mlazom vrućih plazmenih plinova tali OM i oblikuje spoj. Još jedna razlika u odnosu na TIG je što su kod ovog postupka brzina zavarivanja i penetracija veće. Razlog tome je veća koncentracija energije na površini materijala. Plazmeni mlaz je za razliku od električnog luka kod TIG-a koncentriran na manju površinu. Na slici 2.2. dat je prikaz plazma postupka zavarivanja [1,4,6].



Slika 2.2. Plazma zavarivanje [6]

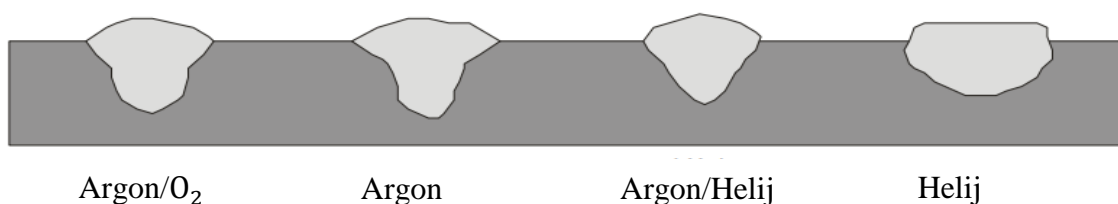
### 3. MIG/MAG zavarivanje

Pri odvijanju procesa u zaštitnoj atmosferi prisutni su aktivni plinovi – ugljikov dioksid i mješavine i inertni plinovi – argon i helij prikazani na slici 3.1. koji zapravo omogućuju tu atmosferu [4].



Slika 3.1. a) Zaštitni plinovi kod MIG postupka, b) Zaštitni plinovi kod MAG postupka [4]

MIG/MAG postupak našao je primjenu kod zavarivanja raznovrsnih materijala. Njime se može ostvariti prijenos metala na četiri načina (kratkim spojem, prijelaznim lukom, štrcajućim lukom i impulsnim prijenosom). Postupak se upotrebljava kada je potrebno zavariti limove i cijevi od 1 do 20 mm. To je izvorno poluautomatski postupak, međutim može se koristiti kao automatizirani/robotizirani postupak zavarivanja. Primjenjuje se kod proizvodnih zavarivanja, navarivanja i reparaturnog zavarivanja većine metala [4]. Troškovi izrade zavarene konstrukcije mogu se smanjiti na način da se dobro izaberu elektroda i zaštitni plin te se tako smanje troškovi čišćenja i poveća brzina zavarivanja. Stoga je izuzetno važno znati koji zaštitni plin odabrati jer isti uvelike utječe i na tehnološke parametre zavarivanja, na širinu zavora (kod nekih plinova je veća ili manja) te zaštitni plinovi mogu imati utjecaj na potrebu za predgrijavanjem radnog komada. Na slici 3.2. je shematski prikaz izgleda širine zavora za pojedini zaštitni plin [1,6].



Slika 3.2. Prikaz širine zavora koju daje svaki pojedini zaštitni plin ili kombinacija plinova [6]

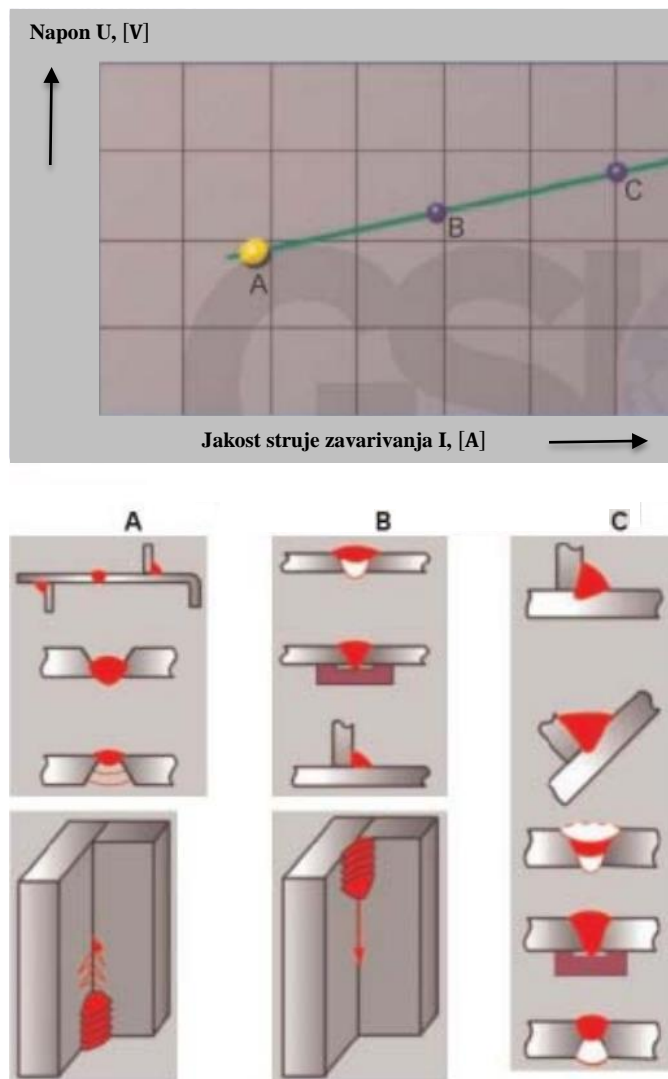
### **3.1. Utjecaj parametara na geometriju zavara pri MIG/MAG zavarivanju**

Na kvalitetu zavarenog spoja najviše utječu parametri zavarivanja, a u iste ulaze jakost struje, brzina zavarivanja, brzina dodavanja žice, promjer žice, napon električnog luka, veličina dodatnog induktiviteta, količina i vrsta zaštitnog plina te dužina slobodnog kraja žice. Optimalni parametri zavarivanja biraju se određenim redoslijedom. Najprije se izabere promjer žice ovisno o vrsti i debljini materijala, obliku žlijeba i položaju zavarivanja. Na temelju odabrane žice, na izvoru struje bira se jedno od područja radnog napona i jakost struje. Sljedeće je potrebno namjestiti brzinu dodavanja žice ovisno o odabranom promjeru žice. Nakon toga potrebno je približno odrediti napon luka [1,4,7].

#### **3.1.1. Utjecaj jakosti struje zavarivanja**

Jakost struje zavarivanja odabire se prema vrsti i debljini materijala, obliku pripreme spoja i položaju zavarivanja. Ista utječe na dubinu protaljivanja, što je veća jakost struje to je veća i dubina protaljivanja, na količinu rastaljenog materijala, ukoliko je veća jakost struje, utoliko je više rastaljenog materijala, te još utječe na oblik zavara. Kod iste jakosti struje povećanom brzinom zavarivanja manja je dubina protaljivanja. Kod iste jakosti struje povećanim naponom luka, električni luk je duži i dužina protaljivanja je manja. Širi i dublji zavar dobije se korištenjem veće jakosti struje koja rastali veću količinu materijala [8,9].

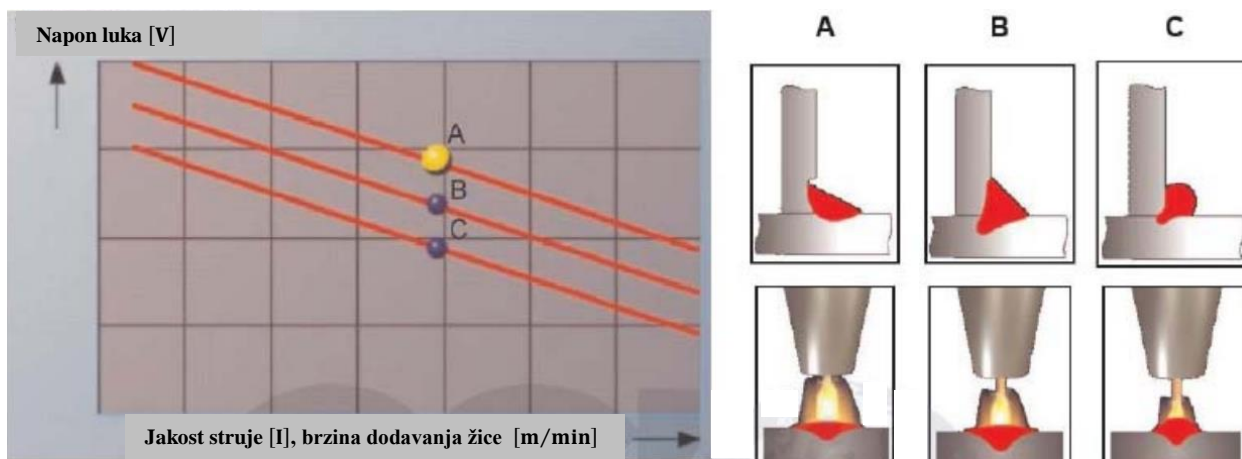
Dijagram na slici 3.3. prikazuje tri točke, A, B i C, različitih jakosti struja zavarivanja. Zavari točke A zavareni su najslabijom strujom. Slabom strujom zavaruju se tanki materijali, korijenski zavari kod sučeljenog spoja, svi prolazi nadglavno te debeli materijali pri vertikalnom zavarivanju prema gore. Točka B koristi srednju jakost struje zavarivanja. Sa njom se zavaruju završni prolazi kod sučeljenog spoja, upotrebljava se kod zavarivanja sučeljenih spojeva uz korištenje podloge, kutni zavar u PB položaju se obavezno zavaruje srednjom jačinom struje te zavarivanje tankim materijala ide po vertikali prema dolje takvom strujom. Točka C predstavlja najveću jačinu struje zavarivanja kojom se zavaruju kutni zavari u PB položaju sa penetracijom, kutni zavari u žlijebu u PA položaju, međuslojevi kod sučeljenih zavara debljih materijala, deblji materijali sučeljenih spojeva korištenjem podloge i kad je potrebno obostrano zavarivati (prva strana zavara obično se zavaruje kombinacijom male i srednje jačine struje, a druga strana zavara se zavaruje jačom strujom zavarivanja [7,9].)



Slika 3.3. Utjecaj različitih jačina struja zavarivanja na zavarene spojeve [7]

### 3.1.2. Utjecaj napona zavarivanja

Uz jakost struje, napon luka je najznačajniji parametar zavarivanja. On utječe na dubinu protaljivanja i izgled zavara, odnosno širinu i nadvišenje zavara. Što je veći napon, to je veća dužina električnog luka. Viši napon luka daje ljepši izgled površine zavara. Međutim, ako je napon luka previsoki dolazi do velikog rasprskavanja kapljica metala izvan taline zavara i svojstva zavarenog spoja su lošija. Na dijagramu prikazanom na slici 3.4. točke A, B i C imaju istu jakost struje i jednaku brzinu dodavanja žice, ali su različitih napona luka. Točka A ima najviši napon luka. Električni luk je dug pa je time i zavar širi. Zavar točke A ima zajed na površini OM kao posljedicu prevelike dužine električnog luka. Točka B ima najbolji zavar, što po izgledu površine zavara, dubini protaljivanja itd. Kod točke C koristila se najniža vrijednost napona luka. Kod zavara točke C došlo je do nadvišenja lica zavara, električni luk je uzak i veća je dubina protaljivanja nego kod točke A [7,9].



Slika 3.4. Usporedba zavara korištenjem različitih napona luka [7]

### 3.1.3. Utjecaj brzine zavarivanja

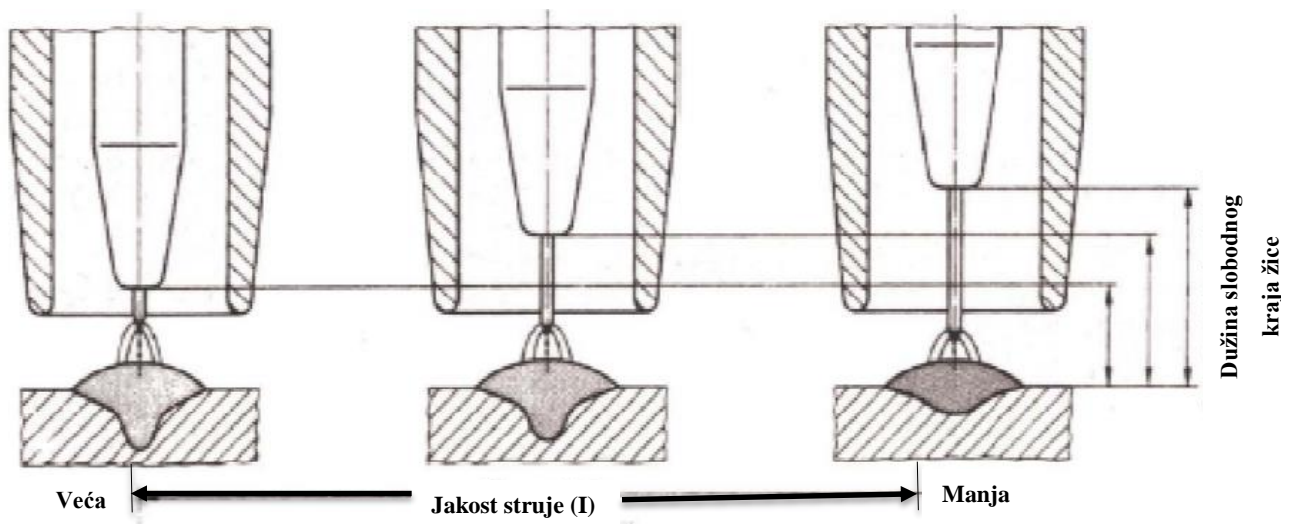
Brzina zavarivanja kao jedan od parametara zavarivanja utječe na tri stvari, dubinu protaljivanja, širinu zavara i količinu unesene topline u ZUT. Premala brzina zavarivanja zajedno sa velikom strujom zavarivanja uzrokuje neznatno protaljivanje, odnosno luk ne može prodirati zbog taline. Posljedica toga je nastanak naljepljivanja, neprotaljivanja i uključaka. S druge strane, prevelika brzina zavarivanja opet uzrokuje malo protaljivanje i pojavu zarez. Rezultat prevelike brzine zavarivanja je uzak i nadvišen zavar [7,8,9]. Na slici 3.5. prikazan je dijagram sa tri točke koje imaju različite brzine zavarivanja te na temelju brzine zavarivanja imaju određenu dubinu protaljivanja. Točka 1 ima premalu brzinu zavarivanja i zbog toga je minimalno protaljivanje s konstantnim slojem. Točka 2 ima pravilnu, odnosno optimalnu brzinu zavarivanja te je i protaljivanje maksimalno. I točka 3 ima preveliku brzinu zavarivanja te je protaljivanje manje.



Slika 3.5. Ovisnost dubine protaljivanja o brzini zavarivanja [7]

### 3.1.4. Utjecaj slobodnog kraja žice

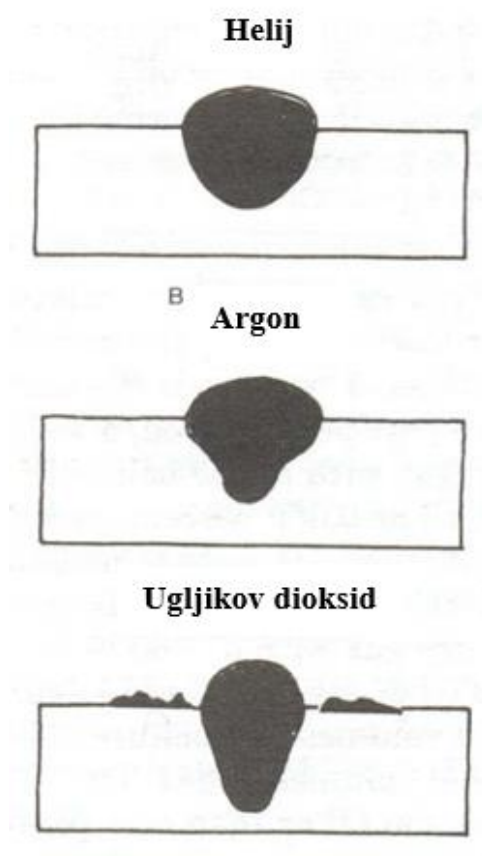
Dužina slobodnog kraja žice se povećava ili smanjuje odmicanjem ili približavanjem pištolja. Povećanjem dužine slobodnog kraja žice smanjuje se jakost struje kod iste brzine dodavanja žice [8]. U pravilu dužina slobodnog kraja žice treba biti što manja te je onda luk mirniji, ali opet treba paziti da ne bude premala jer može doći do onečišćenja sapnice. Što je veća jakost struje to je slobodni kraj žice duži. Slika 3.6. prikazuje kako izgledaju zavari kad se koriste različite jakosti struje i dužine slobodnih krajeva žice. U prvom slučaju se koristila niska jakost struje i najmanja dužina slobodnog kraja žice koja je uvučena u sapnicu. Električni luk je uzak, većom strujom rastalila se veća količina materijala i dobio se širi i dublji zavar. Kod zavarivanja zadnjeg slučaja koristila se veća dužina slobodnog kraja žice i visoka jakost struje te je dobiven zavar sa manjom dubinom protaljivanja. [7,9].



Slika 3.6. Izgled zavara dobivenih različitim jakostima strujama i dužinama slobodnog kraja žica [7]

### 3.1.5. Utjecaj zaštitnog plina

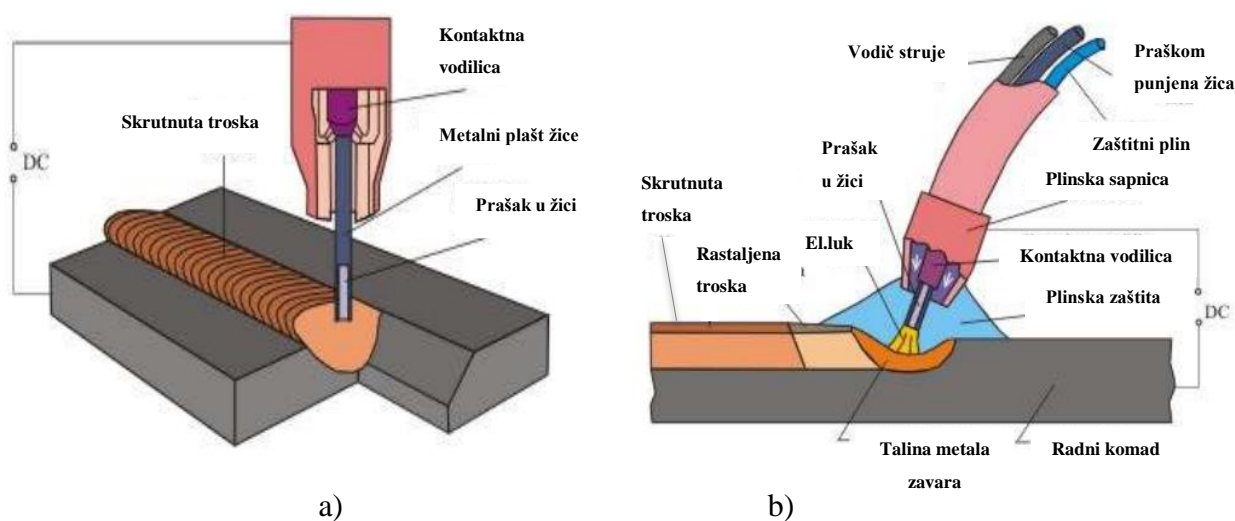
Ukoliko se koristi premala količina zaštitnog plina, dolazi do nedovoljne zaštite zavarenog spoja i javlja se poroznost. Također poroznost uzrokuje i prevelika količina zaštitnog plina. Kada se povećava brzina zavarivanja onda je potrebno povećati i količinu zaštitnih plinova. Slika 3.7. prikazuje kako zaštitni plinovi utječu na oblik zavara i dubinu protaljivanja u OM. Korištenje ugljikovog dioksida uzrokuje prskanje kojim se troši dodatni materijal, ali i povećavaju troškovi rada čišćenja. U praksi je najčešća kombinacija zaštitnih plinova argona i ugljikov dioksida [7,9].



Slika 3.7. Utjecaj zaštitnih plinova na zavar [7]

### 3.2. Praškom punjena žica

Kod MAG zavarivanja mogu se koristiti pune žice ili praškom punjene žice gdje se traka savija u cjevčicu ispunjenu praškom. U oba slučaja se koristi ista oprema i uređaj. Jedina je preporuka da se kod FCAW pogonski kotačići umjesto glatke površine koju imaju pune žice zamijene nazubljenom površinom da bi se dobila veća elastičnost. FCAW su većeg promjera od punih žica (maksimalna debljina pune žice ide do 2,4 mm, a kod ove punjene žice ide do 3,2 mm). Obje vrste žica su namotane na kolutove. U FCAW se nekad dodaju i  $L_{el}$  Cr, Mn i Ni i onda se one većinom koriste dok zaštita plina nije dovoljna i kad se radi na otvorenom [6,7]. Osnovni zahtjevi koji se traže od žice su da su bez masti i hrđe, konstantne debljine, bez ovalnosti i da su kvalitetno namotane. S FCAW se postižu bolja svojstva zavarenog spoja, veća je učinkovitost te količina nataljenog materijala. Sa takvom žicom se postiže bolja penetracija i smanjena je opasnost od pojave naljepljivanja. Upotreba FCAW žica rezultira manjom potrošnjom plina. Kada se koristi FCAW može se izabrati da li će se zavarivati „samozaštitnim“ praškom punjenom žicom ili će se zavarivati praškom punjenom žicom uz plinsku zaštitu. Oba slučaja su prikazana na slici 3.8.



Slika 3.8. a) Zavarivanje samozaštitnom praškom punjenom žicom; b) zavarivanje praškom punjenom žicom uz plinsku zaštitu [6]

Sastav jezgre FCAW dijeli se na punjene žice s jezgrom koja se pretežito sastoji od mineralnih tvari i na punjene žice s jezgrom koja se sastoji od metalnog praha. Prva vrsta žice još se dijeli na žice s rutilnim, bazičnim i mješovitim tipom jezgre [6].



### 3.3. Prednosti i nedostaci postupka

Svaki postupak ima svoje prednosti i nedostatke. Na temelju njih postupak se klasificira po produktivnosti.

Prednosti MIG/MAG postupka su:

1. niža cijena dodatnog materijala po jedinici dužine u usporedbi s ostalim elektroločnim procesima
2. navedenim postupkom se može zavarivati u svim položajima (PA,PB, PC, PD, PE, PF),
3. dobivaju se estetski lijepi zavareni spojevi
4. obučavanje zavarivača za rukovanje navedenim postupkom je vrlo jednostavno
5. nema troske te je jednostavno čišćenje zavara
6. postupak je pogodan da se robotizira i automatizira [1]
7. ukoliko se primjenjuju suvremeni MIG/MAG postupci mogu se dobiti manje deformacije OM
8. učinkovitost je viša u usporedbi sa ostalim elektroločnim postupcima,
9. materijali koji se zavaruju mogu biti raznovrsni te različitih debljina
10. moguća je primjena i za lemljenje [4]
11. mogućnost izbora parametara i načina kojim će se prenositi materijal
12. velika učinkovitost i proizvodnost
13. manja cijena uređaja kojim se zavaruje u usporedbi s EP postupkom zavarivanja (ali je cijena veća u odnosu na REL postupak zavarivanja)
14. manji gubitak vremena koje potroši zavarivač (ne treba mijenjati elektrode kao kod REL postupka) [6].

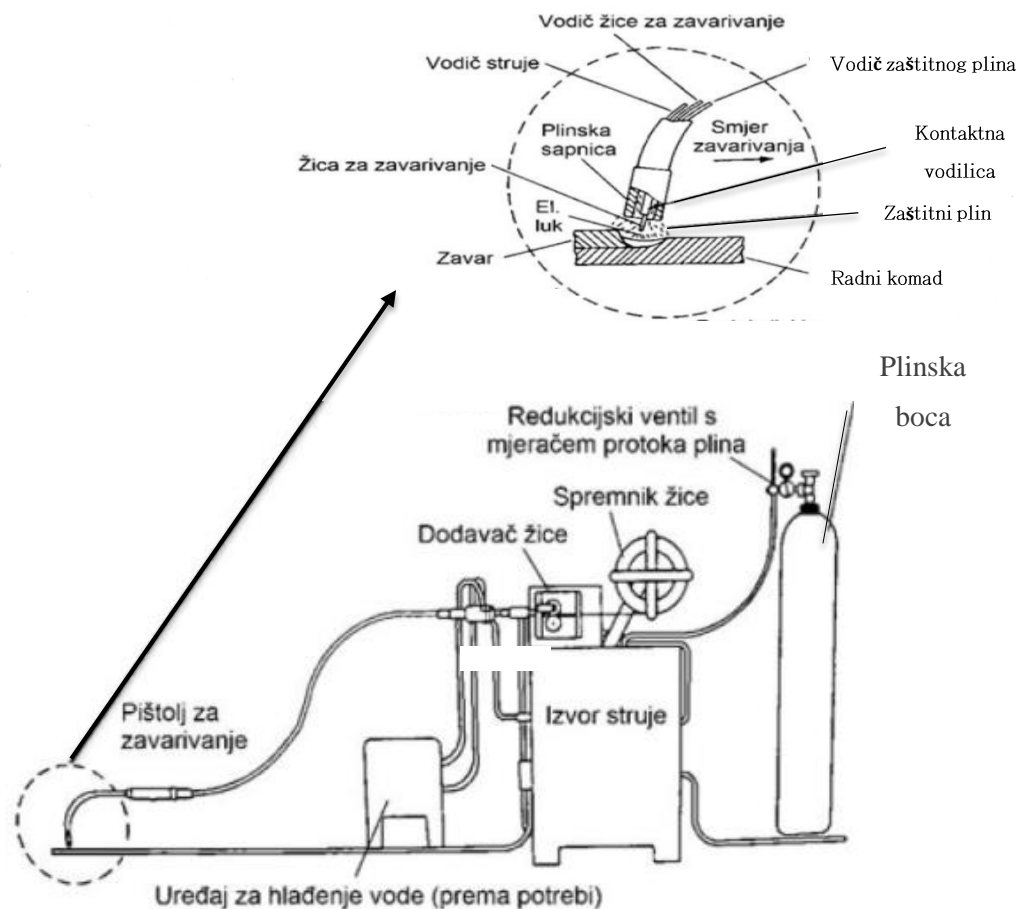
S druge strane, nedostaci navedenog postupka su:

1. štrcanje koje se dešava kod prijenosa metala kratkim spojem te se onda javlja potreba za naknadnom obradom
2. izražena je osjetljivost na hrđu, masnoće i vlagu
3. postoji opasnost da se pojave greške kao što su poroznost i naljepljivanje, a to je posljedica loše i neodgovarajuće tehnike rada te lošeg odabira parametara zavarivanja
4. ukoliko se postupak koristi na terenu i u jako provjetrenim halama (propuh) mogu se javiti pogreške u zavarenim spojevima [10]
5. dugotrajnim radom se mogu javiti štetne posljedice na zdravlje zavarivača ukoliko se ne poštuje propis o zaštiti na radu (oštećenje dišnog sustava, reuma itd.).

### 3.4. Oprema za MIG/MAG zavarivanje

Slika 3.9. prikazuje opremu koja je potrebna za MIG/MAG zavarivanje. Ona se sastoji od boce zaštitnog plina, redukcijskog ventila zajedno sa mjeracem protoka plina, zatim izvora struje koji daje istosmjernu struju, hladnjak, dodavača žice u kojem postoji mehanizam za guranje žice kroz polikabel [1,4]. Polikabel prolazi kroz pištolj za zavarivanje koji u sebi ima kontaktnu vodilicu. Zaštitni plinovi struje kroz sapnicu oko žice. Ista je spojena na (+) pol, dok je osnovni materijal spojen na (-) pol. Žica je istovremeno i elektroda i dodatni materijal. U dodavaču žice, iste su namotane na kolutove. Čelične žice su pobakrene jer se tako postiže bolji kontakt protjecanja i zaštita od korozije. Kad se presječe polikabel može se vidjeti da u sebi ima:

- vod za žicu
- bakreni vod za struju
- crijevo za plin
- crijevo za dovođenje rashladnog sredstva
- crijevo za odvođenje rashladnog sredstva
- vod za signal [4].



Slika 3.9. Oprema za MIG/MAG zavarivanje [1]

### 3.5. Primjeri primjene

MIG/MAG postupak ima široku primjenu. Koristi se u brodogradnji, avioindustriji, željezničkoj industriji, industriji transformatorskih kotlova, mostova, konstrukcija armature, turbina itd. Na slici 3.10. su prikazani primjeri korištenja MIG/MAG postupka zavarivanja [9].



*Slika 3.10. Primjeri primjene MIG/MAG postupka [osobne slike]*

### 3.6. Greške u zavarenom spoju kod MIG/MAG zavarivanja

Najčešće greške koje nastaju MIG/MAG zavarivanjem pri zavarenom spoju su poroznost, nepotpuno spajanje (naljepljivanje), uključci u zavaru, površinski ružan zavar, zajedni i pukotine.

Pore se mogu pojaviti u zavaru u dva vida, unutarnje i površinske. Pora nastaje na način da metal u rastaljenom stanju otapa znatne količine plinova. Za vrijeme hlađenja taline, plinovi naglo izlaze iz metala u obliku mjehurića. Do zarobljavanja plina dolazi zbog toga što je brzina izdvajanja plinova manja od brzine skrućivanja metala plinova. Dok ti isti plinovi izlaze iz zavara, na površini zavara nekad ostaju rupice [1,9].

Naljepljivanje (nedovoljno povezivanje) nastaje kao posljedica nalijeganja taline zavara na hladni materijal spoja bez da se OM pretali. Do istog dolazi kada talina „pobjegne“ pod ili ispred električnog luka koji ne zagrijava i ne pretaljuje OM. Naljepljivanje se pojavljuje najčešće kod debljih materijala te ukoliko se upotrebljava kratki luk [9].

Uključci u zavaru većinom nastaju od troske ili oksida. Javljuju se kada troska ili oksid pri zavarivanju ne dospiju isplivati na površinu taline. Najčešći uzroci nastajanja su nečista i nekvalitetna priprema spoja [9].

Pukotine u završnom krateru nastaju zbog nepravilne tehnike završavanja kratera, isti nije dovoljno popunjen pa uslijed hlađenja zavar ne može izdržati naprezanja.

Zajedi su također greške zavarenog spoja te oni predstavljaju oštećenja OM u ZUT. To je itekako ozbiljna greška jer predstavlja neku vrstu inicijalne pukotine. Zajedi su posljedica nepravilne tehnike rada, neodgovarajućih parametara zavarivanja i električnog luka [9].

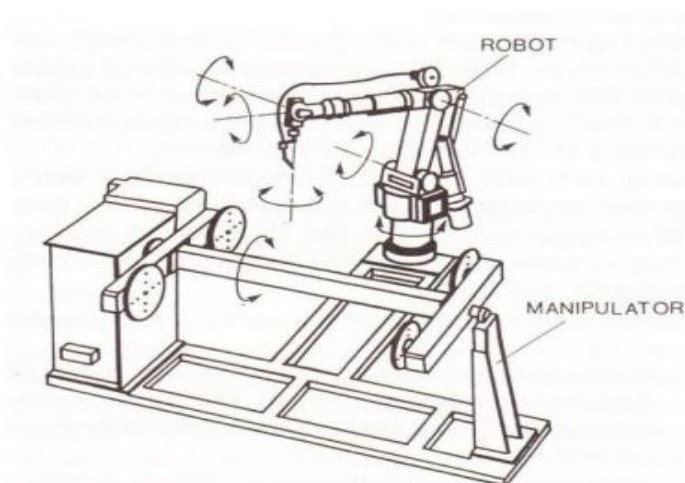
## 4. Robotizirano zavarivanje

Naglim razvojem mikroračunala i sofisticiranih robota došlo je do gradnje robotiziranih zavarivačkih ćelija prikazani na slici 4.1. Može se reći da je ona zaokružena proizvodna cjelina sa dodatnom opremom u koju ulazi zaštitna ograda, sigurnosna zaštita sa ćelijama, rasvjeta i usisavanje plinova. Takva proizvodnja je u potpunosti automatizirana, osim što se iz ekonomičnih razloga izradak i naprava umeću i vade ručno. Funkcioniraju na način da upravljački uređaji upravljaju procesom zavarivanja, a upravljanje se vrši pomoću mehaničkih i električnih veličina te raznim pomoćnim veličinama [11].

Moderna industrijska postrojenja danas sve više posjeduju robote. Industrijski roboti su najviše primjenjivani što se tiče same proizvodnje u Japanu, SAD-u i Kini, a njihova primjena seže i do 80 % ukupnog vremena proizvodnje. Povod tome je povećan zahtjev za kvalitetom, kraći rokovi proizvodnje i na kraju prihvatljiva cijena jednostavnijih robota. Što se tiče robota za zavarivanje, najviše se koriste zbog svoje preciznosti i produktivnosti. Prvo je potrebno izraditi program putanje da bi mogli konstantno izvoditi precizne i podjednake zavare koji se zavaruju na dijelove jednakih dimenzija i specifikacija. Među važnijim prednostima robota za zavarivanje je što on radi 24 sata na dan i 365 dana u godini, brže od čovjeka i naposljetku je efikasnije od ručnog zavarivanja [12].

Definicija robota za zavarivanje glasi da su to automatski strojevi za zavarivanje koji posjeduju više od 3 stupnja slobode gibanja. Njima se upravlja računalom gdje postoji mogućnost programiranja i učenja. Uglavnom se pod terminom robota implicira „industrijski robot“. Za njega je drugi naziv „robotski manipulator“ ili „robotska ruka“.

Na slici 4.1. se nalazi robot sa šest upravljanih osi (6 SSG), to je maksimalna pokretljivost, koji ima pištolj za zavarivanje sa žicom za zavarivanje smješten na vrhu ruke. Pokraj je manipulator (1 SSG). Robot i manipulator se gibaju pomoću računala [17].



Slika 4.1. Robotizirana zavarivačka ćelija sastavljena od osnovnih dijelova, robota sa manipulatorom [17]

Postupci zavarivanja u kojima se najviše upotrebljava robot su točkasto zavarivanje, i to sa PTP robotom, te elektrolučno zavarivanje sa taljivom elektrodom u zaštitnoj atmosferi plina ili plinskih mješavina sa CP robotom. Kod EO postupka, NKV radnik je zamijenjen robotom, a kod MIG/MAG postupka je upravljanje puno više složenije te se robotom zamjenjuje VKV radnik. Kod posljednjeg spomenutog postupka upravlja se putanjom i brzinom pištolja za zavarivanje, zatim strujom i naponom zavarivanja, brzinom žice za zavarivanje, te na kraju njihanjem pištolja. Primjer zavarivanja gdje se robot gibira kontinuirano po putanji je šavno zavarivanje i radi na princip da brzina kretanja alata mora biti jednolika kako bi se dobio zavar jednake kvalitete i debljine [13].

Visoka točnost nije potrebna kod zavarivanja te se roboti dobro uklapaju u tehnologiju zavarivanja (točnost koju postižu je reda veličine 0,1 – 1 mm). Međutim, tehnologija obrade odvajanja čestice zahtjeva veću točnost, a ista je osigurana konstrukcijom alatnog stroja [11].

Neki od razloga koji se moraju preispitati kad se uvede neka nova tehnologija i robot su:

- ekonomski – produktivnost, porast proizvodnje, ušteda energije
- 4D
- kvaliteta proizvoda itd.

Postoje zahtjevi kojih se treba pridržavati kod robotiziranog zavarivanja. Ispod je spomenuto šest takvih zahtjeva. Jedan od tih zahtjeva je intermitencija. Intermitencija ili drugim riječima radni ciklus uređaja za zavarivanje predstavlja omjer između stvarnog trajanja električnog luka i vrijednosti vremena. Npr. ukoliko postoji izvor struje s intermitencijom od 70 % kod neke određene jačine struje i vremenski raspon je 10 min, tada taj izvor struje može zavarivati 7 min, a ostatak vremena (3 min) se uređaj za zavarivanje hladi [14].

Zahtjevi kojih se potrebno pridržavati tijekom zavarivanja robotom:

- električni luk treba biti stabilan i omogućiti kvalitetan prijenos materijala
- visoka intermitencija
- potreban je sustav za hlađenje pištolja za zavarivanje
- sustav za dovod žice treba biti robustan i siguran
- dobra regulacija i kontrola luka
- roboti – primjena senzora [11].

U tablici 4.1. su navedene i objašnjene karakteristične veličine koje su od izuzetne važnosti za rad robota.

*Tablica 4.1. Veličine bitne za rad robota [12]*

<b>Broj osi</b>	Važne za kretanje osnovnih segmenata (translacijsko i rotacijsko pomicanje). Robot se giba u 3D prostoru. Prve tri osi se upotrebljavaju za utvrđivanje pozicije ručnog zgloba, a ostatak osi se koristi za određivanje orijentacije vrha manipulatora.
<b>Brzina gibanja</b>	Ovisna je o tipu robota i za što je namijenjen.
<b>Vrijeme izvršenja pomoćnih operacija</b>	U proizvodnji je cilj da se skrati, a da bi se to realiziralo potrebno je odrediti optimalnu brzinu koja ovisi o: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Dužini zavarivanja</li> <li>• Materijalu koji se zavaruje</li> <li>• Točnosti pozicioniranja vrha manipulatora.</li> </ul>
<b>Maksimalno opterećenje robota</b>	Predstavlja najveću masu tereta koju je robot sposoban prenašati. Ovisi o veličini robota, njegovoj konfiguraciji i konstrukciji, te o pogonskom sistemu zglobova.
<b>Točnost</b>	Sposobnost robota da dovede pištolj za zavarivanje u proizvoljan položaj u radnom prostoru.
<b>Ponovljivost</b>	Sposobnost robota da pištolj za zavarivanje dovede ponovno u jednaku poziciju. Može se javiti pogreška pri povratku u jednaki položaj kao uzrok zazora zupčanika i elastičnosti segmenata.
<b>Maksimalan doseg</b>	Predstavlja maksimalnu udaljenost koja postoji između ručnog zgloba robota i baze robota koju ručni zglob može doseći.

Postoji nekoliko postupaka koje ima smisla robotizirati, a to su sljedeći:

- a) EO (Točkasto)
- b) MIG/MAG zavarivanje
- c) Lasersko zavarivanje
- d) Plazma zavarivanje
- e) TIG zavarivanje (posebni slučajevi) [15].

## 4.1. MIG/MAG robotizirano zavarivanje

Kao i kod ostalih proizvodnih tehnologija, tako i kod suvremenih proizvodnih tehnologija u koju spada robotizirano i automatizirano zavarivanje postoje sljedeći zahtjevi:

- a) električni luk treba biti stabilan uz kvalitetan prijenos materijala
- b) pištolj za zavarivanje je potrebno hladiti
- c) robustan i pouzdan sustav za dovod žice
- d) potrebno je imati kontrolu nad električnim lukom te ga dobro regulirati
- e) korištenje adekvatne opreme
- f) organizirana radna okolina
- g) mogućnost programiranja složenih „krivulja“ njihanja pištolja [16].

Robotiziranim MIG/MAG postupkom (slika 4.2.) unaprijed se programiraju parametri, gibanje i nakretanje glave za sve operacije koje će uređaj (robot) obavljati. Programeri su zaduženi za izradu programa, dok je radnik na stroju zadužen samo da uključuje uređaj te prati njegov rad [9].

Sve više u suvremenoj industriji prodiru robotizirani MIG/MAG postupak zavarivanja. Takvi postupci su budućnost raznolike proizvodnje. Uređaj je podešen za specijalne namjene, za veliku serijsku proizvodnju jednog ili nekoliko dijelova proizvoda sličnih oblika. Takvim uređajem želi se u potpunosti zamijeniti čovjek. Čak se i programi snimaju po dobrom zavarivaču. Programi su unaprijed utvrđeni, parametri i režimi rada, gibanje i nakretanje glave u svim potrebnim operacijama zavarivanja koje obavlja robot [10].



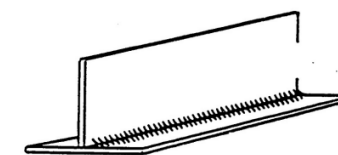
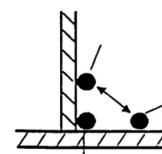
Slika 4.1. Robotizirani MIG/MAG postupak zavarivanja [9]



## 4.2. Roboti za zavarivanje

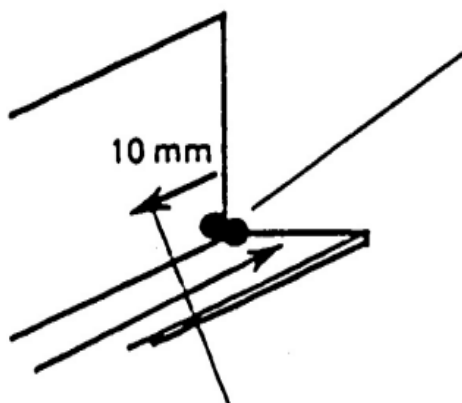
Zahtjevi za robota za zavarivanje su sljedeći [16]:

- zavarivanje po pravcu i kružnici
- višeslojno zavarivanje
- njihanje električnog luka (prikazano na slici 4.3.)
- popuna završnog kratera (prikazano na slici 4.4.)
- on – line programiranje (prikazano na slici 4.5.)
- pohranjivanje programa na medij.



Slika 4.2. Njihanje električnog luka

[16]



Slika 4.3. Popuna završnog kratera [16]



Slika 4.4. On – line programiranje [16]

## 4.3. Robotizirano programiranje

Glavna prednost robotizirane proizvodnje je brzo preprogramiranje te izvođenje većeg broja operacija u slijedu uz ujednačenu i kvalitetnu proizvodnju u kojoj je ljudski rad sveden na minimum. Opće je poznato da je visina stupnja automatizacije popraćena rastom vremena pripreme proizvodnje. Tome se onda prkosi činjenica da je potrebno duže vrijeme za pripremu jednog robota da samostalno izvodi razne operacije. Posljedično tome su razvijena sredstva kojima je svrha smanjiti vrijeme pripreme proizvodnje, odnosno programiranje robota [12].

### 4.3.1. Vrste programiranja robota

Moglo bi se reći da je programiranje robota veza između opisa zadatka što ga robot treba obaviti i njegova upravljačkog sustava. Tri su osnovne vrste programiranja:

- a) On – line programiranje
- b) Off – line programiranje
- c) Hibridno (miješano) programiranje.

U jednu od ovih gore navedenih vrsta pripadaju i slijedeće metode programiranja robota:

- „teach in“ metoda programiranja
- izravno programiranje
- indirektno programiranje
- programiranje kretanjem po stazi
- programiranje postavljanjem na točku
- programiranje sa senzorskom podrškom
- makroprogramiranje
- grafičko programiranje
- programiranje orijentirano zadatku
- programiranje orijentirano pokretu [15].

#### 4.3.1.1. On – line programiranje

Ovo programiranje je izravno povezano s radnom pozicijom, znači programira se unutar radnog prostora robota. Zbog aktivnosti robota kod obavljanja zaduženog zadatka on nije istovremeno u mogućnosti da obavlja proizvodnu funkciju. Kod on- line programiranja potrebni su dobro educirani operateri [16].

Dvije su vrste navedenog programiranja, izravno i neizravno programiranje. Izravno programiranje uključuje operatera koji ručno pomiče ruku robota preko zahtijevanih točaka u prostoru i to sve bude pohranjeno u memoriju te se kasnije robot kreće po putanji koja je definirana tim točkama. Neizravno učenje podrazumijeva privjesak za učenje i takvo se programiranje primjenjuje kod robotiziranog zavarivanja. Karakteristika takvog programiranja je da se ne rade često nova programiranja. Kao prednost se može navesti da nema potrebe za dodatnim nabavljanjem hardvera i softvera te se vrlo lako uči. Nedostatak je dugotrajnost kad je više robota u pogonu i to što nije moguće da se unaprijed izradi program putanje za obavljanje zadatka prema nacrtu [19].

### 4.3.1.2. Off –line programiranje

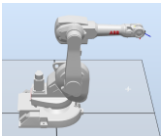

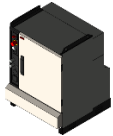
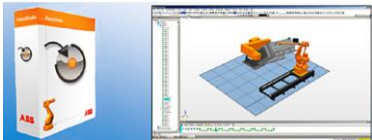


Ovo programiranje nije striktno vezano za radno okruženje robota. Kod takvog programiranja se pomoću programskog jezika zadaje tekstualni zadatak. Sam program i prateće koordinate su programirane na radnoj stanici s odgovarajućim softwareom. Slijedeći korak je da se isti prevede u strojni kod i pohrani na medij. Od strane programera se traži da detaljno opiše svaki pokret robota i perifernih jedinica. Najveća mana je u projektiranju bezkolizijskih staza. Osim toga, potrebno je uložiti izuzetno puno vremena za osposobljavanje programera zbog toga što se radi na kompliciranijem programu te se zahtijeva visokoobrazovan kadar. S druge strane prednost je vrlo jednostavna provjera kolizije, odnosno da li robot može doći u sudar s nečim iz okoline. Nadalje, može se izraditi simulacija sa svim radnim vremenima – virtualna stvarnost [18].

Elektrolučno zavarivanje u zaštiti plinova sa sobom veže stroge zahtjeve na programski sistem. Može se dogoditi da se izradak kreće iz jedne pozicije u drugu zajedno sa orijentacijom na uređaju za pozicioniranje. Kvalitetna izvedba zavarivanja vezana je za uske tolerancije koje se zahtijevaju. Tu uvelike onda pomaže grafička simulacija izvođenja programskog zadatka. Rezultat korištenja iste je ekonomična proizvodnja malih, a i pojedinačnih serija. Programer sa tim načinom ima nadzor nad zavarivačkom stanicom. Svrha takvog programiranja je da se izvodi što veći broj standardnih inženjerskih tehnoloških procedura koje se naprave u znatno kraćem roku, sa radnog mjesta nevezanog uz proizvodnju [11]. Tijek programiranja robota sastoji se od tri faza:

1. 3D konstruiranje i kalibriranje robotske stanice (potrebno samo jednom)
2. 3D konstruiranje radnog komada (svaki komad se konstruira posebno, moguć je uvoz CAD datoteka)
3. programiranje robota (prema nacrtu) [18].

U tablici 4.2. su prikazani alati koji su nužni kod on- line i off-line programiranja robota.

Tablica 4.2. Alati koji se koriste kod on – line i off – line programiranja [18]

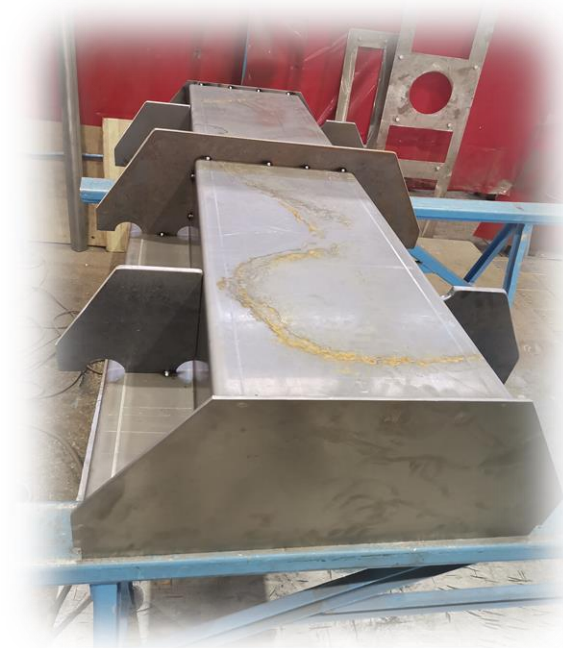
ON-LINE PROGRAMIRANJE	OFF-LINE PROGRAMIRANJE
<ul style="list-style-type: none"> <li>robot</li> </ul> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>Računalo</li> </ul> 
<ul style="list-style-type: none"> <li>kontroler (upravljačka jedinica)</li> </ul> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>Programska podrška [18]</li> </ul> 
<ul style="list-style-type: none"> <li>Privjesak za učenje (Flexpendant)</li> </ul> 	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Alat</li> </ul> 	

### 4.3.1.3. Hibridno (miješano) programiranje

Glavna karakteristika ovog programiranja je da se program i izrada programa dijele na dva dijela, tj. dio programa je vezan za operacijski tok i generira se off-line, a drugi dio, koji je vezan uz skup točaka koje se nalaze u prostoru, generiran je on-line [16]. Robot se uz pomoć privjeska za učenje prevede preko zahtijevanih točaka, zapamti pozicije i poslije toga se pomoću računala, uz zapamćene pozicije točaka, izradi program za zavarivanje. Ovom metodom se postiže ušteda na temelju toga što se dio programiranja izvodi neovisno o robotu i tijekom proizvodnje. Za razliku od on-line programiranja, ovom metodom je programiranje duže, međutim robot je kraće vrijeme zauzet programiranjem.

## 5. Eksperimentalni dio

Proizvod koji će se pomoću robota zavarivati je dno transformatorskog kotla. Dno je uz okvir i valovite stranice najvažniji dio kotla za transformatore. Na dnu (slika 5.1.) se nalazi ispust koji ima ulogu pražnjenja transformatora kod cikličkog ispitivanja te u slučaju potrebe na stanici. Osim njega, dno može imati i priključak za uzemljenje (slijepi tuljak) koji služi za uzemljenje u slučaju proboja napona na tijelo transformatora, udara groma i izjednačavanje potencijala spojne i zaštitne opreme. Na dnu se montira prijevozni slog koji služi za montiranje kotača na kojima transformator stoji u stanici.



*Slika 5.1. Izgled dna transformatorskog kotla [osobne slike]*

Transformatori (slika 5.2.) su statički elektromagnetski uređaji koji imaju ulogu da prenose električnu energiju iz primarnog namota u sekundarni namot pri čemu frekvencija ostaje konstantna, a iznos struje i napona se mijenja. Distributivni transformator spada u energetske transformatore [20]. Velika većina transformatora (od nekoliko kVA pa do najviših snaga grade se kao uljni transformatori. Načelo po kojem rade transformatori osniva se na Faradayevu zakonu elektromagnetske indukcije.

Cjelokupni komplet transformatora čini kotao za smještaj ulja, poklopac na kojem se smještaju provodni izolatori i konzervator. Jezgra s namotom je aktivni dio transformatora i ista je učvršćena za poklopac, a vadi se pomoću ušica na poklopcu zajedno s njim, ili obratno dok se stavlja u kotao. Kad poklopac sjedne na prirubnicu kotla, jezgra u isto vrijeme sjedne na dno kotla i na taj se način najveći dio težine prenosi neposredno na dno kotla, tj. na dno transformatora. Praksa je da se u

većini slučajeva uljni transformatori postavljaju na otvorenom prostoru. Razlika transformatora na otvorenom u odnosu na transformator na zatvorenom (npr. građevinski objekti) je u konstrukciji po izvedbi provodnih izolatora. Dakle, transformatori se ili postavljaju na tlo ili na stupove. Svojstva transformatora su: broj faza, nazivna snaga, nazivni naponi, nazivne struje, nazivna frekvencija, izolacijski razred, spoj, način hlađenja, ispitni naponi, napon kratkog spoja, nazivni gubici praznog hoda i nazivni gubici zbog opterećenja i na kraju podaci na temelju dogovora između kupca i proizvođača [20].

Unutar transformatora je smještena jezgra napravljena od tankog, hladno valjanog i obostrano izoliranog transformatorskog lima M4 (Fe + 3 % Si) prema normi DIN EN 10106 s visokom magnetskom vodljivošću i malim specifičnim gubicima. Najveću masu transformatora ima magnetska jezgra. Ista je smještena između steznika i namota koji su izrađeni od bakrenih žica [20].

Energija u transformator ulazi kroz primarni namot. Nakon toga energija seli na sekundarni namot tijekom djelovanja magnetskog toka u jezgri, ali se iznos struje i napona razlikuje od primarnog namota. Iz sekundarnog namota energija nastavlja do potrošača. Namoti se prepoznaju po relativnoj razini napona, stoga postoji viši napon (VN), srednji napon (SN) i niži napon (NN). U transformator se u većini slučajeva ulijeva ulje s ulogom da hladi i da je pritom izolacija namota.

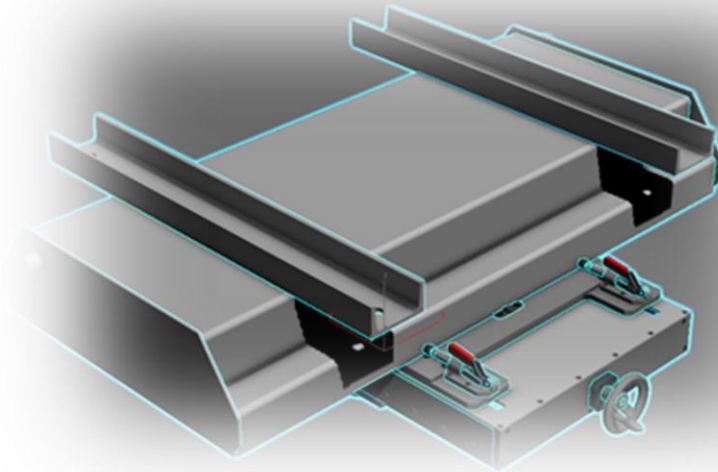


*Slika 5.2. Distribucijski transformator [osobne slike]*

Materijal koji se koristio za izradu dna transformatorskog kotla je S235JR+AR. Kemijski sastav čini 0,19 %C, 1,4 %Mn, 0,035 %S i P, 0,012 %N, 0,55 %Cu. To su slabije zavarljivi čelici. Upotrebljavaju se za niže opterećene konstrukcije čiji spoj se ostvaruje zakovicama i vijcima.

## 5.1. Programiranje robota

Prije nego što se počne programirati, potrebno je u programu Solidedge 2022. spojiti modelirano dno transformatora sa napravom za prihvat prikazano na slici 5.3.

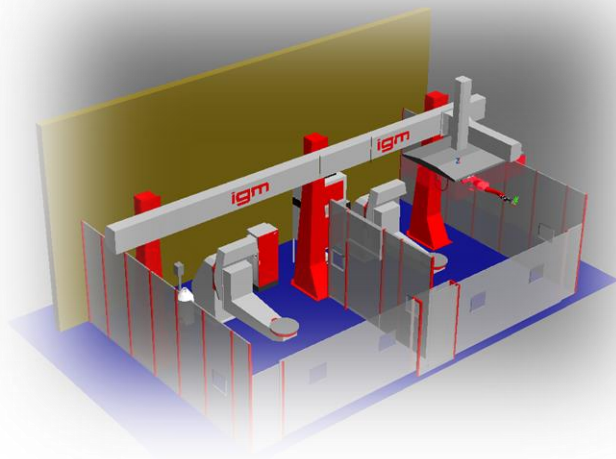


Slika 5.3. Dno transformatorskog kotla spojeno sa napravom za prihvat [osobne slike]

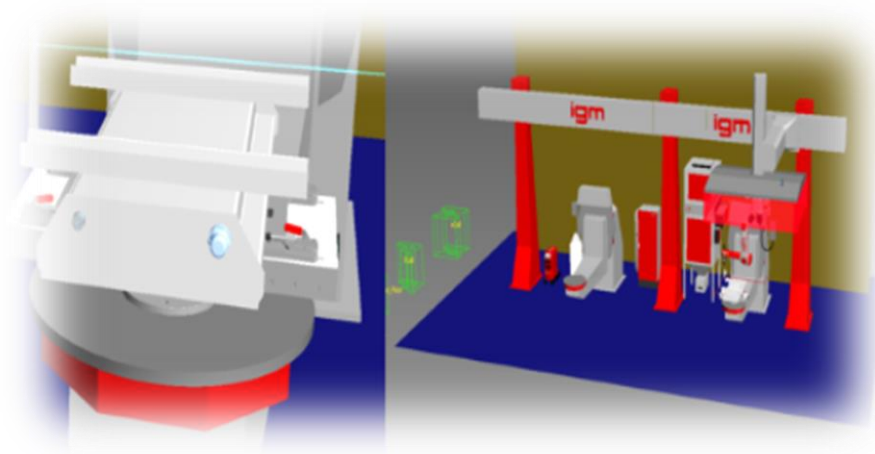
Cijeli postupak robotiziranog zavarivanja se izradio pomoću tri programa, a to su K6 Robot Controller Software, iPAT i Autodesk 3d Max 2016. Pomoću programa iPAT unijele su se dimenzije dna (slika 5.4 ). Otvaranjem Autodesk-a 3d Max 2016. programa prikazuje se virtualni radni prostor robota prikazan na slici 5.5. U tom programu se dno pričvršćeno za napravo za prihvat pozicioniralo na pozicioner (slika 5.6.) . Autodesk 3d Max 2016. ima još mogućnost i modeliranja (3D). Na slici 5.7. prikazana je putanja po kojoj je robot zavarivao.



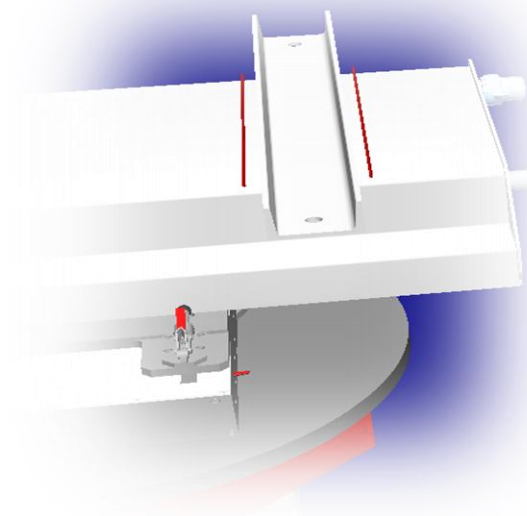
Slika 5.4. Program iPAT [osobne slike]



*Slika 5.5. Virtualni izgled radnog prostora robota [osobne slike]*



*Slika 5.6. Naprava za prihvat s dnom stavljena na pozicioner [osobne slike]*



*Slika 5.7. Zavarivanje dna pomoću robota [osobne slike]*



Off-line programiranje izvodi se u programu K6 Robot Controller Software. Program koji se koristi u sučelju za kontroliranje svih sustava i funkcija robota kompletno je razvijen u tvornici Igm u Austriji. K6 Robot Controller Software-om napravio se program po kojem je igm robot zavarivao dno transformatorskog kotla (prilog 1).

Robot ima 2 tipa koraka, JOG (slika 5.8.) i WORK (slika 5.9.). JOG se koristi za svaki pokret robota koji ne uključuje zavarivanje, a WORK se koristi za sve tipove zavarivanja. Program nudi na izbor dva glavna načina kretanja, linearno i nelinearno gibanje. Nelinearno gibanje koristi se kod velikih pokreta tako da robot može rotirati kako želi. Linearno gibanje koristi se za manje pokrete kada nisu zahtijevane velike rotacije i kad robot ide ravno naprijed od točke A do točke B. Što se tiče funkcija, u programu su zadane unaprijed definirane funkcije kao što su kamera i pregradni zid. Pregradni zid je zid koji povezuje stanicu 1 sa stanicom 2 pa sa tom funkcijom robot može otvarati i zatvarati pregradu koja ih dijeli. Ukoliko se javlja potreba za više funkcija one se mogu kreirati. Od senzora se najviše koriste kamera i plinska sapnica. Kamera služi za očitovanje putanje laserom i vodi robot tom putanjom. Plinska sapnica radi na sličan princip kao kamera, također služi za očitovanje putanje, ali vrhom sapnice koja dodiruje površinu na kojoj se izvodi zavarivanje ili blizu točke do njega.



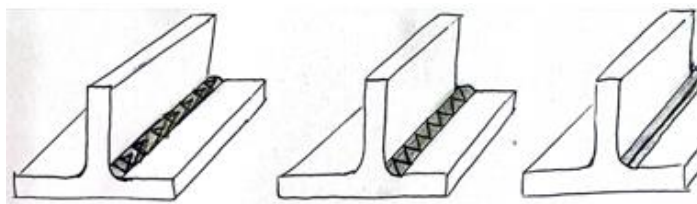
Slika 5.8. JOG korak programiranja [osobne slike]



Slika 5.9. WORK korak programiranja [osobne slike]

Opcija redosljed zavarivanja koristi se za pozivanje bilo kojeg parametra zavarivanja koji se kreirao. Potrebno je napraviti bazu unaprijed programiranih i dimenzioniranih zavara. Zatim se iz programa poziva na bazu i onda se parametri učitavaju u program. Ukoliko nema baze, svi parametri zavarivanja se mogu upisati ručno. To je moguće samo u WORK koraku.

Što se tiče njihanja električnog luka kod zavarivanja, sam korisnik odabire sve detalje. Plamenik/pištolj zavarivanja može maksimalno zavarivati u tri točke, može se kretati u jednom smjeru, ali ima i mogućnost ići par milimetara unazad pa natrag-naprijed (jedna točka), lijevo-desno (dvije točke) ili u trokut (tri točke) prikazano na slici 5.10.



Slika 5.10. „Weaving“, njihanje električnog luka [osobne slike]

Opcija krater paljenja aktivira se ukoliko nema dovoljnog unosa topline na početku zavarivanja.

Opcija krajnji krater koristi se za završetke kod zavarivanja kada rastaljena količina materijala nije dovoljna, pa robot ide naprijed-nazad kako bi se rastalila veća količina materijala.

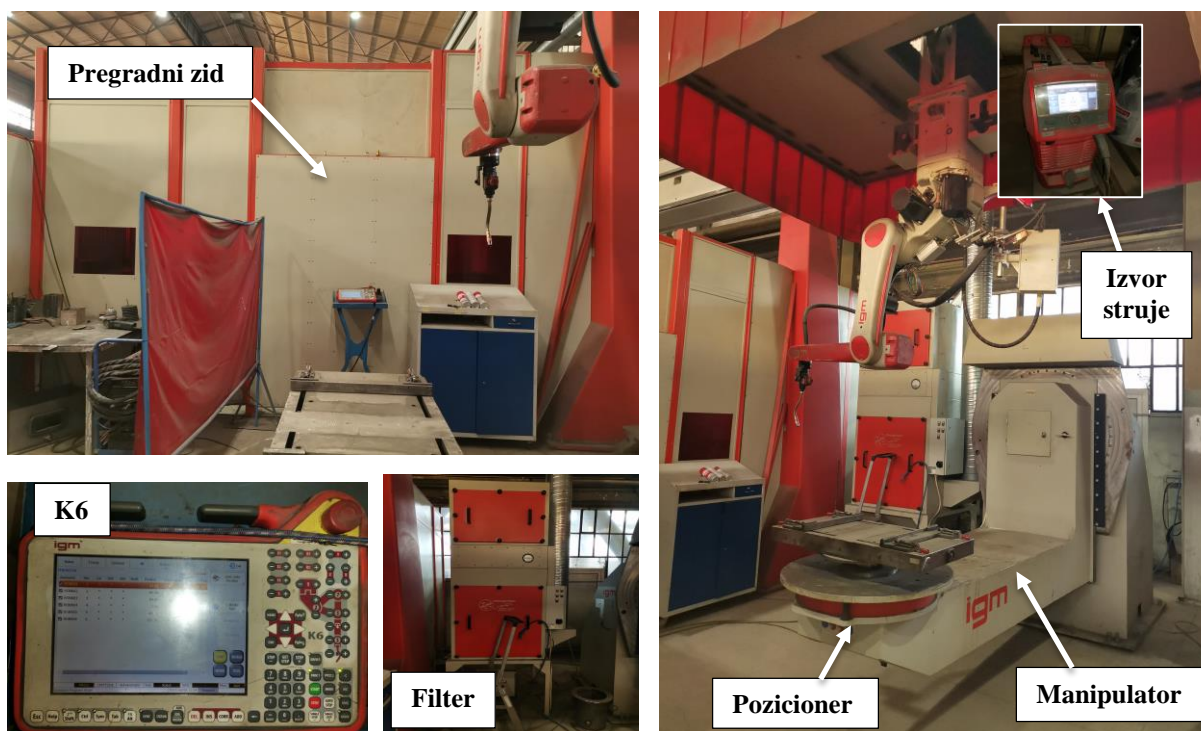
U pohranjenom položaju je spremljen program. I na kraju baze je opcija trenutni položaj, a to je položaj robota u traženom trenutku.

## 5.2. Robotizirano zavarivanje

Robotizirano zavarivanje odvija se u robotskoj stanici. U tablici 5.1. su navedene komponente od kojih se ista sastoji. Na slici 5.11. su prikazane komponente robotske stanice.

Tablica 5.1. Komponente robotske stanice

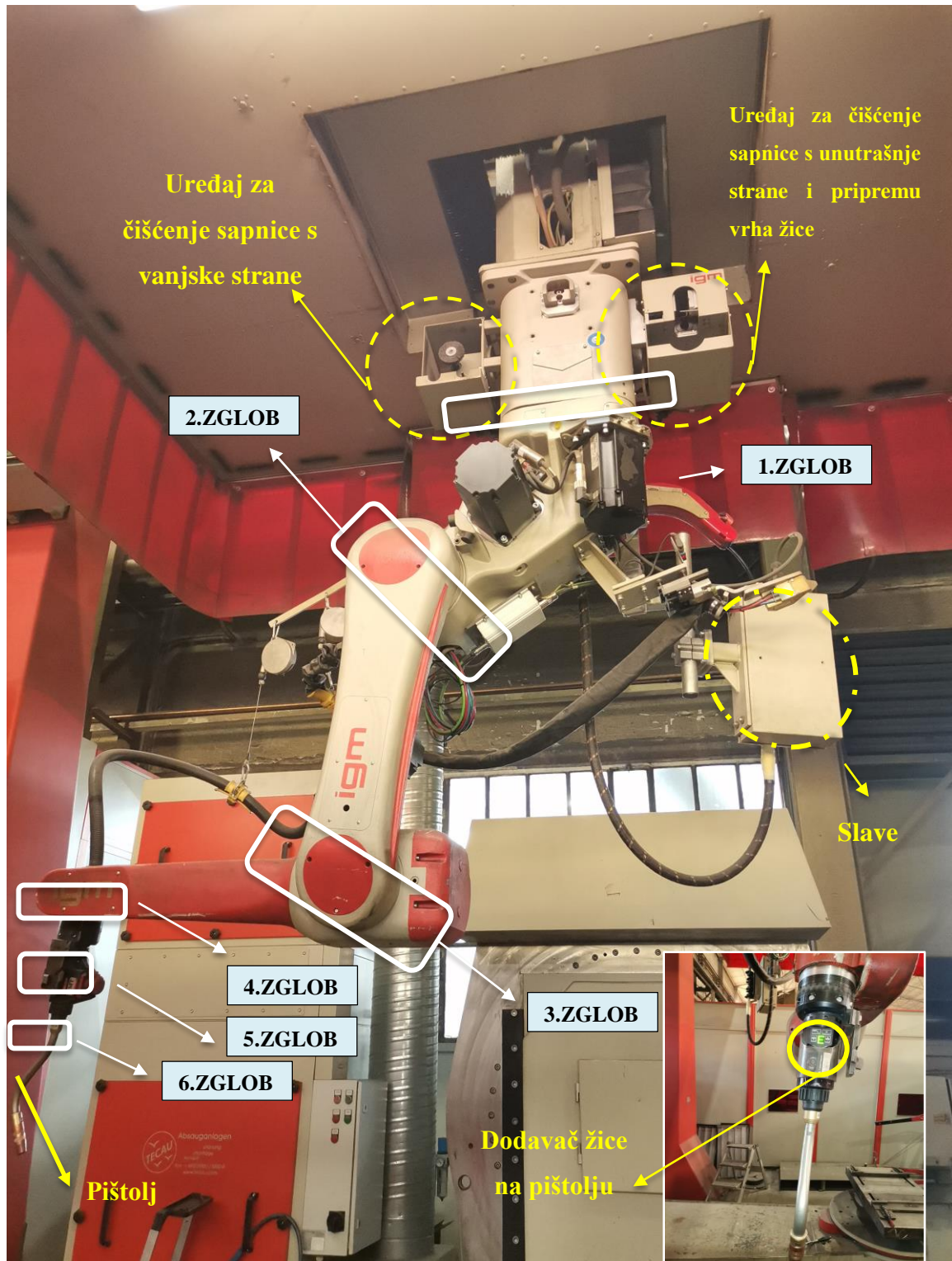
Komponente robotske stanice	
1. Robot (igm)	6. Pruga za transport robota između stanice 1 i stanice 2
2. Izvor struje (Fronius TPS 500i)	7. Zaštitna ograda
3. Dva okretna stola ↓ Manipulator s pozicionerom	8. Pregradni zid između dviju stanica
4. Upravljačka jedinica ↓ Privjesak za učenje K6	9. Bačva sa dodatnim materijalom: a) Puna žica Ø 1.0 b) Uređaji za prijenos DM c) Čišćenje sapnice d) Dvije točke za centriranje (TCP – jedna na stupu, jedna na pozicioneru)
5. Električna jedinica – strujni ormar	10. Filter



Slika 5.11. Sastavni dijelovi robotske stanice [osobne slike]

### 5.2.1. Igm robot

Igm robot koji se koristi u firmi Ferokotao d.o.o. stropne je izvedbe, montiran na prugu. Pištolj kojim se proveo postupak robotiziranog zavarivanja prikazan je u prilogu 2. Slika 5.12. prikazuje robot sa komponentama koje su sastavni dio njega.



Slika 5.12. Komponente igm robota [osobne slike]

Igm robot čini nekoliko podsustava, a to su mehanički sustav, pogonski sustav, pomoćni sustav, sigurnosni sustav i upravljački sustav.

Mehanički sustav sastoji se od postolja robota (pruge) po kojoj se robot pomiče između radnih stanica (kojih je dvije) u dubinu i dužinu radne stanice (x,y,z), zatim od zglobova (ukupno je šest zglobova), segmenata i manipulatora – pozicionera koji ima rotaciju od 360°. Na jedan zglob vežu se dva segmenta. Robot ima šest stupnjeva slobode gibanja.

Pomoćni sustav sastoji se od dodavača žice. Ukupno ih je tri, jedan neposredno kod bačve sa žicom, drugi na tijelu robota (Slave) i treći dodavač žice je na pištolju koji se koristi kod zavarivanja CMT tehnikom. Zatim se sastoji od izvora napajanja (Fronius TPS 500i) i kontrolnog sučelja, odnosno kontrolera K6. Kontrolerom se kontroliraju i programiraju sve postojeće operacije robota.

Sigurnosni sustav je kontaktni. Počiva na tri točke iza pištolja za zavarivanje. Prilikom bilo kakve kolizije, udarca, krivog unosa parametara u program prilikom programiranja, kompletno se automatski zaustavi robot, svi pogonski motori, kao i zavarivanje.

U tablici 5.2. su prikazane tehničke karakteristike igm robota.

*Tablica 5.2. Tehničke karakteristike igm robota*

<b>Robot</b>	<b>igm</b>
Oznaka robota	RTe496SH 0840 / 400 2A750 4A750
Broj artikla	11H021A-61908SH
Struktura robota	Dekartova (pravokutna) konfiguracija
Broj SSG (osi)	6
Radijus osi	1900 mm
Visina baze	841 mm
Težina ruke	292,0 kg
Ugradnja	Strop
Boja	Bijela, crvena

## 5.2.2. Podešavanje robotskog sustava

Prije nego što se robot pusti u pogon, potrebno je podesiti robotski sustav, odnosno kalibrirati osi, provjeriti i odrediti nultu poziciju, te provjeriti središnju točku alata (TCP).

TCP služi za kalibriranje alata, odnosno vrha gorionika pištolja kod zavarivanja. Ponekad se može desiti kolizija sa radnim komadom koji se zavaruje i tu onda dolazi do pomicanja nulte pozicije zavarivanja te TCP gubi kalibraciju. Vrijednosti koordinata kod kalibriranja TCP-a su x, y i z. TCP kalibriranje vrši se na način da se umjesto žice stavi igla koja se dovodi do originalno montirane druge igle koja se nalazi na postolju robota (postoji još jedna na robotu, ali u ovom eksperimentalnom dijelu rada se koristila ova na postolju). Sredine tih dviju kalibracijskih igla trebaju se poklapati prilikom kružnog pokreta pištolja za 360° (slika 5.13.)



Slika 5.13. TCP postupak [osobne slike]

Također, potrebno je podesiti i „Pinning“. To je postupak kalibriranja zglobova robota, kojih je ukupno šest. Tu se koriste već instalirane rupe na zglobovima i pinovi različitih dimenzija koji se moraju u potpunosti poklapati (slika 5.14.). Nakon što su svi zglobovi umjereni u nultu poziciju, potrebno je te postavke sačuvati u programu.



Slika 5.14. Postupak Pinninga [osobne slike]

### 5.2.3. Redoslijed zavarivanja

Postupak robotiziranog zavarivanja provodi se prema WPS-u, uputi za zavarivanje, prema normi ISO 15609-1 [21]. U uputi se mogu naći podaci o osnovnom i dodatnom materijalu, položaj kojim se zavaruje, dimenzije zavara, broj prolaza zavara, postupak kojim se radi (135), brzina zavarivanja i brzina dovoda žice, količina unosa topline, podaci o zaštitnom plinu itd. U prilogu 3. su prikazane upute za svaki zavareni spoj.

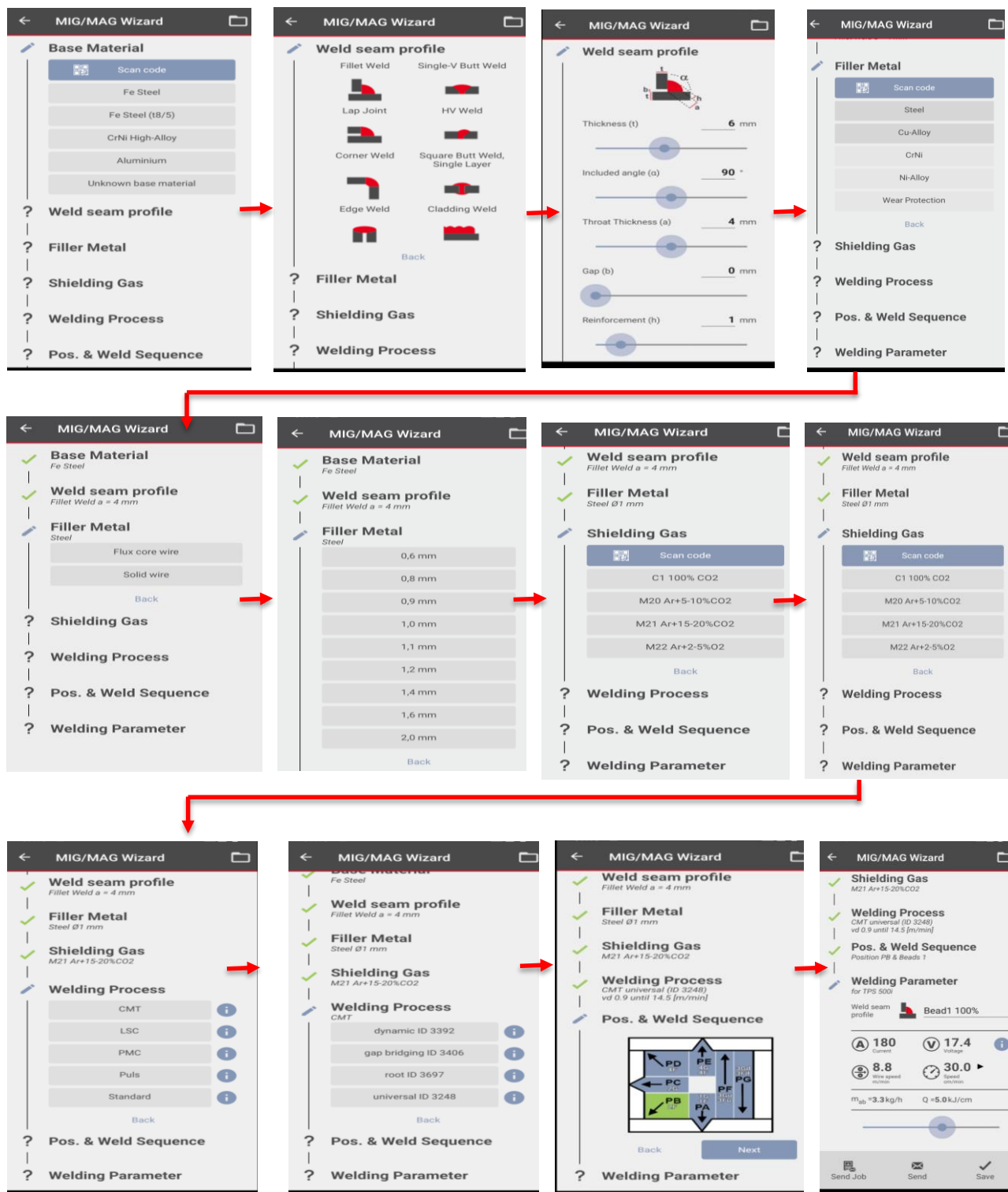
Ukupno je 14 kutnih spojeva koji su se zavarivali sa unutrašnje strane. Zavarivalo se suvremenim CMT postupkom MIG/MAG zavarivanja. CMT je kratica od eng. cold metal transfer, a taj naziv se koristi zbog toga što se koristi nizak unos topline. Pošto je dno transformatorskog kotla napravljeno od tankog materijala (debljine 6 mm), ovaj postupak je bio pogodan za zavarivanje. Postupak je primjenjiv u svim položajima zavarivanja te je temeljen na kratkom spoju. Kapljica koja je nastala kratkim spojem ostaje u talini, a žica se uvlači kompenzatorom povratnog gibanja žice te se tijekom toga prekida luk na određeno vrijeme (slika 5.15.). To znači da se zahvaljujući kompenzatoru kompenzira pokret žice naprijed-natrag i time je spriječeno savijanje i proklizavanje žice kroz vodilicu žice.



*Slika 5.15. Kompenzator povratnog gibanja žice [osobne slike]*

## 5.2.4. Parametri zavarivanja

Kao pomoć kod odabira parametara može se koristiti aplikacija Froniusa naziva „Weld connect“. Za brži način dobiveni parametri iz aplikacije se mogu upisati u robot te se korigirati po potrebi. Redoslijed odabira podataka preko aplikacije prikazan je na slici 5.16.



Slika 5.16. Aplikacija „Weld connect“ [osobne slike]



Parametri zavarivanja povukli su se iz „Library-a“. Kompletan „Library“ napravljen je uz pomoć prethodno navedene aplikacije „Weld connect“ i prethodne zavarivačke prakse operatera (zavarivača) na robotu uz potrebne naknadne izmjene ovisno o materijalu, žici, brzini zavarivanja itd.

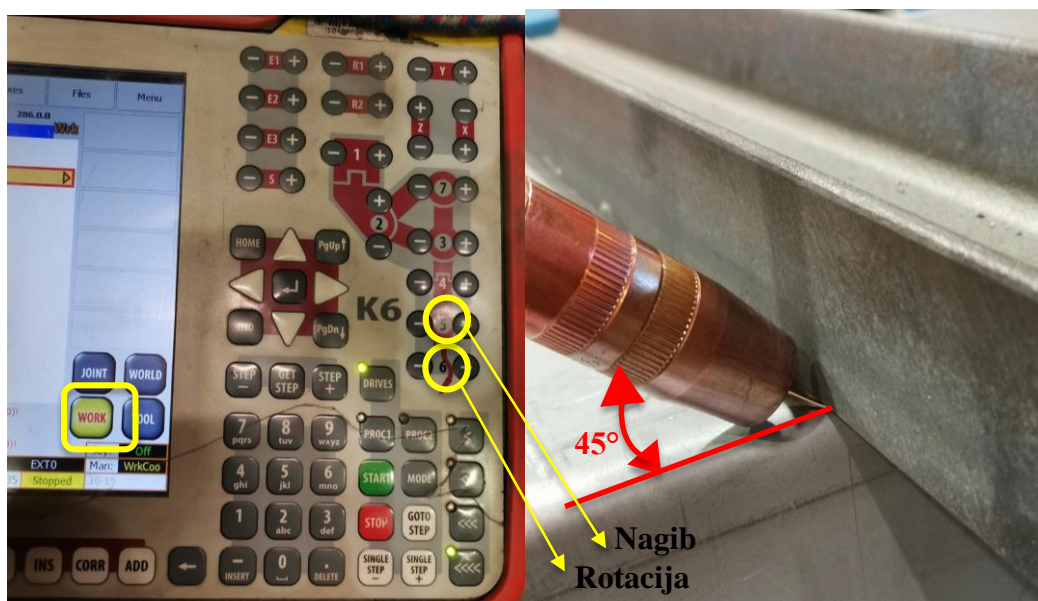
Koraci kako je započeo postupak robotiziranog zavarivanja dna transformatorskog kotla:

- 1) Stavljjanje dna sa napravom za prihvat na pozicioner (slika 5.17.)



Slika 5.17. Stavljjanje dna na pozicioner [osobne slike]

- 2) Postupak pripreme pištolja zavarivanja (nagib od 45°, rotacija prema početnoj točki putanje (slika 5.18.)



Slika 5.18. Postavke početnog položaja pištolja [osobne slike]

3) Pozicioniranje točke na 0 te na zadnju točku putanje (slika 5.19.)

(radi se zbog korekcije putanje koju je za vrijeme programiranja izradio „searching“.)

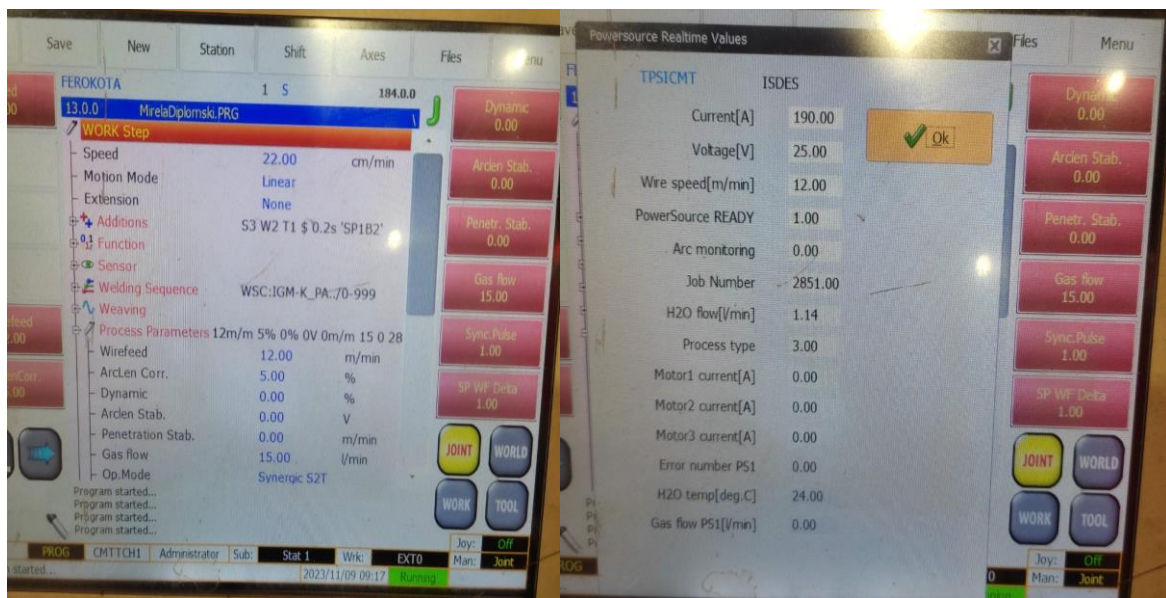


Slika 5.19. Pozicioniranje početne i završne točke putanje [osobne slike]

4) Pokretanje probnog zavarivanja zbog kontrole pozicija bez uključenog procesa zavarivanja.

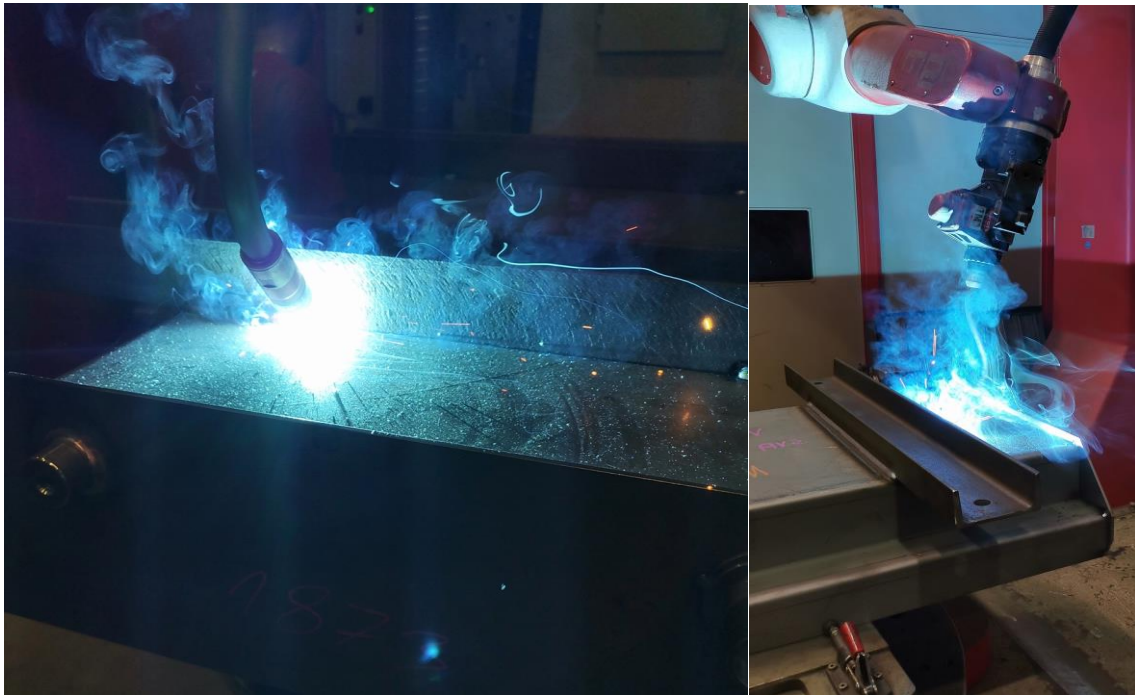
Prva četiri koraka koriste se za svaki naredni zavar na nosaču i na bočnim stranicama.

Na slici 5.20. je prikaz parametara koji su se koristili za zavarivanje dva nosača prijevoznog sloga.



Slika 5.20. Parametri zavarivanja prijevoznog sloga [osobne slike]

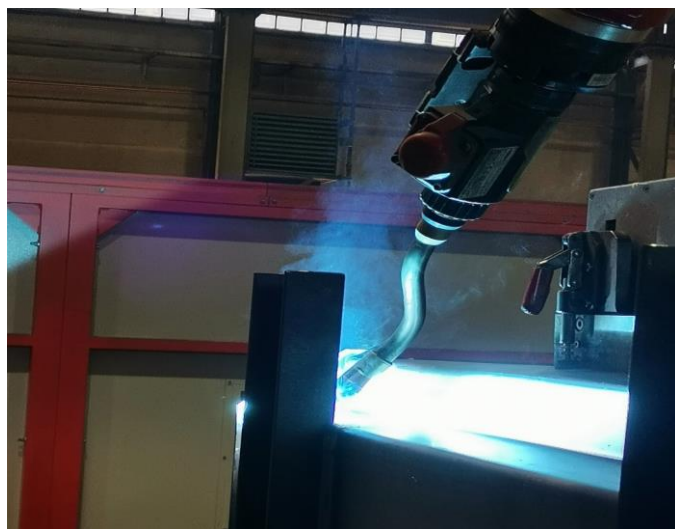
5) Na slici 5.21. je prikazano zavarivanje prijevoznog sloga po dužini i tu se koristila funkcija „Non linear“, dok se kod zavarivanja gornje strane prijevoznog sloga koristila funkciju „Linear“ zbog toga da pištolj ide direktno na zadanu točku zavarivanja. Kod gornje strane to se korigiralo zbog toga jer bi došlo do kolizije pištolja s plohom dna tijekom gibanja praznog hoda. Za zavarivanje bočnog dijela prijevoznog sloga potrebno je bilo rotirati pozicioner za 90° zbog lakšeg pristupa traženom području zavarivanja (slika 5.22.), a moguće je bilo odabrati i da robot rotira. Na slici 5.23. robot zavaruje gornji dio prijevoznog sloga.



*Slika 5.21. Zavarivanje prijevoznog sloga po dužini [osobne slike]*



*Slika 5.22. Rotacija dna za 90°  
[osobne slike]*



*Slika 5.23. Zavarivanje gornjeg dijela prijevoznog sloga  
[osobne slike]*

Na slici 5.24. i slici 5.25. su prikazani zavareni spojevi prijevoznog sloga po dužini i s gornje strane dobiveni pomoću robota. Ukupno je dobiveno četiri zavarena spoja po dužini prijevoznog sloga i četiri zavarena spoja s gornje strane istog.

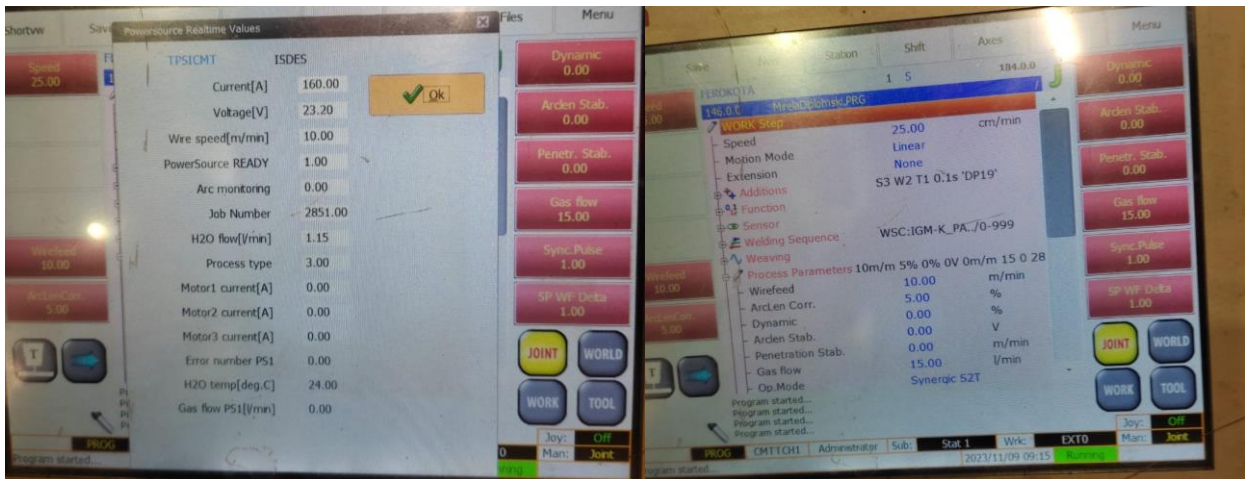


*Slika 5.24. Dobiveni zavareni spojevi po dužini prijevoznog sloga [osobne slike]*

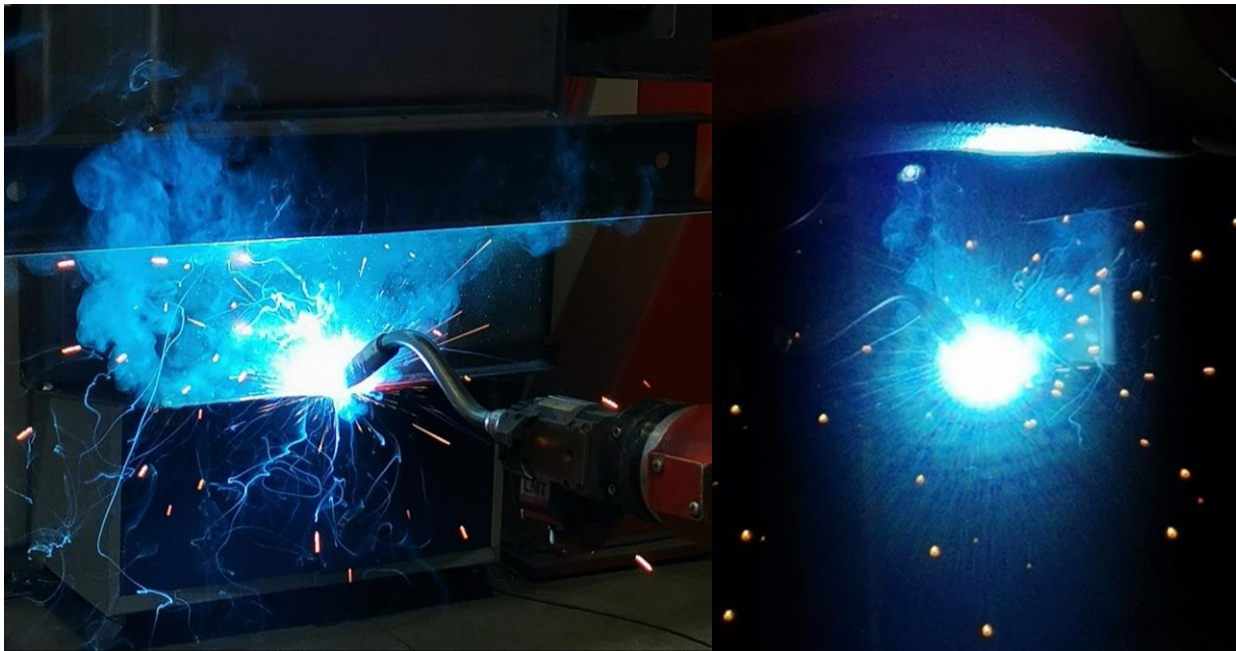


*Slika 5.25. Dobiveni zavareni spoj s gornje strane prijevoznog sloga [osobne slike]*

6) Nakon dva prijevozna sloga, potrebno je bilo zavariti dvije bočne stranice. Brzinu dovoda žice bilo je potrebno promijeniti s 12 m/min na 10 m/min prikazano na slici 5.26. zbog smanjenja jakosti struje radi dobivanja tanjeg zavara (materijal bi mogao pregorjeti korištenjem prethodne brzine). Drugi razlog je taj što nema potrebe za većim zavaram kod bočnih stranica zbog toga što je najveće opterećenje na prijevoznom slogu. Potrebno je bilo rotirati dno za 90°. Kod bočnih stranica radila su se dva zavarena spoja zbog fleksibilnosti robota (slika 5.27.) Prvi i drugi zavareni spojevi spajaju se na ravnom dijelu dna zbog veće sigurnosti da se ne desi propuštanje na savijenom dijelu.



Slika 5.26. Parametri zavarivanja bočnih stranica [osobne slike]



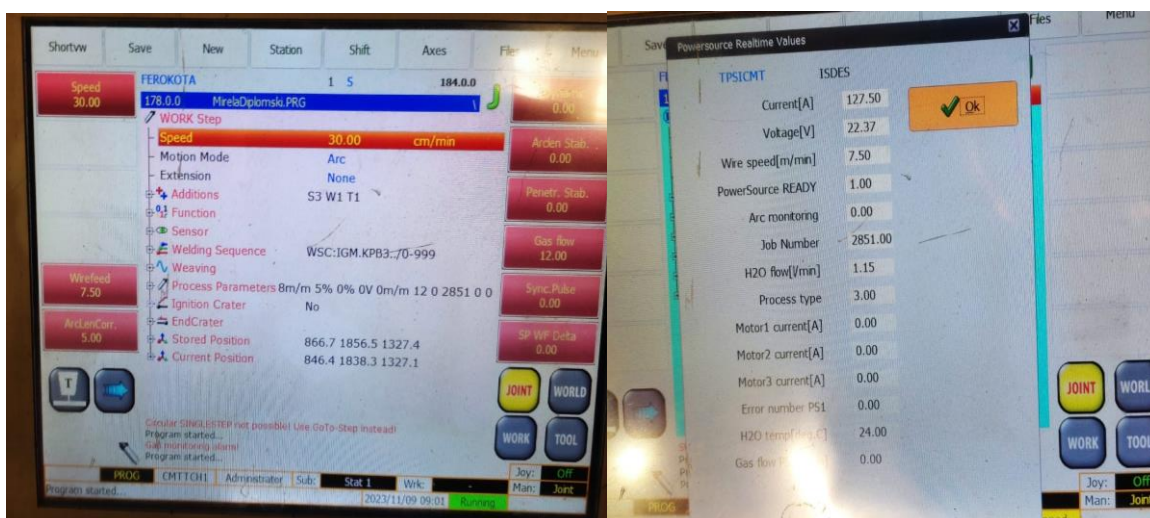
Slika 5.27. Zavarivanje prvog dijela putanje bočne stranice [osobne slike]

Na slici 5.28. je prikazan dobiveni zavareni spoj. Druga bočna stranica bila je zavarena identično prvoj bočnoj stranici.



Slika 5.28. Drugi dio zavarenog spoja bočne stranice [osobne slike]

7) Na kraju je preostalo zavariti ispust ulja. Isti se zavarivao kružno po putanji. Za način kretanja robota više se nije koristilo linijsko kretanje, već se odabrala funkcija „Arc“, kružno kretanje (slika 5.29.). Brzina dovoda žice podesila se na 7,5 m/min. Potrebno je bilo pozicionirati pet točaka po kojima se izvelo kružno zavarivanje. Prve četiri točke su međusobno bile udaljene jedna od druge za  $90^\circ$ , a peta točka je od definirane prve točke putanje bila udaljena za  $10^\circ$  radi sprječavanja propusnosti. Slika 5.30. prikazuje proces kružnog zavarivanja pomoću robota, a na slici 5.31. prikazan je dobiveni zavareni spoj.



Slika 5.29. Parametri zavarivanja ispusta ulja [osobne slike]



*Slika 5.30. Postupak kružnog zavarivanja ispusta pomoću robota [osobne slike]*



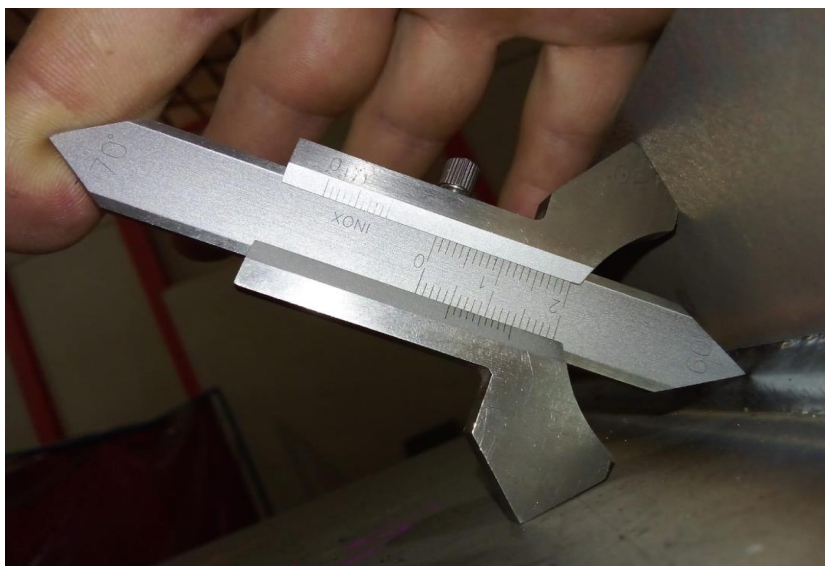
*Slika 5.31. Dobiveni zavareni spoj na ispustu [osobne slike]*

### 5.3. Mjerenje geometrije zavarenih spojeva

Za mjerenje geometrije zavarenih spojeva u ovom eksperimentalnom dijelu koristilo se mjerilo s noniusom. Mjerilo s noniusom (slika 5.32.) koristi se za mjerenje nadvišenja zavarenog spoja. Za razliku od mjerila za debljinu zavarenih spojeva, ovo mjerilo koristi se i za kutne i za sučeljene zavarene spojeve. S ovim mjerilom može se izmjeriti kutni zavar s ravnim licem zavara i s konkavnim licem zavara. Mjerilo s noniusom ne koristi se za mjerenje kuteva manjih od  $60^\circ$ . Koristi se na način da se noge mjerila postavje na horizontalnu i vertikalnu stranu lima te se očita vrijednost na skali. Očitani je bio zavar a5 prikazano na slici 5.33.



Slika 5.32. Mjerilo s noniusom [osobne slike]



Slika 5.33. Debljina očitano zavara (a5) [osobne slike]



## 5.4. Ispitivanje penetrantom

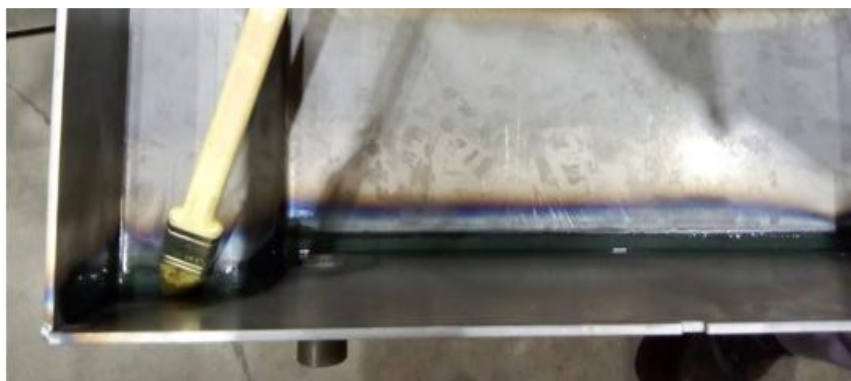
Zavarene spojeve na dnu transformatorskog kotla potrebno je bilo ispitati na propuštanje. Ispitivanje se provelo bez razaranja, penetrantskom metodom. Za ispitivanje se koristio fluorescentni penetrant HELLING FP-93 TU. Isti se nanio pomoću kista. Nanošenje penetranta bilo je izvedeno s unutrašnje strane dna transformatorskog kotla. UV svjetiljka kojom se provelo ispitivanje prikazana je na slici 5.34.



*Slika 5.34. UV svjetiljka [osobne slike]*

Redosljed postupka nanošenja penetranta:

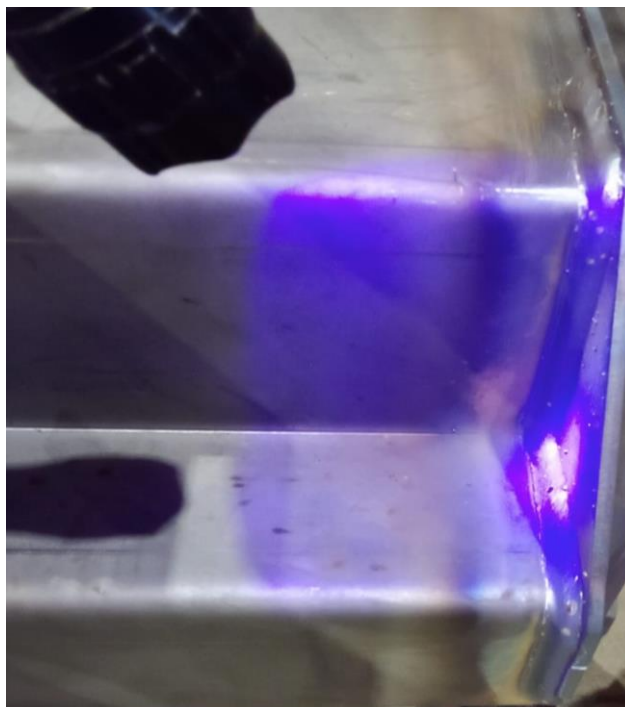
- 1.) Nanos penetranta (slika 5.35. )



*Slika 5.35. Postupak nanošenja penetranta [osobne slike]*

- 2.) Vrijeme penetracije (tri sata)

3.) Kontrola UV svjetiljkom na mjestu apliciranja penetranta ( slika 5.36.)



*Slika 5.36. Kontrola propuštanja zavarenog spoja UV svjetiljkom [osobne slike]*

4.) Uklanjanje penetranta – pomoću alkalnog sredstva za odmaščivanje i čišćenje

## 6. Zaključak

U proteklih 10-ak godina, na tržištu i u industriji sve se više primjenjuju „novi“, odnosno suvremeni postupci MIG/MAG zavarivanja. Potreba za razvijanjem istih javila se s ciljem povećanja produktivnosti, kontrole nas unosom topline, smanjenja deformacija i rasprskavanja, te da zavareni spoj bude korozijski postojan. Suvremeni postupci javili su se s potrebom spajanja tankih limova te mogućnošću spajanja s robotskom stanicom. Na temelju svega navedenog javio se CMT MAG postupak koji je korišten u eksperimentalnom radu.

Kod zavarenih spojeva koji su dobiveni robotiziranim zavarivanjem CMT MAG postupkom, deformacije su smanjene samim time što je i unos topline smanjen. Zavareni spojevi estetski su ljepši od zavarenih spojeva dobivenih konvencionalnim postupcima kojima rukuju zavarivači. Zavarivačima se mogu desiti pogreške zbog različitih utjecajnih faktora. Istom je puno teže ručno napraviti njihanje luka („weaving“), pogotovo na dužim zavarima. Tako primjerice niti jedan trokut neće biti identičan prethodnom kao što se to bez poteškoća postiže robotom. Zavarivač je sklon gubitku kontrole nad žicom pa dolazi do promjene i fluktuacije parametara tijekom zavarivanja (ako bi se žica pomaknula bliže talini, vrijednost napona električnog luka bi pala, a jakost struje bi se povisila i obratno). Pomoću robota se dobiva kontinuirano protaljivanje po cijeloj dužini zavarenog spoja. To znači da je konstantno identična brzina zavarivanja, nagib pištolja i udaljenost sapnice od osnovnog materijala. Postignuta je viša razina kvalitete što se tiče točnosti, ponovljivosti, geometrije i sl. Svaka pozicija zahtijevala je podešavanje njoj optimalnih parametara. To znači da su se kod zavarivanja prijevoznog sloga koristili viši parametri zbog opterećenja zbog dobivanja sigurnijeg zavara. Kod bočnih stranica dna koristili su se niži parametri jer su iste napravljene od tanjeg materijala. Robotiziranim zavarivanjem dobili su se kontinuirani zavari bez prekida, odnosno robotom se može neograničeno zavarivati. Robotom se zaposlenika oslobodilo od upravljanja ručne manipulacije, mijenjanja niza potrebnih parametara za različite izvedbe zavarenih spojeva (prilikom zavarivanja sve to u hodu radi robot) te je oslobođen teškog i opasnog posla.

Rezultat ispitivanja pokazao je da nije došlo do propuštanja što je vidljivo ispitivanjem penetrantom na propusnost (da se javilo propuštanje, pod UV svjetlom bi se vidjela specifična zelena boja).

S druge strane, negativna strana je visoka cijena opreme i održavanja, robotskom stanicom zauzeta je veća površina prostora, potreban je visokoobrazovan kadar i potrebna su minimalna odstupanja u pripremi (konkretno kod prihvatnog zavarivanja pozicija koje se ručno spajaju).

Prema trenutnoj konstrukciji transformatorskih kotlova još uvijek nije moguće pristupiti teško dostupnom mjestu (preuska mjesta za prolaz pištolja, „robacta“ motora) zbog problema

tehnološkog oblika konstrukcija. Cilj je da se u što kraćem roku izmjeni konstrukcija kotla, a da pritom ne utječe na jezgru.

## 7. Literatura

- [1] Tomić T.: Predavanja iz kolegija: „Zavarljivost materijala i pogreške u zavarenim spojevima“, Sveučilište Sjever, Varaždin, akademska godina 2022./2023.
- [2] SIGMAT d.o.o.: Kako funkcionira zavarivanje, informativni članak, Sibinj
- [3] Garašić I.: IWE predavanje: „Uvod u elektrolučno zavarivanje u plinskoj zaštiti“, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2018.
- [4] Bušić M.: Predavanja iz kolegija: „Proizvodne tehnologije“, Sveučilište Sjever, Varaždin, 2022.
- [5] Garašić I.: IWE predavanje, tema 1.11: Elektrootporno zavarivanje, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2018.
- [6] Horvat M.: Predavanja iz kolegija: Tehnike spajanja, Sveučilište Sjever, Varaždin, 2019.
- [7] Garašić I.: IWE predavanje, tema 1,8: MIG/MAG ZAVARIVANJE, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2018.
- [8] Komar M.: Utjecaj parametara MIG zavarivanja na strukturalna svojstva zavarenog spoja, Završni rad, Sveučilište Sjever, Varaždin, 2021.
- [9] Literatura poduzeća Ferokotao d.o.o., Donji Kraljevec, 2023.
- [10] Jeff Nadzam: Gas Metal Arc Welding, Ohio, SAD, 2008
- [11] I. Garašić, Z. Kožuh, B. Bauer: Predavanja iz kolegija “Strojevi i oprema za zavarivanje“ FSB, Sveučilište u Zagrebu ,2015., stranica 110
- [12] I. Ciglar, Z. Botak: Upravljanje i primjena robota za zavarivanje „Reis Robotics RV6L“, Sveučilište u Varaždinu, Varaždin, 2012.
- [13] T. Šurina, M. Crneković: Industrijski roboti, Školska knjiga, Zagreb, 1990.
- [14] Car Z.: „Predavanja iz kolegija: „Robotika u proizvodnji“, Sveučilište Sjever, Varaždin, 2017.
- [15] D. Branilović: TIG postupak zavarivanja i zaštiti plinovi koji se koriste tijekom zavarivanja, Završni rad, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2011.
- [16] Garašić I.: IWE predavanje, tema 1,15: Mehanizirano robotizirano zavarivanje, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2016.
- [17] Bušić M.: Predavanja iz kolegija: „Suvremene tehnologije u održavanju strojarstvenih konstrukcija“, Sveučilište Sjever, Varaždin, 2022.
- [18] T. Šurina, M. Crneković: Industrijski roboti, Školska knjiga, Zagreb, 1990.
- [19] B. Pleadin: Uvod u offline programiranje industrijskog robota, Nastavni predmet: Robotika, Strukovna škola Đurđevac, 2020.

- [20] Hrvatska tehnička enciklopedija: „Tornjevi i toranjske zgrade – transformator“, školska knjiga, Zagreb, str. 148-151
- [21] Norma ISO 15609-1:2019 – Specifikacija i kvalifikacija postupaka zavarivanja za metalne materijale – Specifikacija postupka zavarivanja – 1.dio: Elektrolučno zavarivanje

## Popis slika

Slika 2.1. Prikaz TIG postupka zavarivanja .....	4
Slika 2.2. Plazma zavarivanje .....	5
Slika 3.1. a) Zaštitni plinovi kod MIG postupka, b) Zaštitni plinovi kod MAG postupka .....	6
Slika 3.2. Prikaz širine zavara koju daje svaki pojedini zaštitni plin ili kombinacija plinova .....	6
Slika 3.3. Utjecaj različitih jačina struja zavarivanja na zavarene spojeve .....	8
Slika 3.4. Usporedba zavara korištenjem različitih napona luka .....	9
Slika 3.5. Ovisnost dubine protaljivanja o brzini zavarivanja .....	9
Slika 3.6. Izgled zavara dobivenih različitim jakostima strujama i dužinama slobodnog kraja žica .....	10
Slika 3.7. Utjecaj zaštitnih plinova na zavar .....	11
Slika 3.8. a) Zavarivanje samozaštitnom praškom punjenom žicom; b) zavarivanje praškom punjenom žicom uz plinsku zaštitu .....	12
Slika 3.9. Oprema za MIG/MAG zavarivanje .....	14
Slika 3.10. Primjeri primjene MIG/MAG postupka .....	15
Slika 4.1. Robotizirana zavarivačka ćelija sastavljena od osnovnih dijelova, robota sa manipulatorom.....	17
Slika 4.2. Robotizirani MIG/MAG postupak zavarivanja .....	20
Slika 4.3. Njihanje električnog luka .....	21
Slika 4.4. Popuna završnog kratera .....	21
Slika 4.5. On – line programiranje .....	21
Slika 5.1. Izgled dna transformatorskog kotla .....	25
Slika 5.2. Distribucijski transformator .....	26
Slika 5.3. Dno transformatorskog kotla spojeno sa napravom za prihvat .....	27
Slika 5.4. Program iPAT .....	27
Slika 5.5. Virtualni izgled radnog prostora robota .....	28
Slika 5.6. Naprava za prihvat s dnom stavljena na pozicioner .....	28
Slika 5.7. Zavarivanje dna pomoću robota .....	28
Slika 5.8. JOG korak programiranja .....	29
Slika 5.9. WORK korak programiranja .....	30
Slika 5.10. „Weaving“, njihanje električnog luka .....	30
Slika 5.11. Sastavni dijelovi robotske stanice .....	31
Slika 5.12. Komponente igm robota .....	32
Slika 5.13. TCP postupak .....	34

Slika 5.14. Postupak Pinninga .....	34
Slika 5.15. Kompenzator povratnog gibanja žice .....	35
Slika 5.16. Aplikacija „Weld connect“ .....	36
Slika 5.17. Stavljanje dna na pozicioner .....	37
Slika 5.18. Postavke početnog položaja pištolja .....	37
Slika 5.19. Pozicioniranje početne i završne točke putanje .....	38
Slika 5.20. Parametri zavarivanja prijevoznog sloga .....	38
Slika 5.21. Zavarivanje prijevoznog sloga po dužini .....	39
Slika 5.22. Rotacija dna za 90° .....	39
Slika 5.23. Zavarivanje gornjeg dijela prijevoznog sloga .....	39
Slika 5.24. Dobiveni zavareni spojevi po dužini prijevoznog sloga .....	40
Slika 5.25. Dobiveni zavareni spoj s gornje strane prijevoznog sloga .....	40
Slika 5.26. Parametri zavarivanja bočnih stranica .....	41
Slika 5.27. Zavarivanje prvog dijela putanje bočne stranice .....	41
Slika 5.28. Drugi dio zavarenog spoja bočne stranice .....	42
Slika 5.29. Parametri zavarivanja ispusta ulja .....	42
Slika 5.30. Postupak kružnog zavarivanja ispusta pomoću robota .....	43
Slika 5.31. Dobiveni zavareni spoj na ispustu .....	43
Slika 5.32. Mjerilo s noniusom .....	44
Slika 5.33. Debljina očitnog zavara (a5).....	44
Slika 5.34. UV svjetiljka .....	45
Slika 5.35 Postupak nanošenja penetranta .....	45
Slika 5.36. Kontrola propuštanja zavarenog spoja UV svjetiljkom .....	46

## **Popis tablica**

Tablica 4.1. Veličine bitne za rad robota .....	19
Tablica 4.2. Alati koji se koriste kod on – line i off – line programiranja .....	24
Tablica 5.3. Komponente robotske stanice .....	31
Tablica 5.4. Tehničke karakteristike igm robota .....	33



Program : MirelaDiplomski.PRG  
 Library : FEROKOTAO.LIB Version : 1.54 Global Axes : 3  
 Station/Ctrl : FEROKOTA Robot Type : RTi4x6  
 External Axes : 2 Substation : 3 Tool-Id : 0x00FF0101

StepNumb Typ+I SPD WFQ DWL PSFCsO CO SU EXT/AUX N Comments

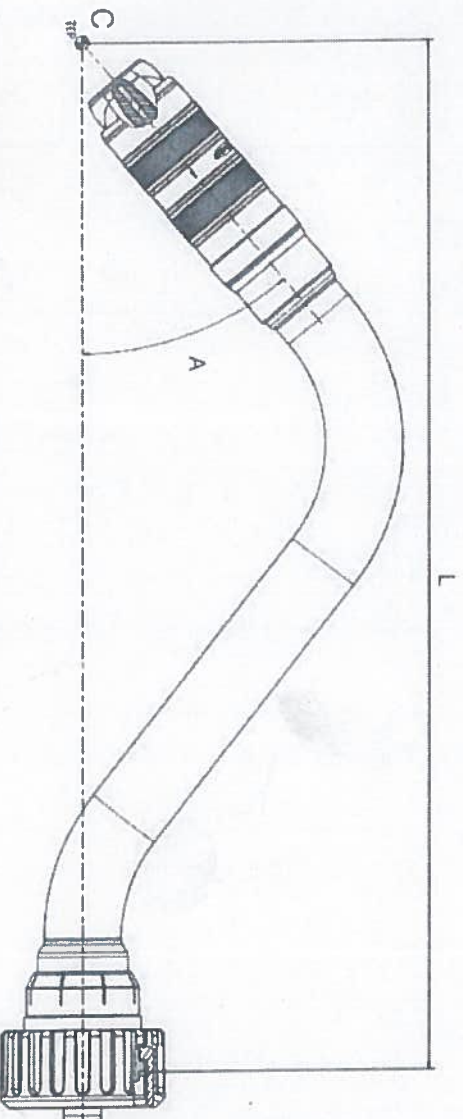
```

=====
2.0 AUX ... ..? .. 03 WRKCOO EXT0 Nr:1 Typ:16
.3.0 AUX ... ..? .. 03 WRKCOO EXT1 Nr:2 Typ:16
.4.0 AUX ... ..? .. 03 WRKCOO WRKCo04 Nr:-1 Typ:16
.5.0 AUX ... ..? .. 03 WRKCOO WRKCo05 Nr:-1 Typ:16
.6.0 AUX ... ..? .. 03 WRKCOO WRKCo06 Nr:-1 Typ:16
.7.0 AUX ... ..? .. 03 WRKCOO WRKCo07 Nr:-1 Typ:16
.8.0 AUX ... ..? .. 03 WRKCOO WRKCo08 Nr:-1 Typ:16
.9.0 AUX ... ..? .. 03 WRKCOO WRKCo09 Nr:-1 Typ:16
.10.0 AUX ... ..? .. 03 WRKCOO WRKCo10 Nr:-1 Typ:16
.11.0 AUX ... ..? .. 03 WRKCOO WRKCo11 Nr:-1 Typ:16
.12.0 AUX ... ..? .. 03 WRKCOO WRKCo12 Nr:-1 Typ:16
.13.0 AUX ... ..? .. 03 WRKCOO WRKCo13 Nr:-1 Typ:16
.14.0 AUX ... ..? .. 03 WRKCOO WRKCo14 Nr:-1 Typ:16
.15.0 AUX ... ..? .. 03 WRKCOO WRKCo15 Nr:-1 Typ:16
.16.0 AUX ... ..? .. 03 WRKCOO WRKCo16 Nr:-1 Typ:16
.17.0 AUX ... ..? .. 03 WRKCOO WRKCo17 Nr:-1 Typ:16
.18.0 AUX ... ..? .. 03 WRKCOO WRKCo18 Nr:-1 Typ:16
.19.0 AUX ... ..? .. 03 WRKCOO WRKCo19 Nr:-1 Typ:16
.20.0 AUX ... ..? .. 03 WRKCOO WRKCo20 Nr:-1 Typ:16
.21.0 AUX ... ..? .. 03 WRKCOO WRKCo21 Nr:-1 Typ:16
.22.0 AUX ... ..? .. 03 WRKCOO WRKCo22 Nr:-1 Typ:16
.23.0 AUX ... ..? .. 03 WRKCOO WRKCo23 Nr:-1 Typ:16
.24.0 AUX ... ..? .. 03 WRKCOO WRKCo24 Nr:-1 Typ:16
.25.0 AUX ... ..? .. 03 WRKCOO WRKCo25 Nr:-1 Typ:16
.26.0 AUX ... ..? .. 03 WRKCOO WRKCo26 Nr:-1 Typ:16
.27.0 AUX ... ..? .. 03 WRKCOO WRKCo27 Nr:-1 Typ:16
.28.0 AUX ... ..? .. 03 WRKCOO WRKCo28 Nr:-1 Typ:16
.29.0 AUX ... ..? .. 03 WRKCOO WRKCo29 Nr:-1 Typ:16
.30.0 AUX ... ..? .. 03 WRKCOO WRKCo30 Nr:-1 Typ:16
2.0 JOGN 100 ... .. 02 03 ..... +844.8 +150.9 +805.7 -12+154 -179 +75.2 +509.5 +222.4 +0.0 +0.0
3.0 AUX ... .. 03 IGN DEF
4.0 AUX ... .. 03 INFO 'Seam Nr.2- Side A'
5.0 JOGN 100 ... .. 02 03 ..... "SP1B0" -798.2 +202.6 +810.1 +1+154 -180 +1450.0 +572.7 +208.4 +0.0 +0.0
6.0 JOGN 100 ... .. 02 03 SRCH BEG "SP1B" -486.9 +229.4 +442.4 +59+119+172 +941.1 +595.8 +377.1 +0.0 +0.0
.1.0 JOGN 100 ... .. 02 03 SEA INTM -438.6 +185.8 +404.6 +59+119+172 +936.8 +551.2 +377.1 +0.0 +0.0
2.0 JOGL 0.5 ... .. 02 03 SEAGRP_1 -438.4 +185.8 +377.6 +59+119+172 +936.8 +551.2 +377.1 -0.0 +0.0
.3.0 JOGN 100 ... .. 02 03 SEA INTM -438.3 +185.8 +391.9 +59+119+172 +941.1 +551.2 +377.1 +0.0 +0.0
4.0 JOGL 0.5 ... .. 02 03 SEAGRP_1 -411.6 +186.4 +392.0 +59+119+172 +941.1 +551.2 +377.1 +0.0 +0.0
5.0 JOGN 100 ... .. 02 03 SEA INTM -486.9 +229.4 +442.4 +59+119+172 +941.1 +595.8 +377.1 +0.0 +0.0
.6.0 JOGN 100 ... .. 02 03 SEA INTM -458.1 +228.2 +447.2 -18+154+166 +927.5 +607.1 +379.9 +0.0 +0.0
.7.0 JOGN 100 ... .. 02 03 SEA INTM -429.6 +247.5 +324.9 -31+151+154 +927.5 +607.1 +444.3 -0.0 +0.0
.8.0 JOGL 0.5 ... .. 02 03 SEAGRP_1 -428.8 +212.6 +324.9 -31+151+154 +927.5 +607.1 +444.3 -0.0 +0.0
7.0 JOGN 100 ... .. 02 03 SRCH END "SP1E" -455.6 +281.4 +465.4 +8+154 -178 +956.8 +607.1 +376.3 +0.0 +0.0
8.0 JOGN 100 ... .. 02 03 SRCH BEG "SP2B" -472.3 -176.2 +484.0 +59+119+172 +939.6 +189.9 +377.0 +0.0 +0.0
.1.0 JOGN 100 ... .. 02 03 SEA INTM -434.8 -175.5 +395.5 +59+119+172 +938.0 +189.9 +377.0 +0.0 +0.0
2.0 JOGL 0.5 ... .. 02 03 SEAGRP_1 -434.7 -175.5 +377.9 +59+119+172 +938.0 +189.9 +377.0 +0.0 -0.0
.3.0 JOGN 100 ... .. 02 03 SEA INTM -435.8 -175.5 +398.7 +59+119+172 +939.6 +189.9 +377.0 +0.0 +0.0
4.0 JOGL 0.5 ... .. 02 03 SEAGRP_1 -407.7 -174.8 +398.9 +59+119+172 +939.6 +189.9 +377.0 +0.0 +0.0
5.0 JOGN 100 ... .. 02 03 SEA INTM -479.6 -285.9 +439.7 +59+119+172 +969.9 +80.4 +369.7 +0.0 +0.0
.6.0 JOGN 100 ... .. 02 03 SEA INTM -440.0 -265.9 +335.7 +34+148 -134 +969.9 +80.4 +369.7 +0.0 +0.0
.7.0 JOGL 0.5 ... .. 02 03 SEAGRP_1 -440.7 -231.4 +335.7 +34+148 -134 +969.9 +80.4 +369.7 -0.0 +0.0
=====

```

## 4 | DESCRIPTION

### 4.1 | GEOMETRY



Tab. 4.1

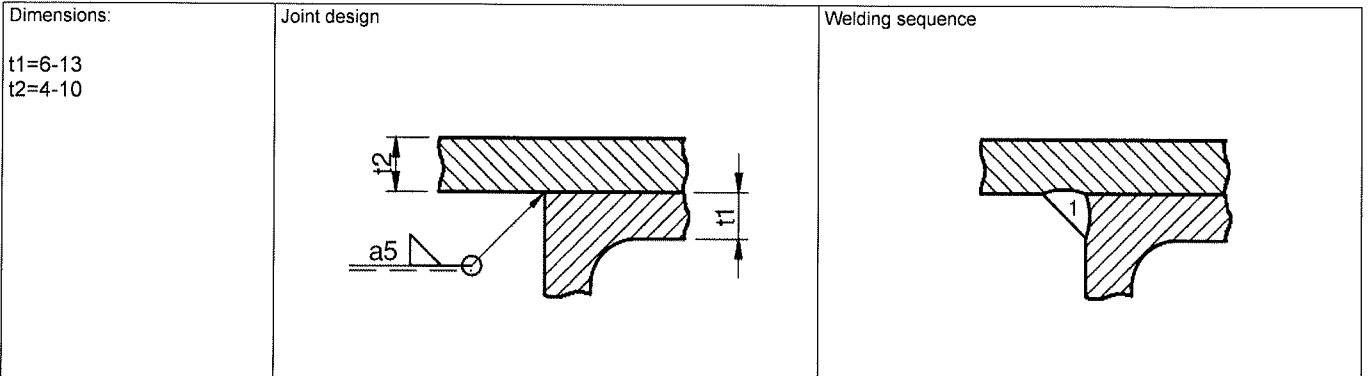
Abbreviation	Measure
L	Length: Flange-TCP
A	Angle: pipe bend
C	Offset: axis lead through -TCP (C=0)

### 4.2 | OVERVIEW

Tab. 4.2

Article-number	Designation	100% ED [A] CO <sub>2</sub>   ArCO <sub>2</sub>	L [mm]	A [°]	C [mm]	Cooling
11CM1H-000	SB__1x700W/15° L0321H000MTB	700	321	15	0	W
11CM1H-001	SB__1x700W/30° L0321H000MTB	700	321	30	0	W
11CM1H-002	SB__1x700W/40° L0321H000MTB	700	321	40	0	W
11CM1H-003	SB__1x700W/40° L0521H000MTB	700	521	40	0	W
11CM1H-004	SB__1x500W/15° L0321H000MTB	500	321	15	0	W
11CM1H-005	SB__1x500W/30° L0321H000MTB	500	321	30	0	W
11CM1H-006	SB__1x500W/40° L0321H000MTB	500	321	40	0	W
11CM1H-007	SB__1x500W/40° L0521H000MTB	500	521	40	0	W
11CM1H-008	SB__1x700W/40° L0421H000MTB	700	521	40	0	W

Location: Donji Kraljevec	Examiner or test centre: Josibet Afanador
WPQR No.: 1229	Method of preparation and cleaning: Grinding
Welder qualification: EN 9606-1	Processing the root weld:
Welding process: 135-(MAG)	Parent material specification: Group no ISO 15608:
Joint type: lap joint	S235JR+N: EN 10025-2                      1.1
Customer:	S235JR+N: EN 10025-2                      1.1
Order no.:	Material thickness: t1=6-13 / t2=4-10 mm
Drawing no.:	Outside diameter:
Part no.:	Welding position: PB



Remark:

Welding details

Welding pass	Process	Ø weld filler	Current	Voltage	Current / Polarity	Wire feed rate	Travel speed	Heat input
A 1	135	1,2 mm	230-240 A	26,7-27,7 V	= / +	15-16 m/min	39-42 cm/min	0,702 - 0,818 kJ/mm

Welding filler / welding flux



Designation	Brand name	Manufacturer	Special regulations for drying	
			Time	Temperature
A EN 14341-A: G 42 4 C/M G3Si1	EZ-SG2	Elektroda Zagreb		

Shielding gas

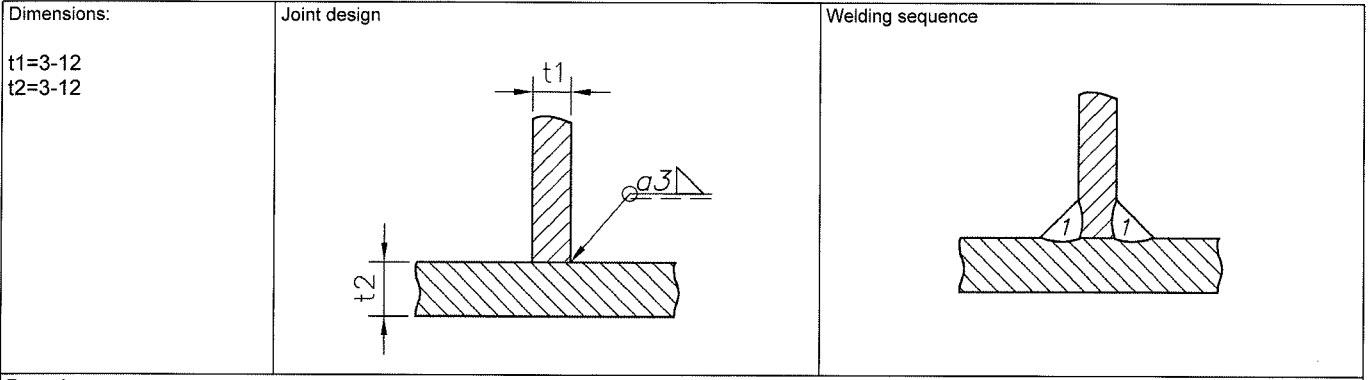
Type	Brand name	Manufacturer	Volume	Pre-purge time	Post-purge time
A Shielding: ISO 14175: M21 (Ar 82%, CO2 18%)	Ferroline C18	Messer Croatia Plin	14-16 l/min	1 s	4 s

Further information

Parameter	Value	Weld bead form: stringer or weave bead Preheat temperature: Interpass temperature:
A Nozzle /gas cup size	16	
A Material transfer	Spray	
A Distance contact tube/work piece	16 mm	

Date, prepared: 1.8.2023. Josibet Afanador	Date, checked: 1.8.2023. Josibet Afanador	Date, released: 1.8.2023. Josibet Afanador
Signature 	Signature 	Signature

Location: Donji Kraljevec	Examiner or test centre: Zoran Bogdanović
WPQR No.: FSB ZK-15614-1-2014-013	Method of preparation and cleaning: Brushing
Welder qualification: EN 9606-1	Processing the root weld:
Welding process: 135-(MAG)	Parent material specification: S235JR+N: EN 10025-2
Joint type: fillet weld	Group no ISO 15608: 1.1
Customer:	S235JR+N: EN 10025-2
Order no.:	Material thickness: t1=3-12 / t2=3-12 mm
Drawing no.:	Outside diameter:
Part no.:	Welding position: PB



Remark:

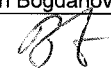

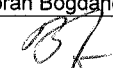
Welding details									
Welding pass	Process	Ø weld filler	Current	Voltage	Current / Polarity	Wire feed rate	Travel speed	Heat input	
A 1	135	1 mm	180-190 A	25-26 V	= / +	7,4-8,9 m/min	42-48 cm/min	0,45 - 0,565 kJ/mm	

Welding filler / welding flux				Special regulations for drying	
Designation	Brand name	Manufacturer	Time	Temperature	
A EN 14341-A: G 42 4 C/M G3Si1	EZ-SG2	Elektroda Zagreb			

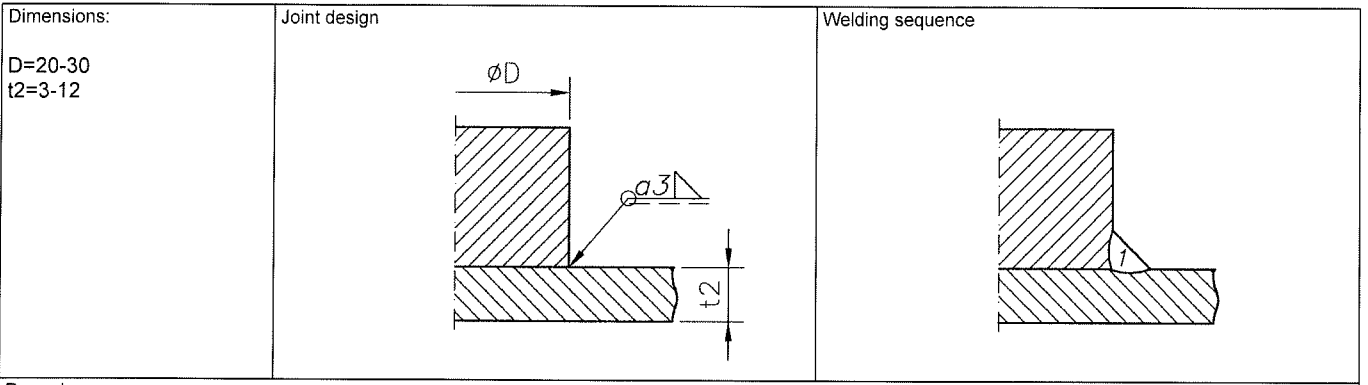
Shielding gas						
Type	Brand name	Manufacturer	Volume	Pre-purge time	Post-purge time	
A Shielding: ISO 14175: M21 (Ar 82%, CO2 18%)	Ferroline C18	Messer Croatia Plin	10-12 l/min	1 s	4 s	

Further information		
Parameter	Value	
A Nozzle /gas cup size	13	
A Material transfer	spray arc	
A Distance contact tube/work piece	13 mm	

Weld bead form: string bead  
Preheat temperature:  
Interpass temperature:

Date, prepared: 15.12.2016. Zoran Bogdanović	Date, checked: 15.12.2016. Zoran Bogdanović	Date, released: 15.12.2016. Zoran Bogdanović
Signature 	Signature 	Signature 

Location: Donji Kraljevec	Examiner or test centre: Zoran Bogdanović
WPQR No.: FSB ZK-15614-1-2014-009	Method of preparation and cleaning: Brushing
Welder qualification: EN 9606-1	Processing the root weld:
Welding process: 141-(TIG)	Parent material specification: X5CrNi18-10: EN 10088-3
Joint type: fillet weld	Group no ISO 15608: 8.1
Customer:	S235JR+N: EN 10025-2
Order no.:	Material thickness: t2=3-12 mm
Drawing no.:	Outside diameter: D=20-30 mm
Part no.:	Welding position: PB






Remark:

Welding pass	Process	Ø weld filler	Current	Voltage	Current / Polarity	Wire feed rate	Travel speed	Heat input
A	1	2,4 mm	Base1: 150-160 A	14-14,5 V	= / -		8,5 cm/min	0,889 - 0,983 kJ/mm

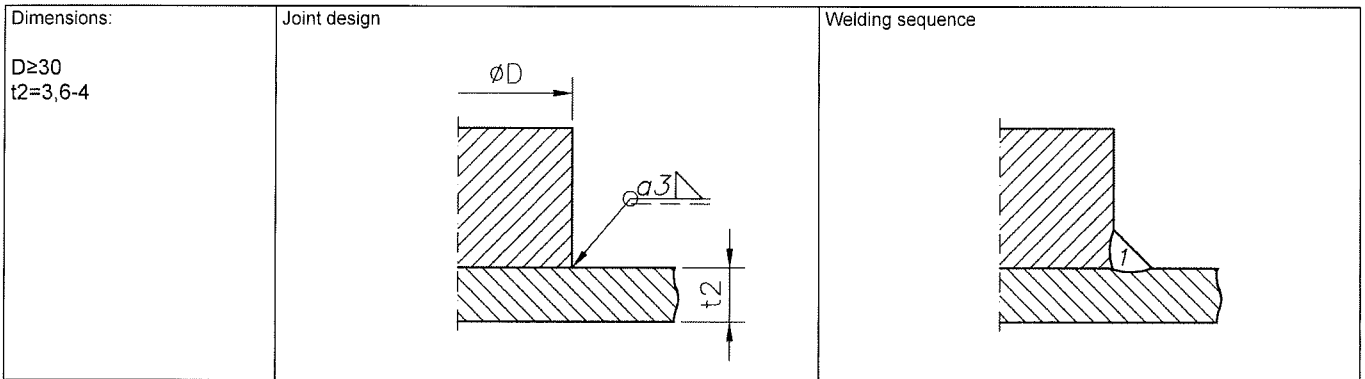
Welding filler / welding flux	Special regulations for drying			
Designation	Brand name	Manufacturer	Time	Temperature
A EN ISO 14343-A: W 19 9 LSi	TIG 308LSi	Lincoln		

Shielding gas	Brand name	Manufacturer	Volume	Pre-purge time	Post-purge time
A Shielding: ISO 14175: I1 (Ar 100%)	Argon 4.8	Messer Croatia Plin	8-10 l/min	1 s	4 s

Further information	Parameter	Value	Weld bead form
A	Tungsten electrode	WT 20, Ø 2,4 mm	weave bead
A	Nozzle /gas cup size	10-11	Preheat temperature:
			Interpass temperature:

Date, prepared: 20.12.2016. Zoran Bogdanović	Date, checked: 20.12.2016. Zoran Bogdanović	Date, released: 20.12.2016. Zoran Bogdanović
Signature 	Signature 	Signature 

Location: Donji Kraljevec WPQR No.: FSB ZK-15614-1-2014-009 Welder qualification: EN 9606-1 Welding process: 141-(TIG) Joint type: fillet weld Customer: Order no.: Drawing no.: Part no.:	Examiner or test centre: Zoran Bogdanović Method of preparation and cleaning: Brushing Processing the root weld: Parent material specification: X5CrNi18-10: EN 10088-2 S235JR+N: EN 10025-2 Group no ISO 15608: 8.1 1.1 Material thickness: t2=3,6-4 mm Outside diameter: D≥30 mm Welding position: PB
--	--



Remark:

Welding details									
	Welding pass	Process	Ø weld filler	Current	Voltage	Current / Polarity	Wire feed rate	Travel speed	Heat input
A	1	141	2,4 mm	Base1: 150-160 A	12,5-13 V	= / -		8-9 cm/min	0,75 - 0,936 kJ/mm



Welding filler / welding flux				Special regulations for drying	
	Designation	Brand name	Manufacturer	Time	Temperature
A	EN ISO 14343-A - EN ISO 14343-A: W 19 9 LSi	TIG 308LSi	Lincoln		

Shielding gas						
	Type	Brand name	Manufacturer	Volume	Pre-purge time	Post-purge time
A	Shielding: ISO 14175: I1 (Ar 100%)	Argon 4.8	Messer Croatia Plin	8-10 l/min	1 s	4 s

Further information		
	Parameter	Value
A	Tungsten electrode	WT 20, Ø 2,4 mm
A	Nozzle /gas cup size	11

Weld bead form: weave bead  
 Preheat temperature:  
 Interpass temperature:

Remark Supplementary CSA Requirements: - 100 (crack) - not permitted - 104 (crater crack) - not permitted - 2017 (surface pore) - 0,9 mm - 2025 (open and crater shrink hole) - not permitted - 401 (lack of fusion) - not permitted - 5011/5012 (undercut) - not permitted - 503 (too big excess weld metal) - 2 mm - 505 (bad reinforcement) - 90° - 506 (overlap) - not permitted - 509/511 (deposited metal) - 0,36 mm - 510 (burn-through) - not permitted - 512 (excessively dissymmetry of fillet weld) - 2,6 mm (not permitted at underfill) - 517 (poor restart) - not permitted - 5213 (too small throat thickness) - 0,6 mm (k.U.) - 5214 (too big throat thickness) - acceptable - 601 (arc strike) - not permitted	
--	--

Date, prepared: 9.1.2023. Zoran Bogdanović	Date, checked: 9.1.2023. Zoran Bogdanović	Date, released: 9.1.2023. Zoran Bogdanović
Signature 	Signature 	Signature 