

Zavarivanje MAG postupkom

Kujundžić-Lujan, Ana

Undergraduate thesis / Završni rad

2023

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Split, Faculty of Science / Sveučilište u Splitu, Prirodoslovno-matematički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:166:930657>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-01**

Repository / Repozitorij:

[Repository of Faculty of Science](#)



UNIVERSITY OF SPLIT



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

SVEUČILIŠTE U SPLITU
PRIRODOSLOVNO-MATEMATIČKI FAKULTET

ZAVRŠNI RAD
ZAVARIVANJE MAG POSTUPKOM

Ana Kujundžić-Lujan

Split, rujan 2023.

SVEUČILIŠTE U SPLITU
PRIRODOSLOVNO-MATEMATIČKI FAKULTET

ZAVRŠNI RAD
ZAVARIVANJE MAG POSTUPKOM

Ana Kujundžić-Lujan

Split, rujan 2023.

IZJAVA

o samostalnoj izradi završnog rada

Izjavljujem pod punom materijalnom i moralnom odgovornošću da sam ovaj rad izradila samostalno te da u njemu nema kopiranih ili prepisanih dijelova teksta tuđih radova, a da nisu propisano označene kao citat s navedenim izvorom iz kojeg su prepisani.

U Splitu, rujan 2023.

Ana Kujundžić-Lujan

Temeljna dokumentacijska kartica

Završni rad

Sveučilište u Splitu

Prirodoslovno-matematički fakultet

Odjel za politehniku

Ruđera Boškovića 33, 21000 Split, Hrvatska

ZAVARIVANJE MAG POSTUPKOM

Ana Kujundžić-Lujan

SAŽETAK

Ovim radom opisan je MAG postupak zavarivanja. U uvodnom dijelu objašnjeni su osnovni koncepti zavarivanja, obuhvaćena je klasifikacija tehnika zavarivanja, te su razmotrene prednosti i nedostaci zavarivanja kao postupka. Analiziran je povijesni kontekst razvoja zavarivanja općenito i razvoja zavarivanja MAG postupkom. U sljedećem poglavlju obrađuje se MAG postupak zavarivanja. Razrađeni su koncepti i parametri postupka. Nabrojani su i opisani modificirani načini prijenosa metala koji rezultiraju visokom produktivnošću. Na samom kraju prikazane su prednosti i nedostaci MAG postupka zavarivanja.

Ključne riječi: MAG postupak zavarivanja, koncepti i parametri MAG zavarivanja, prijenos metala

Rad je pohranjen u knjižnici Prirodoslovno-matematičkog fakulteta, Sveučilišta u Splitu

Rad sadrži: 26 stranica, 17 grafičkih prikaza i 12 literaturnih navoda.

Izvornik je na hrvatskom jeziku.

Mentor: **Dr. sc. Endri Garafulić**, *docent Prirodoslovno-matematičkog fakulteta, Sveučilišta u Splitu*

Ocjenjivači: **Dr. sc. Endri Garafulić**, *docent Prirodoslovno-matematičkog fakulteta, Sveučilišta u Splitu*

Dr. sc. Vladimir Pleština, *docent Prirodoslovno-matematičkog fakulteta, Sveučilišta u Splitu*

Hrvoje Turić, *predavač Prirodoslovno-matematičkog fakulteta, Sveučilišta u Splitu*

Rad prihvaćen: rujan, 2023.

Basic documentation card

Thesis

University of Split

Faculty of Science and Mathematics

Department of Polytechnics

Ruđera Boškovića 33, 21000 Split, Croatia

WELDING BY THE MAG PROCESS

Ana Kujundžić-Lujan

ABSTRACT

This thesis describes the MAG welding process. The introductory section explains the fundamental concepts of welding, encompassing the classification of welding techniques, and discussing the pros and cons of welding as a process. The historical context of welding's overall development and the evolution of MAG welding specifically are analyzed. The next chapter delves into the MAG welding process through a procedural description, detailing the concepts and process parameters. Modified methods of metal transfer that result in high productivity are enumerated and described. The conclusion presents the advantages and disadvantages of the MAG welding process.

Keywords: MAG welding process, concepts and parameters of MAG welding, metal transfer

Thesis deposited in library of Faculty of science, University of Split

Thesis consists of: 26 pages, 17 figures and 12 references

Original language: Croatian

Mentor: **Endri Garafulić, Ph.D.** *Assistant Professor of Faculty of Science, University of Split*

Reviewers: **Endri Garafulić, Ph.D.** *Assistant Professor of Faculty of Science, University of Split*

Vladimir Pleština, Ph.D. *Assistant Professor of Faculty of Science, University of Split*

Hrvoje Turić Lecturer of Faculty of Science, University of Split

Thesis accepted: September 2023.

Sadržaj

POPIS SLIKA.....	1
1. UVOD.....	2
1.1 Općenito o zavarivanju.....	2
1.2 Postupci zavarivanja.....	3
1.3 Prednosti i nedostaci zavarenih spojeva.....	4
1.4 Oblici zavara.....	5
2. POVIJEST.....	6
2.1 Kratki pregled povijesnog razvoja zavarivanja.....	6
2.2 Povijesni razvoj MAG zavarivanja.....	6
3. MAG POSTUPAK ZAVARIVANJA.....	8
3.1 Oprema za MAG zavarivanje.....	11
3.1.1 Izvor struje.....	11
3.1.2 Dodavač žice.....	13
3.1.3 Sustav za zaštitni plin.....	15
3.1.4 Pištolj za zavarivanje (gorionik).....	15
3.2 Parametri MAG zavarivanja.....	17
4. METODE PRIJENOSA METALA KOD MAG ZAVARIVANJA.....	18
4.1 Prijenos metala kratkim spojevima.....	18
4.2 Prijenos metala mješovitim lukom.....	19
4.3 Prijenos metala štrcajućim lukom.....	20
4.4 Prijenos metala pulsirajućim lukom.....	21
5. PREDNOSTI I NEDOSTACI MAG POSTUPKA.....	22
6. ZAKLJUČAK.....	24
7. LITERATURA.....	25

POPIS SLIKA

Slika 1: Oblici zavara s obzirom na međusobni položaj[1].....	5
Slika 2: Dijelovi zavara[2]	5
Slika 3: Zavarivanje MAG postupkom[8].....	8
Slika 4: Shema elektrolučnog zavarivanja taljivom metalnom elektrodom u zaštitnoj atmosferi s aktivnim plinovima (CO ₂ i mješavine)[10].....	9
Slika 5: MAG uređaj tvrtke Fronious[9]	10
Slika 6: Shematski prikaz osnovnog sustava za MAG postupak zavarivanja[11]	11
Slika 7: Statička karakteristika izvora struje (nagib)[11].....	12
Slika 8: Kabinski sustav za dovođenje žice[12].....	13
Slika 9: Univerzalni sustav za dovođenje žice[12]	13
Slika 10: Tandemski sustav za dovođenje žice[12].....	14
Slika 11: „Push – pull“ sustav za dovođenje žice[12].....	14
Slika 12: Shema poprečnog presjeka pištolja za zavarivanje[5]	16
Slika 13: Shema mehanizma za prijenos metala kod MAG zavarivanje[4].....	18
Slika 14: Shema prijenosa metala kratkim spojem[4].....	18
Slika 15: Shema prijenosa metala mješovitim spojem[4]	19
Slika 16: Shema prijenosa metala štrcajućim lukom[4].....	20
Slika 17: Shema prijenosa metala pulsirajućim lukom[4]	21

1. UVOD

1.1 Općenito o zavarivanju

Zavarivanje je postupak spajanja metalnih ili nemetalnih dijelova taljenjem ili pritiskom sa ili bez dodavanja dodatnog materijala (dodatni materijal se dodaje u obliku žice koja se tali) uz upotrebu toplinske ili mehaničke energije. Spoj koji nastaje je homogen, a naziva se zavar.

Zavar čine osnovni materijal (materijal obradka) i materijal zavara ili šava (dodatni materijal, odnosno žica, elektroda, prašak, traka). Zavarivati se mogu različiti materijali: metali, kovine, drvo, staklo, polimeri. Uglavnom se zavaruju srodni materijali (materijali sličnih svojstava i iste vrste; npr. metal i metal, polimer i polimer...) koji imaju približno jednaku temperaturu taljenja, no mogu se zavarivati i različiti (nesrodni) materijali. [1]

Zavarivanje se primjenjuje za spajanje nosivih strojnih dijelova i raznih konstrukcija. Zavarivanjem nastaje nerastavljivi spoj, a to znači da je za rastaljivanje dijelova koji su zavareni potrebno njihovo prisilno razdvajanje uz razaranje spoja. Materijali pogodni za zavarivanje su čelik, čelični lijev, sivi lijev, bakar, nikal, titan, bakrene legure, legure nikla, legure titana, aluminij, aluminijske legure, umjetni materijali (polimeri, plastomeri) i dr..[1]

Zavarivanje se može izvoditi na različitim lokacijama, ovisno o vrsti zavarivanja, materijalima koji se zavaruju i specifičnim zahtjevima projekta. Mjesta gdje se često izvodi zavarivanje su: radionice i tvornice, građevinski objekti, brodogradilišta, na visini, pod vodom ili laboratoriji i istraživački centri. Važno je naglasiti da zavarivanje zahtjeva posebne vještine i poznavanje sigurnosnih mjera, bez obzira na lokaciju na kojoj se izvodi. Zavarivanje može biti opasno i zahtjeva strogo pridržavanje sigurnosnih protokola kako bi se zaštitili zavarivači i okolina. [1, 2]

1.2 Postupci zavarivanja

Postoji puno različitih postupaka zavarivanja, svaki sa svojim specifičnostima i primjenama. Neki od često korištenih postupaka zavarivanja su:

1. Elektrolučno zavarivanje (SMAW – Shielded Metal Arc Welding): Također poznato kao “ručno zavarivanje”, koriste se elektrode obložene troskom. Elektroda se topi i stvara luk između elektrode i radnog komada, formirajući zavareni spoj.
2. MIG/MAG zavarivanje (Metal Inert Gas/Metal Active Gas): Ovaj postupak koristi kontinuiranu žicu kao elektrodu i štiti zonu zavarivanja od vanjskog zraka pomoću inertnih ili aktivnih plinova. MIG koristi inertne plinove (poput argona) za nehrđajuće čelike i aluminij, dok MAG koristi aktivne plinove (poput CO₂) za čelik.
3. TIG zavarivanje (Tungsten Inert Gas): TIG koristi nepotpunu volframovu elektrodu koja se ne topi, zajedno s dodatnim materijalom ako je potreban. Zavarivač kontrolira dodavanje materijala i struja luka, što rezultira preciznim i visokokvalitetnim zavarenim spojevima.
4. Plazma zavarivanje: Plazma zavarivanje koristi plazma luk za topljenje metala. Plazma se stvara između elektrode i radnog komada, a plin se koristi kao zaštita i za uklanjanje taline.
5. Elektronsko zračenje zavarivanje (EBW – Electron Beam Welding): Koristi usmjerene elektrone visoke energije kako bi se stvorila toplina za zavarivanje. Često se koristi za precizne aplikacija gdje je kontrola topline ključna.
6. Laser zavarivanje: Koristi usmjereno svjetlosno zračenje visoke energije (laser) za topljenje i zavarivanje metala. Preciznost i brzina su prednosti ovog postupka.
7. Termitsko zavarivanje: Koristi kemijske reakcije za stvaranje topline i taline za spajanje materijala, obično koristi termitski spoj (mješavina aluminij praša i metalnog oksida).

Svaki od ovih postupaka ima svoje prednosti i nedostatke te se primjenjuju ovisno o materijalima, debljini metala kvaliteti zavarivanja i drugim specifičnim zahtjevima projekta.

1.3 Prednosti i nedostaci zavarenih spojeva

Prednosti zavarenih spojeva:

- Velika nosivost: nosivost je približno jednaka nosivosti osnovnog materijala (ponekad može biti i veća)
- Tanje stjenke zavarenih konstrukcija u odnosu na lijevane, kovane ili zakovične spojeve
- Masa zavarenih konstrukcija je i do 50% manja u odnosu na lijevane, kovane i zakovične spojeve konstrukcija, a zadržavaju dobra mehanička svojstva
- Jednostavnije oblikovanje konstrukcija u odnosu na dobivene kovanjem i lijevanjem
- Nisu potrebni modeli ili kalupi
- Može se primijeniti na različite materijale
- Ekonomičnost, posebno za mali broj proizvoda

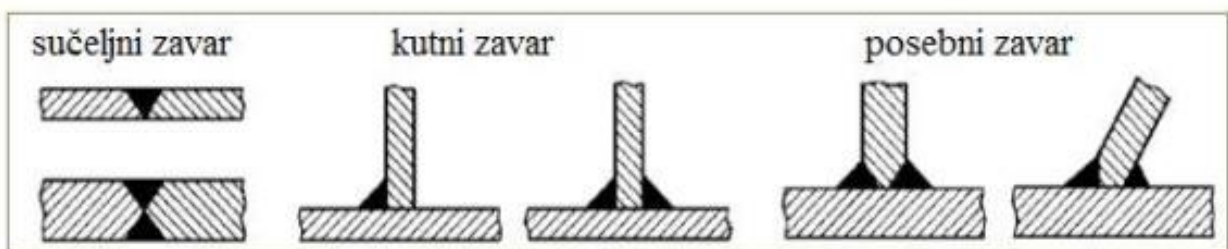
Nedostaci zavarenih spojeva:

- Materijali pogodni za zavarivanje su oni koji imaju jednaka ili približno jednaka svojstva i kvalitetu
- Potrebne su pripreme obradka za postupaka zavarivanja (oblikovanje žlijeba, čišćenje materijala)
- Zavarene konstrukcije su podložnije koroziji te je potrebna zaštita od korozije
- Manja se sposobnost prigušenja vibracija
- Specijalizirana oprema i slati su potrebni za zavarivanje, što može rezultirati visokim troškovima ulaganja
- Nije pogodno za složene oblike konstrukcija
- Kvaliteta spoja ovisi o iskustvu i sposobnostima zavarivača

1.4 Oblici zavora

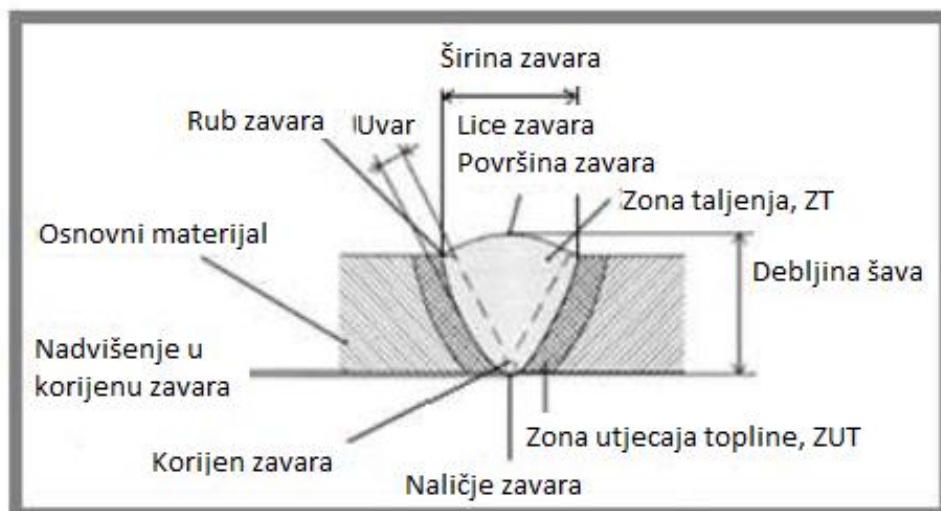
Oblici zavora se s obzirom na međusobno položaj dijelova koji se zavaruju dijele u tri skupine (Slika 1):

- Sučeljni
- Kutni
- Posebni



Slika 1: Oblici zavora s obzirom na međusobni položaj[1]

Na slici 2 su prikazani dijelovi zavora.



Slika 2: Dijelovi zavora[2]

2. POVIJEST

2.1 Kratki pregled povijesnog razvoja zavarivanja

Povijest zavarivanja je započelo prije nekoliko tisuća godina, u brončano doba i u željezno doba, kada su se rudimentarne tehnike grijanja i kovanja koristile za spajanje metala, na prostorima današnje Europe i Bliskog istoka. U srednjem vijeku razvijeno je kovačko zavarivanje putem bijelog usijanja dijelova na kovačkoj vatri. U 18. i 19. stoljeću počeli su se razvijati elektrolučni postupci poput elektrožarenja. Ruski znanstvenici Vasilij Petrov i Nikolaj Benardos eksperimentirali su s električnim lukom za zavarivanje početkom 19. stoljeća. Kasnije su razvijeni elektrolučni postupci s metalnom elektrodom, a početkom 20. stoljeća su se počele primjenjivati elektrode obložene materijalom za bolju kontrolu zavara. Uz razvoj generatora istosmjernje struje i primjenu električnog luka za taljenje metala, Postupci elektrolučnog zavarivanja postaju značajniji. U 20. stoljeću se razvijaju i drugi postupci kao MIG/MAG i TIG zavarivanje, plinsko zavarivanje i hladno zavarivanje pod pritiskom. Kasnije se razvijaju napredni postupci poput zavarivanja pod troskom, ultrazvukom, laserom i plazmom. Zavarivanje je igralo ključnu ulogu u raznim industrijama i čak se primjenjivalo u svemirskim uvjetima.[2]

2.2 Povijesni razvoj MAG zavarivanja

Razvoj postupka MAG (Metal Active Gas) zavarivanja može se pripisati Lyubavshkiiju i Novoshilovu iz bivšeg SSSR-a, koji su ga prvi put primijenili 1953. godine. Ovaj postupak, sličan MIG (Metal Inert Gas) zavarivanju koje je postalo komercijalno u SAD-u 1948. godine, koristi istu opremu, ali uz CO₂ zaštitni plin. Daljnji napredak u MAG zavarivanju uslijedio je 1959. godine kada je razvijeno zavarivanje u kratkom spoju, omogućeno primjenom tanjih žica I boljih izvora struje. Ovaj inovativni pristup brzo je prihvaćen, dopuštajući vertikalno i kosno zavarivanje, ne samo horizontalno.[4]

Pioniri su započeli s punim žicama, no kasnije su se primjenjivale punjene rutilne žice (1954.), samozaštitne punjene žice (1959.) te metalom punjene žice (1975.). Impulsno zavarivanje razvijeno je 1965. na britanskom Institutu za zavarivanje i komercijalno je usvojeno 1990. godine.

Poboljšanje svojstava izvora struje, poput tiristora i invertera, 70-ih godina prošlog stoljeća omogućilo je precizniju kontrolu električnog luka.

Razvoj MAG zavarivanja nastavio se s unapređenjem uređaja, materijala i tehnologije. Postignuta je veća produktivnost, učinkovitost energije i brzina rada. Razvijeni su i drugi postupci temeljeni na MAG zavarivanju, uključujući STT (Surface Tension Transfer) postupak, RMT (Rapid MIG/MAG Technology) postupak i MAG postupak s dvije žice.[2]

3. MAG POSTUPAK ZAVARIVANJA

MAG (Metal Active Gas) zavarivanje (Slika 3) je postupak elektrolučnog zavarivanja pri kojem se materijal obradka tali u aktivnom zaštitnom plinu ili smjesi plinova taljivom elektrodom, koja je u obliku žice.

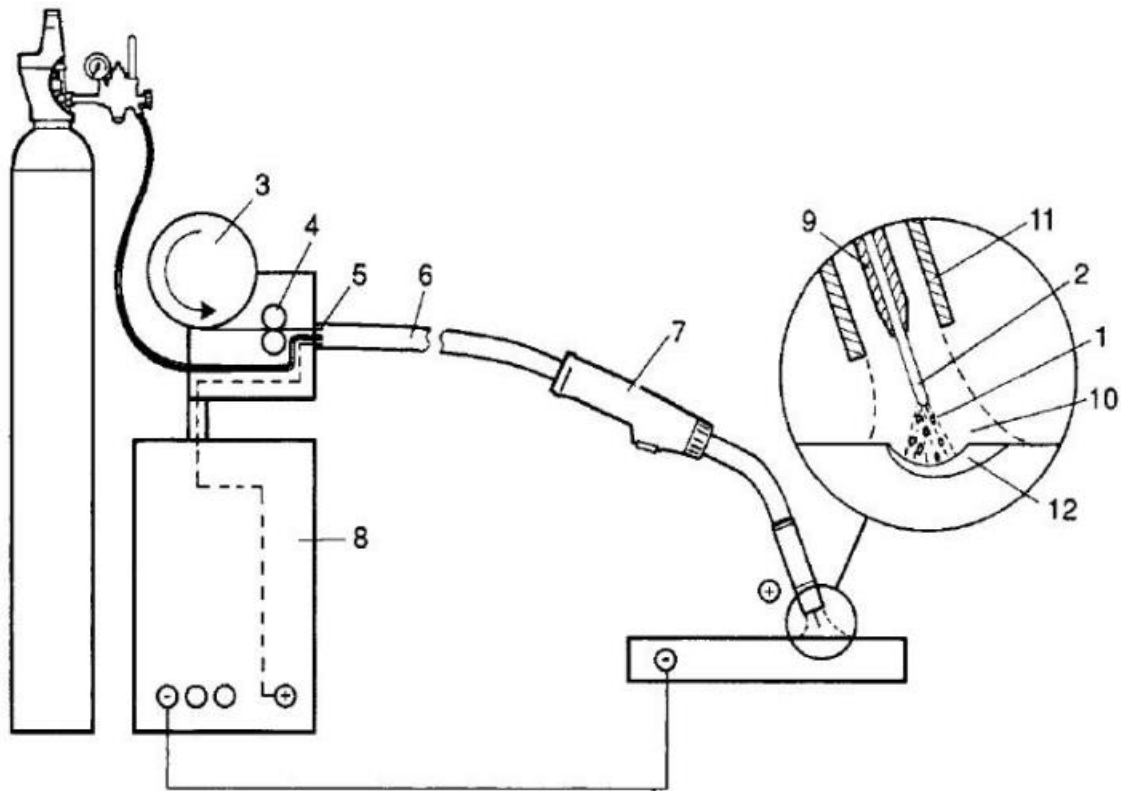
Upotreba različitih aktivnih zaštitnih plinova poput kombinacija Ar + CO₂, Ar + O₂ i Ar + CO₂ + O₂ postala je uobičajena tek nedavno, dok se ranije koristio samo CO₂. Stoga se ovaj postupaka često naziva CO₂ zavarivanjem.



Slika 3: Zavarivanje MAG postupkom[8]

Električni luk uspostavlja se između taljive elektrode, koja se obično manifestira kao neprekidna žica, i materijala koji se obrađuje. Ovaj materijal, obično spojen na pozitivan pol istosmjernog izvora struje, koristi se za prenošenje materijala. Postupak podrazumijeva prijenos rastaljene elektrode (žice) u obliku kapljice prema obradku, osnovnom materijalu. Taj prijenos može se postići kroz električni luk na način da kapljica slobodno pada kroz luk (metoda zvana sprej ili plazma zavarivanje), ili kapljica dolazi u kontakt s obradkom kroz dodir (metoda zvana zavarivanje kratkim spojem). [2]

MAG zavarivanje je slično MIG postupku (Metal Inert Gas) zavarivanja, ali se razlikuje u načinima rada, upotrebi zaštitnog plina i vrsti elektrode. Dok se kod MIG postupka koristi inertni plin, poput argona, kod MAG postupka se koristi aktivni plin kao što je CO₂ ili kombinacija CO₂ i argona ili kisika. Također, elektroda koja se koristi u MAG zavarivanju je u obliku žice. [10]



Slika 4: Shema elektrolučnog zavarivanja taljivom metalnom elektrodom u zaštitnoj atmosferi s aktivnim plinovima (CO₂ i mješavine)[10]

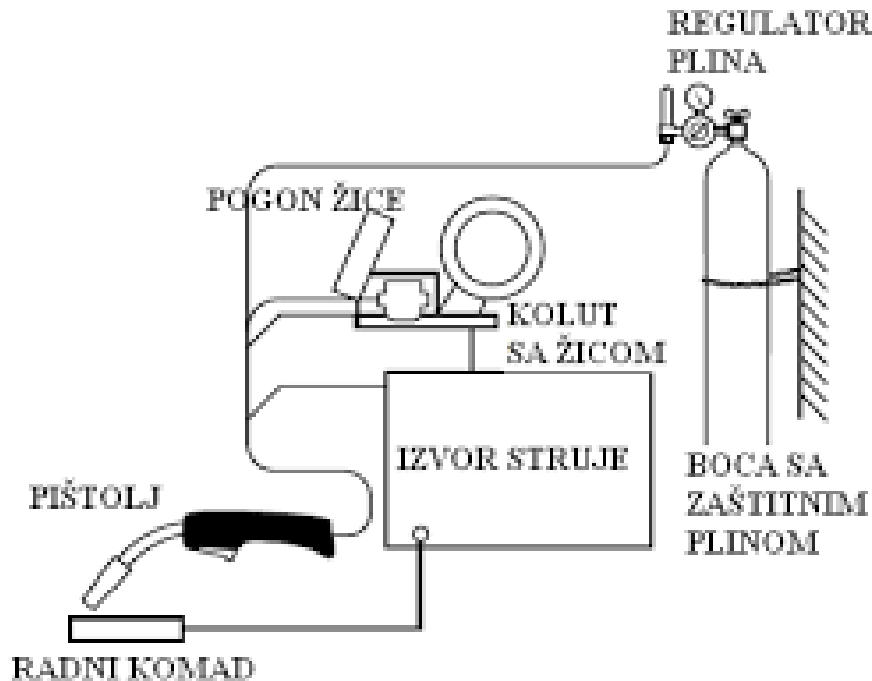
- | | |
|-----------------------------------|---------------------------|
| 1. Električni luk, | 7. Pištolj za zavarivanje |
| 2. Taljiva elektroda, | 8. Izvor struje |
| 3. Kolut sa dodatnim materijalom, | 9. Kontaktna cjevčica |
| 4. Pogonski valjci (kotačići), | 10. Zaštitna atmosfera |
| 5. Spojni ulaz, | 11. Sapnica |
| 6. Cijevni paket (polikabel), | 12. Zavar |

Pogonski sustav konstantnom brzinom napaja žicu kroz polikabel i pištolj prema električnom luku. Žica, istovremeno elektroda i dodatni materijal, tali se na tom mjestu stvarajući zavar. Zaštitni plinovi poput CO₂ i mješavina usmjereni su prema mjestu zavarivanja kroz sapnicu na pištolju, koja okružuje kontakt cijevi. Ionizacijom plina osigurava se vodljivi prostor za održavanje električnog luka.



Slika 5: MAG uređaj tvrtke Fronious[9]

3.1 Oprema za MAG zavarivanje



Slika 6: Shematski prikaz osnovnog sustava za MAG postupak zavarivanja[11]

Komponente MAG zavarivanja su:

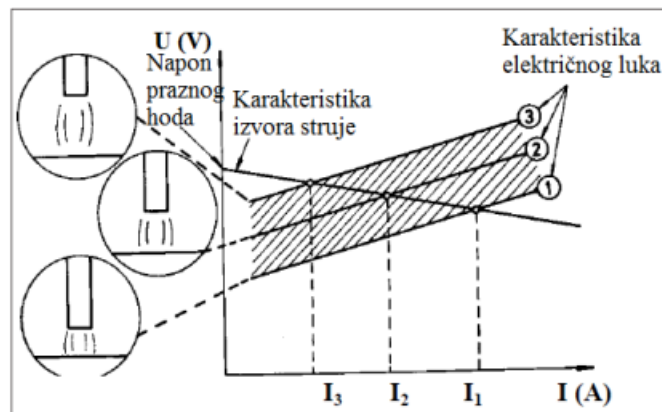
- Izvor struje
- Dodavač žice
- Sustav za zaštitni plin (boca s plinom/plinovima, redukcijski ventil, crijevo od ventila do uređaja za zavarivanje)
- Pištolj za zavarivanje s polikablom

3.1.1 Izvor struje

U procesu MAG zavarivanja, koristi se istosmjerna struja kao izvor energije. Ova opcija osigurava stabilnost električnog luka, ravnomjeran prijenos žice (dodatnog materijala), te efikasne karakteristike spajanja pri različitim jakostima struje. Dodatno, istosmjerna struja minimizira gubitke uslijed prštanja.

Dostupni su različiti uređaji koji služe kao izvor energije za MAG zavarivanje. Među njima se ističu transformatori koji pružaju izmjeničnu struju s prilagođenim karakteristikama za zavarivanje, ispravljači koji osiguravaju istosmjernu struju, rotacijski pretvarači koji pružaju stabiliziranu izmjeničnu struju (uz opciju dodatnog ispravljača za dobivanje istosmjerne struje), agregati koji osiguravaju odgovarajuću zavarivaču struju (pokretani dizel ili benzinskim motorima), te inverteri koji omogućavaju istosmjernu struju ili visokofrekventnu pulsirajuću struju koja se pretvara u struju pogodnu za zavarivanje.[4]

Statička karakteristika izvora struje (nagib – ovisnost napona i jakosti struje) je ravna ili blago padajuća, što omogućuje samoregulaciju električnog luka.



Slika 7: Statička karakteristika izvora struje (nagib)[11]

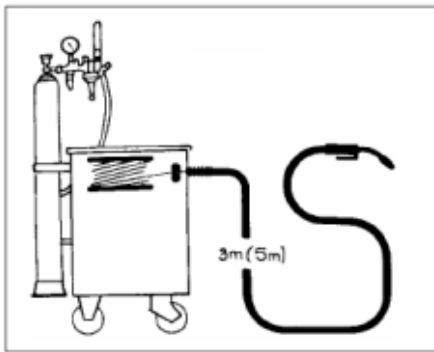
Na slici 7 je prikazan graf koji prikazuje statičku karakteristiku izvora struje, na kojoj je vidljiv tzv. efekt samoregulacije luka. Duljina luka se kontrolira prilagodbom napona na zavarivačkom uređaju. Kada se podesi napon na neki iznos, zavarivač više nije u mogućnosti promijeniti dužinu luka pomicanjem pištolja prema ili dalje od radnog komada koji se zavaruje. Napetost ostaje konstantan sve dok se ne izmijeni na uređaju, što znače da se isto tako održava i duljina luka. [11]

Zavarivač prilagođava napetost na uređaju, dok se intenzitet struje automatski regulira u skladu s karakteristikama materijala žice, njenim promjerom, brzinom kojom se dovodi u pištolj te dužinom slobodnog kraja žice (dio žice koji strši iz pištolja tijekom zavarivanja).

3.1.2 Dodavač žice

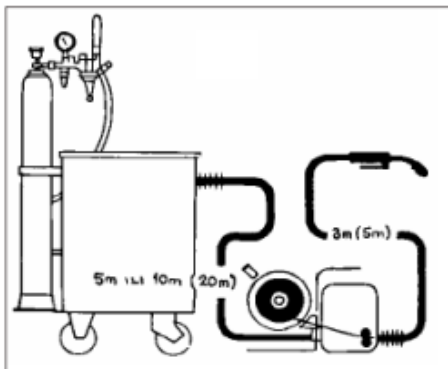
Dodavač žice je uređaj koji dovodi žicu od uređaja do pištolja, a postoji nekoliko izvedbi uređaja i sustava za dovod žice do pištolja.

- Kabinski sustav
- Univerzalni sustav
- Tandemski sustav
- „Push – pull“ sustav



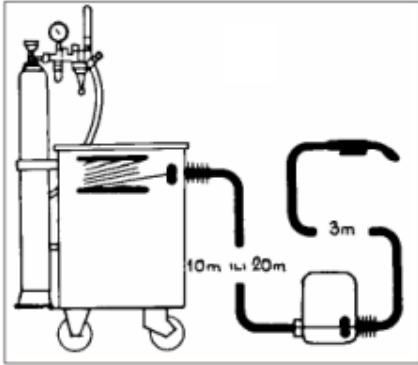
Slika 8: Kabinski sustav za dovodenje žice[12]

Kabinski sustav (Slika 8) koristi se kada se obavlja rad na jednom nepokretnom radnom mjestu. Na samom kablju su označene različite udaljenosti koje su predviđene za specifične sustave dovodenja žice. U kućištu uređaja smješteni su kolut žice i mehanizam za njeno vođenje.



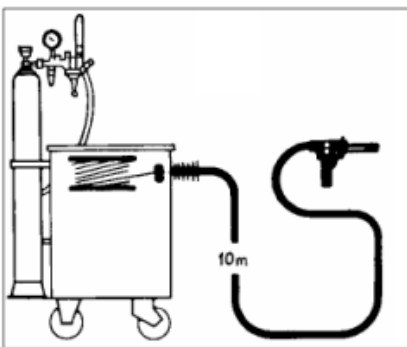
Slika 9: Univerzalni sustav za dovodenje žice[12]

Univerzalni sustav (Slika 9), primjenjuje se na različitim radnim mjestima i za zavarivanje većih radnih komada. Mehanički sustav za dovod žice i sam kolut žice smješteni su izvan kućišta uređaja.



Slika 10: Tandemski sustav za dovođenje žice[12]

Tandemski uređaj (Slika 10), opremljen je s dva zasebna pogonska mehanizma. Jedan mehanizam smješten je unutar kućišta uređaja zajedno s kolutom žice, dok je drugi pozicioniran između uređaja i pištolja, blizu radnog mjesta. Ovaj uređaj se koristi za rad na različitim radnim mjestima, za zavarivanje većih radnik komada te za situacije gdje je pristup random komadu otežan.



Slika 11: „Push – pull“ sustav za dovođenje žice[12]

„Push – pull“ sustav (Slika 11), poput tandemskog, također ima dva mehanizma za upravljanje žicom. Jedan od mehanizama je smješten unutar kućišta, dok se drugi nalazi unutar pištolja (taj mehanizam vuče, a ne gura žicu). Ovaj sustav koristi se u situacijama gdje je radno mjesto teže dostupno (budući da kolut žice ne smeta).[12]

3.1.3 Sustav za zaštitni plin

Sustav za zaštitni plin sastoji se od nekoliko komponenti: spremnika plina (boce s plinom), redukcijskog ventila, elektromagnetskog ventila te crijeva za dovod plina. Na redukcijskom ventilu nalazi se regulator i mjerač protoka plina, koji omogućavaju prilagodbu i praćenje količine plina koja će se isporučiti prema pištolju. Elektromagnetski ventil kontrolira otvaranje i zatvaranje protoka plina i smješten je u blizini sustava za dovod žice.

Za protok plina obično se uzima da je deset puta veći od promjera žice. To znači da ako koristimo žicu promjera 0.6 mm, protok plina će se postaviti na 6 litara u minuti.

3.1.4 Pištolj za zavarivanje (gorionik)

Pištolj za zavarivanje (Slika 12), ima ključnu ulogu u procesu jer omogućava dovod elektrode, zaštitnog plina i struje do električnog luka. Konstruiran je tako da operateru pruži jednostavnu i praktičnu upotrebu. Pritiskom na prekidač, elektroda se ravnomjerno izbacuje kroz kontaktnu cijev i istovremeno se uvodi zaštitni plin. Bitno je da pištolj bude kompaktan, omogućujući rad u uskim i ograničenim prostorima.[5]

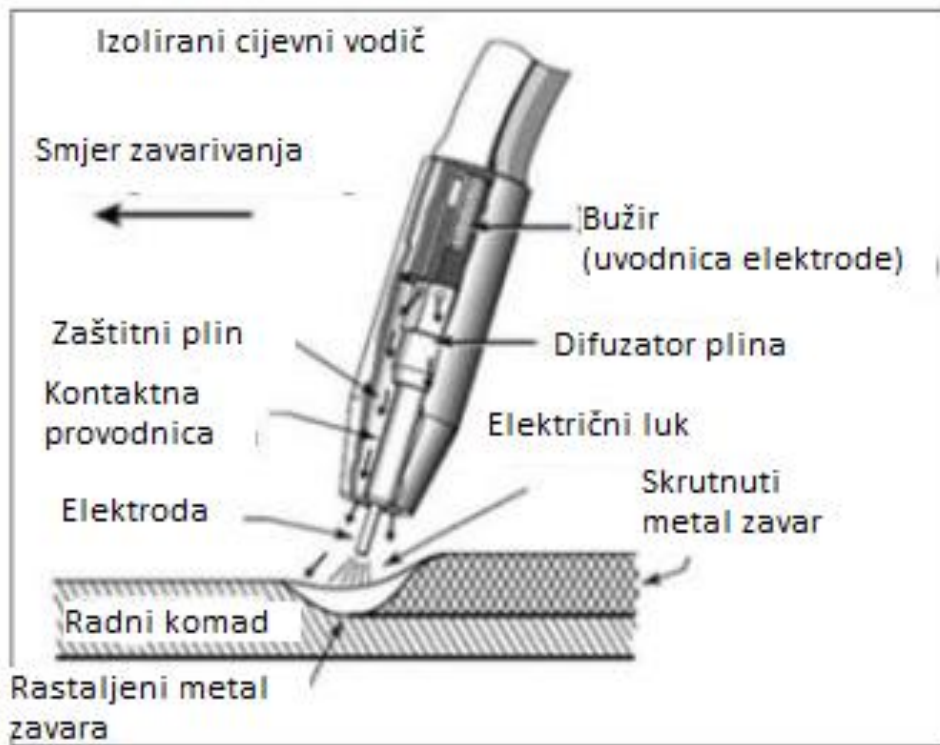
Pištolj za zavarivanje dolaze u različitim izvedbama, uključujući model sa zračnim i vodenim hlađenjem.

1. Model pištolja za zavarivanje sa zračnim hlađenjem:

- zastupljeniji kod nižih struja,
- većih dimenzija

2. Model pištolja za zavarivanje sa vodenim hlađenjem:

- zastupljeniji kod viših struja (300-600A)
- kompaktniji I manjih dimenzija
- potreban modul za hlađenje I cirkulaciju vode koji se sastoji od: spremnika vode, pumpe I hladnjaka,
- modul obično smješten u sklopu izvora struje



Slika 12: Shema poprečnog presjeka pištolja za zavarivanje[5]

3.2 Parametri MAG zavarivanja

Parametri zavarivanja imaju ključnu ulogu u određivanju kvalitete zavarenog spoja i cjelokupne konstrukcije koja je zavarena. Različiti parametri se podešavaju prema odabranom postupku zavarivanja, odnosno režimu rada, te prema željenoj kvaliteti zavarenog spoja. Među najvažnijim parametrima su sljedeći:

Struja zavarivanja:

Intenzitet struje koji prolazi kroz elektrodu i radni komad direktno utječu na toplinsku energiju koja se unosi u spoj. Podešavanje odgovarajuće struje ključno je za postizanje optimalnog spajanja.

Napon zavarivanja:

Električni napon utječe na dužinu i širinu luka. Ovisnost duljine i širine električnog luka o naponu je proporcionalna. Dakle, ako se povećava napon, povećavaju se i duljina i širina luka.

Brzina dovođenja žice:

Brzina dovođenja žice je proporcionalna jakosti struje, odnosno ako se poveća brzina dovođenja žice, to će rezultirati povećanjem jakosti struje, ako se smanji brzina, jakost struje će se smanjiti.

Slobodan kraj žice:

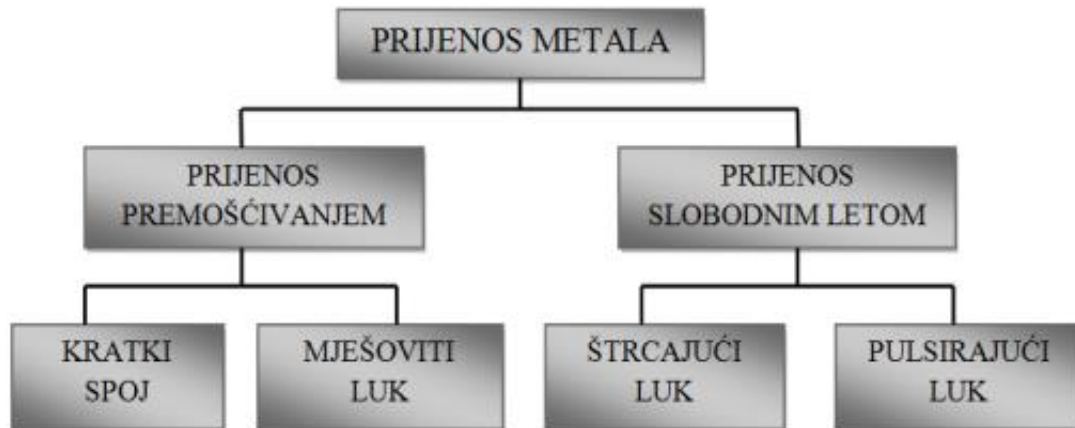
Slobodan kraj žice je obrnuto proporcionalan jakosti struje. To se može jednostavno dokazati pomoću jednadžbe Ohmovog zakona, prema kojem vrijedi: $U = R \cdot I$

Zaštitni plin:

Zaštitni plinovi štite zavareni materijal od atmosferskih utjecaja poput kisika, sprečavajući oksidaciju i poroznost. Također, omogućuje stvaranje plazme koja provodi električno struju i tali žicu i materijal za zavarivanje. Ovi plinovi utječu na geometriju profila zavara, kontroliraju režime rada, te osiguravaju stabilnost električnog luka i prilagodbu brzine zavarivanja.[7]

4. METODE PRIJENOSA METALA KOD MAG ZAVARIVANJA

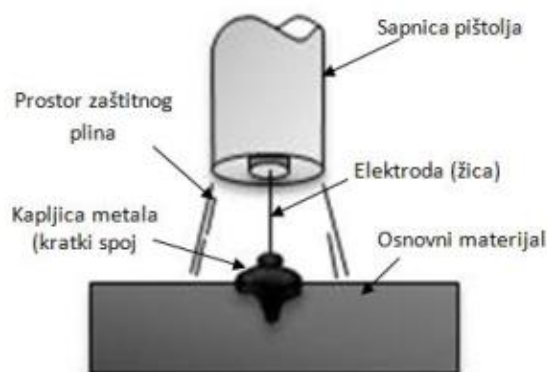
ZAVARIVANJA



Slika 13: Shema mehanizma za prijenos metala kod MAG zavarivanja[4]

4.1 Prijenos metala kratkim spojevima

Postizanje prijenosa metala putem kratkog spoja ostvaruje se korištenjem minimalnih struja i tankih žica. Ova metoda omogućava kontinuiran prijenos metala kroz kratke spojeve te stvaranje zavara. Prijenos metala kratkim spojem je tehnika koja podrazumijeva kontinuirano dovođenje žice, bilo punog ili praškom punjenog tipa, što rezultira formiranjem zavara zbog uzastopnih kratkih spojeva.

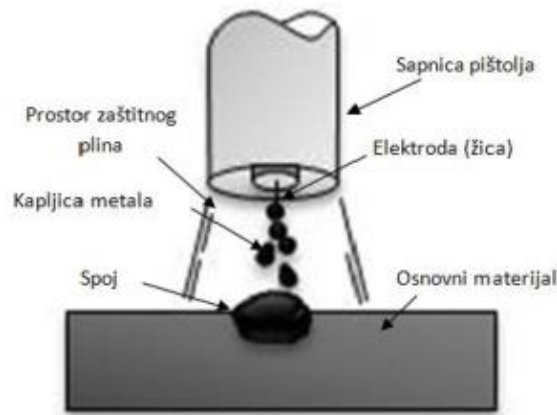


Slika 14: Shema prijenosa metala kratkim spojem[4]

Ovaj postupak se ističe niskim unosom topline i time da se sve dodatne materijale prenosi putem fizičkog kontakta između elektrode i osnovnog materijala, odnosno tališta. Kod ovog tipa prijenosa metala nastaju zavari malih dimenzija koje se brzo hlade, što čini ovu tehniku prikladnom za spajanje tankih limova. Također je pogodna za spajanje korijena zavara kod debljih komada te za spojeve koji zahtijevaju minimalne deformacije, budući da se unos topline ograničava. Napon koji se obično koristi u ovom postupku varira između 13 i 21 V, dok jakost struje iznosi između 50 i 170 A.[4]

4.2 Prijenos metala mješovitim lukom

Kod ovakvog tipa prijenosa metala, proces se odvija tako da na vrhu elektrode (žice) nastaju krupne kapljice metala. Pod djelovanjem sila, obično gravitacijskih, te kapljice se odvajaju u električnom luku i padaju u talinu. U ovom postupku dolazi do prijenosa putem kratkog spoja i štrcajućeg luka, a sam redoslijed i mehanizam prijenosa često su nasumični.



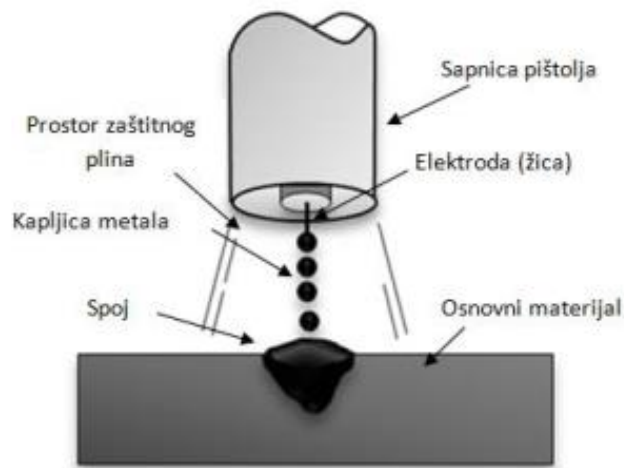
Slika 15: Shema prijenosa metala mješovitim spojem[4]

Glavni nedostatak ovoga prijenosa je njegova neregularnost samih pojedinih prijenosa (štrcajući luk i kratki spoj), koje se odlikuje većim razlikama u samim promjerima odvojenih kapljica koje na kraju definiraju geometriju zavarenog spoja. Ovaj postupak prijenosa metala bio je zastupljen 60-tih i 70-tih godine prošlog stoljeća u izradi čeličnih konstrukcija, ali danas je u svim ozbiljnim industrijskim pogonima zamijenjen nekim od naprednih postupaka prijenosa metala. [4]

4.3 Prijenos metala štrcajućim lukom

Prijenos metala putem ovog postupka ostvaruje se uz visoku jakost struje i visoke napone u električnom luku.

Bitna karakteristika ovog načina prijenosa je da se metal (u obliku rastaljenih kapljica) s vrha elektrode prenosi kroz atmosferu električkog luka u slobodnom letu. Formiraju se male kapljice tališta koje se kreću aksijalno u odnosu na elektrodu, pri čemu elektroda nikada nema fizički, direktan kontakt s osnovnim materijalom. Unutar električkog luka, sile uzrokuju odvajanje kapljica i usmjeravaju ih prema radnom komadu.[6]



Slika 16: Shema prijenosa metala štrcajućim lukom[4]

Jedan od glavnih uvjeta kod ovog postupka je taj da se moraju primjenjivati plinske mješavine kod kojih je maksimalna koncentracija aktivnih plinova 18 %.

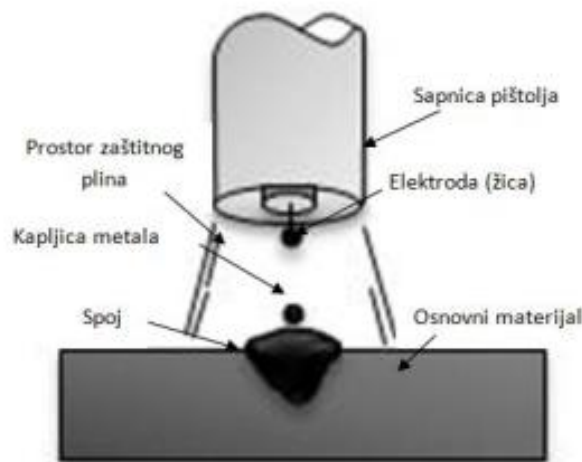
Prijenos metala putem štrcajućeg luka primjenjiv je na širok raspon materijala, uključujući nehrđajući čelik, magnezij i legure bazirane na magneziju, bakar, niklovane legure, aluminij i legure bazirane na aluminiju.[6]

4.4 Prijenos metala pulsirajućim lukom

Prijenos metala putem pulsirajućeg luka, također poznatog kao impulsnim strujama predstavlja varijaciju prijenosa metala štrcajućim lukom. [4]

U ovom postupku, prosječna struja zavarivanja je manja od minimalne struje kod klasičnog prijenosa metala štrcajućim lukom. Ovo se postiže promjenom struje između minimalne (osnovne) i maksimalne (vršne) vrijednosti. Osnovna struja održava električni luk, dok vršna struja omogućava prijenos metala bez formiranja kratkog spoja. Vršna struja omogućava rastapanje dodatnog materijala (žice) i odvajanje po jedne kapljice tijekom svakog impulsa.[5]

Na Slici 17 prikazana je shema prijenosa metala pulsirajućim lukom. Ovisno o načinu generiranja impulsa, impulsi mogu imati oblik sinusoidnog, trokutastog ili četvrtastog materijala.



Slika 17: Shema prijenosa metala pulsirajućim lukom[4]

Ovaj pristup omogućava prosječno nižu struju u usporedbi s prijenosom metala putem štrcajućeg luka, što povoljno utječe na toplinski unos u postupku.

Ova metoda je posebno korisna kod zavarivanja tanjih materijala, te za primjenu žica većeg promjera. Razvijen je kako bi uklonio nedostatke prisutne kod prijenosa metala mješovitim lukom. [6]

5. PREDNOSTI I NEDOSTACI MAG POSTUPKA

Kao i svaki postupak zavarivanja tako i postupak zavarivanja MAG postupkom ima svoje prednosti, ali i nedostatke.

PREDNOSTI MAG POSTUPKA:

- Zavarivanje širokog raspona materijala različitih debljina i vrsta
- Zavarivanje u svim pozicijama uz odgovarajuće parametre
- Dostupna i jednostavna oprema za zavarivanje
- Visoka iskoristivost dodatnog materijala (žice)
- Pogodan za pojedinačnu i masovnu proizvodnju
- Visoka učinkovitost u usporedbi s drugim elektrolučnim postupcima
- Estetski privlačni zavareni spojevi
- Relativno jednostavna obuka zavarivača
- Manji utjecaj zavarivača na proces
- Niska toplinska izloženost u usporedbi s drugim postupcima
- Zavarivanje bez zastoja, zbog stalnog dovoda žice
- Veće brzine zavarivanja u odnosu na TIG i REL postupak
- Lakše čišćenje zavarenih spojeva
- Puno veći depozit materijala u odnosu na TIG i REL postupak
- Nizak unos vodika u zavareni metal
- Smanjena deformacija osnovnih materijala, posebno kod modernih MAG postupaka
- Ekonomična potrošnja dodatnih materijala
- Mogućnost korištenja različitih plinskih mješavina
- Primjenjiv za lemljenje

NEDOSTACI MAG POSTUPKA:

- Manji toplinski unos kod kratkog spoja, ograničava debljinu materijala
- Veći toplinski unos kod štrcajućeg luka, nije optimalan za tanje materijale
- Ograničenje u prisilnim položajima s aksijalnim prijenosom
- Skuplji zaštitni plinovi kod štrcajućeg luka
- Moguće greške zbog vanjskih utjecaja kod terenskog rada
- Izazovi kod zavarivanja aluminijskog i dodatnog materijala
- Potencijal za više grešaka pri nepravilnim tehnikama rada i parametrima
- Prskanje kod prijenosa kratkim spojem, zahtjeva čišćenje
- Početne poteškoće i greške pri zavarivanju
- Složena i velika oprema u odnosu na REL postupak
- Poteškoće na teško dostupnim mjestima zbog veličine pištolja
- Potreba za zavarivačkim šatorom na otvorenim prostorima zbog vremenskih uvjeta
- Potrebni sustavi za odvod štetnih plinova u zatvorenim prostorima
- Relativno visoka emisija toplinskog zračenja

6. ZAKLJUČAK

MAG postupak zavarivanja je izuzetno rasprostranjena tehnika spajanja metala, a njegove raznolike karakteristike omogućavaju prilagodbu prema konkretnim potrebama. Ovaj postupak može se izvoditi u različitim položajima i na raznovrsnim lokacijama te se primjenjuje na širokom spektru materijala, kako osnovnih tako i dodatnih.

Posljednjih godina razvijaju se brzi postupci MAG zavarivanja, koji daju brze, produktivne i kvalitetne rezultate. Da bi se ovaj postupak izveo sa visokim standardima, neophodno je posjedovati odgovarajuće znanje i vještine. Posebna pažnja treba biti usmjerena prema parametrima zavarivanja jer oni značajno utječu na kvalitetu spojeva i njihova mehanička svojstva. Vrlo važan je i odabir dodatnog materijala i zaštitnog plina. Svaki proizvođač odlučuje u kojoj mjeri će se držati preporučenog kemijskog sastava, ovisno o tome kakvu kvalitetu želi pružiti. Za zaštitni plin će izabrati onaj, koji omogućuje dobivanje zavara željenih svojstava, a cijena će uvelike utjecati na izbor. Argon i helij su skuplji plinovi jer se teško dobivaju i njihova zastupljenost u prirodi je malena. Odluka je na zavarivaču i kupcu, koliko novca žele uložiti i kakav spoj žele dobiti.

7. LITERATURA

- [1] *Elementi strojeva*. (n.d.). Dohvaćeno iz <https://slideplayer.gr/slide/14450177/>
- [2] *Wikipedia*, Dohvaćeno iz Zavarivanje: <https://hr.wikipedia.org/wiki/Zavarivanje>
- [3] *Zavareni i zalemljeni spojevi*, Dohvaćeno iz Završni rad, Sveučilište u Rijeci, Filozofski fakultet:
<https://www.ffri.hr/~mdundjer/Elementi%20strojeva%20I/05-ZavareniIZalemljeniSpojevi.pdf>
- [4] Klobucar, M. (2016). *Teorijske i praktične osnove MIG/MAG postupka*. Dohvaćeno iz Završni rad: <https://zir.nsk.hr/islandora/object/unin%3A829/datastream/PDF/view>
- [5] Frigan, F. (2021). *Primjena visokoučinskog MAG postupka zavarivanja*. Dohvaćeno iz Završni rad:
<https://repositorij.fsb.unizg.hr/islandora/object/fsb%3A6929/datastream/PDF/view>
- [6] Delač, D. (2014). *Klasifikacija postupaka zavarivanja prema HRN EN ISO 4063*. Dohvaćeno iz Završni rad:
<https://repositorij.fsb.unizg.hr/islandora/object/fsb%3A2601/datastream/PDF/view>
- [7] Samardžić, I., Horvat, M., Brezovečki, D., & Kondić, V. (2017). *MIG/MAG POSTUPAK ZAVARIVANJA – UTJECAJ ZAŠTITNIH PLINOVA*. Dohvaćeno iz Strojarski fakultet u Slavonskom Brodu: https://dtzsb.unisb.hr/wp-content/uploads/radovi_2017/24-Samardzic-et-al.pdf
- [8] *Škveranka*, Laboratorij za zavarivanje – zavarivanje MAG postupkom:
<https://skveranka.com/laboratorij-za-zavarivanje-zavarivanje-mag-postupkom/>
- [9] <https://www.eurotehnika.hr/kategorija-proizvoda/brandovi/fronius/>
- [10] Gjuretek, D. (2015). *Završni rad*. Dohvaćeno iz Greške kod MAG zavarivanja:
<https://repositorij.fsb.unizg.hr/islandora/object/fsb%3A3024/datastream/PDF/view>
- [11] Jakopolić, H. (2016). *Usporedba konvencionalnog MIG/MAG i suvremenog*. Dohvaćeno iz <https://repositorij.vuka.hr/islandora/object/vuka:560/datastream/PDF>

[12] Ritz, E. (2022). *Analiza mikrostrukture i tvrdoće sučeono zavarenog spoja mig postupkom*. Dohvaćeno iz Završni rad:
<https://zir.nsk.hr/islandora/object/simet:444/datastream/PDF/view>