Utjecaj parametara zavarivanja na osjetljivost elektrolučnog senzora pri MAG robotiziranom zavarivanju

Grgurić, Luka

Undergraduate thesis / Završni rad

2020

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:235:814399

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-29**

Repository / Repozitorij:

Repository of Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture University of Zagreb



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Luka Grgurić

Zagreb, 2020.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Mentori:

Prof. dr. sc. Ivica Garašić, dipl. ing.

Student:

Luka Grgurić

Zagreb, 2020.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći znanja stečena tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem se prof. dr. sc. Ivici Garašiću te višoj asistentici dr. sc. Maji Jurici na pruženoj stručnoj pomoći i savjetima tijekom izrade ovog rada.

Luka Grgurić

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite

Povjerenstvo za završne ispite studija strojarstva za smjerove:
proizvodno inženjerstvo, računalno inženjerstvo, industrijsko inženjerstvo i menadžment, inženjerstvo materijala i mehatronika i robotika

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa:	
Ur.broj:	

ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **LUKA GRGURIĆ** Mat. br.: 0035206472

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **UTJECAJ PARAMETARA ZAVARIVANJA NA OSJETLJIVOST ELEKTROLUČNOG SENZORA PRI MAG ROBOTIZIRANOM ZAVARIVANJU**

Naslov rada na engleskom jeziku: **EFFECT OF WELDING PARAMETERS ON THROUGH-ARC SENSOR SENSITIVITY DURING GMAW ROBOTIC WELDING**

Opis zadatka:

U teorijskom dijelu rada potrebno je navesti vrste senzora koji se koriste kod robotiziranog MAG zavarivanja te ukratko opisati principe rada kao i eventualna ograničenja u primjeni. Za senzore električnog luka detaljno opisati princip rada kao i eventualne utjecaje parametara zavarivanja i pripreme spoja na kvalitetu izvođenja procesa zavarivanja.

U eksperimentalnom dijelu rada potrebno je za određenu debljinu materijala definirati prikladnu pripremu spoja koja omogućava korištenje elektrolučnog senzora. Navesti sve parametre elektrolučnog senzora te kako oni utječu na osjetljivost praćenja procesa. Zaključno, nakon praktičnih proba definirati optimalnu kombinaciju parametara koja rezultira najboljom osjetljivošću elektrolučnog senzora.

U radu je potrebno navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:

28. studenog 2019.

Zadatak zadao:

Prof. dr. sc. Ivica Garašić

Datum predaje rada:
1. rok: 21. veljače 2020.
2. rok (izvanredni): 1. srpnja 2020.
3. rok: 17. rujna 2020.

Predviđeni datumi obrane:
1. rok: 24.2. – 28.2.2020.
2. rok (izvanredni): 3.7.2020.
3. rok: 21.9. - 25.9.2020.

Predsjednik Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Branko Bauer

SADRŽAJ

POPIS SLIKA III

POPIS TABLICA V

POPIS OZNAKA VI

SAŽETAK VII

SUMMARY VIII

1. UVOD 1

2. MAG TEHNOLOGIJA ZAVARIVANJA 2

2.1. Općenito o MAG postupku zavarivanja 2

2.2. Parametri kod MAG zavarivanja 3

2.3. Prednosti i nedostaci MAG postupka zavarivanja 4

2.4. Zahtjevi za automatsko i robotizirano MAG zavarivanje 5

3. ROBOTIZIRANO MAG ZAVARIVANJE 8

3.1. Robotizirana zavarivačka stanica 9

3.2. *Off – line* programiranje 10

3.3. *On – line* programiranje 11

3.4. Hibridni (mješoviti) način programiranja 12

3.5. Problemi pri robotiziranom zavarivanju 13

4. SENZORI KOD ROBOTIZIRANOG ZAVARIVANJA 14

4.1. Podjela senzora 14

4.2. Senzori za mjerenje tehnoloških parametara 15

4.2.1. Senzor za mjerenje napona 15

4.2.2. Senzori za mjerenje jakosti struje 15

4.2.3. Senzor za mjerenje brzine dovođenja žice 16

4.3. Senzori za mjerenje geometrijskih karakteristika 17

4.3.1. Optički senzori 17

4.3.2. Senzor električnog luka 19
4.3.2.1 Način rada senzora 20
4.3.2.2 Utjecaj načina prijenosa dodatnog materijala 23
4.3.3. Ostale vrste senzora 23
5. EKSPERIMENTALNI DIO 25
5.1. Robotska stanica VRC – 1G MIG + 1G TIG/1dm 26
5.1.1. Robot za zavarivanje 26
5.1.2. Privjesak za učenje i AX – C kontroler 28
5.1.3. Izvor struje 29
5.1.4. Senzor električnog luka 30
5.2. Radni komad 31
5.3. Zavarivanje korijenskog prolaza 32
5.4. Postavke zavarivanja drugog prolaza 35
5.4.1. Stvaranje nove datoteke 36
5.4.2. Parametri električnog luka 36
5.4.3. Parametri njihanja 37
5.4.4. Parametri senzora električnog luka 38
5.4.5. Planirano zavarivanje s funkcijom praćenja 39
5.5. Zavarivanje drugog prolaza 39
6. ZAKLJUČAK 47
LITERATURA 49

POPIS SLIKA

Slika 1. Prikaz električnog luka u MAG postupku zavarivanja [5] 2
Slika 2. PoluautomatskoMIG/ MAG zavarivanje [10] 5
Slika 3. Automatizirani MAG postupak zavarivanja [7] 6
Slika 4. Robotizirana zavarivačka stanica[12] 8
Slika 5. Robot i njegove numerički upravljane osi[7] 9
Slika 6. Robotizirana zavarivačka ćelija[14] 10
Slika 7. Privjesak za učenje[16] 12
Slika 8. Podjela senzora [7] 15
Slika 9. Zavarivačka stanica opremljena tehnološkim senzorima[18] 16
Slika 10. Metoda triangulacije[19] 18
Slika 11. Metoda praćenja spoja kod zavarivanja [19] 18
Slika 12. Pad jakosti struje pri njihanju u procesu zavarivanja[19] 20
Slika 13. Putanje robota za zavarivanje[22] 21
Slika 14. Primjer tehnika njihanja[23] 22
Slika 15. Promjena parametara pri tehnici njihanja[24] 22
Slika 16. Robotska stanica 25
Slika 17. Robotska stanica s pripadajućim komponentama[25] 26
Slika 18. OTC Almega AX - V6 27
Slika 19. Privjesak za učenje i kontroler AX - C 29
Slika 20. OTC Daihen Varstroj DP 400 30
Slika 21. Senzor AX - AR 31
Slika 22. Geometrija pripreme spoja 32
Slika 23. Sustav za dobavu žice 33
Slika 24. Proces zavarivanja korijena 33
Slika 25. Programski kod za zavarivanje korijena 34
Slika 26. Prvi korijenski zavar 34
Slika 27. Drugi korijenski zavar 35
Slika 28. Treći korijenski zavar 35
Slika 29. Stvaranje nove datoteke 36
Slika 30. Određivanje parametara za zavarivanje 36
Slika 31. Izgled programa 37
Slika 32. Parametri tehnike njihanja 37
Slika 33. Parametri funkcije praćenja 38

Slika 34. Prikaz planirane i zamaknute putanje 39
Slika 35. Ploča 1 39
Slika 36. Ploča 2 40
Slika 37. Parametri zavarivanja zavara 1 40
Slika 38. Zavar 1 41
Slika 39. Parametri zavara 2 41
Slika 40. Zavar 2 42
Slika 41. Parametri njihanja zavara 3 42
Slika 42. Zavar 3 43
Slika 43. Parametri njihanja zavara 4 43
Slika 44. Zavar 4 44
Slika 45. Parametri njihanja zavara 5. 44
Slika 46. Zavar 5 45
Slika 47. Parametri njihanja zavara 6. 45
Slika 48. Zavar 6 46

POPIS TABLICA

Tablica 1. Utjecaj parametara na oblik, izgled i kvalitetu zavarenog spoja [7] 3
Tablica 2. Usporedba robotiziranog i automatiziranog sustava zavarivanja [11] 7
Tablica 3. Usporedba optičkih senzora[20] 19
Tablica 4. Specifikacije robota [26] 27
Tablica 5. Kemijski sastav[27] 32
Tablica 6. Mehančka svojstva[27] 32
Tablica 7. Parametri zavarivanja korijenskog prolaza 34

POPIS OZNAKA

Oznaka	Mjerna jedinica	Značenje
A_5	%	produljenje
Ar	%	argon
C	%	ugljik
CO_2	%	ugljikov dioksid
Cu	%	bakar
d	mm	promjer žice
I	A	jakost struje zavarivanja
L	H	induktivitet
$l_{SKž}$	mm	duljina slobodnog kraja žice
Mn	%	mangan
N	%	dušik
P	%	fosfor
Q	l/min	protok zaštitnog plina
Re	N/mm^2	granica razvlačenja
Rm	N/mm^2	vlačna čvrstoća
S	%	sumpor
Si	%	silicij
U	V	napon električnog luka
v_{zav}	m/min	brzina zavarivanja
X	mm	duljina pomaka pištolja

SAŽETAK

Tehnologija zavarivanja jedna je od najvažnijih tehnoloških procesa u metalnoj industriji. Kako tehnologija ide u korak s vremenom, tehnologije se sve više kombiniraju. Prema tome se i u tehnologiju zavarivanja često se implementiraju druge tehnologije, u ovom konkretnom završnom radu promatrat će se implementacija robotike, odnosno robotizacije, u tehnologiju zavarivanja. Takvim kombiniranjem dvaju navedenih tehnologija dolazi do razvoja nove tehnologije pod nazivom robotizirano zavarivanje. Jedan od najčešće robotiziranih zavarivačkih postupaka je MAG postupak zavarivanja. Također senzori imaju značajnu ulogu pri robotiziranom zavarivanju. Senzori služe za kontrolu, praćenje putanje zavarenog spoja. U prvom, teorijskom, dijelu rada razrađuje se tema robotiziranog MAG zavarivanja, senzorima koji se primjenjuju kod robotiziranog MAG zavarivanja te njihovim značajkama, ograničenjima i primjeni u svakodnevnoj proizvodnji, industriji. U eksperimentalnom dijelu definiraju se parametri senzora električnog luka koji omogućuju praćenje putanje zavarenog spoja, prati se korekcija putanje zavarivanja pomoću senzora, pri mijenjanju parametara. Na kraju rada iznesen je zaključak na temelju rezultata ispitivanja.

Ključne riječi: MAG zavarivanje, robotizirano zavarivanje, senzori, senzor električnog luka, klasifikacija senzora, parametri zavarivanja,...

SUMMARY

Welding technology is one of the most important technological processes in the metal industry. As the technology keeps pace with time, technologies are more often combined together. Accordingly, many technologies are often implemented in the welding technology, as well,in this practicular thesis, the implementation of robotics, or robotization, will be considered. By combining these two technologies, a new technology called robotic welding is beeing developed. One of most commonly robotised welding processes is the MAG welding process. Sensors also have a significant role in robotic welding. The sensors are usred for controlling and tracking the welded joint. In the first, theoretical part of the thesis, it is written about robotic MAG welding, and the sensors in robotic MAG welding, their features, limitations and applications in everyday production, industry. In the experimental section, the parameters of the through arc sensor which ennable tracing of welded joint are defined, also the correction of the welding path using the sensor is monitored, when parameters are changing. At the end of the work a conclusion was made based on the results of the research.

Key words: MAG welding, robotic welding, sensors, arc sensor, sensor classification, welding parameters,...

1. UVOD

Jedan od najvažnijih te neizostavnih proizvodnih postupaka u današnjoj metalnoj industriji svakako je postupak tehnologije zavarivanja.

Prvi postupci zavarivanja pojavljuju se već u starom vijeku. To su bili postupci zavarivanja, odnosno spajanja, kovanjem i lijevanjem, koji su se razvili kao osnovni, nužni, dio vještine kovača odnosno ljevača. Većina poznatih, današnjih, postupaka tehnologije zavarivanja otkrivena, odnosno razvijena, je u novom vijeku, točnije početkom 19. stoljeća kada se počeo istraživati električni luk za opću namjenu[1].

Paralelno, kroz povijest, s razvojem tehnologija zavarivanja, razvijale su se i druge grane industrije poput robotike. Kombiniranjem takve dvije grane industrije dolazi do razvoja nove grane industrije koja se naziva robotizirano zavarivanje. Robotizirano zavarivanje posjeduje mnoge prednosti u odnosu na dosadašnje ručno zavarivanje, no ima i određenih mana. Ekonomičnost, preciznost, te produktivnost neke su od glavnih prednosti robotiziranog zavarivanja, što osobito dolazi do izražaja kod ponovljivih poslova zavarivanja. Također se čovjeka nastoji osloboditi od opasnih, fizički teških, monotonih, te ponekad nehumanih uvjeta rada. Probleme mogu predstavljati zahtjevi na stručnost programera robota, razine slobode kretanja robota, točnosti izrade, te mogućnosti korekcije tijekom rada (problemi sa senzorom), te svakako cijena investicije[2].

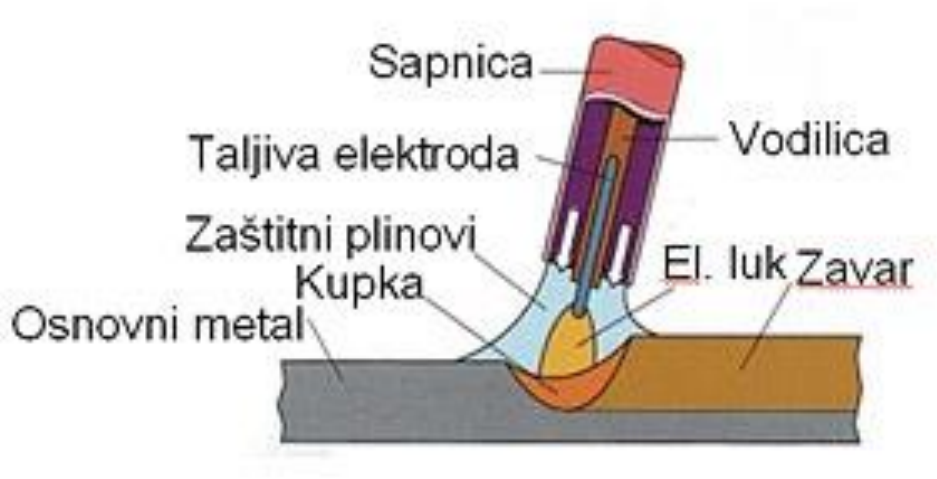
Robotizirano zavarivanje se sve više implementira u automatizirane sustave radi povećanja produktivnosti, ali i preciznosti izrade zavara. Uvođenjem računalnih tehnologija (CAD, CAM, CAE...) ostvaruje se kvalitetniji napredak u proizvodnji tehnologijom zavarivanja. Jednom kada se ispravno isprogramira robot, putanje, parametri zavarivanja, te ostalo, postižu se vrlo precizni zavari skoro bez ikakvih pogrešaka. Rezultat toga je smanjenje otpada, odnosno popravaka proizvoda, zavara. Upravo zbog takvih kvalitetnih rezultata kod robotskog zavarivanja zasluge imaju razne vrste senzora te dodatnih osjetila, kao i elementi umjetne inteligencija koja karakterizira robote, odnsno robotske stanice. Navedeni elementi su ključni segmenti za uspješno izvršen postupak robotiziranog zavarivanja, kako jednostavnijih zavara tako i sve složenijih[3].

2. MAG TEHNOLOGIJA ZAVARIVANJA

2.1. Općenito o MAG postupku zavarivanja

MAG postupak zavarivanja (eng. *Metal Active Gas*) je postupak elektrolučnog zavarivanja taljivom žicom u zaštitnoj atmosferi aktivnog plina (najčešće ugljikov dioksid CO_2) ili u plinskoj smjesi (najčešće argon + ugljikov dioksid, argon + ugljikov dioksid + kisik). Pri MAG postupku zavarivanja električni luk održava se između osnovnog materijala te taljive kontinuirane elektrode u obliku žice (većinom spojene na + pol istosmjerne struje). Toplina koju osigurava te dovodi električni luk omogućuje taljenje taljive elektrode (žice) te osnovnog materijala. Taljiva žica je ujedno i dodatni materijal čijim se taljenjem popunjava prethodno pripremljen žlijeb na osnovnom materijalu[4].

Na slici 1. prikazan je električni luk MAG postupka zavrivanja. Električni luk, oko kojeg je zaštitna atmosfera, se održava između taljive elektrode (žice) te radnog komada.



Slika 1. Prikaz električnog luka u MAG postupku zavarivanja [5]

Sustav zaštitnih plinova koji se koriste kod MAG tehnologije zavarivanja ima značajan utjecaj na stabilnost električnog luka, odnosno samog procesa, te prijenos metala i prskanje. U situacijama kada se očekuje estetski lijep izgled zavara, a da se ujedno ostvari i dobra zavarljivost, izvodi se MAG postupak zavarivanja u plinskoj smjesi sačinjenoj od približno 80 % Ar i 20 % CO_2. Zavarivanje kratkim električnim lukom osigurava najmanji unos topline u zavareni spoj što prvenstveno odgovara zavarivanju tankih limova, dok kod impulsnog zavarivanja osigurava se zavarivanje u svim položajima bez rasprskavanja kapljica [6].

2.2. Parametri kod MAG zavarivanja

Parametri koji utječu na izgled, kvalitetu i oblik zavarenog spoj pri MAG postupku zavarivanja su[6]:

1. Jakost struje zavarivanja – I (A)
2. Napon električnog luka – U (V)
3. Brzina zavarivanja – v_{zav} (m/min)
4. Promjer žice – d (mm)
5. Duljina slobodnog kraja žice – $l_{skž}$ (mm)
6. Protok zaštitnog plina – Q (l/min)
7. Induktivitet – L (H)

U tablici 1. prikazano je na koji način, određivanjem parametara, je moguće postići željeni oblik zavara.

Tablica 1. Utjecaj parametara na oblik, izgled i kvalitetu zavarenog spoja [7]

Parametri zavarivanja	Promjena							
	Penetracija		Depozit		Nadvišenje		Širina	
	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓
Struja i brzina žice	↑	↓	↑	↓	↑	↓	*	*
Napon	+	+	*	*	*	*	↓	↑
Brzina zavarivanja	+	+	*	*	↓	↑	↑	↓
Promjer žice	↓	↑		↑	*	*	*	*
Zaštitni plin % CO_2	↑	↓	*	*	*	+	↑	↓
Kut nagiba pištolja	Prednja Strana	Stražnja strana	*	*	*	*	Stražnja strana	Prednja Strana

* nema efekta ↑ povećanje

\+ mali efekt ↓ smanjenje

2.3. Prednosti i nedostaci MAG postupka zavarivanja

Prednosti MAG postupka zavarivanja [8]:

1. Visok stupanj učinkovitosti i produktivnosti – kontinuirano dovođenje žice, zavarivači mogu raditi brže i čišće jer nije potrebno konstantno mijenjati elektrodu te skidati trosku.
2. Svestranost postupka – mogućnost zavarivanja većine materijala, zavarivanje u svim položajima, mogućnost primjene različitih plinskih smjesa te mogućnost zavarivanja širokog raspona debljina materijala
3. Širok spektar mogućnosti podešavanja parametara zavarivanja te načina prijenosa dodatnog materijala
4. Mogućnost postizanja visokokvalitetnih zavara – aktivacijski plin omogućuje zaštitu zavar od oksidacije te ne postoji mogućnost zadržavanja troske u zavaru. Zavar je u pravilu visoke čvrstoće te gotovo da nije potrebna dodatna obrada.
5. Pogodnost za poluautomatski, automatski i robotizirani način rada

Nedostaci MAG postupka zavarivanja[8]

1. Složena oprema – uređaj se sastoji od izvora struje, sustava za hlađenje, polikabla, automatsko dodavača žice, mikroprocesorskog upravljanja i slično.
2. Ograničenost rada – zbog složenosti uređaja teško je moguća prenosivost opreme, rad na terenu je otežan i ne preporučuje se zbog vanjskih utjecaja na zaštitnu atmosferu, odnosno samu kvalitetu zavara.
3. Skupo održavanje – visoki troškovi održavanja zbog dodatnih elektroničkih komponenata

Na slici 2. prikazano je poluatuomatsko MIG/MAG zavarivanje.



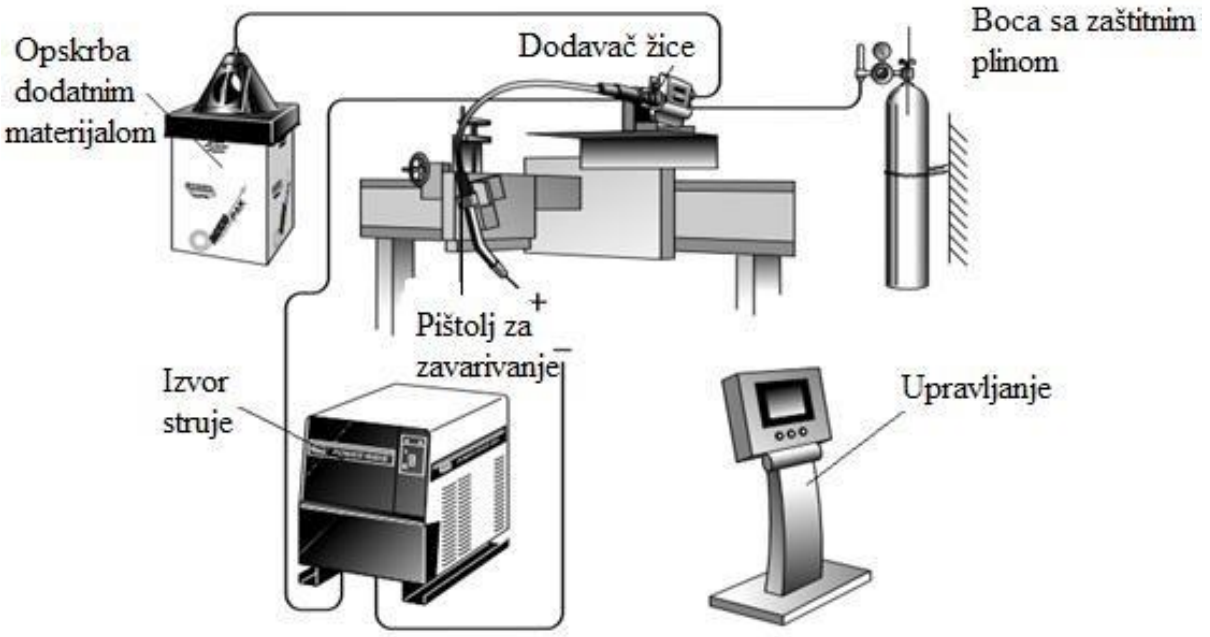
Slika 2. PoluautomatskoMIG/ MAG zavarivanje [10]

2.4. Zahtjevi za automatsko i robotizirano MAG zavarivanje

Da bi se postupak zavarivanja mogao robotizirati ili automatizirati nužno je da zadovoljava osnovne uvjete[10]:

- Stabilan električni luk i kvalitetan prijenos materijala
- Intermitencija (što veći postotak to bolje)
- Hlađenje pištolja za zavarivanje
- Robustan i pouzdan sustav za dovod dodatnog materijala (žice)
- Dobra regulacija i kontrola električnog luka
- Adekvatna priprema spoja
- Organizirana radna okolina – mala odstupanja u dimenzijama radnih komada
- Roboti – primjena senzora (taktilni, elektrolučni, laserski, vizijski)

Na slici 3. prikazan je primjer automatiziranog MAG postupka zavarivanja.



Slika 3. Automatizirani MAG postupak zavarivanja [7]

Zahtjevi i mogućnosti automatiziranog i robotiziranog MAG postupka zavarivanja su slični, ali među njima postoje i dosta bitne razlike [11]:

- Robotizirani sustav omogućuje fleksibilnu automatizaciju zavarivanja (zavarivanje s mogućnošću podešavanja parametara zavarivanja na više radnih mjesta, relativno brza i jednostavna mogućnost preprogramiranja nove putanje gibanja pištolja, ako dođe do promjene oblika proizvoda)
- Namjenski sustavi za automatizirano zavarivanje ne omogućuju fleksibilnost sustava (prilagođeni su za visokoserijsku proizvodnju istog tipa proizvoda, promjena oblika uglavnom nije moguća)

Tablica 2. prikazuje usporedbu robotiziranog i automatiziranog sustava zavarivanja.

Tablica 2. Usporedba robotiziranog i automatiziranog sustava zavarivanja [11]

Zahtjevi	**Robotizacija**	**Automatizacija**
Maksimalna kvaliteta zavara i:	DA	DA
- optimalno podešavanje parametara zavarivanja	DA	DA
- jednostavna korekcija parametara zavarivanja	DA	DA
Visoka produktivnost i:	DA	DA (više glava) DA
- točnost obratka i preuzimanje	DA	NE
- fleksibilne produkcijske linije	DA	
Fleksibilna produkcija i:	DA	NE
- jednostavna posluga	DA	DA
- jednostavno održavanje	DA	DA
Visoka iskoristivost	DA	DA
Visoka kvaliteta	DA	DA
Visoka fleksibilnost	DA	NE
Minimalno vrijeme pripreme za drugi proizvod	DA	NE
Ergonomija i sigurnost radnika	DA	DA

3. ROBOTIZIRANO MAG ZAVARIVANJE

Po završetku Drugog svjetskog rata započinje intenzivan razvoj i korištenje automatiziranog postupka zavarivanja, koji je započeo pojavom vremenskih programatora, odnosno releja. Nedugo nakon toga pojavljuju se programatori u elektroničkoj verziji čija je funkcija upravljanje električnim veličinama poput energije koja je dovedena na mjesto zavara[12].

Sredinom 60-tih godina prošlog stoljeća primjena automata za zavarivanje postala je svestranija. Započinje primjena automata za zavarivanje u svrhu automatskog upravljanja mehaničkim veličinama (pozicioniranje, brzina gibanja). To je dovelo do automatskog upravljanja pištolja za zavarivanje[6].

Do naglog razvoja mikroračunala i sofisticiranih robota dolazi krajem 70-ih godina prošlog stoljeća. Samim tim razvojem omogućuje se izrada prvih robotiziranih zavarivačkih stanica (Slika 4.). Proces samog zavarivanja vodi upravljački uređaj. Nadalje, osim upravljanja mehaničkim i električnim veličinama, moguće je i upravljanje pomoćnim veličinama. Takav način proizvodnje gotovo je potpuno automatiziran. Za potpunu automatizaciju sustava potrebna je još i automatska izmjena radnog komada[6].

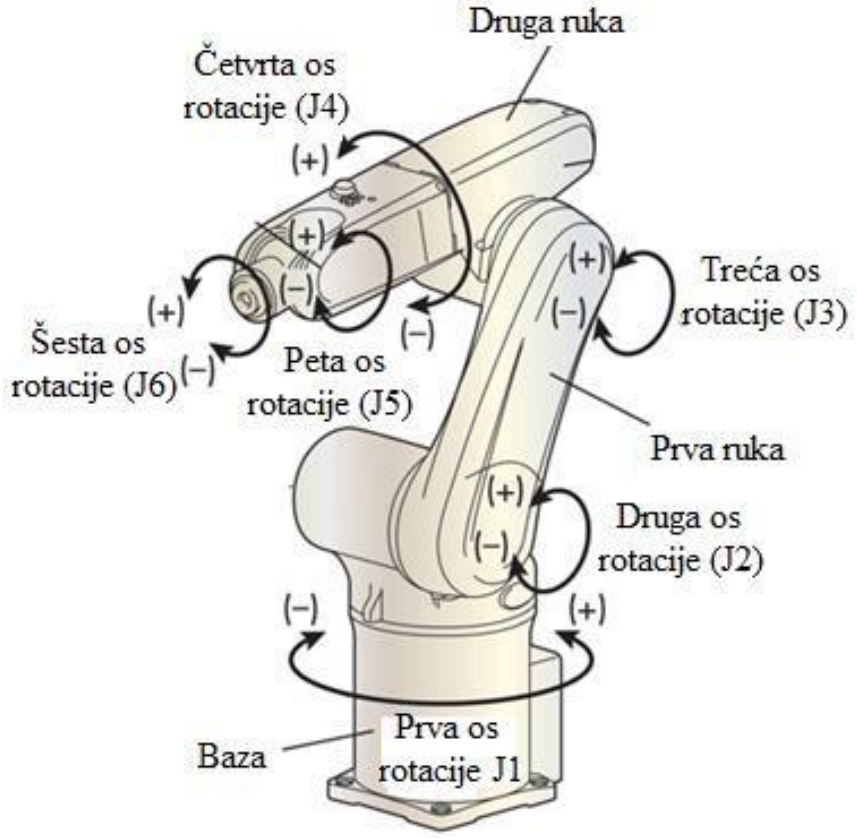


Slika 4. Robotizirana zavarivačka stanica[12]

Robotizirano zavarivanje smatra se glavnim obilježjem suvremene tehnologije zavarivanja. Kroz godine te sam razvoj robotiziranog postupka zavarivanja razlikujemo nekoliko generacija robotiziranog zavarivanja. Prva generacija robotiziranog zavarivanja provodi proces zavarivanja u dva prolaza. Prvim prolazom se uči geometrija pripreme spoja, dok se u drugom prolazu izvodi zavarivanje. Nadalje, u drugoj generaciji robotiziranog zavarivanja, istovremeno se odvija učenje geometrije pripreme spoja te se provodi zavarivanje. Današnja generacija, odnosno treća generacija, robotiziranog zavarivanja predstavlja sustave koji, zajedno s djelovanjem u stvarnom vremenu, uče i brzo mijenjaju geometriju oblika pripreme spoja tijekom rada[13].

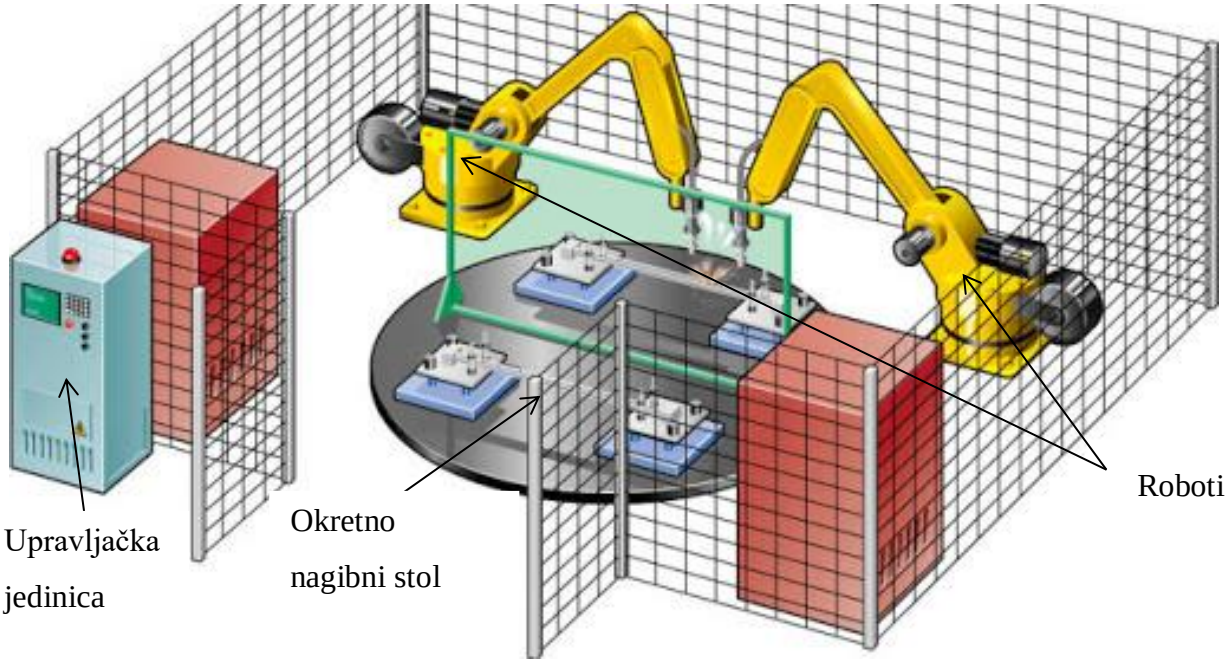
3.1. Robotizirana zavarivačka stanica

Robot je glavna komponenta robotizirane zavarivačke stanice. Roboti za zavarivanje najčšće imaju šest numerički upravljanih osi (Slika 5.). Na kraju ruke robota nalazi se pištolj za zavarivanje. Osim robota postoji još nekoliko bitnih komponenti robotizirane zavarivačke stanice. Manipulatori služe za stezanje i pozicioniranje radnog komada, računalo služi za upravljanje gibanjem robota i manipulatora. Također postoji i privjesak za učenje koji služi za upravljanje te on-line programiranje robota[6].



Slika 5. Robot i njegove numerički upravljane osi[7]

Na slici 6. prikazana je robotizirana zavarivačka ćelija koja se sastoji od dva robota, okretno nagibnog stola sa stezaljkama te upravljačkog uređaja i izvora struje.



Slika 6. Robotizirana zavarivačka ćelija[14]

Postoje dvije osnovne metode programiranja robota u industrijskoj primjeni[6]:

- *Off – line* programiranje
- *On – line* programiranje
- Hibridni (mješoviti) načini programiranja

3.2. *Off – line* programiranje

Off – line je vrsta programiranja robota koja se obavlja na mjestu neovisnom o robotu. Za vrijeme programiranja robot može obavljati neometano svoju proizvodnu funkciju. Kod ove metode programiranja zadatak je grafički ili tekstualno zadan u odgovarajućem programskom jeziku. *Off – line* programiranje se danas najčešće veže uz CAD – sustave, na taj način su uključeni u program svi podaci o geometrijskom izratku te robotskoj zavarivačkoj stanici. Također zbog raznih pomicanja radnog komada, jer može postojati više definiranih položaja, nužna je grafička simulacija izvođenja programskog zadatka. Simulacija također omogućuje tehnologu mogućnost optimizacije sustava te prilagođavanje raznih parametara. Rezultat ovakvog načina rada je trodimenzionalan prikaz tijeka samog procesa prema svim definiranim parametrima[15].

Samo programiranje vrši se definiranjem točaka zavara na radnom komadu. Označuju se točke zavara ili spojeva između točaka na samom radnom komadu. Definiranje točaka

može biti izvršeno u samoj CAD datoteci. Podaci, odnosno parametri (struja, napon, položaj pištolja, tip pištolja itd…), zavarivanja pridružuju se svakoj točki. Shodno svemu navedenom današnji CAD sustavi izračunavaju maksimalne momente inercije koju stvara zavarivačka oprema te sama ruka robota. Navedeno svojstvo je vrlo važno kod same optimizacije gibanja robotske ruke [15].

Off – line programiranjem postižu se uštede u vremenu (nije potrebno zaustavljati rad robota za vrijeme programiranja), smanjuje se mogućnost grešaka zbog samih trodimenzionalnih simulacija[15].

Najveći problem *off – line* programiranja su visoke cijene suvremenih programski sustava te zahtjevi za stručni kadar jer uz znanja u području tehnologije zavarivanja potrebna su znanja i iz drugih industrija (robotika, CAD sustavi)[15].

3.3. *On – line* programiranje

On – line programiranje je vrsta robotskog programiranja koja se izvodi izravno na radnom mjestu robota. Tijekom programiranja zaustavlja se proizvodna funkcija robota, te je robot cijelo vrijeme angažiran od strane programera. Za *on – line* programiranje robota najčešće se primjenjuje „tech-in“ metoda. Kursorskim tipkama pomiču se zglobovi robota do točaka zavarivanja, odnosno položaja koji se pomoću programskog uređaja (privjeska za učenje (slika 7.)) spremaju u memoriju upravljačke jedinice. Program zavarivanja sastoji se najmanje od dvije pohranjene točke sa svojim definiranim parametrima i položajima. Nakon programiranja izvodi se testiranje robota. Testiranje se izvodi tako da robot automatski prolazi pohranjenim točkama, korak po korak, tako da je zadatak točno izvršen[15].

On – line metoda zahtijeva dobro uvježbano osoblje, koje ne mora nužno biti visokokvalificirano na području robotike, radi kvalitetnog izbora parametara zavarivanja te samog pozicioniranja točaka programa zavarivanja[15].

Nedostatak *on – line* programiranja je neproduktivnost za vrijeme programiranja. Ovisno o složenosti radnog komada, programiranje može biti dugotrajno te podložno greškama. Također je potrebno dodatno vrijeme za isprobavanje programa te ispravljanje mogućih grešaka[15].



Slika 7. Privjesak za učenje[16]

3.4. Hibridni (mješoviti) način programiranja

Danas na tržištu se najčešće koriste hibridni načini programiranja zbog zastoja pri *on – line* programiranju te visokih cijena programskih sustava za *off- line* programiranja[15].

Osnovna značajka takvih načina programiranja je taj da se dio programa vezan uz operacijski tok generira *off – line*, a dio programa vezan uz skup točaka u prostoru *on – line*. Robota je nužno pomoću ručnog programskog uređaja (privjeska za učenje) prevesti kroz tražene točke te im zapamtiti položaje (*on – line* dio). Nakon toga potrebno je na računalu, koje je ili nije povezano s robotom, uz zapamćene položaje točaka izraditi program za zavarivanje (*off – line* dio)[15].

Kod navedene metode programiranje se izvršava neovisno o robotu i tijeku proizvodnje, što utječe na uštede, kako vremena tako i novca[15].

3.5. Problemi pri robotiziranom zavarivanju

Unatoč svim navedenim prednostima pri korištenju robotiziranih sustava, postoje i određeni problemi koje je nužno pažljivo razmotriti[13]:

- Održavanje ponovljivosti potrebne za izradu proizvoda može biti narušena zbog nepravilnog stezanja ili poremećaja uvjeta okoline pri procesu zavarivanja. Takav problem uz nedostatak kontrole može rezultirati greškama.
- Ponekad je potrebno dobro procijeniti uložen trud u odnosu na veličinu i kompliciranost serije koja se obrađuje
- Robotizirano zavarivanje zahtijeva pravilno oblikovanje spojeva, dosljedne uvjete zavarivanja te toleranciju razmaka ne više od 0,5 do 1 mm (ovisno o tehnologiji zavarivanja)
- Visoki investicijski troškovi
- Često je nužna dodatna izobrazba zavarivača, tehnologa.
- Sustavi kontrole te senzori nužni su za kvalitetno funkcioniranje strojeva te potrebne korekcije parametara
- Teško primjenjivo u nekim područjima zbog ograničenosti prostora.
- Većina senzorskih inteligentnih sustava nije čvrsto integrirana s robotskim kontrolorom, te zbog toga robot često puta ne može brzo odgovoriti na informacije senzore, što rezultira usporenom te ponekad i nestabilnom izvedbom

4. SENZORI KOD ROBOTIZIRANOG ZAVARIVANJA

Razvojem industrije, odnosno tehnologije, postavljaju se sve stroži te kompliciraniji zahtjevi u samoj proizvodnji. Otkrivanje novih i naprednijih materijala zahtijeva od tehnologije da ide u korak s vremenom te se paralelno razvija, pa tako i u tehnologiji zavarivanja se veliki naglasak stavlja na kontrolu samog procesa zavarivanja kako bi se postigao zavar željenih svojstava i kvalitete. Stoga se javlja potreba za tehnologijama koje se bave preciznom kontrolom različitih parametara pri zavarivanju[13].

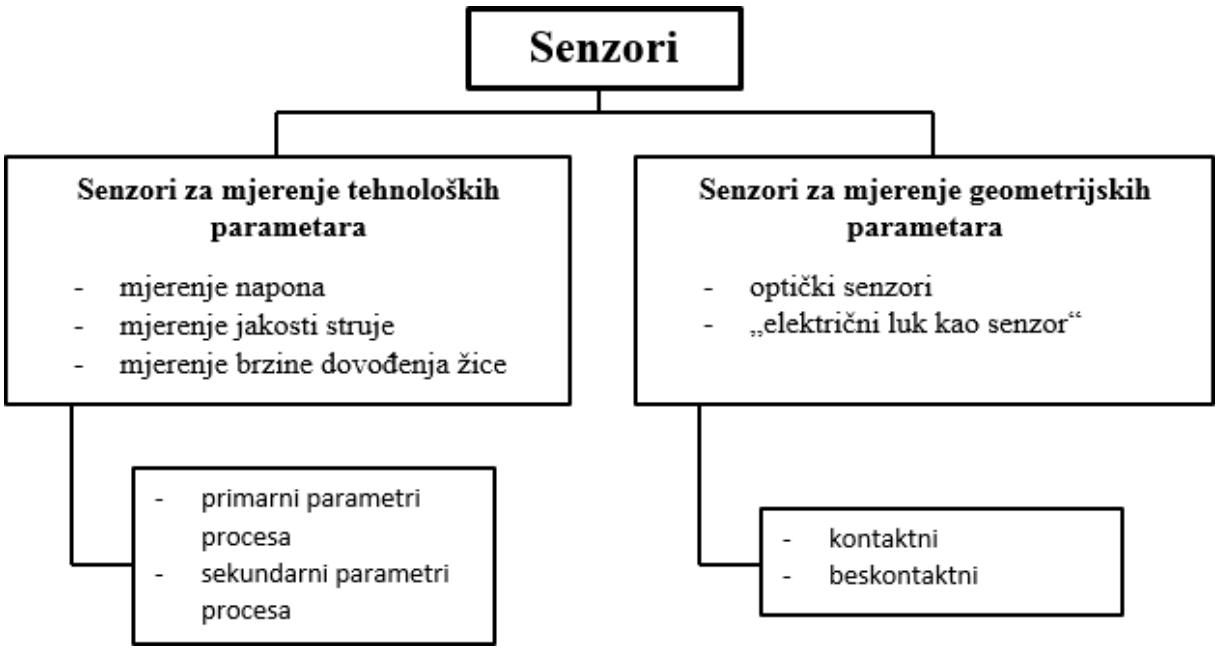
Roboti za zavarivanje najčešće se implementiraju u automatizirane proizvodne procese. U takvim sustavima često može doći do problema pri promjenama radnog komada, odnosno njegovih dimenzija te pri promjeni putanje ili oblika pripreme spoja uzrokovanih slučajnim čimbenicima[13].

Kao rješenje navedenih problema bitnu ulogu igraju senzori. Senzori su uređaji koji služe za mjerenje određenih parametara, pri zavarivanju, u okolini robota. Povratnom vezom su povezani s upravljačkom jedinicom koja omogućava robotu da se prilagodi novonastalim uvjetima. Kao rezultat utjecaja informacija, koje senzor šalje u upravljačku jedinicu, generiraju se odgovarajuće akcije (korekcija putanje gibanja i slično)[13]. ,

4.1. Podjela senzora

Senzori, kod robotiziranog zavarivanja, se najčešće dijele s obzirom na mjerne karakteristike, odnosno na geometrijske i tehnološke. Tehnološki senzori mjere parametre procesa zavarivanja kako bi se osigurala stabilnost procesa, a najčešće se koriste pri kontroli i nadgledanju procesa. Geometrijski senzori osiguravaju robotu podatke potrebne vezane uz geometriju i oblik zavarenog spoja kako bi se uspješno pratio žlijeb. Tako se omogućuje korigiranje pretprogramirane putanje prema geometrijskim odstupanjima[7].

Na slici 8. prikazana je podjela senzora.



Slika 8. Podjela senzora [7]

4.2. Senzori za mjerenje tehnoloških parametara

4.2.1. Senzor za mjerenje napona

Mjerenje napona se u pravilu izvodi što je moguće bliže električnom luku. Najpovoljnijom pozicijom za mjerenje napona smatra se mjesto na kojem se struja dovodi do žice, odnosno mjesto na kom se nalazi kontaktna cjevčica. U realnom sustavu ovakvo mjerenje je teško provesti zbog samih gubitaka. Između kontaktne cjevčice i vrha žice događa se pad napona u iznosu od 0,3 V. Jednostavniji i prikladniji način mjerenja napona izvodi se preko žice unutar sustava za dovođenje žice. Nadalje je bitno samo postavljanje senzora za mjerenje napona na samu žicu, ako senzor nije dobro postavljen na žicu dolazi do značajnih induciranih napona, što za rezultat ima pogreške u rezultatima mjerenja[17].

4.2.2. Senzori za mjerenje jakosti struje

Za mjerenje jakosti struje postoje dvije vrste senzora, odnosno dva principa rada senzora. Prvi način rada senzora je prema principu Hallovog efekta, dok je drugi način rada senzora izvedba prema kojoj se mjeri promjena struje[17].

Senzor na principu Hallovog efekta sastoji se od kružne jezgre kroz koju prolazi polikabel kojim protječe električna struja. Unutar same jezgre senzora nalazi se uređaj za mjerenje. Uređaj za mjerenje se sastoji od dva para vodiča te pločice izrađene od silicija. Preko prvog para vodiča dovodi se namještena jakost struje do pločice. Nakon toga, na drugom paru vodiča, uređaj reagira signalom proporcionalnom magnetskom polju, odnosno

jakošću struje u magnetskom polju. Prednost ovakvog načina mjerenja je taj što nema direktnog kontakta s vodičem te nema interferencije sa strujama izvora za zavarivanje[17].

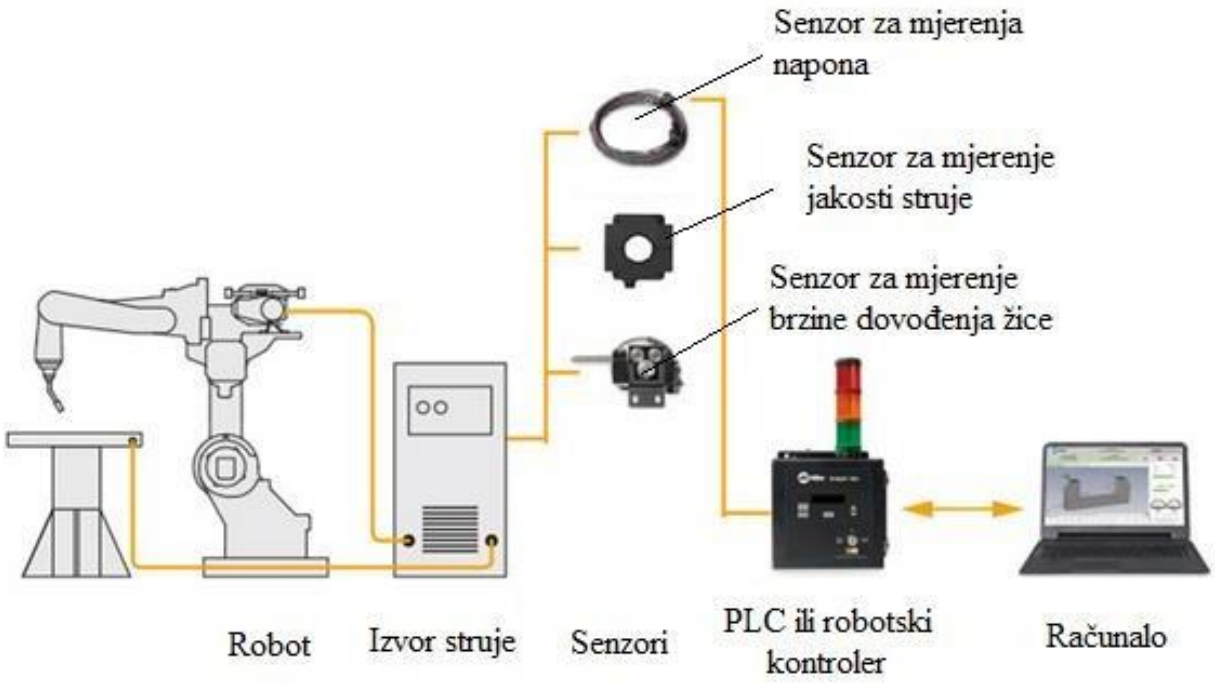
Princip mjerenja promjene struje izvodi se tako da se kroz otpornik pusti struja te se mjeri pad napona kroz njega. Najveći nedostatak ovakvog mjerenja je velika osjetljivost na buku zbog malog signala napona[17].

4.2.3. Senzor za mjerenje brzine dovođenja žice

Prilikom određivanja parametara procesa zavarivanja najčešće se zadaju napon i jakost struje. Jakost struje povezana je s brzinom dovođenja žice. Porastom brzine dovođenja žice raste i jakost struje, odnosno elektroda, dodatni materijal, se ubrzano troši i obratno. Prema tome brzina dobave žice se automatski prilagođava promjenama u skladu s parametrima napona i jakosti struje[17].

Pri samoj dobavi žice, od sustava za dobavu žice do pištolja za zavarivnje, može doći do određenih problema. Problem savijanja žice može se dogoditi u kablovima koji služe za dobavu žice. Na taj način može doći do nestabilnosti procesa, odnosno poremećaja u brzini dobave žice. U praksi takav problem riješen je postavljanjem senzora na kolut sustava za dobavu dodatnog materijala. Brzina dovođenja žice može se mjeriti i u kontaktnoj cjevčici, ali takav način je najčešće primjenjuje u laboratorijskim uvjetima[17].

Na slici 9. prikazana je zavarivačka stanica opremljena tehnološkim senzorima.



Slika 9. Zavarivačka stanica opremljena tehnološkim senzorima[18]

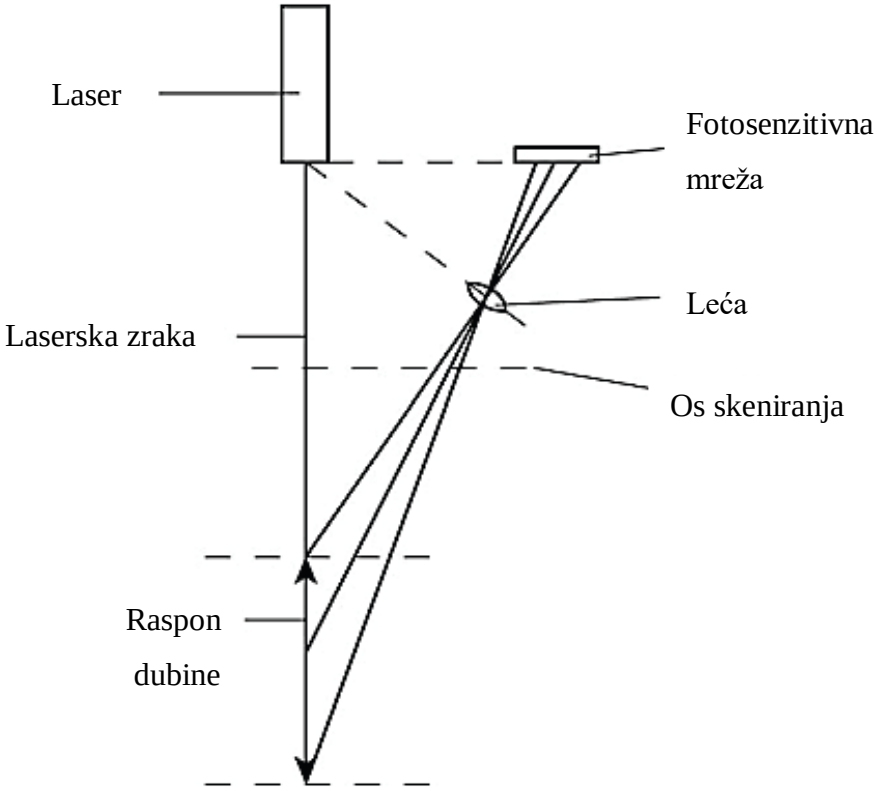
4.3. Senzori za mjerenje geometrijskih karakteristika

Senzori za mjerenje geometrijskih karakteristika pružaju informacije koje se odnose na geometriju zavarenog spoja i time omogućavaju praćenje spoja te kontrolu kvalitete samog procesa zavarivanja. Zbog okoline u kakvoj se odvija process zavarivanja (visoke temperature, rasprskavanje materijala, intenzivna svjetlost, velike jakosti struje itd...) senzorima se otežava kvalitetan i ispravan način rada. Uzimajući u obzir takvu agresivnu okolinu, danas se najčešće koriste optički senzori te senzori električnog luka[19].

4.3.1. Optički senzori

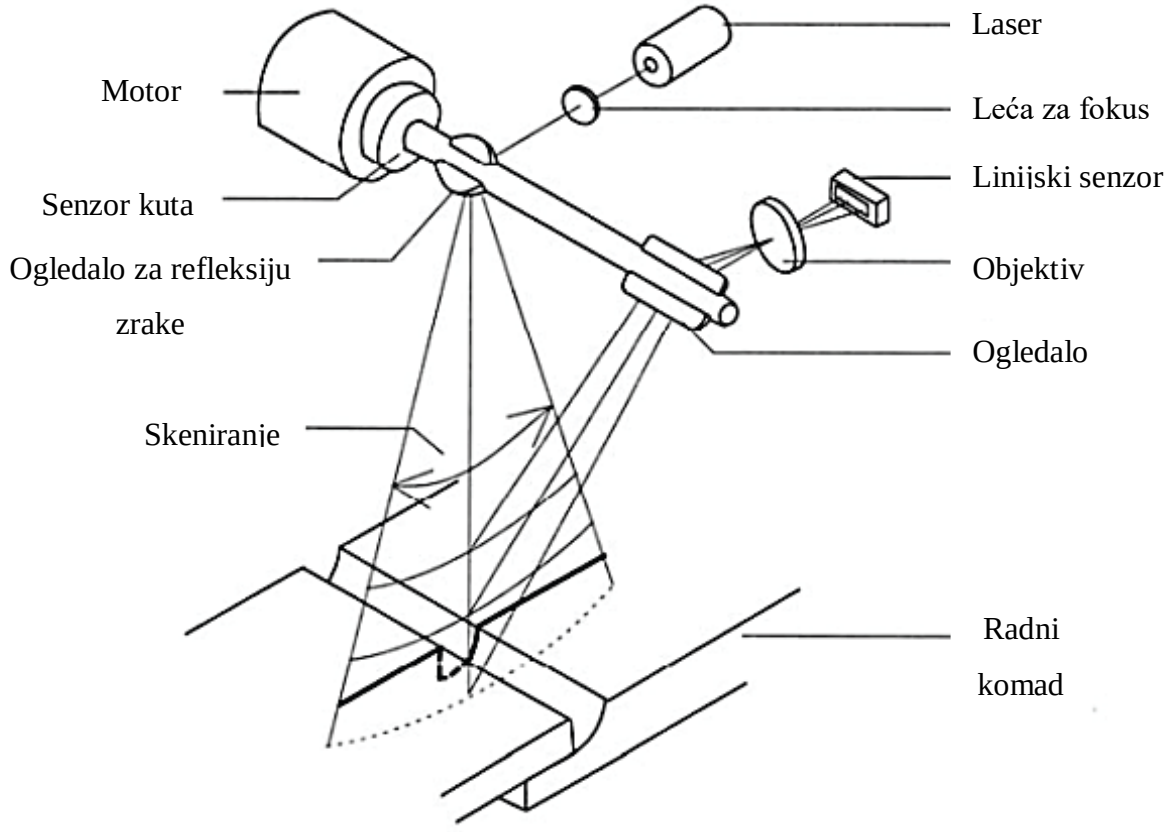
a) Točkasti senzor – koristi se za praćenje utora, pomicanjem fotoelektričkog senzora, dobivajući intenzitet reflektirajućeg svjetla od površine. Očekivanje ovakvog senzora je definiranje položaja i oblika žlijeba. Danas se ovakvi senzori rijetko koriste zbog svoje niske pouzdanosti[19].
b) Linijski senzor – radi na principu detektiranja reflektirane laserske svjetlosti od osnovnog materijala u jednodimenzijskom obliku. Kao izvor svjetlosnog osvjetljenja koristi se poluvodički laser koji je usmjeren na objekt te na taj način mjeri udaljenost između senzora i predmeta. S povećanjem udaljenosti senzora i radnog komada smanjuje se i kut između ulazne i reflektiranje zrake i obratno. Takav način mjerenja udaljenosti naziva se još i metoda triangulacije[19].

   Na slici 10. prikazana je metoda triangulacije.



Slika 10. Metoda triangulacije[19]

Na slici 11. prikazan je sustav praćenja zavarenog spoja linijskim senzorom po principu skeniranja i metode triangulacije.



Slika 11. Metoda praćenja spoja kod zavarivanja [19]

c) Prostorni senzor – detektira reflektiranu svjetlost od osnovnog materijala u dvodimenzionalnom obliku. Postoje dvije metode za praćenje procesa zavarivanja

Laserska metoda raspršuje lasersku svjetlost po osnovnom materijalu pri čemu senzori detektiraju točke dodira laserskih zraka i radnog komada ten a taj način prate oblik spoja.

Vizualna metoda koristi brze kamere, tijekom procesa zavarivanja, kojima se snima te obrađuje snimljena slika. Informacije se dobivaju na temelju obrađenih slika, te se na taj način kontrolira i prati sam procesa zavarivanja[19].

U tablici 3. priakazana je usporedba optičkih senzora

Tablica 3. Usporedba optičkih senzora[20]

	Primjena: (+ moguće; * teško; - nemoguće)	Laserski senzor	Svjetlosni senzor
Oblik	Mjerenje geometrije žlijeba	+	*
	Mjerenje oblika kapljice prilikom prijenosa metala	+	*
	Oblik i položaj žice	-	+
	Oblik zavarenog spoja i električnog luka	-	+
	Daljinsko praćenje zavara	*	+
Položaj	Kontrola početne i krajnje točke zavarivanja	+	*
	Visina vrha pištolja	+	+
	Položaj žice	+	+
Zavar	Mjerenje širine žlijeba	+	+
	Mjerenje širine zavara	-	+
	Mjerenje geometrije zavara	-	+
	Mjerenje lica korijena zavara	-	+

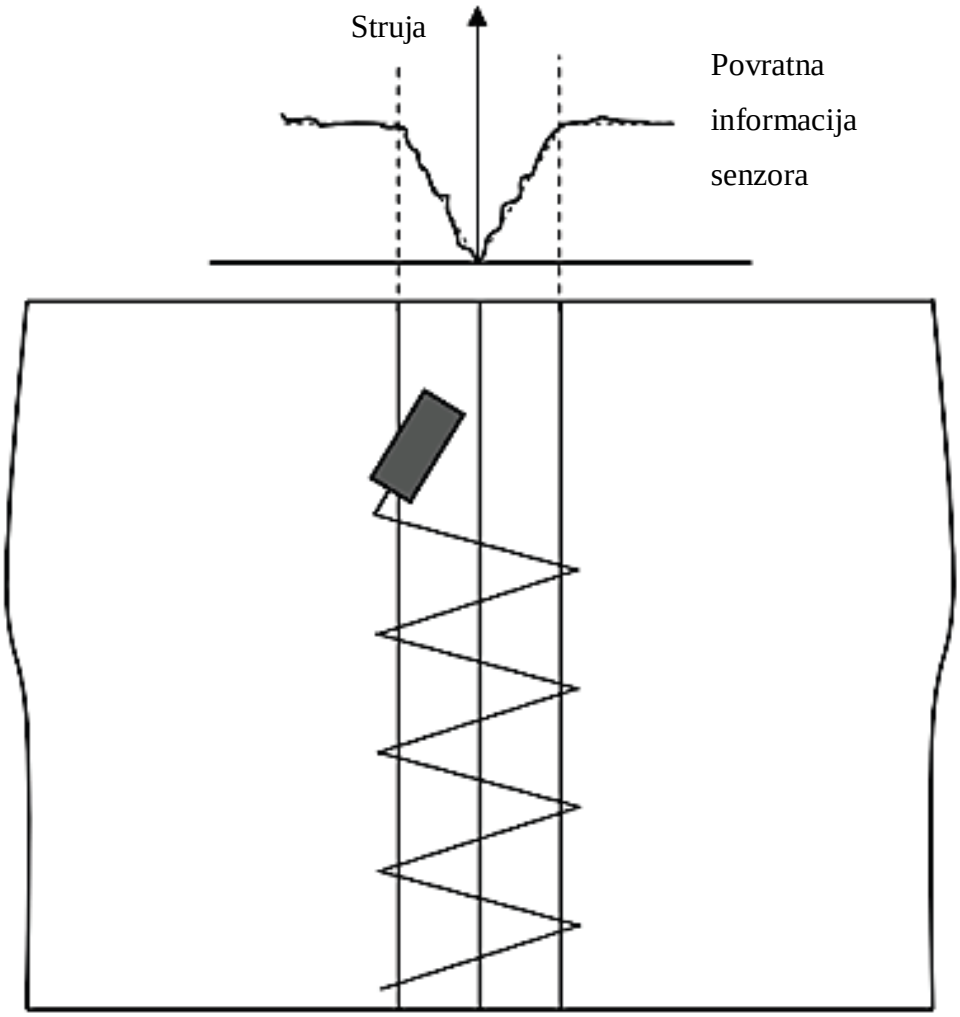
4.3.2. Senzor električnog luka

Senzor električnog luka koristi se najviše kod robotiziranog zavarivanja, no isto tako pronalazi svoju primjenu i kod automatiziranih strojeva za zavarivanje. Ova vrsta senzora se najviše primjenjuje zbog toga što za isti nije potreban nikakav dodatni uređaj. Električni luk u ovom načinu ima ulogu senzora, odnosno koristi se kao senzor. Samim tim svojstvom da nije potreban dodatni uređaj smanjuju se i investicijski troškovi[19].

Senzorom električnog luka može se saznati položaj i širina žlijeba te stanje rastaljenog materijala mjerenjem različitih parametara (jakost struje, napon, frekvencija itd…). Najveća prednost ove vrste senzora je kontrola u stvarnom vremenu odnosno paralelno sa samim postupkom zavarivanja. Ostali negativni, agresivni, utjecaji okoline pri zavarivanju ne utječu na točnost rada senzora, što ga čini idealnim za praktičnu primjenu[19].

Kod robotiziranog zavarivanja nužna je mogućnost praćenja linije zavarenog spoja kako bi se postigla tražena kvaliteta zavara. Unaprijed programirane vrijednosti te definirane putanje ne mogu dati traženu razinu preciznosti zbog samih deformacija koja se javljaju u procesu zavarivanja, pomaka radnih komada ili sličnih čimbenika[21].

Na slici 12. prikazan je pad jakosti stuje pri njihanju tijekom procesa zavarivanja.



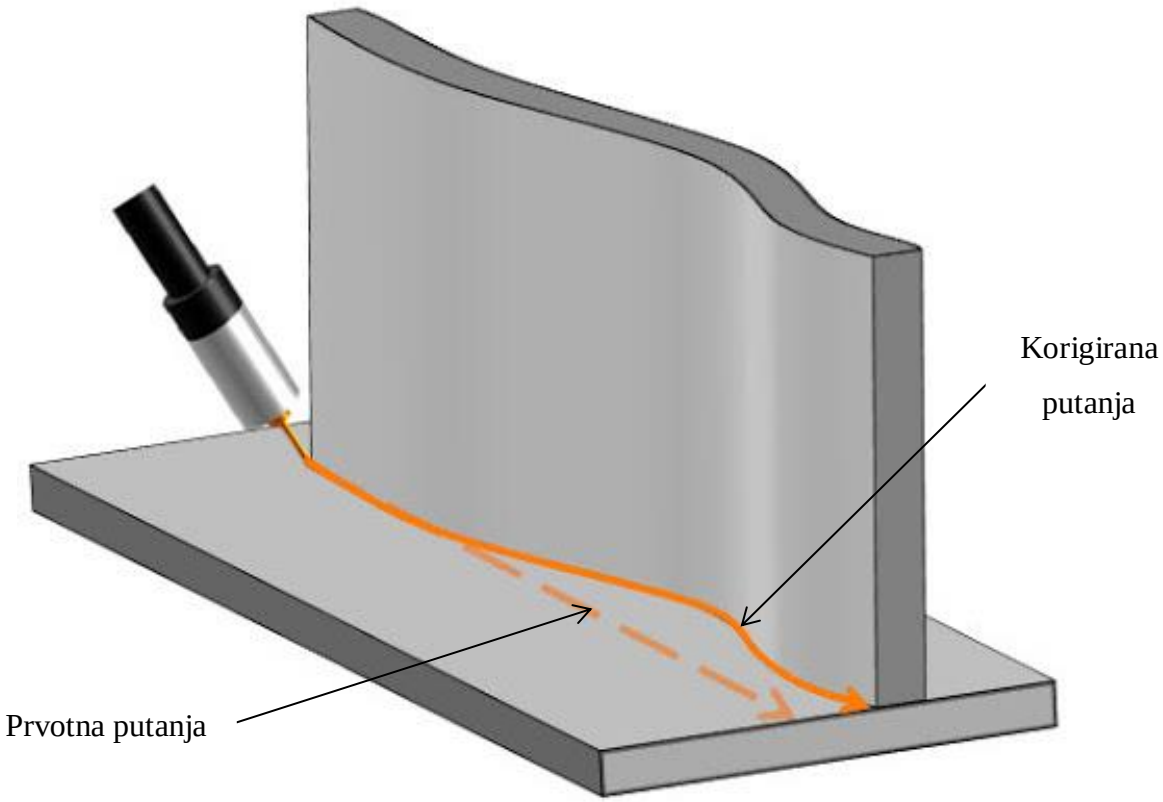
Slika 12. Pad jakosti struje pri njihanju u procesu zavarivanja[19]

4.3.2.1 Način rada senzora

Često zbog unosa topline u procesu zavarivanja dođe do problema pomaka, izobličenja linije zavarivanja. Kao posljedica toga linija zavarenog spoja odstupa od programirane linije

robota. U ovakvim situacijama do izražaja dolazi rad senzora električnog luka. Radom senzora izmjereni podaci se šalju u upravljačku jedinicu robota te se na temelju njih preračunava nova putanja robota u koju su uračunati određeni pomaci s obzirom na izvorno programiranu putanju[22].

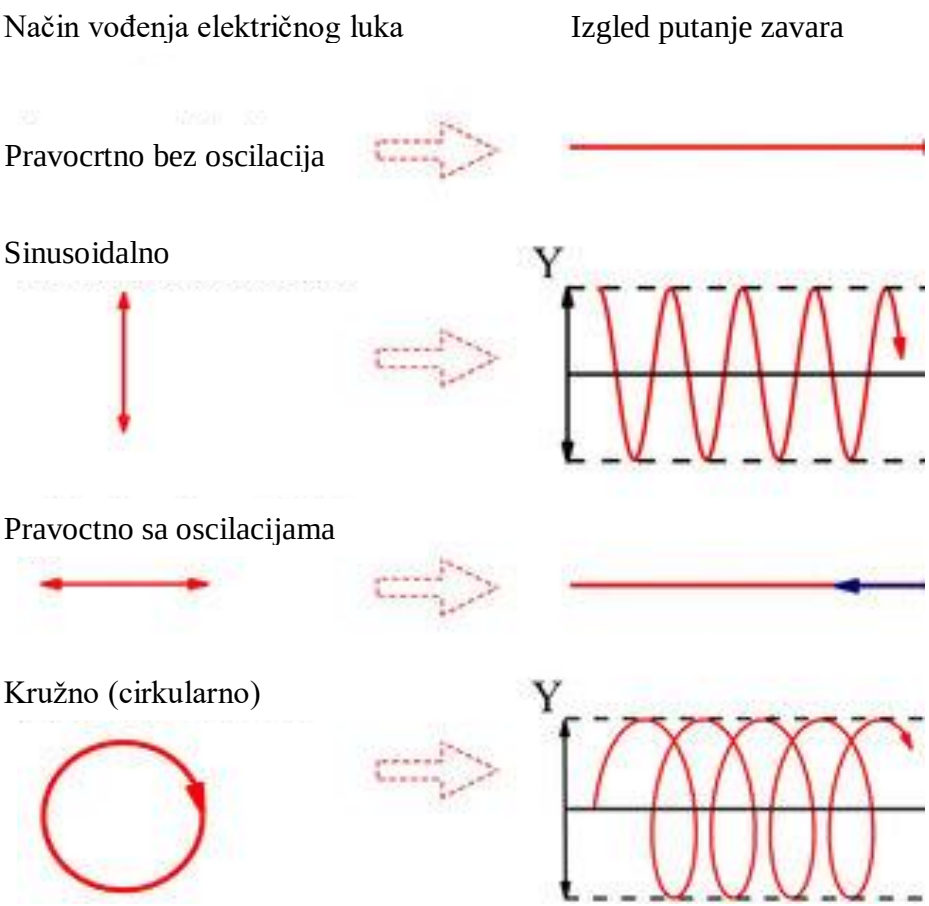
Na slici 13. je prikazana originalna putanja robota, te nova korigirana putanja robota



Slika 13. Putanje robota za zavarivanje[22]

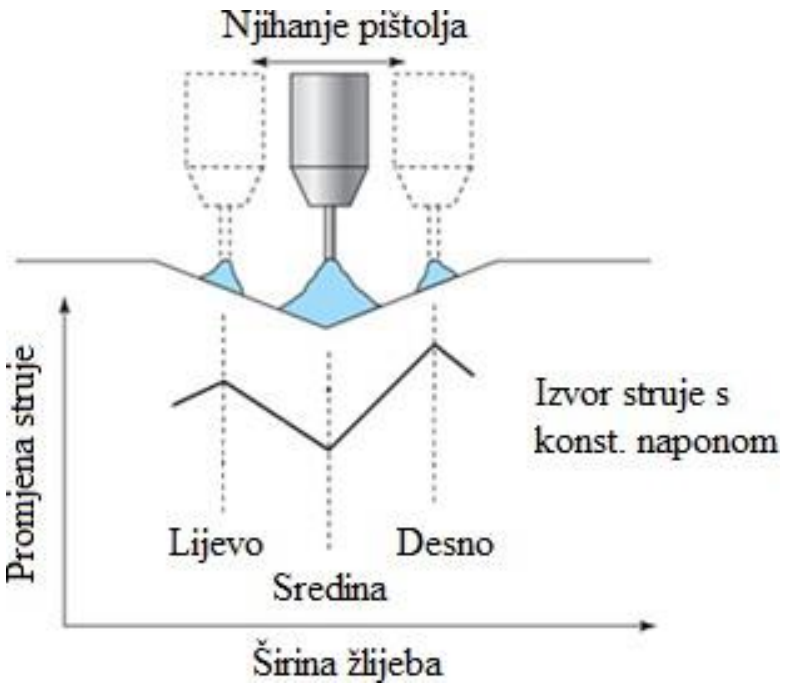
U slučajevima kada dolazi do odstupanja od nominalnih vrijednosti senzor je zadužen za korekciju parametara zavarivanja. Ako dođe do odstupanja određenog parametra, ostali parametri također mijenjaju svoje vrijednosti te ne odgovaraju zadanim vrijednostima. Tako se na temelju novih, postavljenih, parametara formira nova putanja i jakost struje koju formira sam robot[17].

Na slici 14. prikazani su neki od načina vođenja električnog luka, odnosno tehnika njihanja.



Slika 14. Primjer tehnika njihanja[23]

Slika 15. prikazuje način promjene parametara u žlijebu s promjenom jakosti struje, koja je posljedica promjene udaljenosti žice od radnog komada.



Slika 15. Promjena parametara pri tehnici njihanja[24]

4.3.2.2 Utjecaj načina prijenosa dodatnog materijala

Načini prijenosa dodatnog materijala mogu utjecati na osjetljivost senzora. Dodatni material može se prenositi električim lukom na više načina, kratkim spojevima, štrcajućim lukom te impulsnim načinom zavarivanja[21].

Impulsno zavarivanje, zbog svojih optimalno postavljenih parametara te kontroliranog odvajanja kapljica, osigurava stabilan električni luk. Takav način zavarivanja, odnosno prijenosa materijala, moguće je primijeniti u gotovo svim situacijama zavarivanja (kutni, sučeoni itd…). Prijenos dodatnog materijala štrcajućim lukom pruža nestabilniji luk u odnosu na impulsni način. Električni luk je nestabilniji zbog samih visokih parametara pri kojima se vrši postupak zavarivanja takvim načinom prijenosa dodatnog materijala. Nestabilniji električni luk za rezultat ima otežani rad senzora zbog izraženijih smetnji u prijenosu signala. Zbog navedenih smetnji u prijenosu signala, zavarivanje štrcajućim lukom preporučuje se većinom kod sučeonih spojeva. Kod zavarivanja kratkim spojevima, zbog brze izmjene faze kratkog spoja i faze uspostave električnog luka, senzor ne uspijeva uspješno pratiti signale[21].

4.3.3. Ostale vrste senzora

a) Taktilni senzor žicom – radi na principu dodira određenog elementa senzora (žica, mlaznica i sl.) s radnim komadom. Robot kao povratnu informaciju bilježi podatke o položaju te automatski namješta putanju prije samog početka zavarivanja. Moguće su prilagodbe senzora u jednoj dvije ili tri dimenzije. Glavna prednost ovog načina su niski troškovi, dok je mana duljina trajanja same operacije određivanja položaja[20].
b) Elektro – kapacitivni senzor – Senzor radi na principu mjerenja udaljenosti između radnog komada te elektrode senzora koristeći elektrostatski kapacitet. Točnost postupka kreće se u rasponu ±0,2 mm[20]
c) Akustični senzor – kao akustični senzor koristi se mikrofon. Najveće prednosti ovakvog načina mjerenja su praktičnost te niska cijena. Jedan od problema je javljanje raznih sporednih zvukova, frekvencija, koje je kasnije teško razaznati od frekvencija zavarivanja. Drugi problem je kašnjenje samog zvuka od električnog luka do mikrofona[20].
d) Ultrazvučni senzor – ovakav senzor služi za otkrivanje i praćenje pogrešaka nastalih uslijed zavarivanja. Tako je moguće korigirati parametre te spriječiti ponovno pojavljivanje grešaka. Ultrazvučnom senzoru smanjuje se točnost u pronalaženju i

karakteriziranju grešaka pri visokim temperaturama. Visoke temperature utječu na ultrazvučnu sondu koja se nalazi neposredno u blizini zavarivanja[20].

e) Taktilni senzor – je vrsta senzora koja mjeri udaljenost pomoću detektora u obliku štapića koji na svom vrhu ima sondu. Prolaskom sonde po površini metala određuje se udaljenost. Probleme ovakvog postupka može uzrokovati trenje između površine radnog komada i sonde[20].

5. EKSPERIMENTALNI DIO

Eksperimentalni dio ovog završnog rada izvršen je na Fakultetu strojarstva i brodogradnje u Zagrebu, točnije u Laboratoriju za zavarivanje.

Samo istraživanje izvedeno je na robotskoj stanici VRC – 1G MIG + 1G TIG/1dm s robotskim manipulatorom OTC Almega AX-V6 (Slika 16.).

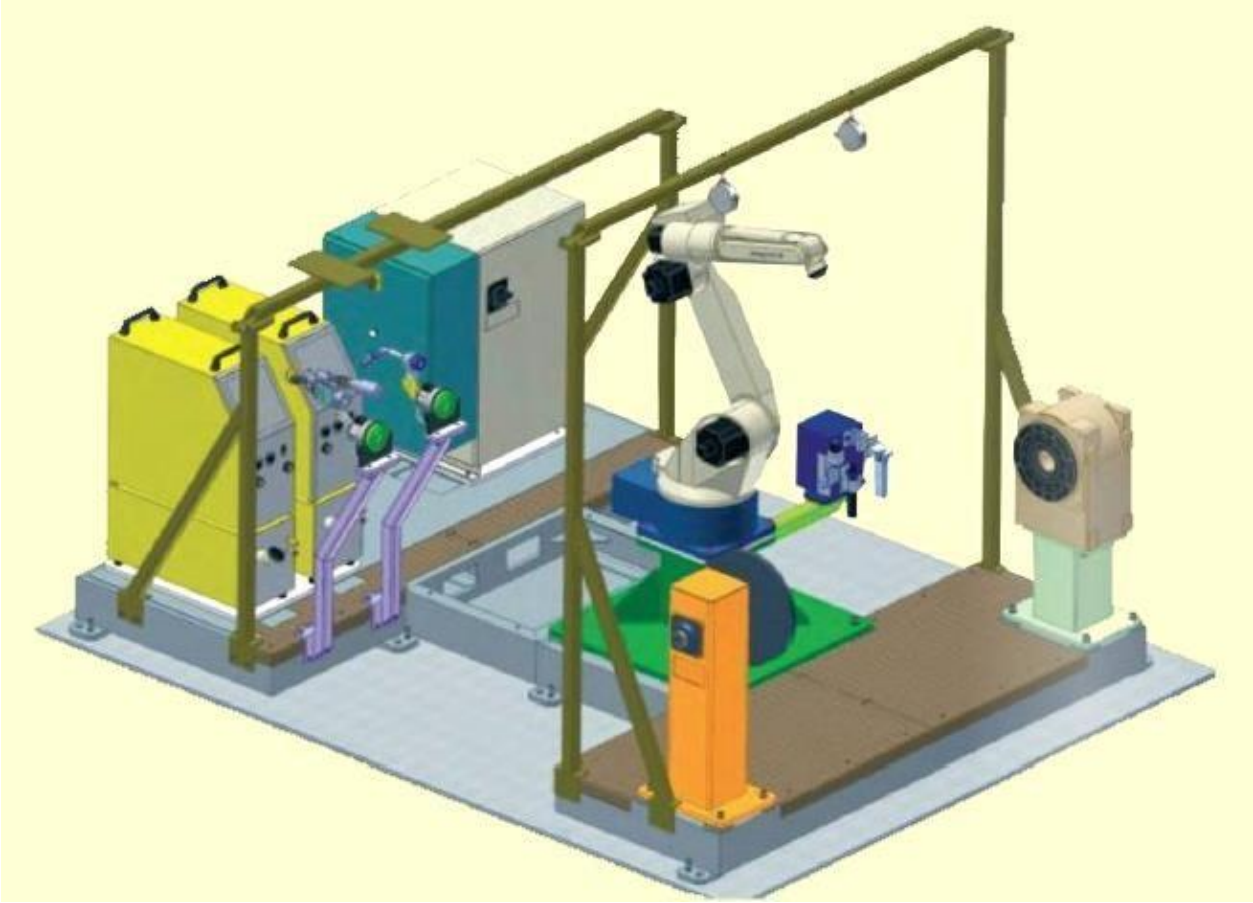
Cilj ovog ispitivanje bio je praćenje rada senzora, odnosno korigiranje putanje robota pri zamicanju radnih ploča za 5°.



Slika 16. Robotska stanica

5.1. Robotska stanica VRC – 1G MIG + 1G TIG/1dm

Na slici 17. prikazan je grafički prikaz robotske stanice sa svim pripadajućim komponentama.

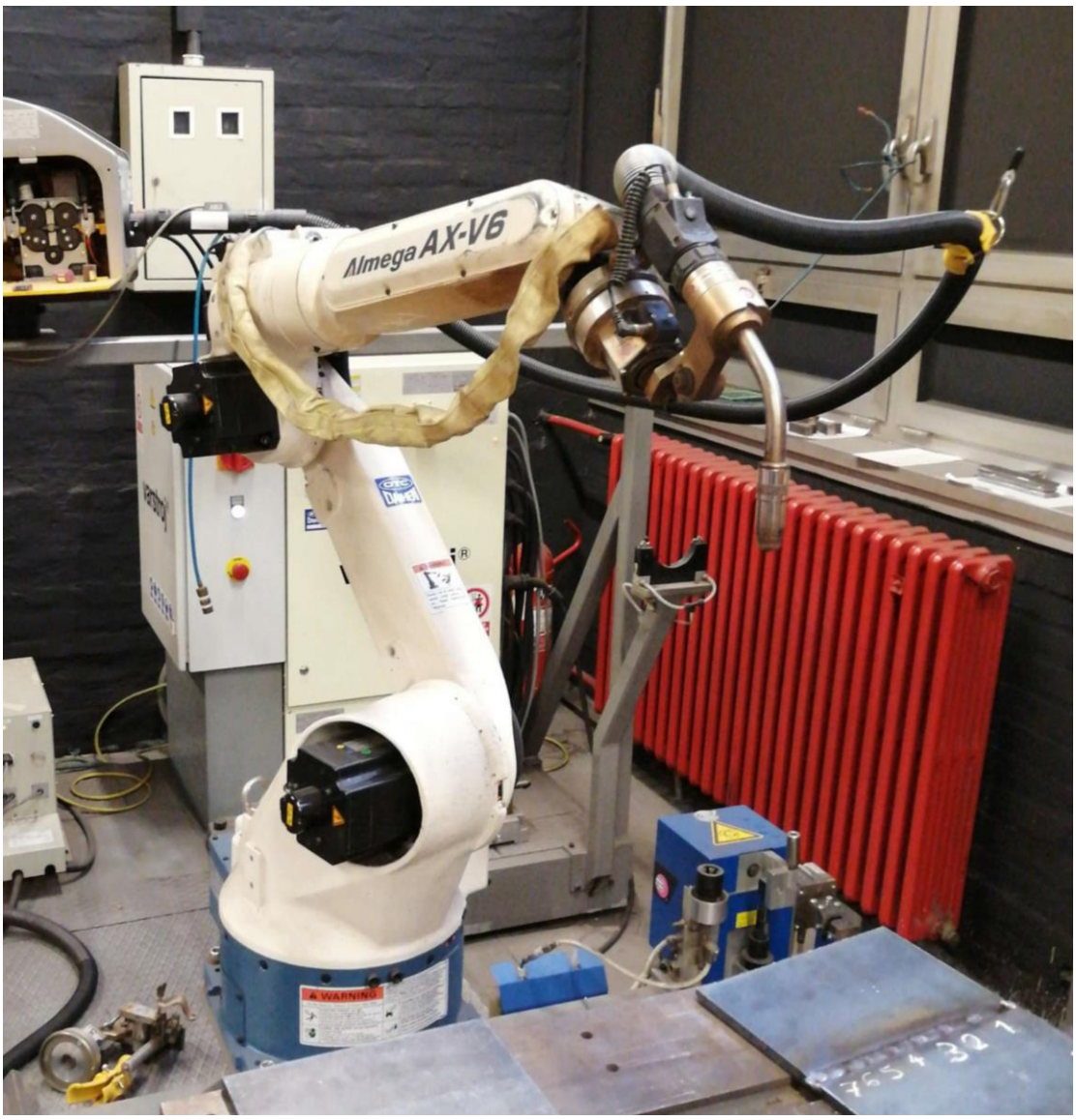


Slika 17. Robotska stanica s pripadajućim komponentama[25]

Robotska stanica sastoji se od: robota za zavarivanje (OTC Almega AX – V6), robotskog kontrolera (Almega AX – C), izvora struje (MIG/MAG DP 400), izvora struje (TIG DP 300), uređaja za čišćenje sapnice i podmazivanja (da ne dolazi do naljepljivanja), sustava za dobavu dodatnog materijala, okretnog pozicionera (P 250 V ROBO), senzora (ARC senzor AX – AR), napajanja upravljačke jedinice.

5.1.1. Robot za zavarivanje

Robot za zavarivanje (OTC Almega AX – V6), koji je prikazan na slici 18., sastoji se od: postolja, rotacijske glave, donje ruke, gornje ruke, upravljačke jedinice, ruke za prihvat pištolja za zavarivanje te privjeska za učenje.



Slika 18. OTC Almega AX - V6

U tablici 4. prikazane su tehničke specifikacije navedenog robota.

Tablica 4. Specifikacije robota [26]

	Naziv robota	**OTC Almega AX – V6**
Struktura		vertikalni, revolutni robot
Broj slobodnih osi		6 osi rotacije
Maksimalno opterećenje		6 kg
Točnost		± 0,08 mm
Pogonski sustav		AC – servo motor
Snaga pogona		2 750 W
Očitanje kutnog zakreta		apsolutni enkoder
	Os 1 (okretanje)	340° (±170°)
	Os 2 (donja ruka robota)	245°(-90° , +155°)

Opseg gibanja	Os 3 (gornja ruka robota)	360°(-170° , +190°)
	Os 4 (valjanje prihvatnice)	360° (±180°)
	Os 5 (posrtanje ruke robota)	280°(-50° ~,+230°)
	Os 6 (skretanje ruke robota)	720° (±360°)
Dopuštena brzina oko pojedinih osi	Os 1 (okretanje)	150°/s
	Os 2 (donja ruka robota)	160°/s
	Os 3 (gornja ruka robota)	170°/s
	Os 4 (valjanje prihvatnice)	340°/s
	Os 5 (posrtanje ruke robota)	340°/s
	Os 6 (skretanje ruke robota)	520°/s
Temperaturno područje rada		0 – 45°C
Vlažnost zraka		20 – 80 %
Masa robota		155 kg

5.1.2. Privjesak za učenje i AX – C kontroler

Privjesak za učenje služi za *on – line* programiranje, određivanje putanje te parametara zavarivanja. Operacijski sustav privjeska baziran je na Windows NT sučelju, što čini samo programiranje vrlo jednostavnim.

Robotski kontroler AX – C služi za obavljanje osnovnih funkcija kao što su uključivanje i isključivanje sustava, odabira između automatskog režima rada te režima rada za učenje.

Privjesak za učenje te kontroler AX – C prikazani su na slici 19..



Slika 19. Privjesak za učenje i kontroler AX - C

5.1.3. Izvor struje

Robotska stanica opremljena je s dva izvora struje. Jedan je namijenjen TIG postupku zavarivanja, dok je drugi namijenjen za MIG/MAG postupak zavarivanja. Za potrebe eksperimentalnog dijela ovog rada korišten je izvor struje namijenjen za MIG/ MAG postupak zavarivanja. Naziv stroja je OTC Daihen Varstroj DP 400 (slika 20.). Stroj može dati maksimalnu struju u iznosu od 400 A pri naponu od 34 V.



Slika 20. OTC Daihen Varstroj DP 400

5.1.4. Senzor električnog luka

AX – AR je senzor električnog luka kojim je opremljena ova robotska stanica. On služi za praćenje putanje zavarivanja na temelju parametara koji se mjere električnim lukom. Kako bi senzor uspješno ispratio zavareni spoj potrebno je pravilno postaviti parametre koji utječu na senzor električnog luka. Bitni parametri za senzor električnog luka su:

1. Jakost struje zavarivanja
2. Duljina slobodnog kraja žice
3. Brzina zavarivanja
4. Karakteristika električnog luka
5. Brzina korekcije (reakcije senzora) – horizontalna i vertikalna
6. Razmak, odstupanje
7. Raspon odstupanja devijacije

Na osjetljivost senzora mogu utjecati i neki drugi parametri poput vrste prijenosa metala, protok i vrsta zaštitnog plina, parametri radnog komada (priprema, dimenzije, geometrija, materijal itd...).

Funkcija praćenja moguća je kod ravnih, zakrivljenih te valovitih putanja za kut manji od 10°, radijus veći od 25 mm, kružnice veće od 50 mm te kutne putanje spoja. Točnost praćenja kreće se u rasponu od ± 0,1 mm.

Na slici 21. prikazan je senzor AX – AR.



Slika 21. Senzor AX - AR

5.2. Radni komad

Materijal koji na kojemu se radilo ovo istraživanje izrađen je od čelika oznake S 235 JR. To je opći konstrukcijski čelik s minimalnom granicom razvlačenja (R_e = 235 N/mm^2) i garantiranim udarnim radom loma (KU = 27 J) pri temperaturi od 20°C[27].

U tablicama 5. i 6. dane su tehničke specifikacije kemijskog sastava te mehaničkih svojstava materijala.

Tablica 5. Kemijski sastav[27]

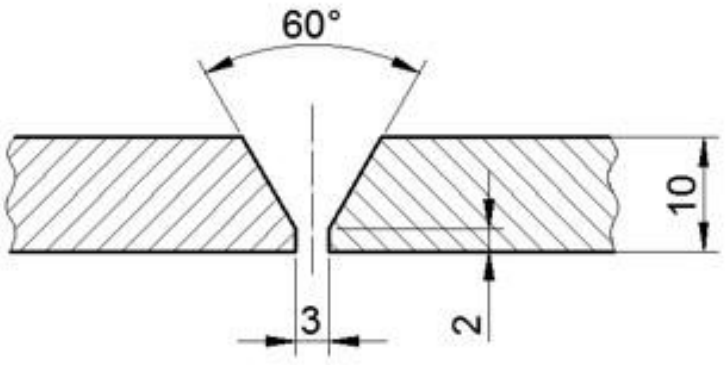
Oznaka čelika	Kemijski sastav (%)								
	C maks. %	Mn maks. %	Si maks. %	P maks. %	S maks. %	N maks. %	Cu maks. %	Ostalo maks. %	CEV maks. %
S235JR	0,17	1,40	-	0,040	0,040	0,012	0,55	-	0,35

Tablica 6. Mehančka svojstva[27]

Oznaka čelika	Mehanička svojstva		
	Granica razvlačenja, Re (N/mm^2)	Vlačna čvrstoća, Rm (N/mm^2)	Produljenje, A5 (%)
S235JR	235	360 – 510	26

5.3. Zavarivanje korijenskog prolaza

Čelična ploča je debljine 10 mm te je izvedena V priprema spoja prema slici 22.



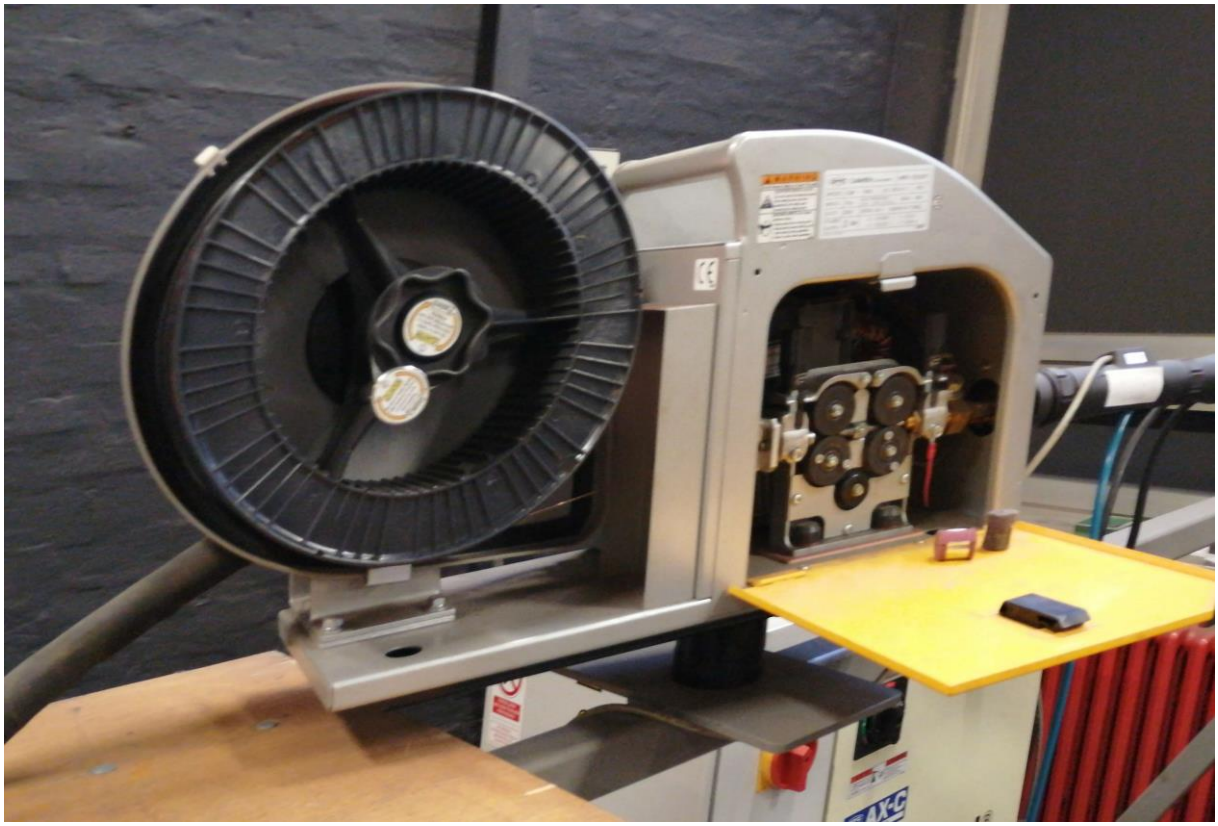
Slika 22. Geometrija pripreme spoja

Nakon što je radni komad spreman za zavarivanje, sljedeći korak je izrada korijenskog prolaza. U ovom koraku funkcija praćenja putanje senzora električnog luka nije uključena jer nema kutnog pomaka u odnosu na prvotnu, programiranu vrijednost, putanju zavarivanja.

Prijenos metala, pri zavarivanju korijenskog prolaza, vrši s kratkim spojevima uz linearnu tehniku njihanja s kratkim zadržavanjima na rubovima.

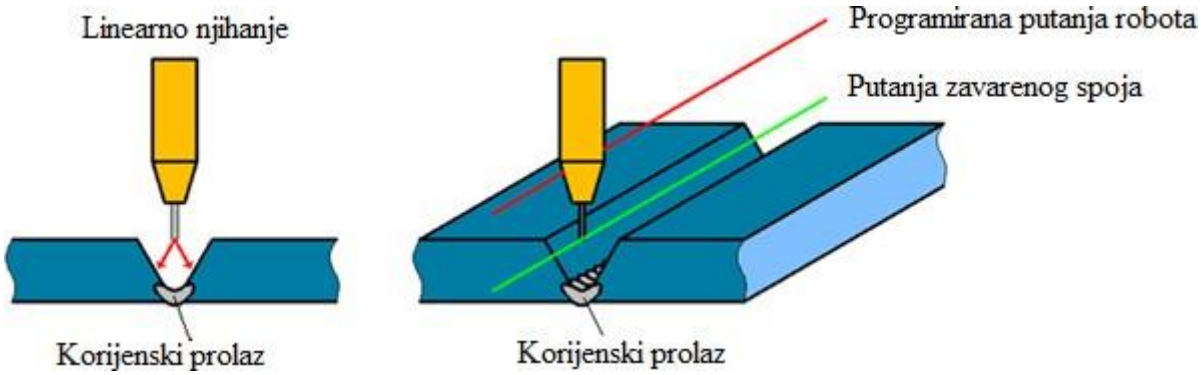
Dodatni materijal je pobakrena žica EZ – SG 2 Elektroda Zagreb za zavarivanje nelegiranih i niskolegiranih čelika čvrstoće do 590 N/mm^2. Žica je promjera 1,2 mm, a zaštitnu atmosferu čini smjesa plinova argona i ugljikovog dioksida u omjer 82:18. To je smjesa plinova pod oznakom M21, trgovačkog naziva Ferroline C18, prema normi ISO 14175. Protok plina je 20 l/min.

Na slici 23 prikazan je sustav za dobavu žice.



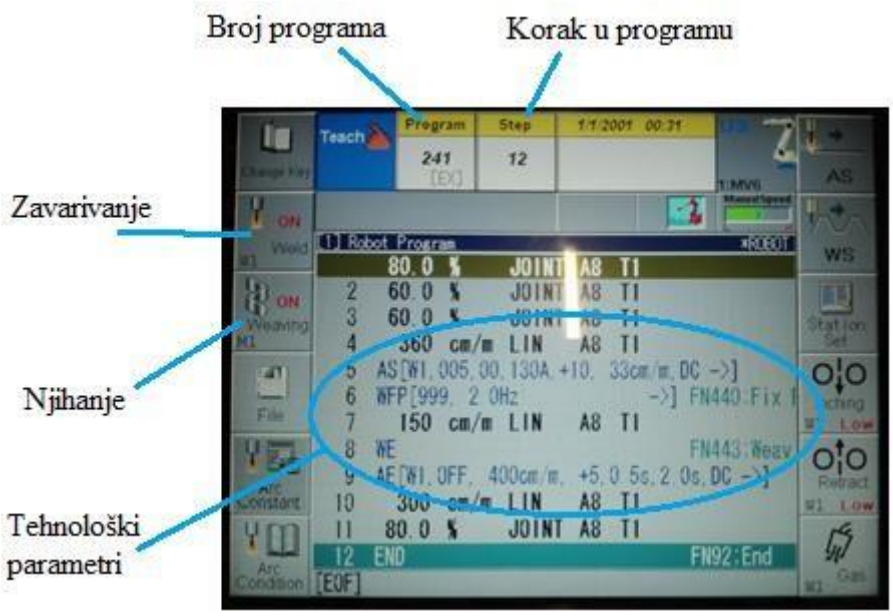
Slika 23. Sustav za dobavu žice

Slika 24. prikazuje putanju zavarivanja korijenskog prolaza linearnom tehnikom njihanja te isključenom funkcijom praćenja zavara.



Slika 24. Proces zavarivanja korijena

Na slici 25. prikazan je program zavarivanja korijenskog prolaza.



Slika 25. Programski kod za zavarivanje korijena

Parametri prema kojima je izrađen korijenski prolaz navedeni su u tablici 7.

Tablica 7. Parametri zavarivanja korijenskog prolaza

Zavarivanje korijenskog prolaza	
Parametar	**Vrijednost**
Struja zavarivanja	130 (A)
Brzina zavarivanja	33 (cm/min)
Duljina slobodnog kraja žice	10
Karakteristika senzora električnog luka	0
Frekvencija	2 (Hz)
Amplituda (lijeva / desna)	2 (mm) / 2 (mm)
Vrijeme zadržavanja (1/4 , centar, 3/4)	0,5 (s), 0 (s), 0,5 (s)
Tehnika njihanja	Linearna

Izrađena su tri korijenska zavar prema istim parametrima.

Slika 26. prikazuje prvi korijenski zavar



,

Slika 26. Prvi korijenski zavar

Na slici 27. prikazan je drugi korijenski zavar



Slika 27. Drugi korijenski zavar

Na slici 28. prikazan je treći korijenski zavar



Slika 28. Treći korijenski zavar

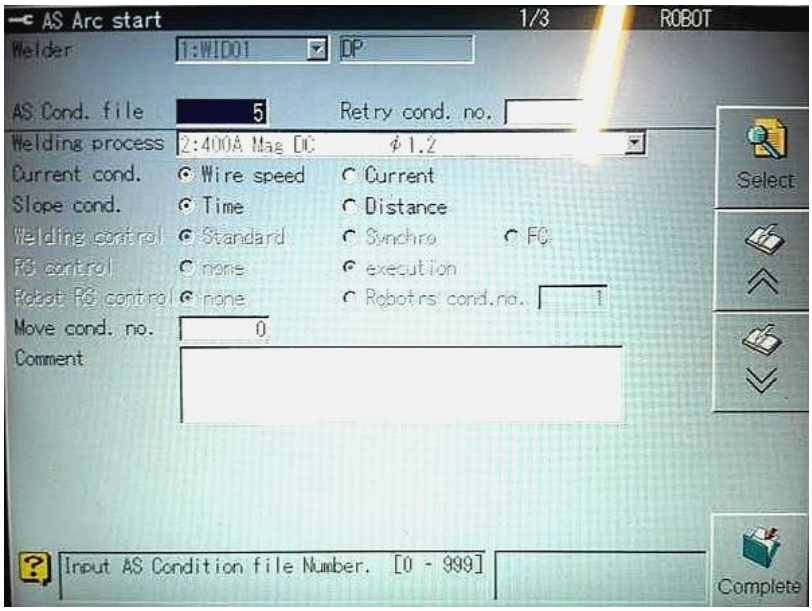
Vizualno i tehnološki zavari zadovoljavaju postavljene uvjete na kvalitetu.

5.4. Postavke zavarivanja drugog prolaza

Nakon izrade korijenskog prolaza na red dolazi izrada drugih prolaza, zamicanje ploče za 5° te uključivanje rada senzora električnog luka.

Drugi prolazi su izrađeni kao segmenti od nekoliko centimetara (zbog nedovršavanja programa robota svaki je druge duljine). Zamicanjem ploče prati se reakcija senzora uz promjene parametara (frekvencije, amplitude, načina njihanja).

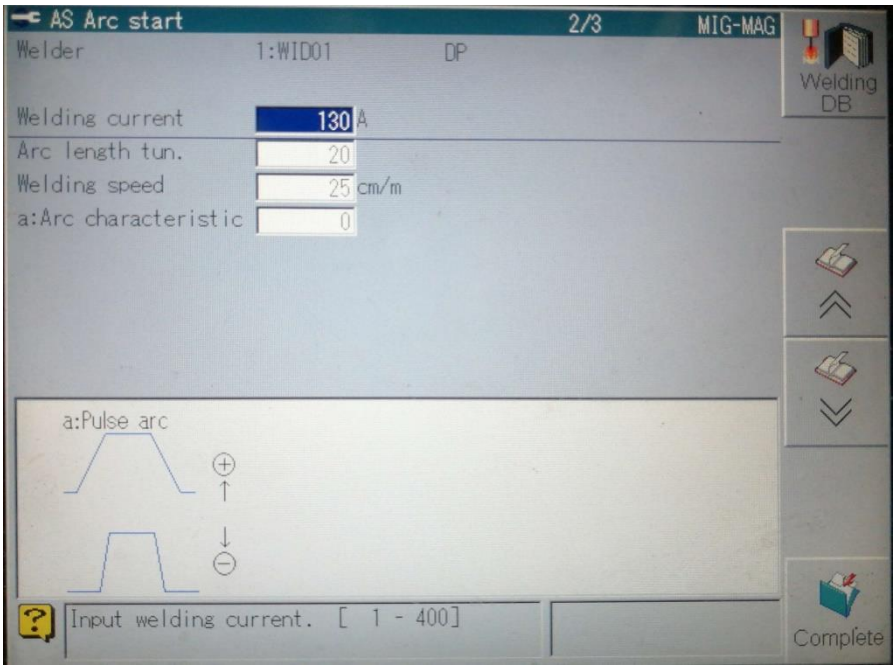
5.4.1. Stvaranje nove datoteke



Slika 29. Stvaranje nove datoteke

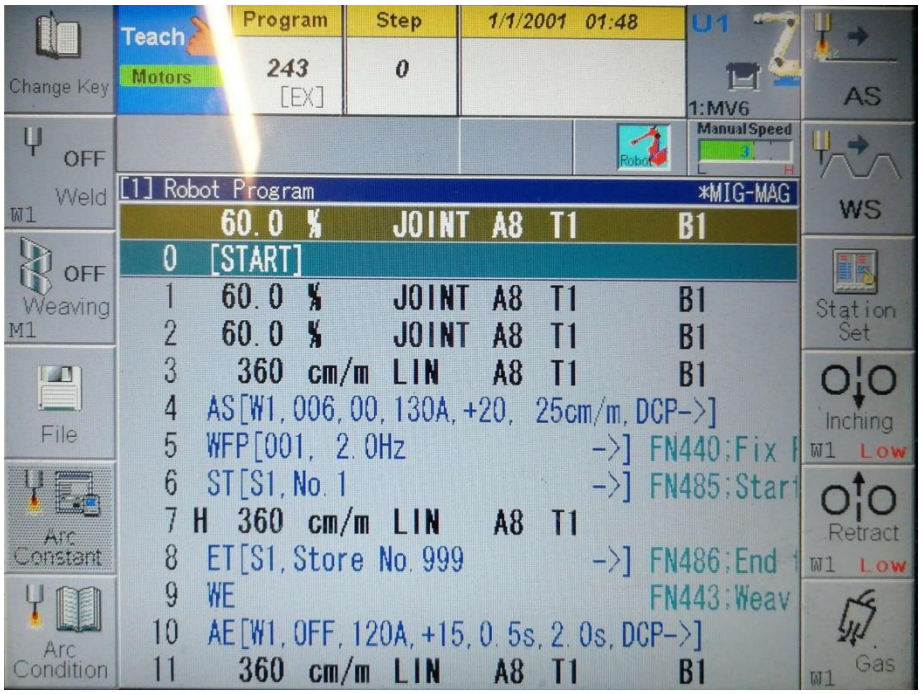
Na slici 29. prikazano je staranje nove datoteke s parametrima zavarivanja. U ovom prozoru odnosno izborniku se navodi nekoliko bitnih parametara. U polju „Welding proces“ izabire se vrsta procesa zavarivanja. Nadalje može se birati vrsta prijenosa materijala. Odabire se debljina žice. U polju *„Current cond.“* izabire se način određivanja jakosti struje..

5.4.2. Parametri električnog luka



Slika 30. Određivanje parametara za zavarivanje

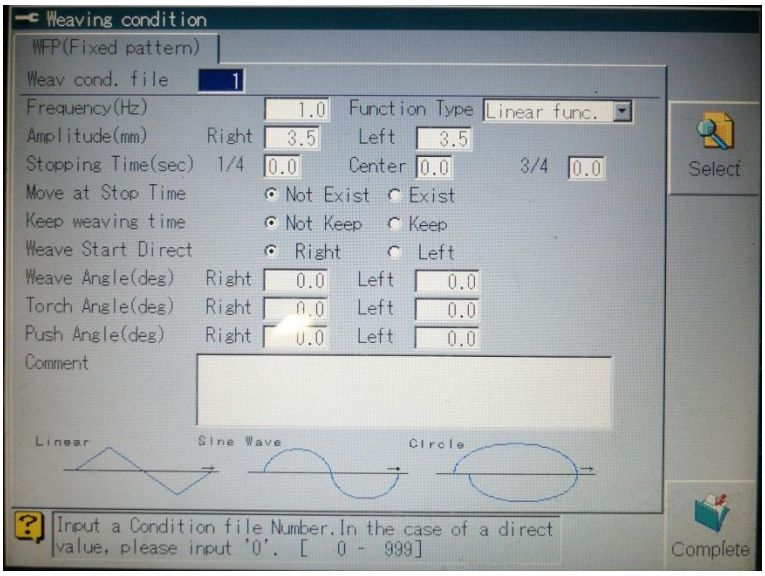
Na slici 30. na prvom polju *„Welding current“* navedena je jakost struje, nadalje u polju *„Arc length tun.“* navedena je duljina električnog luka, u polju *„Welding speed“* određena je brzina zavarivanja. Posljednje polje služi za *„Arc characteristic“* odnosno karakteristiku električnog luka. Na slici 31. prikazan je izgled programa na privjesku za učenje.



Slika 31. Izgled programa

5.4.3. Parametri njihanja

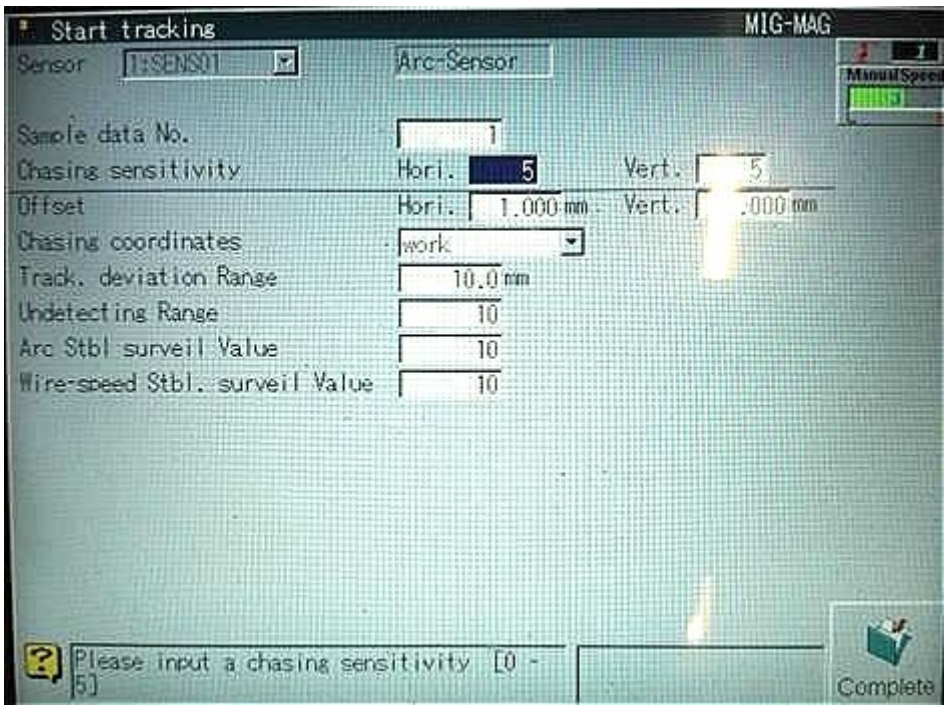
Na slici 32. prikazani su parametri koji se mogu postavljati kod tehnike njihanja. Osim amplitude, frekvencije i vremena zaustavljanja na rubovima, moguće je birati i vrstu funkcije njihanja, odnosno linearnu, trigonometrijsku ili kružnu funkciju.



Slika 32. Parametri tehnike njihanja

5.4.4. Parametri senzora električnog luka

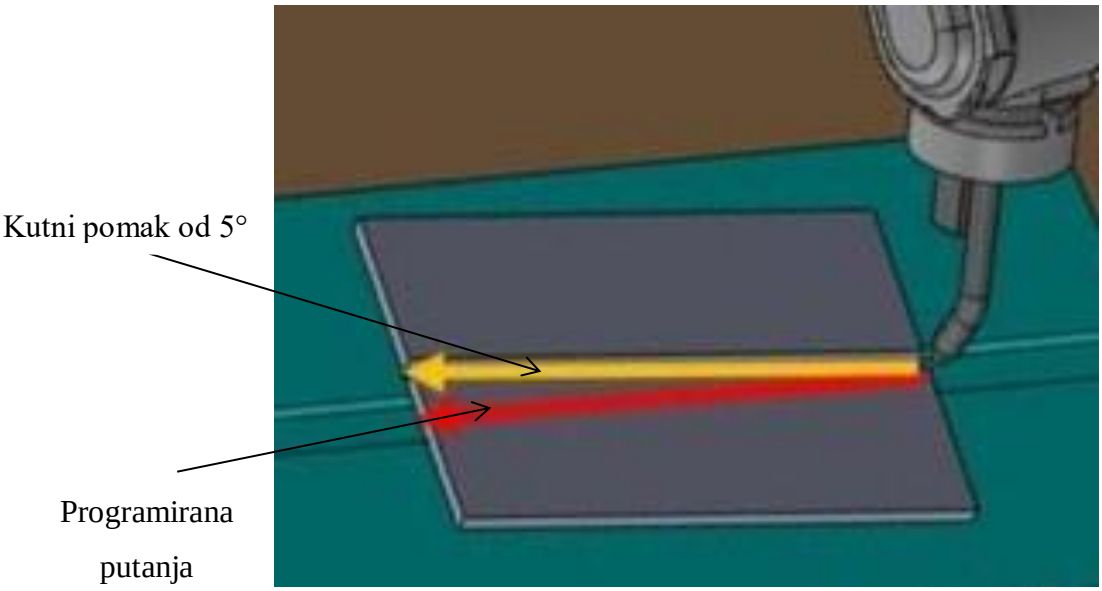
Na slici 33. su prikazani parametri funkcije praćenja električnog luka. Polje *„Chasing sensitivity“* označava brzinu korekcije. Brzina korekcije u ovom slučaju može biti u rasponu od 0 (nema korekcije) do 5 (najbrža korekcija). Također brzina korekcije se određuje u horizontalnom i vertikalnom smjeru. Polje *„Offset“* označava horizontalno i vertikalno odstupanje pištolja te se kreće u rasponu od -9,99 mm do 9,99 mm. Polje *„Track. deviation Range“* predstavlja maksimalnu vrijednost odmaka do kojeg senzor vrši praćenje. Parametarsko polje *„Chasing coordinates“* omogućava izbor koordinatnog sustava između koordinatnog sustava pištolja (eng. *Torch*) te koordinatnog sustava radnog komada (eng. *Work*).



Slika 33. Parametri funkcije praćenja

5.4.5. Planirano zavarivanje s funkcijom praćenja

Na slici 34. prikazana je programirana putanja robota, te putanja robota nakon zamicanja ploča za 5°.



Slika 34. Prikaz planirane i zamaknute putanje

5.5. Zavarivanje drugog prolaza

Pri zavarivanju drugog prolaza dolazi se do problema korekcije putanje zavarivanja. Ploče broj 1 i 2 su rezultati neuspjelih pokušaja. Na ploči 1 (slika 35.) vidi se kako niti u jednom od više kraćih zavara senzor nije korigirao putanju električnog luka, te se program zaustavlja prije planiranog kraja rada. Parametri električnog luka isti su kao na slici 31. Usprkos promjenama načina njihanja, frekvencije i amplitude ne dolazi do promjena u korekciji putanje. Isti problem se događa na ploči 2. (slika 36.) Program i dalje ne završava rad. No na ploči broj 2 vidljivi su segmenti zavara koji bi se mogli opisati kao zavari djelomično korigirane putanje.

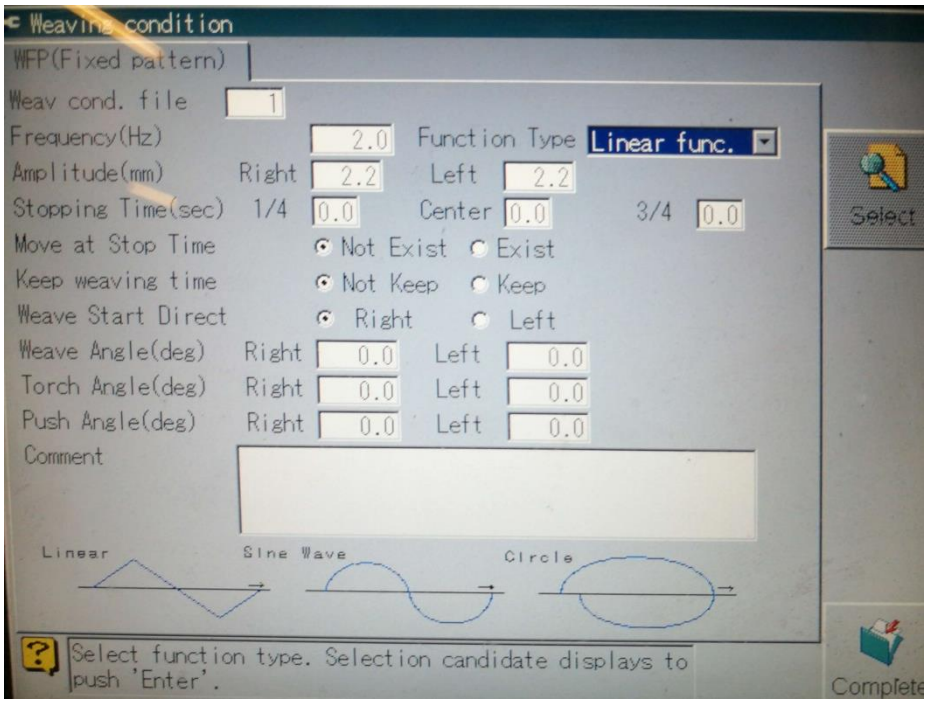


Slika 35. Ploča 1



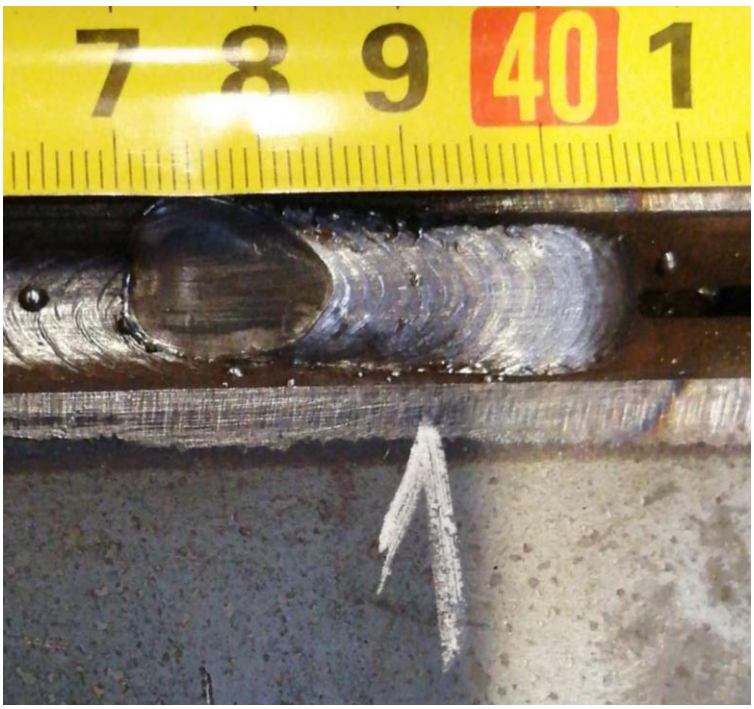
Slika 36. Ploča 2

Nakon neuspjelih pokušaja te dolaska na ideju udaljavanja pištolja od radnog komada, radi bolje reakcije senzora, te ponovnog programiranja putanje zavarivanja, putanja ostaje ista no glava pištolja za zavarivanje je na većem razmaku od radnog komada. Program prvi put završava svoj cijeli ciklus uz parametre njihanja prema slici 37. Parametri električnog luka ostaju isti (slika 30.). Udaljavanjem pištolja od radnog komada dobivamo bolju reakciju senzora kako je očekivano.



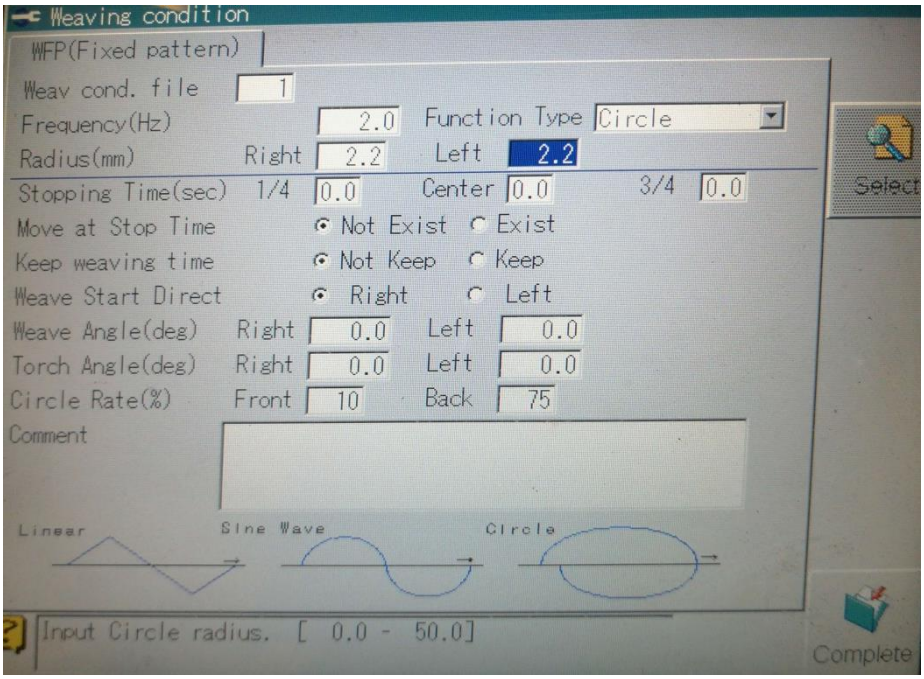
Slika 37. Parametri zavarivanja zavara 1

Na slici 38. prikazan je rezultat zavarivanja navedenim parametrima. Senzor je do otprilike polovice duljine ispratio putanju, no kako se program približava kraju vidi se odmak od korigirane putanje, stoga se idućim zavarom te drugim parametrima njihanja pokušava doći do boljih rezultata.



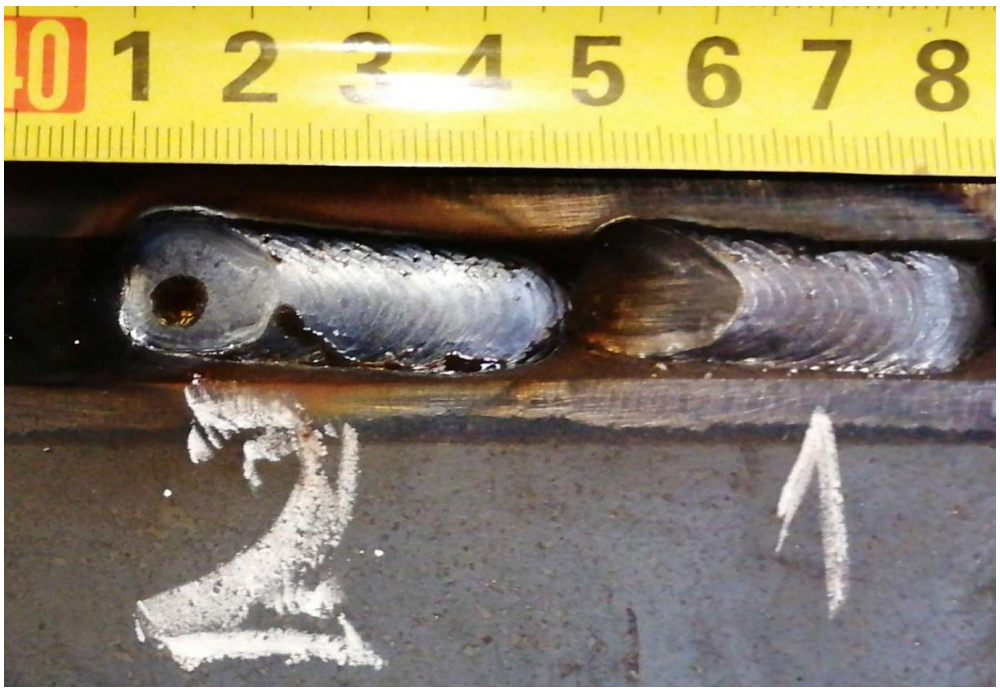
Slika 38. Zavar 1

Na slici 39. prikazani su parametri njihanja zavara 2. U odnosu na zavar 1. promijenjen je način njihanja, kružno umjesto linearnog, a ostali parametri su ostali isti.



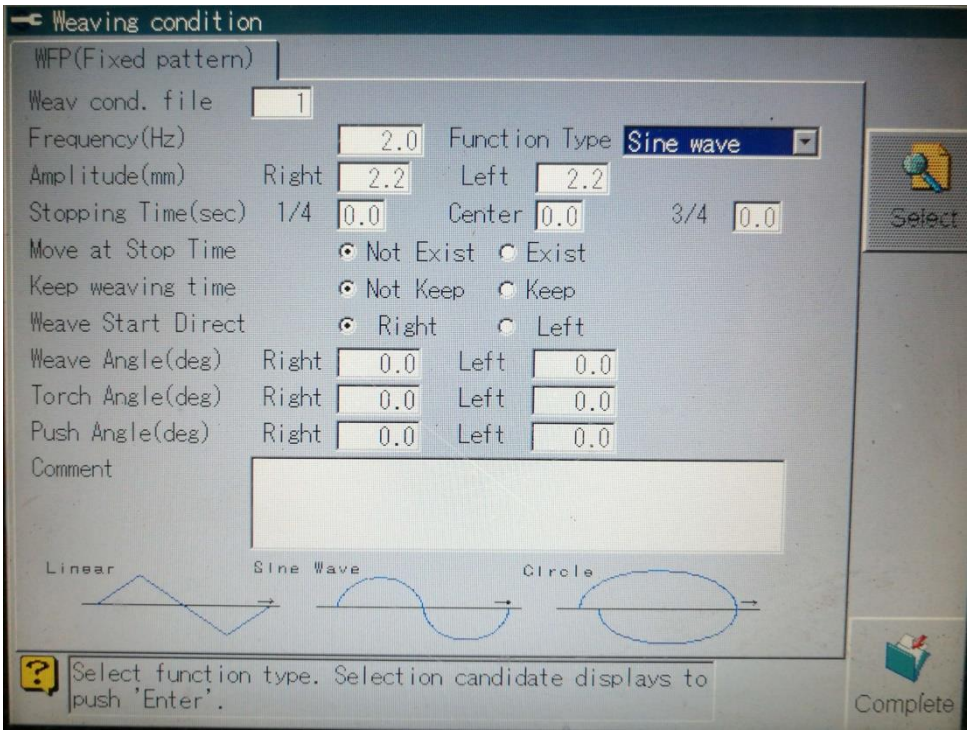
Slika 39. Parametri zavara 2

Slika 40. prikazuje izgled zavara 2. Od samog početka zavara vidi se kako senzor nije ispunio očekivanje te pratio očekivanu, korigiranu putanju, već prvotnu programiranu liniju zavarivanja. Robot nije završio program do kraja.



Slika 40. Zavar 2

Nadalje slika 41. prikazuje parametre njihanja zavar 3 gdje je sada trigonometrijski izgled krivulje, dok su ostali parametri ostali isti kao u prethodna dva pokušaja.



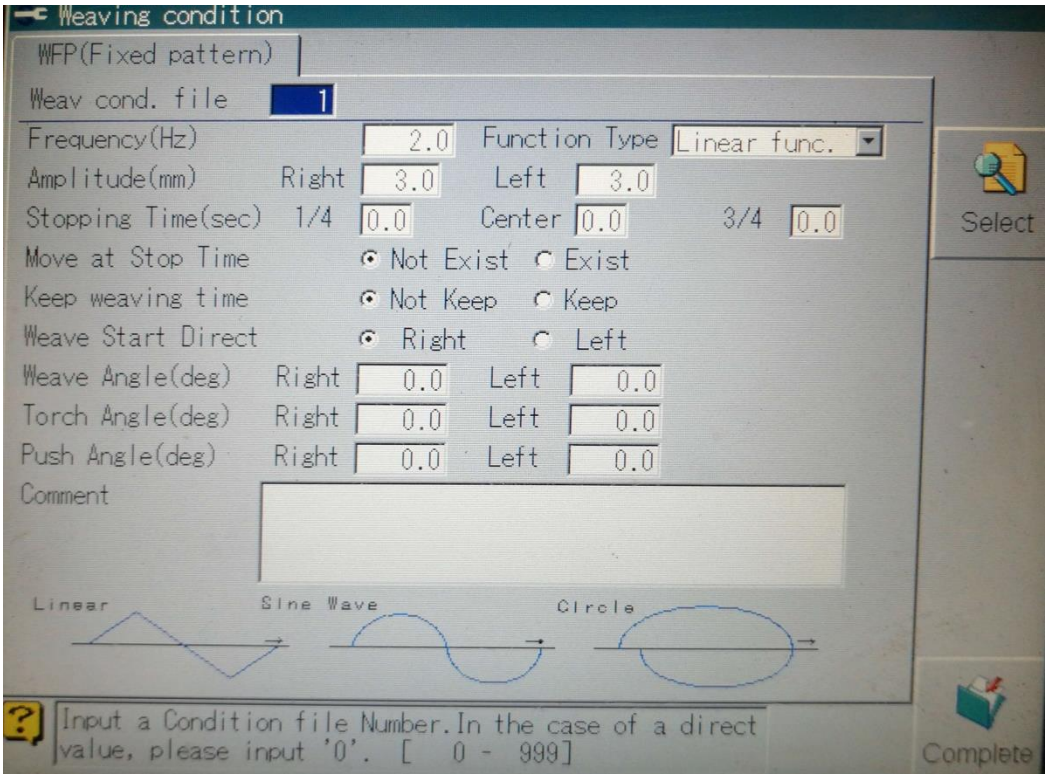
Slika 41. Parametri njihanja zavara 3

Slika 42. prikazuje zavar 3 te druga dva već izrađena zavara. Vidimo kako se u odnosu na zavar 2 putanja korigirala nešto bolje, no još uvijek ne kako je očekivano. Zavar 1 ima najduži ispraćeni segment od ova tri zavara. Robot također nije završio program do kraja.



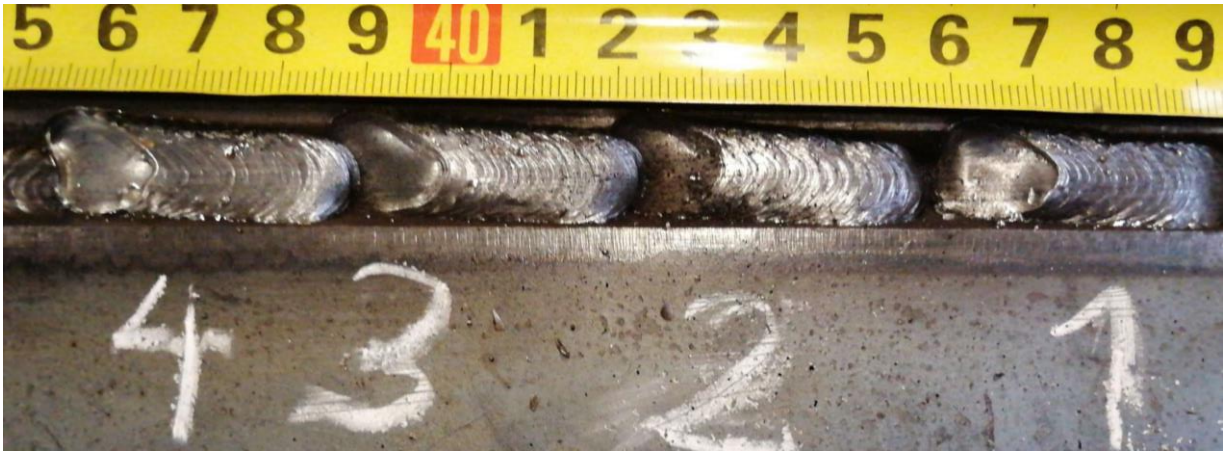
Slika 42. Zavar 3

Na slici 43. vidimo parametre njihanja zavara 4. Na temelju dosadašnjih rezultata vidimo kako se korigiranje putanje najbolje provodi uz linearnu funkciju njihanja. Zavar 4. izrađen je linearnom funkcijom njihanja uz povećanje amplitude (lijeve i desne) s 2,2 mm na 3 mm.



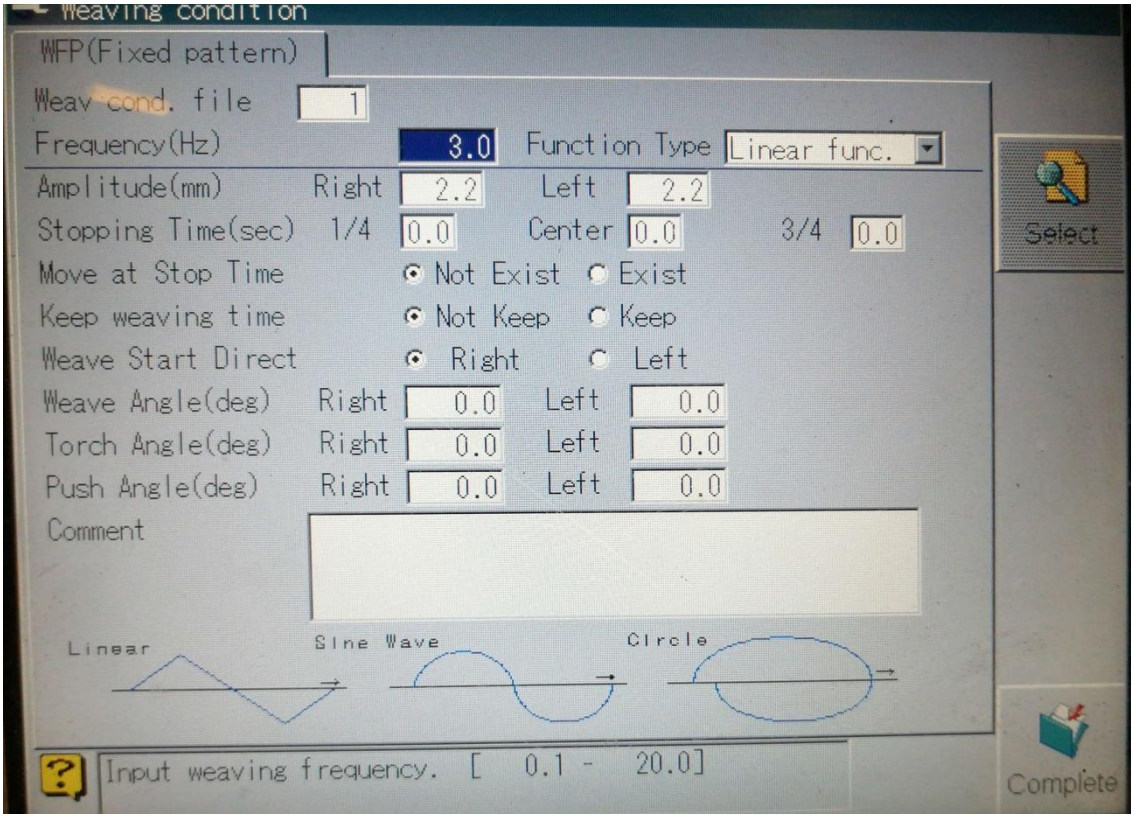
Slika 43. Parametri njihanja zavara 4

Na slici 44. prikazan je zavar 4 u usporedbi s ostalim zavarima. Povećanjem amplitude nije se puno pridonijelo korigiranju putanje, već se kao i u prvom slučaju putanja iskrivljuje nakon polovice duljine. Program odrađen do kraja.



Slika 44. Zavar 4

Na slici 45. prikazni su parametri njihanja zavara 5. U ovom slučaju povećanjem frekvencije s 2 Hz na 3 Hz, te smanjenjem amplitude s 3 mm na 2,2 mm pokušava se doći do željenih rezultata.



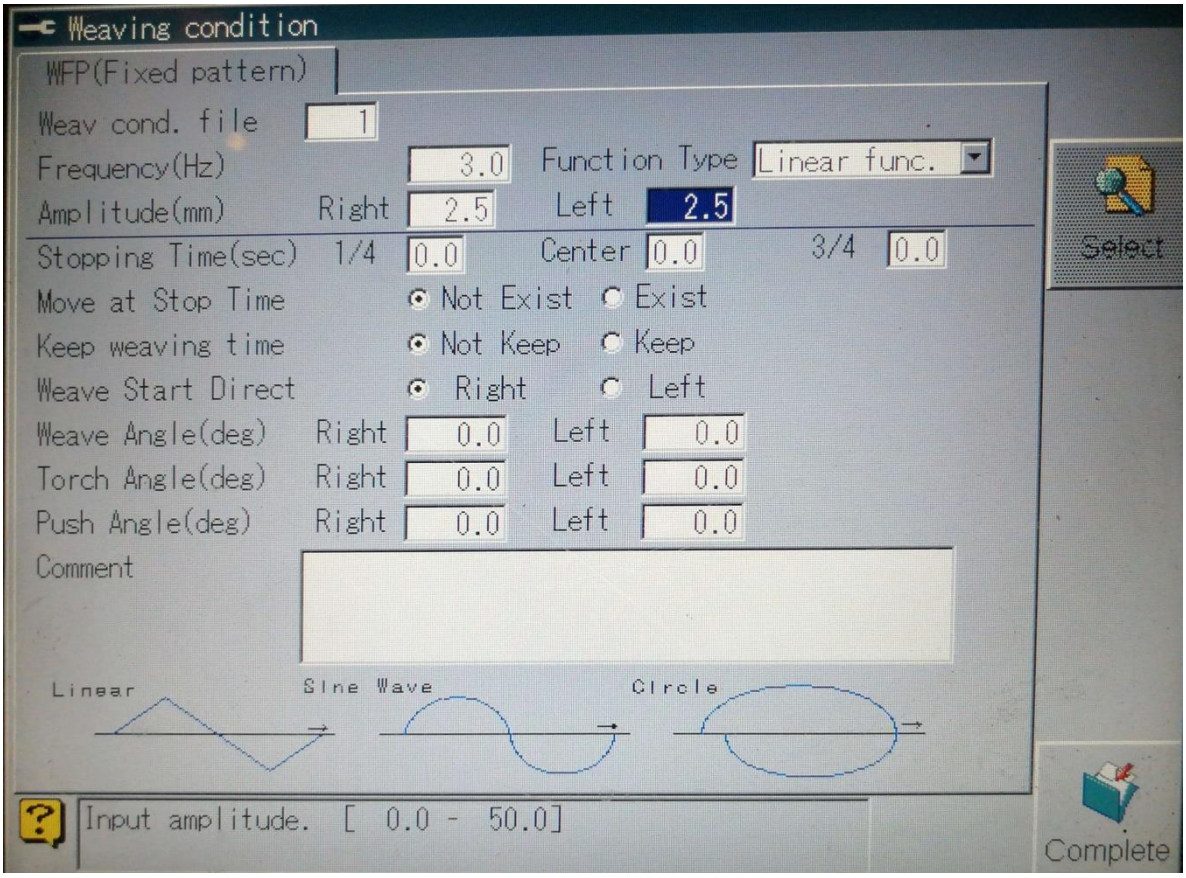
Slika 45. Parametri njihanja zavara 5.

Slika 46. prikazuje izgled zavara 5 u usporedbi s ostalim zavarima. Promjenom frekvencije nije se došlo do značajnijih rezultata, te očekivanom korigiranja putanje. Program odrađen do kraja.



Slika 46. Zavar 5

Nadalje na slici 47. prikazani su parametri tehnike njihanja idućeg zavara, ovoga puta frekvencija je ostala ista kao u prethodnom slučaju no amplituda raste s 2,2 mm na 2,5 mm.



Slika 47. Parametri njihanja zavara 6.

Na slici 48. vidljiv je izgled zavara 6 u usporedbi s ostalim zavarima. Ovoga puta, isto kao i u prethodnim slučajevima, nije došlo do korigiranja putanje. Putanja ovog zavara je lošije korigirana nego prethodnog. Program nije odrađen do kraja.



Slika 48. Zavar 6

6. ZAKLJUČAK

Razvojem industrije kroz prošlost dolazi do razvoja različitih grana industrije te njihovog zajedničkog impliciranja, pa tako dolazi do kombiniranja robotike i zavarivanja. Kombiniranjem te dvije tehnologije, odnosno impliciranjem robotike u tehnologiju zavarivanja, dolazi do razvoja nove tehnologije robotskog zavarivanja.

Robotsko zavarivanje otvara čitav niz novih mogućnosti u proizvodnji. Povećanje produktivnosti te fleksibilnosti proizvodnih sustava samo su neke od njih. Također smanjuje se izlaganje čovjeka štetnim te opasnim segmentima zavarivanja.

Razvojem robotskog zavarivanja isto tako rastu i zahtjevi na kvalitetu i preciznost, te se pooštravaju kriteriji rada. Uvođenjem senzora povećava se fleksibilnost sustava, otvaraju se mogućnosti korekcije provođenja samog zavarivanja. Senzori su zaduženi za korekciju parametara, praćenje putanja zavarivanja i slično. Također njihovim uvođenjem smanjuju se vjerojatnosti nastajanja grešaka, koje su u zavarivanju česte te ponekad nepredvidive.

Postoji mnogo različitih vrsta senzora. Osnovna im je podjela na senzore koji mjere tehnološke parametre te senzore za mjerenje geometrijskih parametara. Najviše se koriste optički senzori i senzori električnog luka. Optički senzori se zbog svoje visoke cijene te kompleksnosti opreme manje koriste nego senzori električnog luka

Senzor električnog luka ne zahtijeva ugradnju nikakve dodatne i skupe opreme već se kao senzor koristi sam električni luk. Navedena svojstva mu daju prednost nad optičkim senzorom. Senzor električnog luka prvenstveno služi za korekciju putanje zavarivanja. Korekcija putanje zavarivanja često puta je potrebna zbog nesavršenosti u pripremi spoja ili deformacija uslijed velikog unosa topline.

U eksperimentalnom dijelu rada za određenu geometriju pripremljenog spoja ispitivala se korekcija putanje uslijed zamicanja radnih komada (ploča) za 5°. U svrhu korigiranja putanje korišten je senzor električnog luka.

Prvi korak bio je zavarivanje korijenskog prolaza, pri zadanim parametrima, koji je odrađen bez ikakvih problema te su zavari odgovarali kriterijima vizualne kontrole. Pri zavarivanju korijenskog prolaza korekcija putanje nije bila potrebna jer ploče, koje su se zavarivale, nisu bile zamaknute. Izvedena su tri korijenska zavara.

Nadalje, zavarivanjem drugog prolaza, ploče 1. i 2. služile su kao pokusne ploče te na njima program robota niti jednom nije uspio te se korekcija provela u minimalnim duljinama. Tek pri odmicanju pištolja od radnog komada počinje vidljiva korekcija putanje zavarivanja.

Mijenjanjem parametara njihanja pokušavalo se doći do potpune korekcije putanje, no nisu ostvareni očekivani rezultati. Najbolje se pokazalo linearno njihanje, dok se kod kružnog

i trigonometrijskog njihanja putanja korigirala samo na veoma malim segmentima. Stoga se ispitivanje nastavlja koristeći linearnu tehniku njihanja.

Nadalje mijenjanjem amplitude i frekvencija željelo se doći do očekivanih rezultata no i dalje se nailazi na greške u korekciji. Raznim kombinacijama dolazilo se do malih napredaka, ali i do malih koraka unazad. Stoga se zaključuje da je još uvijek potrebno pronaći pravu kombinaciju parametara kako bi se putanja električnog luka korigirala u potpunosti.

Senzori su budućnost tehnologije robotiziranog zavarivanja te njihova primjena postat će neophodna u svrhu izrade kvalitetnih zavara. Osim kvalitete senzori povećavaju produktivnost, smanjuju troškove uzrokovane greškama te povećavaju fleksibilnost samih sustava. Produktivnost i fleksibilnost sustava su jedne od glavnih karakteristika suvremene proizvodnje, stoga su senzori neizbježni za daljnji razvoj.

LITERATURA

[1] https://www.sfsb.hr/kth/zavar/tii/povije.html

[2] http://repozitorij.fsb.hr/8340/1/Kantolic_2018_zavrsni_preddiplomski.pdf

[3] https://www.twi-global.com/technical-knowledge/job-knowledge/robotic-arc-welding-135

[4] https://repozitorij.unin.hr/islandora/object/unin:829/preview

[5]http://www.zavarivanje.info/cd/11940/zavarivanje-modernipostupcimigmagtigrelautogeno,

[6] Gojić, M.: Tehnike spajanja i razdvajanja materijala, Sveučilište u Zagrebu, Metalurški fakultet, Sisak, 2003.

[7] http://repozitorij.fsb.hr/8911/1/Juras_2018_diplomski.pdf

[8] https://bakersgas.com/pages/the-pros-cons-of-mig-welding

[9]https://docs.google.com/document/d/1IUXqMcG8bWLBL-NquEa5nqzBVuYxHmg2NpU0Xahynus/edit

[10]https://www.fsb.unizg.hr/usb_frontend/files/15472105030strojeviiopremazazavarivanjepi.pdf

[11] Kožuh. Z.: Mehanizacija, automatizacija i robotizacija u zavarivanju i srodnim postupcima, Zbornik radova, Hrvatsko društvo za tehniku zavarivanja, 2005.

[12]https://travelsdocbox.com/Eastern_Europe/108246740Sveucilisteuzagrebufakultetstrojarstva-i-brodogradnje-zavrsni-rad-josip-vidak-zagreb-2015.html

[13] https://link.springer.com/article/10.1186/s40712-015-0042-y

[14]https://www.google.com/url?sa=i&url=http%3A%2F%2Fwww.fabricatingandmetalworking.com%2F2013%2F05%2Fdesign-considerations-for-robotic-welding-cell-safety%2F&psig=AOvVaw01qKfV7_IW0vSsaRkmnjhH&ust=1581706855030000&source=images&cd=vfe&ved=0CAMQjB1qFwoTCIj82q2bz-cCFQAAAAAdAAAAABAs

[15] http://repozitorij.fsb.hr/928/1/18_03_2010_Vedran_Petrovic_Diplomski_rad.pdf

[16] http://www.servo1.com/product/abb-teach-pendant-3hne-00313-1-2/

[17] J. N. Pires, A. Loureiro, G. Holmsjo; Welding robots: technology, system issues and applications; Springer Science+Business Media, LLC, New York, USA, 2006

[18] https://www.millerwelds.com/products/insight/insight-arcagent

[19] Ivica Garašić, Zoran Kožuh, Maja Remenar: Senzori i njihova podjela u tehnologiji zavarivanja; Tehnički Vjesnik Vol 22. No. 4, Sveučilište u Osijeku, 2015

[20] Ushio M., Onoe H.: Automation Tehnology of Arc Welding, Technical Commission on Welding Processes Japan Welding Society, 1996.

[21] Kralj S., Kožuh Z., Garašić I., Remenar M., Bilić L.: Utjecaj prijenosa metala na osjetljivost elektrolučnog senzora // Zbornik radova savjetovanja Eurojoin 8 / Zagreb: Hrvatsko društvo za tehniku zavarivanja, 2012.

[22]http://www.robotwelding.co.uk/sensing_equipment.php

[23]https://www.researchgate.net/figure/Schematicdiagramsofbeamoscillatingpatternandtheresultant-track-of-laser-beam_fig2_305381915

[24] https://slideplayer.com/slide/4895517/

[25]https://www.yumpu.com/xx/document/view/37520538/katalog-2012-arvslopdfvarstroj/32

[26]https://www.eurobots.net/Other-Robots-robots-OTC-DaihenALMEGAAXV6arcwelding-robots--p91-en.html

[27] http://www.b2bmetal.eu/en/pages/index/index/id/141/