

**INTERNACIONALNI UNIVERZITET TRAVNIK U
TRAVNIKU
FAKULTET POLITEHNIČKIH NAUKA TRAVNIK U
TRAVNIKU**

ZAVRŠNI RAD

ROBOTIZIRANO MAG ZAVARIVANJE

**Mentor:
Prof.dr.Zdravko Božičković**

**Student:
Sedad Sivac, PT-126/18**

Travnik, Novembar 2019.

3.3.2. Prijenos metala štrcajućim lukom	26
3.3.3. Prijenos metala prijelaznim lukom	26
3.3.4. Prijenos metala impulsnim lukom	27
3.4. Uloga zaštitnih plinova pri MAG zavarivanju	27
3.5. Žice za MAG zavarivanje	30
3.6. Čimbenici pri automatiziranom i robotiziranom zavarivanju	30
4. ROBOTSKA STANICA VRC-1G MIG + 1G TIG/1dm	31
4.1. Konfiguracija robotske stanice	31
4.2. Robot OTC Almega AX-V6	33
4.3. Privjesak za učenje AX-C	36
4.4. Izvori struje	36
4.5. Ostala oprema	37
4.6. Opravdanost primjene robotiziranog zavarivanja	40
5. ZAKLJUČAK	42
6. LITERATURA	43
POPIS SLIKA I TABELA	44
POPIS OZNAKA	46

1. UVOD

Zavarivanje je jedan od najzastupljenijih proizvodnih postupaka u današnjoj industriji. Sam postupak zavarivanja počeo se javljati u starom vijeku kao sastavni dio kojem moraju raspolagati kovači, ljevači, zlatari i ostali majstori sličnih obrta u to vrijeme. Kako je vrijeme prolazilo, tako su se i tehnike zavarivanja kao i postupci zavarivanja, došli do velikog razvoja. Pa se tako početkom 19. stoljeća u bivšem SSSR-u istražuje električni luk za opću namjenu i predlaže se za primjenu kod zavarivanja. Nakon II. svjetskog rata patentira se i primjenjuje postupak MAG zavarivanja sa CO₂ kao zaštitnim plinom, što označava velik iskorak u samoj tehnologiji. Gledajući kroz neke današnje norme proizvodnje, može se vidjeti da se velika količina prerađenog materijala svodi zapravo na nekih pet do sedam postupka zavarivanja. Najčešće to su već spomenuto zavarivanje taljivom elektrodom u zaštitnoj atmosferi plina ili plinske mješavine (MIG/MAG), zavarivanje metaljivom elektrodom od volframa u zaštitnoj atmosferi argona ili helija (TIG), ručno elektrolučno zavarivanje obloženim elektrodama (REL), elektrootporno zavarivanje (EO) i zavarivanje pod praškom (EPP). Gledajući razvoj navedenih postupaka, jasno je kako je došlo do potrebe za izvršavanje automatizacije istih. S razvojem zavarivačke industrije, također su se razvijale druge grane u strojarstvu poput robotike. Ubrzo je postalo jasno kako spajanje robotike i zavarivanja rezultira većom produktivnošću. Isto tako roboti su se pokazali korisnim na tome području, jer se time izbjegava da ljudi obavljaju zamorne i mukotrpne poslove kao što je zavarivanje.

Primjena robota u procesima zavarivanja iz godine u godinu raste. Nezdrava atmosfera, visoke temperature, visok nivo buke, otrovni plinovi, ... samo su neki od razloga zašto se teži ka tome da se ljudski operater zamjeni robotom. Visoka ponovljivost i fleksibilnost robota omogućava visoku kvalitetu i ekonomičnost izvedbe zavara/navara. Jedan od najvažnijih faktora i prednosti robota u odnosu na ljudskog operatera je mogućnost fleksibilnog i simultanog pokretanja više osa simultano kako bi postigao i ostvario zadani putanju kompleksnog radnog komada (cijevi izmjenjivača, parni kotlovi, složene rešetkaste konstrukcije, ...), a samom primjenom robota raste pouzdanost samog procesa što garantira kvalitetniji i pouzdaniji zavar. Kako postići kvalitetno zavaren/navaren spoj radnih komada slobodnog oblika veoma je interesantna tema većine znanstvenih radova. Zadanu kvalitetu, debljinu, hrapavost, čvrstoću, poroznost, ... nemoguće je ostvariti ako se ne primjene roboti u samom procesu zavarivanja. Veliku ulogu u ostvarivanju ovih zadanih ciljeva ima i trajektorija/putanja po kojoj će robot provesti postupak zavarivanja.

U uvodnom dijelu rada opisani su roboti za MAG zavarivanje. Navedeni su glavni dijelovi robota za zavarivanje kao i način na koji se programiraju. Opisani su i dodatni dijelovi robotske stanice koji poboljšavaju sam proces robotiziranog zavarivanja. Dalje je opisan MAG postupak zavarivanja te njegovi parametri. Također, analizirane su opcije automatizacije i robotizacije tog postupka. Na kraju, zaključena je opravdanost robotiziranog MAG zavarivanja u odnosu na konvencionalno MAG zavarivanje.

2. ROBOTI ZA ZAVARIVANJE

2.1. Povijest robota

Naziv robot prvi put se spominje u 20. stoljeću, kada ga je uveo češki književnik Karel Čapek u svojoj drami „R.U.R“. Isto tako, sam naziv robot ima korijene u slavenskim jezicima pa tako se spominju pojmovi poput rabota - rad i robotnik – kmet. Savremeni roboti koje poznajemo danas, nastali su sredinom 20. stoljeća u SAD-u.¹ Tako je prvi industrijski robot razvijen od strane George Devola nazvan Unimate, koji je težio čak 1815 kg. Služio je za prijenos teških odljevaka na transportnoj traci u autoindustriji.



Slika 1. Prvi industrijski robot "Unimate"

Kroz sam razvoj robota jasno se mogu uočiti tri generacije robota:²

- Prva generacija robota koja se još naziva primitivnim robotima. Kod njih je specifično što su bili unaprijed programirani te su na taj način mogli obavljati samo unaprijed definisane probleme poput premještanja objekta iz jednu u drugu tačku. Oni zahtijevaju visokoorganizovanu okolinu. Uz ograničenu inteligenciju i izostanak senzora, zaostaju u pokretljivosti u odnosu na čovjekovu ruku.
- Drugu generaciju robota još nazivamo i senzitivni roboti, upravo zbog toga što su opremljeni velikim brojem senzora (vizualni, taktilni, senzori sile...), a mogu sadržavati i sisteme za raspoznavanje.

¹ <https://hr.wikipedia.org/wiki/Robot>

² Šurina T., Crneković M.: INDUSTRIJSKI ROBOTI, Školska knjiga Zagreb, 2002

2.3.1. Podjela po vrsti pogona

- električni motor,
- hidraulički motor,
- pneumatski motor.

Za većinu robotskih manipulatora danas se koriste električni motori i to najčešće istosmjerni, izmjenični i koračni, jer su relativno jeftini, zauzimaju malo prostora, s velikom brzinom i tačnosti te je kod njih moguća primjena složenih algoritama upravljanja. Međutim, kod specifičnih primjena (npr. rukovanje užarenim čelikom ili sastavljanje dijelova automobila), kada se zahtijeva manipulacija velikim teretima, češće se koriste roboti s hidrauličkim motorom. Hidraulički motor osim velike brzine (veća nego kod električnog motora) i snage, omogućava mirno održavanje pozicije zbog nestlačivosti ulja. Koriste se kod robota većih dimenzija. Glavni nedostaci ovih motora su njihove visoke cijene i zagađivanje okoline zbog buke i mogućeg istjecanja ulja. Pneumatski motori primjenjuju se kod malih robota. Prednost im je relativno niska cijena, velika brzina rada i nezagadživanje okoline, te su zbog toga pogodni za laboratorijski rad. Takvi motori nisu pogodni za rad s velikim teretima, jer je zbog stlačivosti zraka nemoguće mirno održavati željenu poziciju. Uz to je prisutna buka te je potrebno dodatno filtriranje i sušenje zraka zbog nepoželjne prašine i vlage. Ako se zahtijeva samo otvaranje i zatvaranje hvataljke (vrh manipulatora), tada se u završnom mehanizmu koristi pneumatski motor da se grubim stiskom ne bi oštetio lomljivi predmet.

2.3.2. Podjela po načinu upravljanja kretanjem

- od tačke do tačke (nije bitna putanja već tačnost pozicioniranja),
- kontinuirano gibanje po putanji (bitna trajektorija i tačnost pozicioniranja).

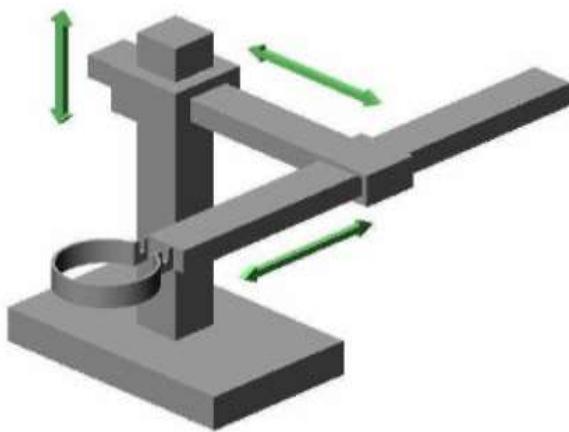
Kod kretanja od tačke do tačke vrh manipulatora se kreće po diskretnim tačkama u radnom prostoru i pri tome nije bitna putanja između tačaka, ali je važna tačnost pozicioniranja. Takav način kretanja koristi se za diskrete operacije kao što su:⁷ tačkasto zavarivanje te podizanje i spuštanje predmeta. Pri kontinuiranom kretanju po putanji vrh manipulatora mora se kretati po unaprijed određenoj putanji u trodimenzionalnom prostoru i pri tome su bitne trajektorija i tačnost pozicioniranja. Roboti kod kojih se upravlja trajektorijom kretanja mogu se koristiti za bojenje, šavno zavarivanje ili lijepljenje. Osim vrsta pogona, geometrije radnog prostora i načina upravljanja kretanjem postoji niz dodatnih karakteristika robota: broj osi, maksimalna masa tereta, maksimalna brzina, dohvati, hod, orientacija alata, ponovljivost, preciznost, tačnost te radna okolina.

⁷ http://people.etf.unsa.ba/~jvelagic/laras/dok/Robotika_uvod.pdf

2.3.3. Podjela po geometriji radnog prostora

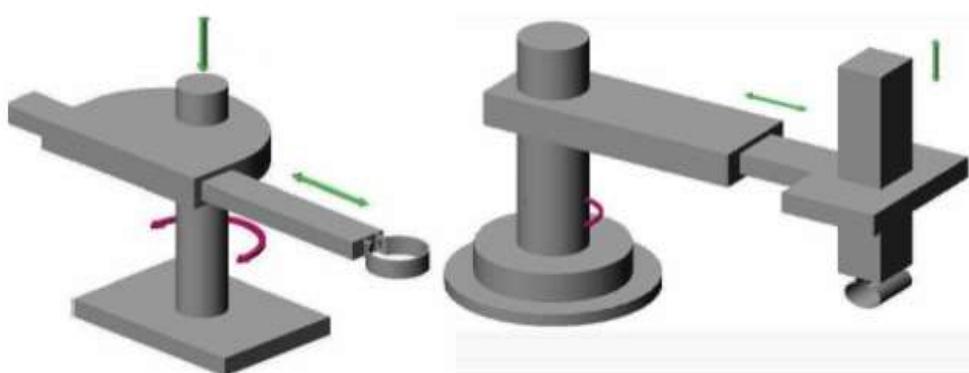
- pravokutna ili TTT struktura,
- cilindrična ili RTT struktura,
- sferna ili RRT struktura,
- rotacijska ili RRR struktura,
- SCARA robot.

Pravokutna struktura robota se sastoji od tri translacijska zgloba čije su ose međusobno okomite. Tako svaki stepen slobode odgovara Kartezijevom prostoru, jer se radi o pravocrtnom gibanju. Strukturu odlikuje visoka tačnost i koristi se kod rukovanja materijalima u montaži. Veliki nedostatak je pokretljivost, jer su svi zglobovi translacijski.



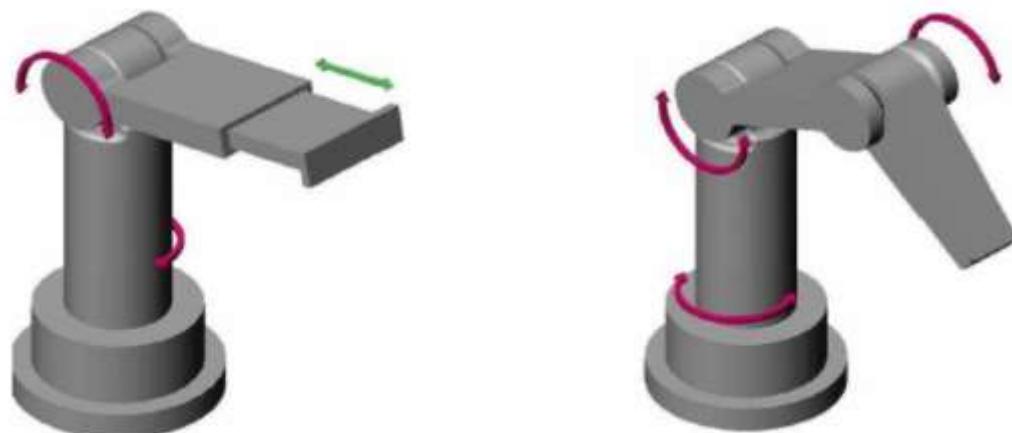
Slika 2. Kartezijeva struktura TTT

Kada bi prvi translacijski zglob zamijenili rotacijskim, dobili bi cilindričnu strukturu prikazanu na slici 3. Takvu strukturu obilježava dobra mehanička čvrstoća, ali se tačnost pozicioniranja zgloba smanjuje s povećanjem horizontalnog hoda. Koristi se za manipulaciju većih objekata pa stoga koristi hidraulički motor za pogon.



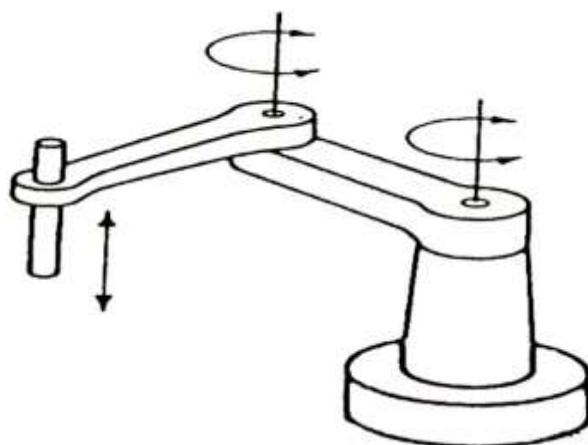
Slika 3. Cilindrična struktura RTT

Ako bi dalje zamijenili drugi zglob cilindrične strukture s rotacijskim zglobom, dobili bi sfernu konfiguraciju. Na taj način, smanjila bi se mehanička čvrstoća kao i tačnost pozicioniranja. Ukoliko bi sva tri zgloba bila rotacijska, dobili bi rotacijsku strukturu.



Slika 4. Sferna struktura RRT i rotacijska struktura RRR

Kao poseban slučaj uzima se SCARA (eng. Selective Compliance Robot Arm) robot⁸, koji ima dva rotacijska i jedan translacijski zglob. Kod njega su sve tri ose vertikalne, pa se tako koristi za montiranje po vertikalnoj osi.



Slika 5. SCARA robot

⁸ Crneković M.: INDUSTRIJSKI I MOBILNI ROBOTI, Robotika – struktura, Fakultet strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu, 2016

2.4. Primjena robota u zavarivanju

Kod zavarivanja, automatizacija postupka se počela intenzivnije razvijati i upotrebljavati nakon II. svjetskog rata. Pa je tako sredinom 60-ih godina prošlog stoljeća došlo do povećanja primjene automata za zavarivanje. Isto tako, nekoliko godina kasnije došlo je do naglog razvoja računara i robotike te omogućilo izradu robotiziranih zavarivačkih stanica. Glavna komponenta tih stanica je robot s obično šest stepeni slobode gibanja. Na vrhu robota je montiran pištolj za zavarivanje. Potreban je i pozicioner sa steznim napravama za pričvršćivanje radnog komada. Isto tako, potreban je izvor struje te dobavljač žice uz još neku dodatnu opremu. Kao glavna upravljačka jedinica služi računar. Taj proces automatizacije koristi se kako bi se povećala produktivnost i omogućio kontinuiran i neprekidan rad. Često se tako roboti koriste da bi zamjenili čovjeka u „4D“ poslovima (eng. dangerous – opasno, dirty – prljavo, dummy – monotono, difficult – teško).⁹ Pored brojnih prednosti robotiziranog zavarivanja, javljaju se i neki problemi. Ponekad su prevelike tolerancije radnih komada koje treba zavariti, ne može se tačno pozicionirati složeni radni komad zbog većih dimenzija ili nekog drugog parametra za koji robot nije programiran. Pa se tako u tim situacijama zahtijevaju roboti više inteligencije sa senzorima ili u krajnjem slučaju ljudska ruka.

2.5. Glavne komponente robotskih stanica za MIG zavarivanje

Glavne komponente sistema za zavarivanje su:¹⁰

- robot za zavarivanje,
- izvor struje,
- upravljačka jedinica,
- privjesak za učenje – kontroler.



Slika 6. Osnovni sistem robotiziranog zavarivanja

⁹ Petrović V.: ELEKTROLUČNO ROBOTIZIRANO ZAVARIVANJE, Diplomski rad, Fakultet strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu, 2010

¹⁰ http://repozitorij.fsb.hr/8340/1/Kantolic_2018_zavrsni_preddiplomski.pdf

2.5.1. Robot za zavarivanje

Kako bi se odredio odgovarajući robot za zavarivanje potrebno je poznavati neke parametre preko kojih se bira. Naravno, sam izbor zavisi i od tipa zavarivanja. Na taj način prilikom nabavke robota možemo očitati iz njegovih karakteristika zahtijevane parametre poput nosivosti robota, tačnosti i slično. Parametri na koje moramo обратити pozornost su:¹¹

- broj osi – najpoželjnije da se radi o robotu koji ima šest stepeni slobode kretanja pa se tako prihvatinica na kojoj se nalazi pištolj za zavarivanje može dovesti u bilo koji položaj unutar radnog prostora.
- brzina kretanja – potrebno izvršiti izbor motora kako bi se dobila optimalna brzina. Treba uzeti u obzir da se zadatak obavi u što kraćem vremenu i sa što većom tačnošću.
- nosivost robota – govori koliko može biti maksimalno opterećenje robota, tj. najveća masa koju robot može prenijeti. To zavisi od strukture robota i o pogonskom dijelu. Masa tereta može se kretati od svega nekoliko kilograma do nekoliko tona.
- tačnost – mogućnost robota da dovede vrh manipulatora u neki položaj u radnom prostoru u odnosu na željeni položaj.
- ponovljivost – sposobnost da se vrh manipulatora dovede u istu poziciju. Neka tipična pogreška je 1 mm, a nastaje zbog nesavršenosti izrade zupčanika ili elastičnosti elemenata.
- doseg robota – maksimalna udaljenost između zglova i postolja (baze) robota koju ručni zglov može dosegnuti.



Slika 7. Robot za zavarivanje tvrtke ABB

¹¹ http://repozitorij.fsb.hr/8340/1/Kantolic_2018_zavrsni_preddiplomski.pdf

2.5.2. Izvori struje za zavarivanje

Kao izvori struje koriste se uređaji predviđeni za dovođenje struje koji su različitih specifikacija.U zavisnosti od unutrašnje građe struje (impuls, sinusoida...), o čemu zavisi izlazna struja, uređaji se dijele na:¹²

- transformatore,
- ispravljače,
- inverteure.

Također kako zavarivanje nije posao koji se uvijek fiksno obavlja na jednom mjestu, izvori struje se osim na električnu mrežu mogu i priključiti na motore s unutrašnjim izgaranjem s generatorom (agregat za struju). Izbor izvora struje se vrši na temelju željene struje na izlazu kao i njenih svojstava. U današnje vrijeme se kao izvori struje za MAG zavarivanje najviše koriste inverteri. Za razliku od transformatora i ispravljača lakši su i pogodniji za upotrebu. Inverteri proizvode istosmjernu ili visokofrekventnu pulsirajuću struju. Specifično je to što se prilikom pretvaranja struje iz istosmjerne u izmjeničnu povećava njena frekvencija (s 50 Hz na 5-50 kHz). Isto tako, uz inverter je potreban i manji transformator koji tada dobijenu struju svodi na potreбni napon i jačinu struje. Velika prednost je i ta što su gubici u željeznoj jezgri kod manjeg transformatora manji u odnosu na tipične transformatore, pa je stepen djelovanja transformatora veći, a time se povećava i efikasnost inverteera kao izvora struje. Također inverteri imaju mogućnost promjene parametara zavarivanja u realnom vremenu, brže vrijeme reakcije u odnosu na transformatore i ispravljače te odličan omjer jakosti i gustoće struje.



Slika 8. Inverter

¹² Kralj S., Kožuh Z., Andrić Š.: ZAVARIVAČKI I SRODNI POSTUPCI, Fakultet strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu, 2015

2.5.3. Računr i upravljačka ploča

Svaki složeni sistem mora imati omogućeno upravljanje i nadzor. Upravo se računar koristi za upravljanje procesima i senzorima automatiziranog zavarivanja robotom. Računar ima centralnu procesorsku jedinicu u kojoj se pohranjuju i prikupljaju podaci. Na računar se spaja upravljačka ploča ili privjesak za učenje preko kojeg se vrši određeno podešavanje parametara zavarivanja, operacije s datotekama, izvođenje napisanih programa i slično. Također sadrži i tipke za prebacivanje između ručnog i automatskog režima rada kao i hitno zaustavljanje trenutne operacije. Isto tako, jedan od korisnih parametara je da se brzina u toku izvođenja može podešavati tako da bude 0-100 % referentne brzine kako bi se lakše mogao pratiti tok izvođenja operacije.



Slika 9. Privjesak za učenje ili kontroler

2.6. Programiranje robota za zavarivanje

Programiranje robota se često još naziva učenje robota. Obično se zahtijeva programiranje za obavljanje složenih i teških zadataka, gdje su putanje robota izrazito nelinearne. Osnovne metode programiranja su *on-line* metoda, *off-line* metoda i hibridna metoda programiranja.¹³

2.6.1. On-line programiranje

On-line programiranje obilježava to što se vrši direktno na radnom mjestu robota. Obavlja se na način, da se pomoću tipki za smjer na privjesku za učenje pomjera robot, tj. njegovi zglobovi na mjesta zavara. Tada se te koordinate pohranjuju u memoriju i zajedno sa parametrima zavarivanja čine program.

¹³ http://repozitorij.fsb.hr/928/1/18_03_2010_Vedran_Petrovic_Diplomski_rad.pdf

Izvođenjem tog programa, robot se kreće i obavlja zadanu radnju po putanji označenoj zadanim tačkama i primjenjujući zadane parametre kretanja i zavarivanja. Velika prednost te metode je što zahtijeva dobro uvježbani radni kadar koji ne treba biti visokokvalificiran na području robotike, ali isto tako mora biti upoznat s postupkom zavarivanja kao i izborom parametara za što bolju izvedbu. Nedostatak je što je manja produktivnost, tj. zavarivačka stanica nije aktivna tokom programiranja. Često je potrebno testiranje programa i ispravljanje eventualnih greški, pa takvo programiranje zahtjeva veće serije i nije podložno promjenama proizvodnog programa.

2.6.2. *Off-line* programiranje

Off-line programiranje se izvodi na mjestu neovisnom o robotu. Kod programiranja robota oni nesmetano obavljaju svoju funkciju. Kako radni komad nije uvek fiksiran na definisanom položaju (često se kreće), potrebna je grafička *off-line* simulacija izvođenja programa. Simulacija omogućava optimizaciju projektovanja robotske stanice te cijelog ili samo dijela procesa koji se odvija. Sam smisao *off-line* programiranja jest da se izvodi što više tehničkih procesa u što kraćem vremenu na nekom radnom mjestu neovisnom od proizvodnje. Takva vrsta programiranja zahtijeva stručnije kadrove u odnosu na *on-line*, jer moraju poznavati rad s CAD softverom i osnove programiranja u nekom programskom jeziku. Velika prednost je što *off-line* programiranjem se postižu velike uštede u vremenu, smanjuju se pogreške, i može se obavljati neovisno o radnom mjestu rada. U odnosu na *on-line* programiranje gdje su male serije neprihvatljive, *off-line* metoda upravo služi za takve serije.

2.6.3. Hibridna metoda programiranja

Kako su cijene softvera za *off-line* programiranje vrlo visoke te kod *on-line* programiranja dolazi do zastoja u proizvodnji, često se koristi hibridna ili miješana metoda programiranja. Osnovna karakteristika je da se dio programa vezan uz operacijski tok izvodi *off-line*, dok se dio programa vezan za izbor tačaka u prostoru izvodi *on-line*. Robot se ručno dovodi u željene tačke potrebne za izvođenje operacije te im zapamti položaje. Nakon toga se na računaru koje može, ali i ne mora biti spojeno s robotom, uz zapamćene položaje, izrađuje program. Takva metoda je prikladna za zavarivanje srednjih serija radnog komada, a upotrebljava se za stvaranje baza podataka za robotizirano zavarivanje.

2.7. Ostale komponente robotskih stanica za MIG zavarivanje

2.7.1. Uredaj za pozicioniranje

Uredaj za pozicioniranje koristi se za manipulaciju radnih komada tokom zavarivanja. Mora omogućiti jednostavno stezanje radnih komada, njihovo umetanje kao i izuzimanje istih. Također geometrija samog uređaja mora biti prilagođena robotu kako bi imao što jednostavniji pristup svim spojevima predviđenim za zavarivanje.

Pozicioneri su pogonjeni programabilnim servo motorom i rezolverom. Postoje različite izvedbe uređaja:

- pozicioner s jednim stepenom slobode gibanja,
- pozicioner s dva stepena slobode gibanja,
- orbitalni pozicioner,
- kombinacija izvođenja.

Same izvedbe uređaja za pozicioniranje zavise o geometriji objekta na kojem se izvršava zavarivanje i o izvedbi robota.



Slika 10. Jednoosni i dvoosni uređaji za pozicioniranje

2.7.2. Pištolj za zavarivanje

Izbor pištolja za zavarivanje zavisi od snage uređaja i načinu dovođenja elektrode. Glavne izvedbe koje se koriste su sa zračnim i vodenim hlađenjem. Kao granica preko koje se bira način hlađenja je struja oko 400 A, iznad toga se koristi vodeno hlađenje, dok ispod toga je dostatno i zračno hlađenje. Najizloženiji dio je vrh pištolja koji je izložen velikim mehaničkim i toplotnim naprezanjima. Kroz sam pištolj prolazi žičana elektroda, struja, upravljački signali, pa i rashladna tekućina ako je takva izvedba. Gledajući sam sistem robotskog zavarivanja, pištolji su potrošni materijal. Treba obratiti i pažnju da pištolji budu konstruirani tako da bude omogućeno što lakše rukovanje. Glavni potrošni dijelovi su plinska sapnica i kontaktna vodilica, pa im je izvedba takva da se lahko zamjenjuju.



Slika 11. Pištolj za zavarivanje

Kod MAG zavarivanja u zaštitnoj atmosferi, CO₂ zračno hlađeni pištolj se može preopteretiti jakošću struje, više nego kada se zavarivanje izvodi MIG postupkom u zaštitnoj atmosferi argona ili mješavine plina. Pištolj za zavarivanje se montira na robotsku prihvativnicu s pripadajućom montirnom rukom. Kao osiguranje od kolizije i nepredvidivih situacija prilikom zavarivanja koristi se spojka za zaštitu. Time se naravno i spriječava oštećenje skupe opreme za zavarivanje ako dođe do naljepljivanja žice.

2.7.3. Dodavač žice

Kako bi se zavarivanje vršilo neprekidno i sa što većom produktivnošću potrebno je u robotskom sistemu imati dodavač žice. On omogućava fleksibilnost u smislu da može zadovoljiti različite brzine dobave žice prilikom zavarivanja. U praksi se dodavač žice montira na robotsku ruku, ali odvojeno od izvora struje. Stoga je potrebno izvršiti kontrolu između regulacije robota, izvora struje i dodavača žice. Dodavač žice može biti podijeljen u dvije grupe:¹⁴

- dodavač s kontinuiranim dovođenjem žice,
- hladni dodavač žice.

Kod kontinuiranog dovođenja žice ona se koristi kao dio zavarivačkog kruga te tako prolazi kroz luk i čini zavar. Hladni dodavač žice se koristi kod TIG postupka i razlika je u tome što žica nije dio strujnog kruga, već se tali toplotom električnog luka.



Slika 12. Dodavač žice

¹⁴ <https://repository.ffri.uniri.hr/islandora/object/ffri%3A826/datastream/PDF/view>

2.7.4. Sistem za čišćenje pištolja

Kako je robotsko zavarivanje visoko automatiziran proces, potrebno je izvršiti povremeno čišćenje pištolja za zavarivanje. Tako se osigurava kvaliteta i pouzdan rad opreme za zavarivanje. Sistem se zapravo sastoje od raspršivača sredstva protiv rasprskavanja koji se nanosi na otvor pištolja. Isto tako sadrži i alate koji razvrtavaju sapnicu da bi se uklonile nakupljene kapljice rastaljene žice. Neki oblici imaju i rezač žice kako ne bi u dodir sa zavarom došla prevelika količina žice. Sistem se može podesiti na način da se automatski uključuje nakon nekog vremena.



Slika 13. Sistem za čišćenje pištolja

2.8. Senzori kod robotiziranog zavarivanja

Visoka automatizacija bilo kakvog procesa u današnje vrijeme zahtijeva primjenu senzora. Kod robota to posebno dolazi do izražaja zbog toga što se njihovim uvođenjem rješava problem visoke uređenosti okoline. Zadatak senzora je da mjeri određene parametre te pretvaranjem tih veličina u digitalni oblik šalje na računar pa se tako regulišu ostali parametri. Na taj način se proces zavarivanja reguliše po zadanim parametrima. Pad cijene senzora isto tako opravdava visoku uporabljivost u industriji.

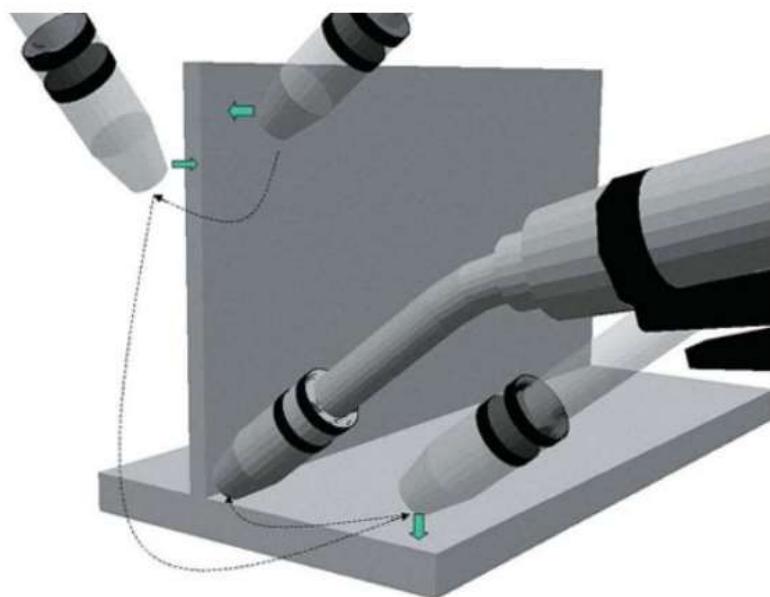
Najpoznatiji senzori koji se koriste kod zavarivanja su:¹⁵

- taktilni ili dodirni senzori,
- optički senzori,
- senzori električnog luka.

¹⁵http://repozitorij.fsb.hr/1300/1/30_03_2011_Livio_Bilic%2C_Primjena_elektricnog_luka_kao_senzora_u_robotiziranom_MAG_zavarivanju.pdf

2.8.1. Taktilni senzori

Taktilni senzori služe za detektiranje položaja mesta zavara preko žice za zavarivanje ili nekog drugog dijela. Na taj način se kretanje robota prilagođava pozicijama zavara koje se razlikuju zavisno o radnim komadima. Najčešće se vrši programiranje da se robot s pištoljem za zavarivanje malom brzinom približava komadu dok ga ne dotakne. Kako se u većini slučajeva traži samo digitalni povratni signal koriste se detektori blizine tzv. *proximity switch* ili neki drugi slični senzori koji su prilagođeni radu s opremom za taktilne senzore.

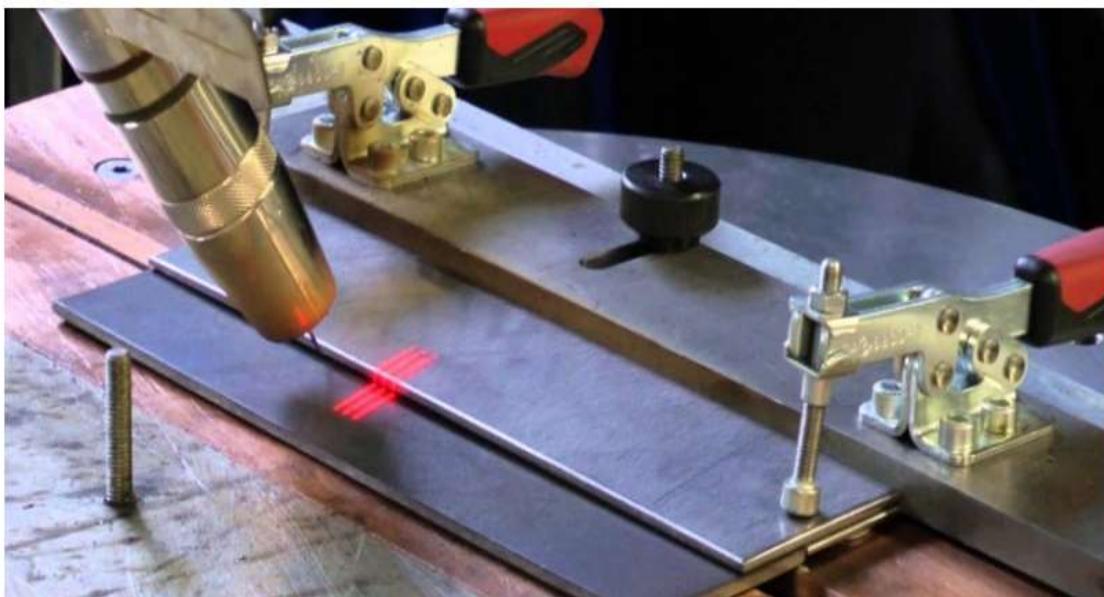


Slika 14. Taktilni senzor za detekciju radnog komada

Nedostatak ovakvih senzora je trošenje zbog neotpornosti senzora na zavarivačku okolinu gdje se razvija visoka temperatura, pa je zbog toga nakon određenog broja ciklusa potrebna zamjena senzora. Što se tiče funkcijeske strane, najveće ograničenje je to što se to detektiranje ne vrši u realnom vremenu. To znači da se prije zavarivanja određuje početak i kraj linije zavara te se te koordinate pohranjuju. Samo praćenje linije zavara tokom operacije se ne provodi, pa se tako robot ne može prilagoditi na naknadni pomak komada. Kod zavarivanja dužih radnih komada javljaju se toplotne deformacije, pa tačke koje su snimljene prije zavarivanja postaju beskorisne. Sa strane produktivnosti, vrijeme potrebno za traženje krajnjih i početnih tačaka može se produžiti do nekoliko desetaka sekundi ako se pretražuje u sve tri osi. Kako bi se to vrijeme smanjilo, minimizira se broj osi po kojima se pretražuju tačke. Velike prednosti taktičnih senzora su te što je jednostavne izvedbe i niske cijene.

2.8.2. Optički senzori

Kod zavarivanja robotom nekad je potrebno optički pratiti konturu zavara. Za to je potreban optički senzor koji se sastoji od CCD (eng. Charge Couple Device) kamere i odašiljača laserske zrake. U suštini senzor radi na način da se tokom gibanja pištolja laserske zrake emitiraju na radni komad te se reflektiraju na CCD kameru. Ti analogni signali se pretvaraju u digitalne iz kojih se definiraju geometrijski faktori spoja i vrši korekcija položaja i orientacije. Vrlo bitan proces kod detekcije je triangulacija koja se vrši u ravnini okomitoj na liniju zavarivanja. Tako dobivamo koordinatnu mrežu u obliku 2D koordinata. Samo praćenje zavara se izvodi s kompenzacijom izmjerениh greška položaja. Praćenje se vrši kroz nominalnu putanju zavara te čim se dobiva signal o odstupanju od te putanje, kontroler zadužen za to ispravlja smjer. On to čini tako da mijenja poziciju vrha pištolja, tzv. TCP (eng. Tool center point) uz konstantnu orijentaciju. Prednost tog postupka je da uz nominalnu pravocrtnu putanju, robot će izvršiti praćenje s malim promjenama, uz istu orijentaciju. Time se rješava problem s mogućim kolizijama i graničnim područjima zavara. Nedostatak je da putanja mora biti unaprijed definirana.



Slika 15. Praćenje zavara pomoću optičkog senzora

Prednosti optičkog senzora su visoka preciznost i ponovljivost. Tačnost laserskog očitanja CCD kamere je 0,1 mm. Pri tome treba uzeti u obzir da su sami laseri osjetljivi na djelovanje okoline. Laserski senzori su i poprilično skupi, pa se u njihovu zamjenu koriste i senzori električnog luka. Nedostaci su upravo navedena osjetljivost na okolinu, izrazito velika cijena i kompleksnost izvedbe. Također za obradu podataka potrebni su i skupi softveri.

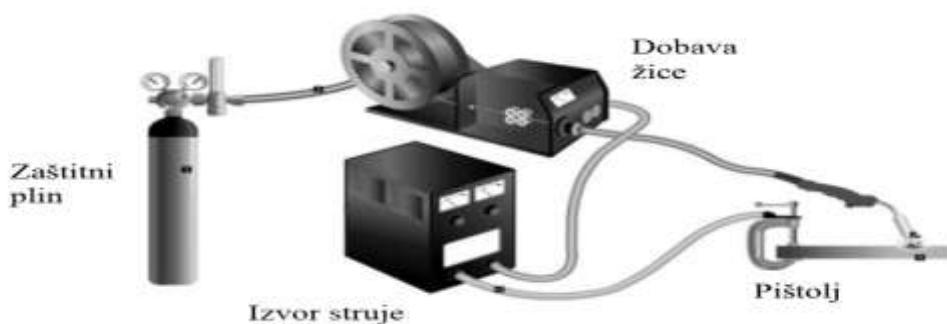
2.8.3. Senzori električnog luka

Senzori električnog luka se koriste u kombinaciji s taktilnim senzorima i slično kao i optički senzori omogućavaju izvođenje procesa u realnom vremenu, što znači da se traženje tačaka zavara vrši za vrijeme izvođenja operacije zavarivanja. Dakle pomoću njih se vrši kompenzacija putanjem zbog neочекivanih promjena. Početna tačka zavara se pronalazi pomoću taktilnih senzora, a za daljnje izvođenje se koriste senzori električnog luka. Tada je udaljenost između sapnice i radnog komada proporcionalna sa strujom u sistemima s konstantnim naponom, dok je duljina električnog luka proporcionalna s naponom luka. Senzori se koriste i u kombinaciji s metodom njihanja kod zavarivanja. Kada se luk pomiče prema drugoj strani zavara, smanji se udaljenost između sapnice i radnog komada pa dolazi i do skraćenja električnog luka. Tako se mijenjaju napon i struja zavarivanja. U računaru se očitavaju te promjene te se nastoje održati jednaki parametri na lijevoj i desnoj strani zavara tako da se automatski prilagodi unaprijed definirana putanja. Udaljenost između sapnice i radnog komada se održava konstantnom tako da se prate parametri struje i napona dok se luk pomjera od jedne do druge strane preko centra gdje je taj razmak najveći. Veliki nedostatak kod njih, jest upravo taj da se mogu koristi samo u kombinaciji s njihanjem. Zbog toga se ovi senzori ne upotrebljavaju kod radnih komada manje debljine, jer mala širina zavara onemogućava upotrebu njihanja. U primjeni imamo dvije vrste električnog luka: oscilirajući i rotirajući.

3. MAG ZAVARIVANJE

3.1. MAG postupak zavarivanja

Kod ovakvog postupka zavarivanja električni luk se održava između taljive, kontinuirane elektrode u obliku žice, u pravilu spojene na plus pol istosmjernog izvora struje. Proses se odvija u zaštitnoj atmosferi koju osiguravaju aktivni plinovi (CO_2 i mješavine). MAG (eng. Metal active gas)¹⁶ postupak se izvršava u zaštitnoj atmosferi aktivnog plina.



Slika 16. Shematski prikaz MAG zavarivanja

¹⁶ <http://www.zavarivanje.info/cd/11940/zavarivanje-moderni-postupci-mig-mag-tig-rel-autogeno>

Pogonski sistem dodaje žicu konstantnom brzinom kroz cijevni paket i pištolj u električni luk. Žica je istovremeno i elektroda i dodatni materijal, to jest njenim taljenjem se popunjava pripremljeni žlijeb. Postupak može biti poluautomatski gdje je dodavanje žice mehanizirano, a vođenje pištolja ručno. Drugi način je da je pištolj pokretan nekim mehanizmom, ili je on nepomičan, ali je zato radni komad pomican. Kad se zavarivanje vrši na udaljenosti većoj od 5 m od izvora struje, obično se primjenjuje dodatni pogon za dodavanje žice smješten u samom pištolju. To se naziva *push - pull* sistem. Primjena toga sistema sprječava gužvanje žice unutar cijevnog vodiča. Zaštitni plinovi koji se koriste kod ovog postupka štite rastaljeni metal od utjecaja okolne atmosfere, a dovode se na mjesto zavarivanja kroz posebnu sapnicu na pištolju, koja se nalazi oko kontaktne cjevcice. Ionizacijom plina osigurava se vodljivi prostor za održavanje električnog luka. Ako se zavaruju nelegirani konstrukcijski čelici, moguća je primjena aktivnih plinova (čistog CO₂ ili mješavina Ar/CO₂/O₂). Kod zavarivanja u takvoj atmosferi dolazi do reakcije između CO₂ i rastaljenog metala. CO₂ je inertan pri nižim temperaturama, ali se iznad 1600 °C disocira u ugljični monoksid (CO) i slobodni kisik koji tada reagira s rastaljenim metalom. Štetno djelovanje oksida pri zavarivanju konstrukcijskih čelika može se uspješno spriječiti legiranjem dodatnog materijala s Mn i Si.

Prednosti MAG postupka:¹⁷

- primjenjiv za zavarivanje svih vrsta materijala,
- mogućnost primjene različitih plinskih mješavina,
- velika mogućnost izbora parametra i načina prijenosa luka,
- moguće primijeniti praškom punjene žice,
- široki raspon debljina,
- pogodan za automatizaciju.

Nedostaci MAG postupka:¹⁸

- problem zaplitanja kod dovođenja žice,
- uslijed krivog izbora tehnike rada i parametara zavarivanja veći broj grešaka,
- kod rada na terenu javljaju se greške zbog loše zaštite (utjecaj vjetra),
- složeniji uređaji u sklopu (automatska regulacija, dovođenje žice),
- rasprskavanje kod zavarivanja kratkim spojevima.

¹⁷ Ptičar M.: Robotizirano MAG zavarivanje dupleks čelika, Diplomski rad, Fakultet strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu, 2017., str. 34

¹⁸ Ibid., str. 35.;

3.2. Parametri MAG zavarivanja

Pravilan izbor parametra kod zavarivanja je jedan od najutjecajnijih faktora o kojem zavisi kvalitet izvedenog zavara. Na kvalitet zavara kod MAG zavarivanja najviše utječu:¹⁹

- struja zavarivanja,
- brzina zavarivanja,
- slobodni kraj žice,
- induktivitet,
- napon električnog luka,
- protok zaštitnog plina,
- tehnika rada,
- položaj zavarivanja.

Podešavanjem navedenih parametara reguliše se prijenos metala u električnom luku što direktno utječe na kvalitetu zavarenog spoja.

3.2.1. Struja zavarivanja

Izvori struje za zavarivanje su takvi uređaji koji daju na mjestu zavarivanja električnu struju sa karakteristikama pogodnim za zavarivanje. Najčešće se koristi napajanje sa konstantnom jačinom struje i drugi tip, napajanje sa konstantnim naponom. Od struje zavarivanja zavise: stabilnost luka, penetracija, količina taline i brzina zavarivanja. Na jakost struje utječe promjer žice zavarivanja, položaj zavarivanja te vrsta materijala.

3.2.2. Napon električnog luka

Od napona zavarivanja zavisi: način prijenosa metala u električnom luku, stabilnost električnog luka te njegova duljina i širina. Duljina luka je proporcionalna naponu. Dalji električni luk zahtijeva veći napon što rezultira širim zavarom i manjom penetracijom. Savremeni izvori struje regulišu odnos napona i jakosti struje na temelju ravne karakteristike pa se pri unosu parametara za MAG zavarivanje najčešće podešava samo jedan od tih parametara. Većinom se unosi struja zavarivanja ili brzina dovođenja žice, a napon se tada automatski podešava preko sinergijskih krivulja.

3.2.3. Brzina zavarivanja

Pod brzinom zavarivanja se podrazumijeva brzina kojom se električni luk pomjera po liniji spajanja. U općem slučaju, brzina zavarivanja je određena jačinom struje i položajem zavarivanja. S promjenom brzine u odnosu na brzinu pri kojoj se postiže maksimalno uvarivanje, dubina uvarivanja će opadati i rastop će biti uži i širi, zavisno od toga da li se

¹⁹ Ptičar M.: Robotizirano MAG zavarivanje dupleks čelika, Diplomski rad, Fakultet strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu, 2017., str. 38

3.2.6. Protok zaštitnog plina

Kao i svi prethodni parametri tako i ovaj ima utjecaj na sami zavar. Zaštitni plin ima veliki utjecaj na kvalitetu samog zavara pa je bitan pravilan izbor. Osim pravilnog izbora i vrste plina utjecaj ima i sam njihov protok kroz cijevi od boce preko pištolja do mesta zavara. Protok samog plina zavisi od vrste spoja, položaja i brzine zavarivanja, oblika i dimenzija žlijeba, jačine struje, napona električnog luka i promjera žice. Nepravilnim izborom plina, ali i protokom može doći do grešaka u zavarenom spoju. Zaštitni plin služi za zaštitu područja zavara od reakcija s okolnom atmosferom te tako direktno utječe na oblik profila zavara, brzinu zavarivanja i na stabilnost električnog luka. Uslijed povećanja jakosti struje obavezno se mora povećati protok zaštitnog plina kako bi se smanjila mogućnost od pojave grešaka u zavaru.

3.2.7. Položaj zavarivanja

Položaj zavarivanja tj. nagib pištolja u odnosu na radni komad i smjer zavarivanja imaju utjecaj na oblik, ali i kvalitetu samog zavara. U zavisnosti od položaja zavarivanja primjenjuju se i različiti prijenosi metala. Kod horizontalnog i vodoravnog položaja to su štrcajući i prijelazni, dok se kod ostalih položaja primjenjuje prijenos kratkim spojevima i impulsni prijenos metala. Kod prisilnih položaja koriste se elektrodne žice manjih promjera.

3.2.8. Tehnika rada

Dok govorimo o samoj tehnici zavarivanja, odnosno o smjeru gibanja postoje tri osnovna načina:²²

- desna tehnika,
- vertikalna,
- lijeva tehnika.

Kada se koristi desna tehnika zavarivanja postižu se uži zavari i veće penetracije. Ta tehnika pogodna je za deblje materijale te se ona još naziva i tehnikom zavarivanja unazad. Druga tehnika zavarivanja je vertikalna. Ta tehnika zavarivanja daje širi zavar i srednju penetraciju. Dok treća tehnika, lijeva tehnika zavarivanja daje širi zavar i manju penetraciju. Pogodna je za zavarivanje tanjih materijala. Naziv za tu tehniku je i tehnika zavarivanja unaprijed.

²² <https://repozitorij.unin.hr/islandora/object/unin:829/preview>

3.3. Prijenos metala u električnom luku

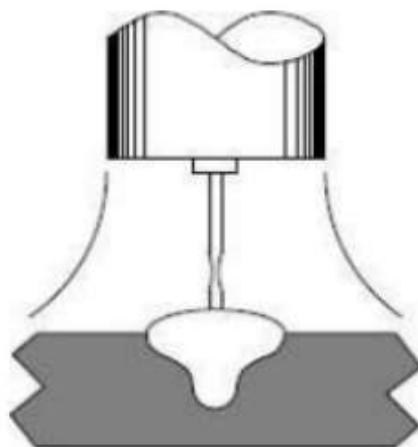
Kod klasičnog MAG zavarivanja postoje četiri osnovna načina prijenosa metala u električnom luku.²³

- prijenos metala kratkim spojevima,
- prijenos metala štrecajućim lukom,
- prijenos metala prijelaznim lukom,
- prijenos metala impulsnim lukom.

Dobro poznavanje procesa prijenosa metala je bitno kako bi se postigla visoka kvaliteta i produktivnost zavarivanja. Metode prijenosa metala zavise od jakosti struje, naponu električnog luka, vrsti dodatnog materijala i promjeru žice te o vrsti zaštitnog plina ili plinske mješavine.

3.3.1. Prijenos metala kratkim spojevima

Prijenos metala kratkim spojevima je način prijenosa pri kojem se kontinuirano dobavlja žica tali uslijed kratkih spojeva elektrode (žice) i osnovnog materijala ili taline. Tako se otapanjem žice počinje formirati kapljica koja napreduje prema osnovnom materijalu. Kod dodira kapljice i materijala stvara se kratki spoj. Nakon toga strujni krug se prekida i formira se nova kapljica čime ciklus započinje ispočetka.



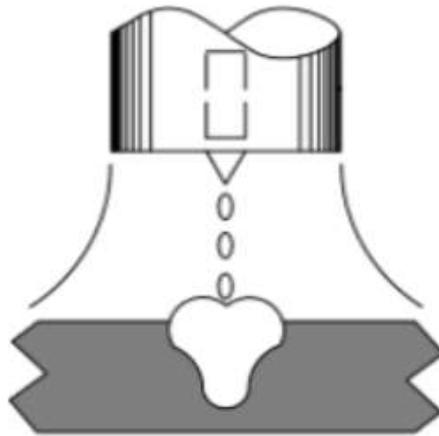
Slika 17. Prijenos metala kratkim spojevima

²³ Ptčar M.: Robotizirano MAG zavarivanje dupleks čelika, Diplomski rad, Fakultet strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu, 2017, str 60

Kod takvog prijenosa koriste se male struje zavarivanja (50 – 170 A), mali naponi (13 – 21 V) i mali promjeri žice. Zbog niskog unosa toplote, takav način prijenosa metala je pogodan za zavarivanje tanjih materijala (do 5 mm) i za zavarivanje korijenskog prolaza kod cjevovoda. Prednosti ovog načina prijenosa su: male deformacije kao posljedica niskog unosa toplote, visoka iskoristivost elektrode. Također, pogodan je za zavarivanje u svim položajima. Kao nedostaci se mogu navesti nedovoljna penetracija i rasprskavanje ako postupak nije u kontroliranim uvjetima.

3.3.2. Prijenos metala štrcajućim lukom

Prijenos metala štrcajućim lukom je način prijenosa metala kod kojeg je specifično to da se vrši velik unos toplote. Pri tome se kontinuirano dobavljava žica tali i u obliku malih kapljica koje slobodnim letom putuju duž električnog luka pri čemu ni u jednome trenutku ne dodiruju radni komad. Ovaj način prijenosa zavisi od debljine radnog materijala i od položaja zavarivanja. Parametri zavarivanja su nešto veći u odnosu na ostale načine (200 – 600 A, 25 - 40 V). Prednosti ovog načina su: visoka iskorištenost elektrode, velik izbor materijala koji se može zavariti, širok raspon debljine žice, nema rasprskavanja i time dodatnog čišćenja te visokoautomatiziran proces i estetski uredan zavar.

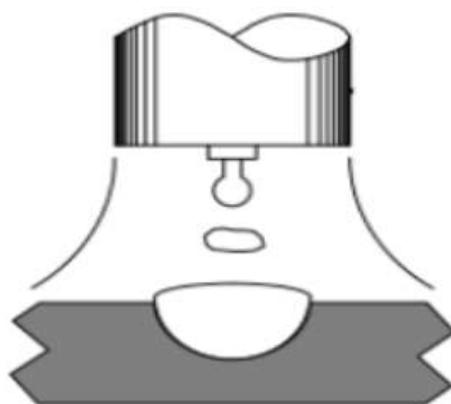


Slika 18. Prijenos metala štrcajućim lukom

3.3.3. Prijenos metala prijelaznim lukom

Kod ove vrste prijenosa pojavljuje se prijenos štrcajućim lukom, ali se ponekad pojavi jedan ili više kratkih spojeva. Struje zavarivanja su 170 – 240 A te napon 22 – 25 V što ima za posljedicu veće kapljice unutar luka koje se nepravilno odvajaju i padaju u talinu pri čemu uzrokuju rasprskavanje. Nedostaci ovog prijenosa su: ograničena debljina zavarivanja, skupa naknada zbog rasprskavanja, mala iskorištenost elektrode te neki položaji zavarivanja su ograničeni.

Zbog velikog broja nedostataka, ovaj način prijenosa se izbjegava.



Slika 19. Prijenos metala prijelaznim lukom

3.3.4. Prijenos metala impulsnim lukom

Prethodno navedeni načini prijenosa metala pripadaju u tzv. prirodni prijenos metala. U današnje vrijeme sve se više koristi prijenos metala upravljanjem djelovanjem impulsnih električnih sila (impulsni luk). Impulsni luk se postiže samo u zaštitnom plinu argona ili mješavinama sadržanim argonom. Ovaj način prijenosa posebno je pogodan za zavarivanje aluminija, bakra i CrNi čelika. Za impulsne uređaje za zavarivanje karakteristični su strujni impulsi određene frekvencije i trajanja. Osnovna jakost struje tali vrh elektrode, a kap se otkida i prenosi strujnim impulsom. Tako se mogu na kvalitetan način zavarivati tanki materijali. Frekvencija impulsa, a samim time i broj kapljica, se može proizvoljno podešavati. Prednosti impulsnog prijenosa su: jednoličan zavar, nema rasprskavanja, stabilan električni luk, primjena žica većih promjera za tanje materijale i nema ograničenja u položaju zavarivanja.

3.4. Uloga zaštitnih plinova pri MAG zavarivanju

Mjesto zavarivanja i kapljice rastaljenog metala za vrijeme leta kroz električni luk i talina moraju se zaštiti od djelovanja okolne atmosfere. Postoji mogućnost čitavog niza aktivnih plinova i njihovih mješavina. Poznavanje utjecaja zaštitnih plinova je neophodno da bi se moglo ocijeniti njihovo djelovanje. Tri su osnovna parametra za razumijevanje svojstava zaštitnih plinova: ionizacijski potencijal, toplotna vodljivost i reaktivnost plina.

Funkcije zaštitnog plina pri zavarivanju su:

- definisanje oblika i strukture električnog luka,
- zaštita procesa i rastaljenog metala od okolnog zraka,
- određivanje načina prijenosa materijala,
- utjecaj na hemijski sastav zavarenog spoja,
- definisanje izgleda i geometrijskog oblika zavarenog spoja,
- utjecaj na mehanička svojstva zavarenog spoja.

Prema tabeli 2. možemo vidjeti svojstva zaštitnih plinova i njihovih mješavina kod MAG zavarivanja.

Tabela 2. Zaštitni plinovi i njihove mješavine kod MAG zavarivanja

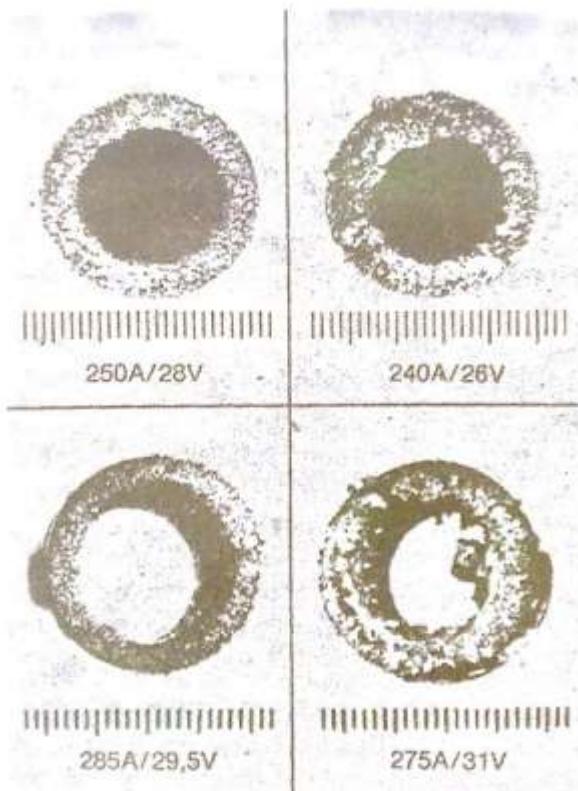
VRSTA ZAŠTITNOG PLINA	SVOJSTVA
Ar + O ₂	koristi se za visokolegirane i niskolegirane čelike
	reakcija plinske atmosfere s rastaljenim metalom je oksidirajuća
	penetracija je uska i duboka
	napon el. luka je niski, a stabilnost je dobra
Ar + CO ₂	O ₂ smanjuje površinsku napetost rastaljenog metala, time usitnjuje kapljice i pospješuje prijenos metala; smanjuje nadvišenje i poboljšava penetraciju
	koristi se za visokolegirane, niskolegirane i nelegirane čelike
	reakcija plinske atmosfere s rastaljenim metalom je oksidirajuća
	penetracija je vrlo duboka
Ar + CO ₂ + O ₂	napon el. luka je srednji, a stabilnost je dobra
	O ₂ pospješuje prijenos metala u sitnim kapljicama, smanjuje nadvišenje i općenito mješavine daju optimalni izgled zavara
	koristi se za nelegirane i niskolegirane čelike
	reakcija plinske atmosfere s rastaljenim metalom je oksidirajuća
CO ₂	penetracija je vrlo duboka
	napon el. luka je srednji, a stabilnost je dobra
	O ₂ pospješuje prijenos metala u sitnim kapljicama, smanjuje nadvišenje i općenito mješavine daju optimalni izgled zavara
	koristi se za nelegirane i konstruktivne čelike
	reakcija plinske atmosfere s rastaljenim metalom je ponekad oksidirajuća
	penetracija je vrlo duboka
	napon el. luka je srednji, a stabilnost je dobra
	Vrlo jeftin plin, a daje zadovoljavajuće rezultate i prijenosu metala štrcajućim lukom i kratkim spojevima; moguća mješavina CO ₂ + O ₂

3.5. Žice za MAG zavarivanje

Izbor žice za zavarivanje zavisi od mnogih parametra, a glavni su cijena, kvaliteta, produktivnost, zaštitni plin, materijal i debljina radnog komada. Postoje vrlo kvalitetne žice koje se proizvode u strogo kontroliranim uvjetima i nemaju nečistoća, ali su skupe. S druge strane, postoje i jeftinije žice koje se proizvode iz rude ili recikliranjem čelika, ali su slabije kvalitete i produktivnosti. Od kupca zavisi kakve će žice kupiti, obzirom na cijenu i na željenu (ili traženu) kvalitetu zavara, odnosno konačnog proizvoda. Kod MAG zavarivanja najčešće se koriste pune žice promjera od 0,6 mm do 2,4 mm. Žice od čeličnih materijala su pobakrene ili poniklane zbog boljeg električnog kontakta i zaštite od koroze. Površina žice mora biti glatka, dimenzija vrlo tačna i mora biti pravilno namotana na kolutove koji se postavljuju u uređaj za dodavanje. Osim punih žica koriste se i žice koje su punjene praškom. Takve žice mogu imati razne presjeke, u zavisnosti od načina proizvodnje. Koriste se uz plinsku zaštitu, a postoje žice koje same stvaraju zaštitnu atmosferu raspadanjem jezgre, pa se ne zahtjeva dodatna zaštita plinom.

3.6. Čimbenici pri automatiziranom i robotiziranom zavarivanju

Obzirom na prije spomenute fizikalne karakteristike pojedinih plinova i njihov utjecaj na geometriju i svojstva električnog luka, izbor odgovarajuće plinske mješavine je od velike važnosti. Naime, kod automatiziranog i robotiziranog zavarivanja, iako se parametri tačnije održavaju nego ako zavarivanje izvodi čovjek, granice upravljanja su ipak uže. Razlog tome je što čovjek može uspješnije kompenzirati netočnosti i nepredviđene okolnosti. Izborom sastava plinske mješavine za zaštitu moguće je u potrebnom omjeru kombinovati svojstva pojedinih sastavnih dijelova mješavine tako da rezultirajuća mješavina ima optimalna svojstva za zadane uvjete. Da bi se ostvarila penetracija materijala u određenom zaštitnom plinu ili mješavini ponekad je potrebno postići vrlo visoke temperature. U samom tehnološkom procesu to znači da se operacija predgrijavanja, koja uzima vrijeme i nije naročito pogodna u robotskim i automatiziranim uređajima zbog toplotnih zračenja može izostaviti primjenom odgovarajućeg zaštitnog plina. Otežavajuću okolnost predstavlja strujanje zraka u zoni zavarivanja koje može ozbiljno narušiti zaštitnu atmosferu. Velik problem je i naljepljivanje kapljica kod robotiziranih i automatiziranih postrojenja jer izazivaju potrebu zastoja i čišćenja sapnice pištolja u inače kontinuiranom procesu zavarivanja. Neophodno je da se u robotiziranom postrojenju vrši automatsko čišćenje sapnice nakon određenog vremena. Na slici 20. je prikazana sapnica koja se koristila u robotiziranom zavarivanju. Može se vidjeti kakav je utjecaj zaštitnog plina na naljepljivanje. Lijevi dio je uz primjenu plinske mješavine, a desni uz čisti CO₂. Isto tako ispod toga je prikazana sapnica nakon nekoliko minuta rada. Samo čišćenje se vrši propuhivanjem zraka kroz sapnicu ili se u robotskom programu predviđa prolaz ruke robota do posebnog alata za čišćenje, gdje robot oponašajući čovjeka s nekoliko rotacijskih pokreta skida nakupljene kapljice. U slučaju primjene komprimiranog zraka, on se uvodi u instalaciju zaštitnog plina neposredno ispred pištolja, a tom prilikom se i sapnica presvuče slojem sredstva protiv naljepljivanja kapljica.



Slika 20. Izgled sapnice kod pojave naljepljivanja

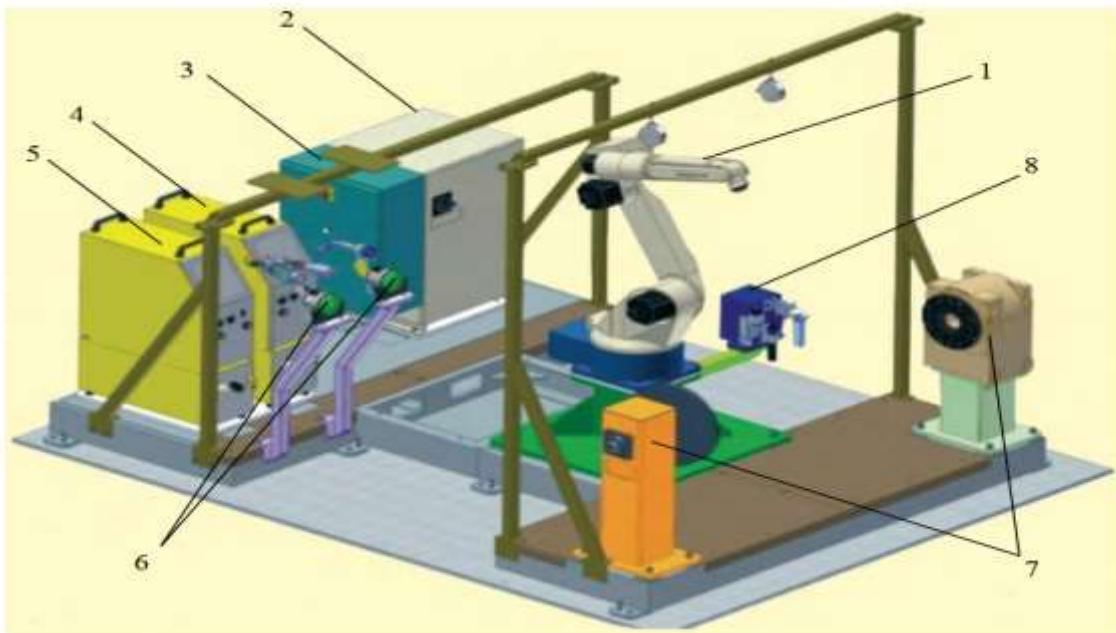
Posebno se treba osvrnuti na problem naljepljivanja kapljica na radni komad, što zahtjeva dodatne operacije čišćenja i smeta estetskom izgledu zavara. Nerijetko je da čišćenje traje dulje od samog zavarivanja.

4. ROBOTSKA STANICA VRC-1G MIG + 1G TIG/1dm

Zavarivačka robotska stanica se sastoji više neophodnih komponenti. Sama konfiguracija je izvedena tako da se programiranje i zavarivanje izvrše čim jednostavnije i u najkraćem mogućem vremenu. Također, položaj određenih komponenti je najviše uvjetovan radnom okolinom robota. Dakle, treba biti ispoštovan uvjet da robot, prema svojim specifikacijama, može postići najveći maksimalni doseg bez nailaženja na prepreke.

4.1. Konfiguracija robotske stанице

Na slici 21. prikazana je opća shema konfiguracije robota VRC-1G MIG + 1G TIG/1dm. Naravno položaj određenih komponenti ne mora biti strogo određen, već zavisi od radnog mjesto. Ipak poželjno je pridržavati se položaja i rasporeda kako je naveden shemom.



Slika 21. Konfiguracija zavarivačke stanice

Zavarivačka robotska stanica se sastoji od:²⁴

1. robota za zavarivanje OTC Almega AX-V6,
2. električne jedinice (napajanja upravljačkog dijela),
3. upravljačke jedinice,
4. izvora struje MIG/MAG DP400,
5. izvora struje TIG DP300,
6. sistema za automatsku izmjenu pištolja,
7. pozicionera P250V ROBO,
8. uređaj za čišćenje sapnice i nanošenja sredstva protiv naljepljivanja te rezanja žice.

Osim navedenih komponenti, također se još u sustavu nalazi privjesak za učenje pomoću kojeg se programira robot. Isto tako u neposrednoj blizini nalazi se i izvor plina za zavarivanje te ugrađeni senzor električnog luka. U sistem je integrirana i Synchromotion funkcija koja osigurava konstantnu brzinu zavarivanja i nagib pištolja pri zavarivanju složenih oblika i proizvoda. Isto tako objedinjuje složeno gibanje robota i pozicionera. U sistemu se nalaze i dva izvora struje za zavarivanje MIG/MAG DP 400 i TIG DP300 pri čemu je izmjena pištolja i način zavarivanja automatski. Kako je jedan od većih nedostataka kod robotiziranog zavarivanja naljepljivanje kapljica, potrebno je imati ugrađen alat za čišćenje sapnice pištolja.

²⁴ ZAVARIVAČKA ROBOTSKA STANICA VRC-1G MIG + 1G TIG/1dm
http://www.varstroj.si/shared_files/Katalogi/katalog_2012_arv_slo.pdf

Ugrađuje se i senzor za praćenje spoja pri zavarivanju koji reguliše putanju gibanja na osnovu napona električnog luka. Poželjno je i imati ugrađeni *shock* senzor koji u slučaju kolizije pištolja i radnog komada, sprječava daljnje kretanje po putanji robota kako ne bi došlo do većeg oštećenja.



Slika 22. Konfiguracija robotske stanice u Laboratoriju za zavarivanje

4.2. Robot OTC Almega AX-V6

Najvažnija karakteristika robota je njegova kinematička struktura. AX-V6²⁵ je revolutne strukture, što znači da ima šest rotacijskih stepeni slobode gibanja. Upravo ta struktura mu omogućava potpuno pozicioniranje i orientaciju pištolja za zavarivanje unutar radnog prostora. Robot se sastoji od sljedećih komponenti:

- postolje,
- rotacijska glava,
- donja ruka,
- gornja ruka,
- zglob šake za prihvatanje,
- AX kontroler (privjesak za učenje),
- dodatna oprema.

²⁵ ALMEGA AX-V6 STANDARD SPECIFICATION http://www.justok.com.tw/Lfile/M201/OTC_AX-V6.pdf

Robota karakterizira relativno mala nosivost od 6 kg i uz mogućnost konvencionalnog stajaćeg položaja, može se izvršiti ugradnja na neku konstrukciju tako da je robot montiran u visećem položaju. Iznimno je visoke tačnosti od čak 0,08 mm. Pogoni se izmjeničnim servo motorom te se položaji zglobova određuju preko apsolutnog enkodera koji očitava ugaoni zakret.



Slika 23. Robot za zavarivanje Almega AX-V6

4.3. Privjesak za učenje AX-C

Kako bi se robot programirao, potreban je privjesak za učenje. Uz robot Almega AX-V6 dobiva se AX-C kontroler. Preko njega se uz programiranje vrši unos parametara zavarivanja. Što se tiče samog softvera, kontroler je baziran na prilagođenom Windows NT sučelju, pa je proces učenja robota nešto intuitivniji. Također ima ugrađen *help tutorial* pomoću kojeg se svaki korak i naredba mogu pojasniti. Jedan privjesak za učenje je sposoban upravljati do 54 osi i 9 zasebnih mehanizama što znači da se njime može upravljati do 6 robota. Moguće je unijeti 160 000 tačaka za učenje, a broj kontrolnih ulaza i izlaza se maksimalno može povećati na 64. U većem postrojenju moguće je i umrežavanje za sinkronizaciju pojedinih kontrolera.



Slika 24. Privjesak za učenje AX-C

4.4. Izvori struje

Kod navedene konfiguracije robota postoje dva izvora struje, jedan kad se vrši MIG/MAG zavarivanje, drugi kad se vrši TIG zavarivanje. Kako će se promijeniti način zavarivanja, tako se automatski mijenja izvor struje. Na slici 25. Prikazan je OTC Daihen Varstroj DP400²⁶ koji je potpuno integriran u robotski sustav preko komunikacijske sabirnice.

²⁶ Šurina T., Crneković M.: INDUSTRIALNI ROBOTI, Školska knjiga Zagreb, 2002

Maksimalna izlazna struja je 400 A, dok je nazivni napon 34 V. Drugi izvor za zavarivanje je OTC Daihen Varstroj DA300, ali on se ne koristi pošto nas zanima samo MAG zavarivanje.



Slika 25. Varstroj DP400

4.5. Ostala oprema

Osim navedenih komponenti, bitan dio sačinjava i dodavač žice. Koristi se OTC Daihen CM- 7401 poluautomatski dodavač žice. Brzina dobave žice je 22 m/min, a u zavisnosti od materijala, promjeri žica su 0,6 – 1,6 mm.



Slika 26. Varstroj dodavač žice CM-7401

Električka i upravljačka jedinica služe za obavljanje osnovnih operacija kao što su uključivanja motora, zaustavljanje trenutne operacije, hitno zaustavljanje, prebacivanje između automatskog režima i režima za učenje itd.



Slika 27. Električka i upravljačka jedinica AX-C

Radni komad se nalazi pričvršćen na pozicioner koji se pomiče oko jedne osi u svrhu da bi se načinio što povoljniji žlijeb za zavarivanje.



Slika 28. Pozicioner P250V ROBO

Za MAG zavarivanje posebno je i bitan plin za zavarivanje. U Laboratoriju se koristi argon koji štiti električni luk od djelovanja okolne atmosfere. Kod korištenja argona postiže se veća penetracija, a i stabilnost luka je zadovoljavajuća.



Slika 29. Plinske boce zaštitnog plina argona

Važan dio opreme jest i sklop za čišćenje pištolja. Osim za čišćenje pištolja, uređaj služi i rezanje žice, razvrtavanje sapnice kao i za rapršivanje sredstva protiv rasprskavanja. Velika odlika je ta što se može podesiti vremensko razdoblje u kojem je sklop aktiviran u odnosu na obavljanje operacije zavarivanja.

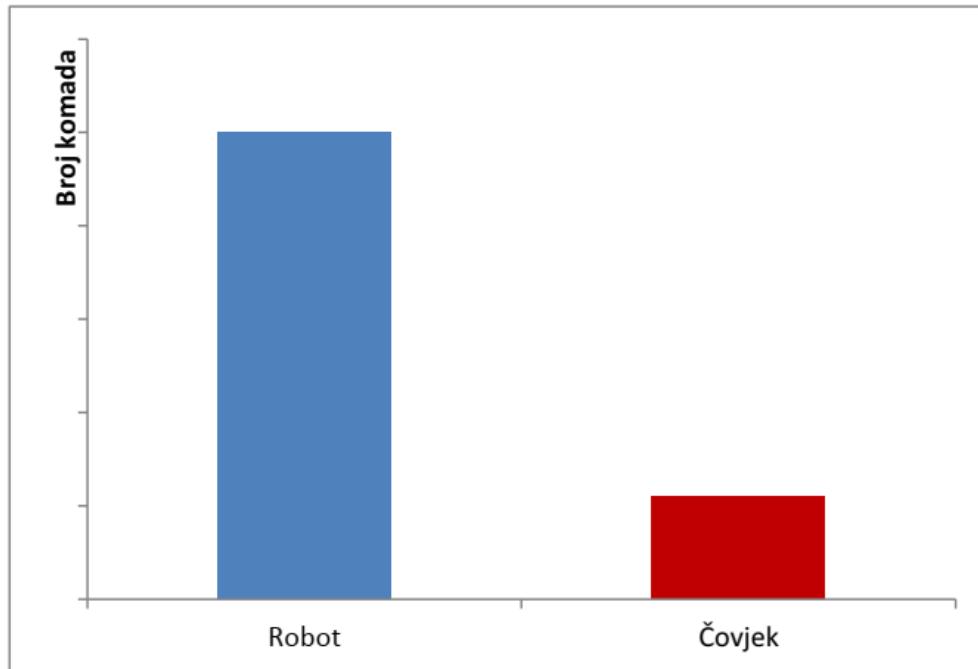


Slika 30. Sklop za čišćenje pištolja za zavarivanje

4.6. Opravdanost primjene robotiziranog zavarivanja

Gledajući tehnologiju zavarivanja kod serijske proizvodnje u današnjoj industriji, najveći udio upravo zauzima robotizirano zavarivanje. Kako je jedan od glavnih faktora u takvoj proizvodnji uz kvalitetu zavarivanja ekonomski faktor, lako je zaključiti takvu masovnu primjenu robota. Ipak, u odnosu na čovjeka, robotizirano zavarivanje ima i nekih nedostataka.

Upravo se ono primjenjuje samo kod većih serija zbog toga što programiranje robota za male serije nije vremenski pa time ni ekonomski isplativo. Upravo je na tome području čovjek još uvijek fleksibilniji. Što se tiče pripreme radnog komada, poznato je da roboti zahtijevaju uređenu okolinu pa se isto odnosi i na komad koji se zavaruje. Svaki radni komad mora biti izrazito dobro pripremljen što podrazumijeva da nema neke dodatne geometrijske nepravilnosti koje bi uzrokovale greške u zavarivanju. Čovjek je u tom pogledu puno bolja opcija, jer se može svakoj eventualnoj greški i odstupanju od geometrijskih oblika prilagoditi u hodu. Najveća prednost robota u odnosu na čovjeka je brzina zavarivanja. Ona direktno utječe na dužinu trajanja cijelog procesa i potrošnju plina pod kojim se vrši zavarivanje. Ako bi se za primjer uzela brzina zavarivanja robota od 50 cm/min, a čovjeka 15 cm/min i uzeo vremenski period od 8 sati razlika bi bila osjetna. To se može kvantitativno očitati sa slike 43.



Slika 31. Prikaz produktivnosti robota i čovjeka u periodu od 8 sati

Na sličan način se odražava i potrošnja plina, jer kako je brzina zavarivanja čovjeka manja, a protok dobave plina konstantan, potrošnja plina je veća u odnosu na robotizirano zavarivanje.

Dakle iz brzine zavarivanja proizlazi jedan od najbitnijih faktora u svim tehnologijama, a to je trajanje procesa. U obzir se također mora uzeti u obzir da čovjek ne može raditi istim intenzitetom na početku i na kraju radnog vremena, dok robotu to ne čini razliku. Kako je u današnjoj industriji sve veći naglasak na automatizaciju i robotizaciju, uveliko se povećava produktivnost procesa. Za današnje uvjete proizvodnje to je i na neki način neophodno, ali mora se uzeti u obzir i kvaliteta izrade koja se ponekad zanemaruje uz sve te ekonomске faktore.

5. ZAKLJUČAK

Automatizacija u industriji, koja ozbiljniji zamah hvata u drugoj polovini dvadesetog stoljeća, imala je za cilj, prije svega, zamijeniti čovjeka u fizički teškim, napornim te monotonim poslovima u sklopu proizvodnih procesa. Kod automata nema pojave umora, pada koncentracije, potrebe za hranom i vodom te drugih fizičkih i fizioloških ograničenja karakterističnih čovjeku, što im omogućava neprekidno ponavljanje zadaće odnosno funkcije za koju su namijenjeni i programirani, s rezultatom povećanja proizvodne učinkovitosti. Osnovni problem kod automata predstavljaju velika vremena pripreme proizvodnje kod razvoja novih proizvoda, dakle manjak fleksibilnosti. Temeljna razlika između automata i robota je u konstrukciji koja se bazira na mehaničkoj ruci, odnosno robotskom manipulatoru, a građom i funkcijom oponaša ljudsku ruku. Tehnologija zavarivanja jedno je od glavnih područja robotizacije u okviru industrije, a unutar samo tehnologije, zbog učestalosti primjene, potencijala za robotizaciju i isplativosti, najviše se robotizira MIG/MAG postupak zavarivanja, iako naročito ne zaostaje ni elektrootporno, posebno tačkasto zavarivanje. Sljedeći koraci u razvoju bili su orijentisani najviše na povećanje mogućnosti računarskih procesora kao i napretku u arhitekturi i brzini komunikacije unutar robotskog sistema ne bi li se tim pravcem povećala produktivnost u proizvodnji i omogućilo izvođenje složenijih operacija. Iako mogućnosti razvoja u tim domenama postoje i danas, od devedesetih, ubrzanim napretkom grafičkih sistema naglasak je pao na poboljšavanje programiranja robota. Uvođenjem off-line metode programiranja robotskih sistema postignuta je bitna prednost da se robot ne mora izdvajati iz proizvodnog procesa, čime su ostvarene značajne ekonomske uštede. CAD sistemi omogućili su projektovanje složenih trajektorija, vrlo teško izvedivih privjeskom za učenje, a mogućnosti izvođenja dosljednih simulacija rada robota, koje danas uključuju i simuliranje djelovanja senzora, u okviru naprednih CAR (Computer aided robotics) sistema, doprinijele su uviđanju i sprječavanju eventualnih kolizija, grešaka u gibanju i izvođenju procesa prije puštanja robota u realan rad. Dalji napretci naziru se posebno u području senzorike u smislu primjene većeg broja različitih senzora, u okviru robotskog sistema, s ciljem postizanja većeg stepena adaptivnosti i autonomije, a samim tim i fleksibilnosti robota za zavarivanje, ali i općenito industrijskih robota. Već i u današnjici, a pogotovo u skoroj budućnosti, veći značaj će imati holistički, cijeloviti pristup poimanju robotskog sistema, što će doprinijeti razvoju upravo autonomnih robota. Što se tiče samog MAG postupka, on uz elektrootporno zavarivanje pripada u najpogodnije postupke zavarivanja koji se mogu robotizirati. Veća kvaliteta zavara uz maksimalnu produktivnost mogla bi se postići povećanjem razmaka između robota i pozicionera. Produktivnost bi se naknadno mogla i povećati uvođenjem novog robota koji bi posluživao radni sto tj. pozicioner. To bi ipak predstavljalo veći trošak, pa je potrebno naći optimalno rješenje između cijene, produktivnosti i kvalitete procesa. Prema trenutnim podacima, robotizirano zavarivanje je razvijeno do te mjere da može preuzeti do 80 % poslova koje obavljaju profesionalni zavarivači. Kroz svaku godinu, kako napredak tehnologije raste, taj postotak se povećava. Ipak, kako je postupak zavarivanja u mnogim slučajevima nepredvidiv i zahtijeva prilagođavanje problemu, čovjek će uvijek biti neizostavni dio te tehnologije.

POPIS SLIKA I TABELA

Slika 1. Prvi industrijski robot "Unimate"

Slika 2. Kartezijeva struktura TTT

Slika 3. Cilindrična struktura RTT

Slika 4. Sferna struktura RRT i rotacijska struktura RRR

Slika 5. SCARA robot

Slika 6. Osnovni sustav robotiziranog zavarivanja

Slika 7. Robot za zavarivanje tvrtke ABB

Slika 8. Inverter

Slika 9. Privjesak za učenje ili kontroler

Slika 10. Jednoosni i dvoosni uređaji za pozicioniranje

Slika 11. Pištolj za zavarivanje

Slika 12. Dodavač žice

Slika 13. Sistem za čišćenje pištolja

Slika 14. Taktilni senzor za detekciju radnog komada

Slika 15. Praćenje zavara pomoću optičkog senzora

Slika 16. Shematski prikaz MAG zavarivanja

Slika 17. Prijenos metala kratkim spojevima

Slika 18. Prijenos metala štrcajućim lukom

Slika 19. Prijenos metala prijelaznim lukom

Slika 20. Izgled sapnice kod pojave naljepljivanja

Slika 21. Konfiguracija zavarivačke stanice

Slika 22. Konfiguracija robotske stanice u Laboratoriju za zavarivanje

Slika 23. Robot za zavarivanje Almega AX-V6

Slika 24. Privjesak za učenje AX-C Slika 25. Varstroj DP400.

Slika 26. Varstroj dodavač žice CM-7401

Slika 27. Električka i upravljačka jedinica AX-C .

Slika 28. Pozicioner P250V ROBO

Slika 29. Plinske boce zaštitnog plina argona

Slika 30. Sklop za čišćenje pištolja za zavarivanje

Slika 31. Prikaz produktivnosti robota i čovjeka u periodu od 8 sati

Tabela 1. Karakteristične vrijednosti slobodnog kraja žice

Tabela 2. Zaštitni plinovi i njihove mješavine kod MAG zavarivanja

Tabela 3. Tehničke karakteristike robota Almega AX-V6

POPIS OZNAKA

Oznaka	Jedinica	Opis
f	Hz	Frekvencija
I	A	Jakost struje
R	Ω	Električni otpor
t	T	Vrijeme
U	V	Napon
v_z	cm/min	Brzina zavarivanja