

# ZAVARLJIVOST I ZAVARIVANJE HARDOX MATERIJALA

---

**Grgić, Marko**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2023**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Slavonski Brod / Sveučilište u Slavonskom Brodu**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:262:448488>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-02-22**



*Repository / Repozitorij:*

[repository.unisb.hr](https://repository.unisb.hr) - The digital repository is a digital collection of works by the University of Slavonski Brod.



SVEUČILIŠTE U SLAVONSKOM BRODU  
STROJARSKI FAKULTET U SLAVONSKOM BRODU

# **DIPLOMSKI RAD**

**sveučilišnog diplomskog studija**

**Marko Grgić**

0152210395

Slavonski Brod, 2023.

SVEUČILIŠTE U SLAVONSKOM BRODU  
STROJARSKI FAKULTET U SLAVONSKOM BRODU

# DIPLOMSKI RAD

sveučilišnog diplomskog studija

**Marko Grgić**

0152210395

Mentor diplomskog rada:

**prof.dr.sc. Marko Dunder**

Slavonski Brod, 2023.

I. Autor

Ime i prezime: Marko Grgić

Mjesto i datum rođenja: Bjelovar, 25.03.1999.g.

Adresa: Prekobrdo 32 a, 43000 Bjelovar

**STROJARSKI FAKULTET U SLAVONSKOM BRODU**

II. Diplomski rad

Naslov: Zavarljivost i zavarivanje hardox materijala (13., stručna)

Naslov na engleskom jeziku:

Ključne riječi: MAG, REL, Hardox, zavarivanje

Ključne riječi na engleskom jeziku: MAG, REL, Hardox, welding

Broj stranica:\_\_\_ slika:\_\_\_ tablica\_\_\_ priloga:\_\_\_ bibliografskih izvora\_\_\_

Ustanova i mjesto gdje je rad izrađen: Strojarski fakultet u Slavonskom brodu

Stečen akademski naziv:

Mentor rada: Marko Dunder

Komentor rada: Zlatko Tonković

Obranjeno na Strojarskom fakultetu u Slavonskom brodu

Dana 27.9.2023

Oznaka i redni broj rada:\_\_\_

Slavonski Brod, 18. siječnja 2023.

## DIPLOMSKI ZADATAK br. 2022-2023

Pristupnik: **Marko Grgić (0152210395)**  
Studij: Diplomski studij: Strojtarstvo  
Smjer: Strojarske tehnologije

Zadatak: **ZAVARLJIVOST I ZAVARIVANJE HARDOX MATERIJALA**

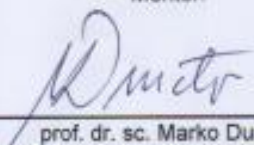
Opis zadatka:

1. UVOD. OPĆENITO O HARDOX MATERIJALIMA (PRIMJENA, PREDNOSTI I NEDOSTATCI, MEHANIČKA I KEMIJSKA SVOJSTVA)
2. PRIMJENJIVANI POSTUPCI ZAVARIVANJA HARDOX MATERIJALA
3. ZAVARLJIVOST HARDOX MATERIJALA IZBOR DODATNOG MATERIJALA
4. ZAVARIVANJE UZORAKA I ISPITIVANJE ZAVARENIH UZORAKA
5. ZAKLJUČAK

Zadatak uručen pristupniku: 18. siječnja 2023.

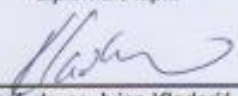
Rok za predaju rada: 18. srpnja 2023.

Mentor:

  
\_\_\_\_\_  
prof. dr. sc. Marko Dunder



Predsjednik povjerenstva za  
diplomski ispit:

  
\_\_\_\_\_  
prof. dr. sc. Ilica Kladić

## IZJAVA

Izjavljujem da sam diplomski rad izradio samostalno, koristeći se vlastitim znanjem, literaturom i provedenim eksperimentima. U radu mi je pomagao savjetima i uputama mentor rada Marko Dunder te mu iskreno zahvaljujem. Isto tako zahvaljujem komentoru i asistentu Zlatku Tonkoviću i Dejanu Mariću na iskazanoj pomoći.



Marko Grgić

## Sažetak

U radu je analizirana povijest MAG i REL postupka zavarivanja te hardox materijal. Opisana je primjena robota i automata prilikom zavarivanja. Također koji se od postupaka može robotizirati i automatizirati, i zašto. Na kraju ovog rada provedena je proba zavarivanja sa jednim od postupaka i provesti ispitivanja kako bi mogli reći dali je pokus zadovoljavajuća ili ne. Ukratko cilj rada je prvenstveno ustanoviti pravilan odabira dodatnog materijala.

## Sadržaj

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 1     | UVOD.....  | 8  |
| 2     | OSNOVNA OBILJEŽJA POSTUPKA ZAVARIVANJA.....                            | 9  |
| 2.1   | MAG POSTUPAK.....  | 9  |
| 2.2   | RAZLIČITE IZVEDBE PRIJENOSA LUKA KOD MIG/MAG POSTUPKA ZAVARIVANJA..... | 11 |
| 2.2.1 | CMT postupak zavarivanja.....  | 11 |
| 2.2.2 | PMC postupak zavarivanja.....  | 13 |
| 2.2.3 | LSC postupak zavarivanja.....  | 13 |
| 2.3   | Robotizacija MAG postupka zavarivanja.....                             | 15 |
| 2.4   | Automatizacija MAG postupka.....                                       | 17 |
| 2.5   | Zaštitni plin.....   | 18 |
| 2.5.1 | Fizikalna svojstva zaštitnih plinova.....                              | 19 |
| 2.5.2 | Klasifikacija i označavanje zaštitnih plinova.....                     | 20 |
| 2.5.3 | Pojedinačni zaštitni plinovi.....                                      | 22 |
| 2.6   | Dodatni materijal.....   | 24 |
| 2.7   | Primjena postupaka u praksi.....                                       | 28 |
| 3     | Hardox materijal.....  | 29 |
| 3.1   | Otpornost čelika na trošenje.....                                      | 30 |
| 3.2   | Zahtjevi za zavarivanje Hardox materijala.....                         | 31 |
| 3.3   | Strojna obrada Hardox materijala.....                                  | 36 |
| 3.4   | Primjena u praksi.....   | 37 |
| 4.    | Proba zavarivanja i ispitivanje zavarenog spoja.....                   | 38 |
| 4.1   | Uređaji za zavarivanje.....  | 38 |
| 4.2   | Odabrani dodatni materijal.....  | 48 |
| 4.3   | Zaštitni plin.....   | 52 |
| 4.4   | Odabrani žljeb za zavarivanje.....                                     | 53 |
| 4.5   | Provedeno zavarivanje.....   | 53 |
| 4.6   | Ispitivanje zavarenog spoja.....                                       | 60 |
| 5.    | Objašnjenje provedenog ispitivanja.....                                | 69 |
| 6     | Zaključak.....   | 73 |
| 7     | Literatura.....  | 74 |



## 1 UVOD

Zavarivanje je spajanje dvaju ili više istorodnih ili raznorodnih materijala primjenom topline (odnosno taljenjem) ili pritiska sa ili bez dodavanja dodatnog materijala, na način da spoj ima kontinuitet bez greške i što jednoličnima svojstva. Sama zavarljivost je sposobnost pojedinog materijala da se pri određenim uvjetima zavarivanja ostvari kontinuirani zavareni spoj. [1]

Zavarivanje se u Hrvatskoj počelo koristiti prije Drugog svjetskog rata. Konkretno koristilo se plinsko zavarivanje i ručno elektrolučno zavarivanje. Proizvodi kao što su : kotlovski bubnjevi, veliki cilindrični rezervoari, nosive konstrukcije, vagoni, mostovi i drugi proizvodi i dalje su se proizvodili u zakovanoj izvedbi. Naime uoči Drugog svjetskog rata postigli smo značajniji razvoj u zavarivanju kada je realizirano nekoliko većih objekata među kojima je i most preko rijeke Save u Zagrebu. On spada među jedne od prvih većih uspješno zavarenih mostova u svijetu, koji se i danas koristi u velikoj mjeri. Naime nakon postignutih pozitivnih rezultata tijekom primjene zavarivanja u periodu od 1950 - 1960 .g. napuštaju se zakovane izvedbe te se sve više prelazi na zavarivanje. Pored REL postupka postepeno su se počeli uvoditi i drugi postupci zavarivanja koji se koriste i u današnje vrijeme (automatski ili poluautomatski postupci zavarivanja).[1]

Najzastupljeniji postupci zavarivanja u današnje vrijeme su: MIG, MAG, TIG, REL, EPP, EP, aluminoterminsko, elektrootporno, plazma zavarivanje. Izbor postupka zavarivanja ovisit će o zahtjevima konstrukcije koju zavarujemo. Tehnolog zavarivanja uz kontrolu i vođenje inženjera zavarivanja (IWE-a) je taj koji će na temelju pojedinih uvjeta odabrati koji postupak i koji parametri zavarivanja su najpogodniji za proizvest željeni proizvod. [1]

Neki od uvjeta koji se mora pratiti su:

1. Isplativost postupka.
2. Parametri zavarivanja.
3. Način i položaji zavarivanja.
4. Brzine.
5. Kvaliteta zavarenog spoja.
6. Željeni zahtjevi konstrukcije.
7. Itd.

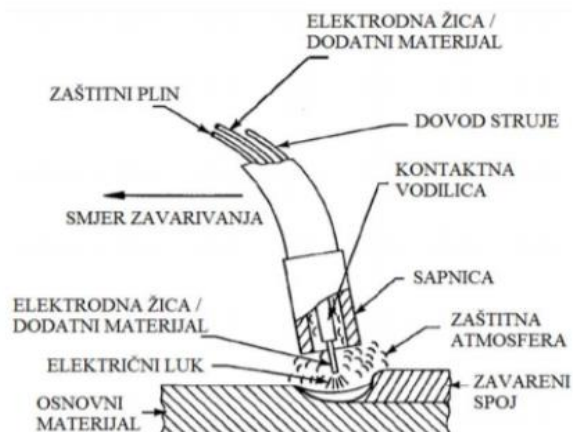
## 2 OSNOVNA OBILJEŽJA POSTUPKA ZAVARIVANJA

U Ovom dijelu rada će biti objašnjeno sve vezano za MIG/MAG postupak zavarivanja. Od povijesnog razvoja, robotizacije, automatizacije pa sve do dodatnog materijala koji se koristi kod ovog postupka.

### 2.1 MAG POSTUPAK

MIG/MAG postupak zavarivanja je elektrolučni postupak zavarivanja taljivom elektrodom u zaštitnoj atmosferi plinova (plinovi mogu biti inertni ili aktivni). Električni luk se uspostavlja pomoću taljive elektrode. U pravilu je elektroda (odnosno žica) spojena na + pol dok je radni predmet spojen na – pol. Za MIG zavarivanje se koriste inertni plinovi kao što su Ar ili He, dok se za MAG postupak koriste aktivni plinovi CO<sub>2</sub> ili njegove mješavine. Zbog velikog razvoja plinova ali i dodatnih materijala postupak se počeo primjenjivati za razne namjene. Na prijenos metala direktno je povezana struja za zavarivanje i mješavina plinova pa su tako uz razvijanje izvora za zavarivanje i plinskih mješavina razvijale i razne dodatne strujno naponske karakteristike koje koristimo i kod MAG i kod MIG zavarivanja. Neki od takvih primjera su: STT, LSC, CMT, RMT, CBT i dr. [1]

Dodatne mogućnosti podešavanja većeg broja parametara direktno će imati utjecaja na poboljšanje postupka zavarivanja (konkretno utječe na kvalitetu zavarenog spoja), to poboljšanje će podići produktivnost i ekonomičnost. Ovaj postupak zavarivanja razvijao se baš zato što ima naj širu upotrebu, može postići veće brzine zavarivanja nasuprot ostalih postupaka zavarivanja, a može se i automatizirati i robotizirati zbog čega je i najzastupljeniji postupak zavarivanja u zavarivačkoj industriji.



Slika 2.1 Shema MAG/MIG postupka zavarivanja [1]

Na slici 2.1 je prikazana shema MIG/MAG zavarivanja te su navedeni pojedini dijelovi i zone koje su bitne za ovaj postupak.

Prijenos kapljica metala se može odvijati mješovito, slobodnim padom ili pomoću fizičkog kontakta prilikom čega nastaje kratki spoj. Tehnolog zavarivanja odlučuje na temelju zahtjeva proizvodnje koji će se od načina MIG/MAG zavarivanja koristiti (odnosno dali će prijenos kapljice metala biti pomoću kratkog spoja, mješovit ili dr.).

Prednosti MIG/MAG postupka su: [1]

- zavarivanje u svim položajima,
- visoko iskorištenje dodatnog materijala,
- jednostavna i lako dostupna oprema za zavarivanje,
- mogućnost zavarivanja više vrsti metala,
- mogućnost zavarivanja pomoću prahom punjene žice,
- jednostavna i laka automatizacija,
- u usporedbi s drugim postupcima ima najnižu cijenu zavara po jedinici metra,
- minimalno prskanje,
- površina zavara se lako i brzo čisti,
- nasuprot drugih postupaka zavarivanja ima niski unos topline,
- obuka zavarivača nije toliko zahtjevna,
- manje količine zavarivačkih plinova i dr.

Nedostatci MIG/MAG postupka zavarivanja su: [1]

- Kod prijenosa metala kratkim spojem ima manji toplinski input pa se mogu zavarivati samo tanji materijali.
- Kod prijenosa metala štrcajućim lukom mogu se zavarivati samo debeli materijali.
- Kod prijenosa metala štrcajućim lukom imamo potrebu za primjenom skupljih zaštitnih plinova.
- Kod zavarivanja Aluminijsa i aluminijevih legura javljaju se problemi kod dovođenja žice i dr.



Slika 2.2 Uređaj za MIG/MAG zavarivanje [2]

## 2.2 RAZLIČITE IZVEDBE PRIJENOSA LUKA KOD MIG/MAG POSTUPKA ZAVARIVANJA

U današnje vrijeme s obzirom na sam razvoj postupaka zavarivanja, rastao je i razvoj različitih izvedbi prijenosa luka kod MIG/MAG zavarivanja. Sam taj razvoj luka nam pridonosi prilikom zavarivanja, odnosno s obzirom na materijale koje zavarujemo i zaštitne plinove koje koristimo također možemo i prilagoditi prijenos luka, odnosno kapljice materijala prilikom zavarivanja. U nastavku teksta će biti pojašnjeni različiti primjeri prijenosa luka kod zavarivanja. [1]

### 2.2.1 CMT postupak zavarivanja

Ovaj postupak zavarivanja je nova tehnologija u procesu zavarivanja. Do prije nekoliko godina je bio samo u razvojnoj fazi, sve do otprilike godinu i pol unazad kada je iz razvojne faze prešao u stvarnu primjenu. Ovaj postupak je poznat po sljedećim karakteristikama: [1]

- 1) Velike brzine zavarivanja
- 2) Mogućnost zavarivanja raznovrsnih materijala

Ovaj postupak se može primjenjivati u :

1. Ručnoj izvedbi
2. Automatskoj izvedbi
3. Robotskoj izvedbi

Skraćenica CMT nam dolazi od engleske riječi Cold Metal Transfer što u prijevodu znači hladni prijenos metala. Kod ovog postupka zavarivanja imamo ravnomjieran unos topline prilikom zavarivanja što nam omogućava manje deformacije prilikom zavarivanja te nam također povećava preciznost zavarivanja. Ovo su samo neke od prednosti koje nam nudi robotsko ili automatsko zavarivanje. Kod ovog postupka imamo još prednosti kao što su: [1]

1. Velika kvaliteta zavarenog spoja
2. Mogućnost zavarivanja tankih materijala
3. Mogućnost zavarivanja pocinčanih materijala
4. Zavarivanje bez prskotina rastaljenog materijala

Ovaj postupak se temelji na kontroli kratkog luka odnosno na kontroliranom prekidanju luka. Kod ovog postupka imamo sljedeće:

Postupak započinje sa laganim unosom topline kako bismo rastalili osnovni materijal, zatim se dodatni materijal pri niskoj temperaturi dodaje u kupku rastaljenog osnovnog materijala. Dodatni se materijal djelomično rastalio te pošto nemamo visoku temperaturu kako bi kapljicu odvojili na standardni način koristimo se povratnim gibanjem žice. Odnosno to povratno gibanje će nam omogućiti odvajanje kapljice od žice bez prskotina. Baš po ovom načinu odvajanja kapljice dodatnog materijala ovaj se postupak razlikuje od ostalih. [1]



Slika 2.3 Osnovne faze CMT procesa [1]

Iz slike 2.3 iznad možemo vidjeti sljedeće :

1. Prilikom gorenja luka dodatni se materijal kreće prema rastaljenom osnovnom materijalu
2. Prilikom dolaska dodatnog materijala do kupke luk se gasi a struja će se smanjiti
3. Polazi do odvajanja kapljice dodatnog materijala tijekom kratkog spoja i pri niskoj struji
4. Dolazi do odmicanja žice te se ponovno započinje sa postupkom zavarivanja ispočetka

### 2.2.2 PMC postupak zavarivanja

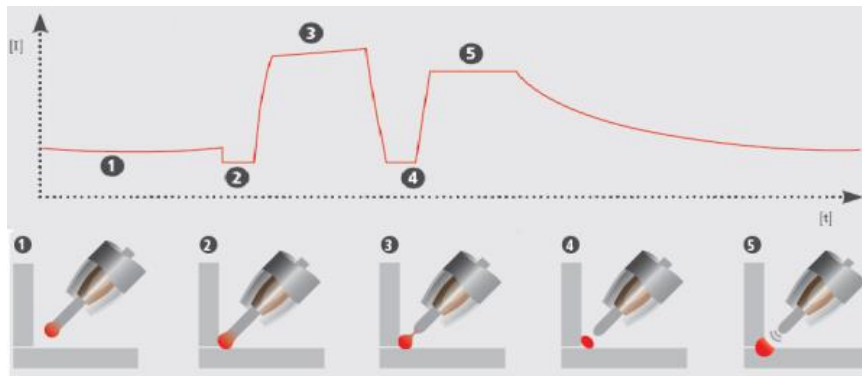
Ovaj postupak nam dolazi od engleske riječi Plus Multi Control. Ovaj postupak se sastoji od skupine funkcija koje nam omogućavaju bolju kontrolu i rezultate zavarivanja. PMC postupak zavarivanja je postupak zavarivanja impulsnim električnim lukom s brзом obradom podataka, velikom preciznošću o poboljšanim odvajanjem kapljica. Omogućava ravnomjernu penetraciju te stabilniji električni luk pri bržem zavarivanju. Duljinu luka kod ovog postupka kontroliramo podešavanjem brzine dodavanja žice. Ovaj postupak zbog stabilizatora duljine električnog luka ima kratak i stabilan luk kojeg ne moramo naknadno podešavati. Također imamo funkciju koja nam omogućava povlačenje žice ( dodatnog materijala ) nakon kratkog spoja kako bi izbjegli prskanje materijala. Može se i upotrebljavati kod prijenosa metala štrcajućim lukom. [1]



Slika 2.4 Izgled zavora PMC postupka [1]

### 2.2.3 LSC postupak zavarivanja

LSC postupak spada u grupu novih postupaka. Konkretno LSC postupak je novi električni postupak kod kojeg imamo luk s malo prskotina. Također i kod ovog postupka imamo poboljšanu stabilnost el. Luka. Ova funkcija poboljšava prijenos metala na kratkim spojevima na način da regulira vrijednost struje prilikom odvajanja kapljice. Još se upotrebljava i kod prijenosa metala štrcajućim lukom. [1]



Slika 2.5 LSC prijenos metala kratkim spojem [1]

Na slici 2.5 možemo vidjeti sljedeće :

U točki 1. imamo nastanak kapljice, zatim se u točki 2. započinje sa prilaženjem kapljice do mjesta koje se zavaruje i potom struja slabi kako bi imali manje opterećenje na samu kapljicu. U točki 3. kapljica će se zalijepiti na predviđeno mjesto, u sljedećoj točki ( u točki 4. ) dolazi do odvajanja kapljice a to se dešava na način da struja ponovno slabi i minimaliziramo stvaranje prskotina. Te dolazimo do točke 5. koja je u ovom ciklusu zadnja točka i u njoj imamo penetriranje kapljice u osnovni materijal, a dublju penetraciju ćemo postići uz pojačavanje struje. Nakon točke 5. postupak se ponavlja ispočetka.

Neke od prednosti ove funkcije su :

1. Vrlo malo prskanje
2. Smanjen unos topline
3. Veći učinak taljenja pri zavarivanju korijena
4. Dobra penetracija
5. Mogućnost zavarivanja u 100% CO<sub>2</sub>

Velike brzine zavarivanja



Slika 2.6 Zavareni spoj LSC postupkom [1]

### 2.3 Robotizacija MAG postupka zavarivanja

Roboti su u današnje vrijeme preuzeli većinu poslova koje je nekad odrađivao čovjek. Naime najveća prednost primjene robota je ta što je smanjeno izlaganje čovjeka štetnim parama. Robote primjenjujemo kada želimo postići veliku proizvodnju ali i točnost pojedinih proizvoda. Roboti mogu imati kretanje u više osi, što nam omogućava zavarivanje u raznim položajima pa čak i u onima u kojima čovjek ne bi mogao raditi. Također prilikom programiranja robota imamo 2 mogućnosti:

1. Mogućnost je da robotu točke kretanja odredimo uz pomoć programiranja. Odnosno u obradni sustav robota unosili bi vrijednosti za  $x$ ,  $y$  i  $z$  osi. Te vrijednosti su ustvari naše kretanje robota (odnosno putanja kretanja gorionika).
2. Mogućnost je da tehnolog zavarivanja odabere naredbu uz koju robotska ruka ima slobodno kretanje. Odnosno tehnolog primi robotsku ruku te ju zatim dovodi u početni položaj te uz pomoć određene tipke tu poziciju unosi kao početnu točku, nakon toga tehnolog nastavlja dalje sa određivanjem ostalih točaka koje su potrebne da se određeni predmet kvalitetno zavari. Nakon što su sve točke određene tehnolog zavarivanja tu putanju provjerava u radu, te ako je sve u redu robot se može pustiti u rad.

Možemo reći da kroz cijeli razvoj robota imamo 3 generacije robota:

1. U prvu generaciju robota spadaju programski roboti. Ova skupina nema veliku mogućnost kretanja, ali danas je najraširenija za primjenu kod jednostavnijih slučajeva u industriji.
2. Drugu generaciju robota još nazivamo senzitivnim robotima. Ova grupa robota je opremljena nizom senzora, također mogu sadržavati i sustave za raspoznavanje. Roboti preko senzora



dobivaju informacije o okolini, a uz pomoć jednostavne logike ugrađene u računalo takvi roboti imaju mogućnost reagiranja i donošenja jednostavnijih odluka (npr. da ili ne).

3. Treću generaciju robota nazivamo inteligentnim robotima. Ona je, osim sustavima za raspoznavanje, opremljena i računalima nove generacije. Cijeli sustav trebao bi imati svojstva višeg stupnja inteligencije, odnosno donošenja odluka na temelju pojedinih analiza, učenje i odlučivanje. Za tu umjetnu inteligenciju najbitnija je mogućnost učenja odnosno povezivanje novih iskustava s postojećim znanjem. To se postiže modelom vanjskog svijeta ugrađenim u memoriju računala, odnosno datotekom. Uspoređivanjem s dobivenim informacijama iz okoline, robot samostalno reagira na vanjske promjene, odnosno donosi odluke bez programske upute. Robote možemo razlikovati s obzirom na sljedeće karakteristike: Veličinu, Materijale kojima mogu rukovati, Motorima kojima se pogone zglobovi, Vrstama senzora te uz pomoć računskih sustava koji ih poslužuju. Najbitnija podjela je na temelju: Upravljanja kretanjem, Vrsti pogona i Geometriji radnog prostora.



Slika 2.7 Robot za MIG/MAG zavarivanje [1]

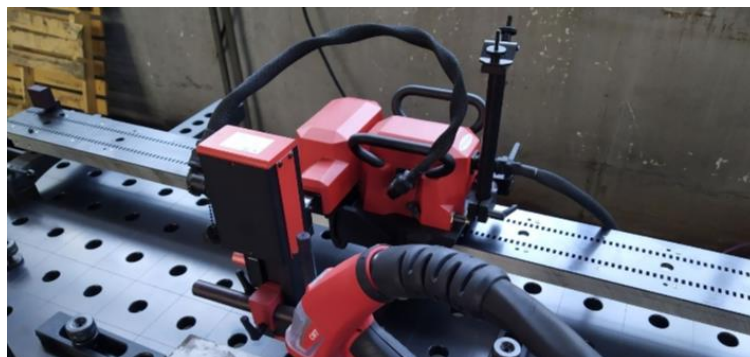
Na slici je prikazan robot za MIG/MAG zavarivanje, u ovom slučaju koristit će se MAG postupak, odnosno plin i ostale potrebne komponente biti će prilagođene MAG postupku. Konkretno sastoji se od:

1. Robotske ruke ( Koja ima nekoliko stupnjeva slobode ).
2. Izvora za zavarivanje.
3. Radnog stola ( može biti fiksna a može imati i kretanje).
4. Upravljačka jedinica.
5. Kontroler.

Robot sa slike 2.11. se pokreće uz pomoć električnog pogona, ima slobodu kretanja u 5 osi, od koje su dvije osi određene za rotaciju gorionika, na robot je ugrađeno fronius sučelje za zavarivanje. Ovaj robot se konkretno koristi za obuku studenata te za potrebe zavarivačkog laboratorija.

## 2.4 Automatizacija MAG postupka

U današnje vrijeme se sve češće primjenjuju automati za zavarivanje dugačkih zavara ili zavarivanje u nepovoljnim položajima. U ovom dijelu će biti opisan Fronius-ov automat za zavarivanje, konkretno Flex track 45 PRO. Ovaj uređaj za zavarivanje nije pre velik ni zahtijevan za uporabu. Naime uređaj se sastoji od nekoliko komponenti koje će biti detaljnije objašnjene u nastavku rada, neke od glavnih su sam automat (traktor), staza za vođenje (tračnica) i naravno kontroler. [1]



Slika 2.8 Automat za MIG/MAG zavarivanje [1]

Ova vrsta automata ima tri izvedbe odnosno putanje: kružnu ( cirkularnu ) i ravnu ( pravocrtnu) i kombinacijom ove dvije staze možemo imat krivoljarnu putanju. Razlika između postupka je samo u izvedbi staza za pogon robota. Robot ima pomicanje po x, y i z osi. Samo rukovanje i montaža automata je laka. Rukovanje i kontrola zavarivanja se vrši pomoću konzole za upravljanje. Zavarivač prije početka zavarivanja unosi zadane parametre u izvor zavarivanja, ali ih također može mijenjati tijekom zavarivanja uz pomoć kontrolera, što je jako dobro i korisno jer na pojedinim mjestima može povećati ili smanjiti protok žice, brzinu zavarivanje,

isto tako može kontrolirati i pomake po osima. Kada govorimo o automatu možemo vidjeti da nam on donosi velike prednosti kao što su :[1]

1. Brži proizvodni proces
2. Povećava se kvaliteta proizvodnje
3. Smanjenje troškova
4. Povećana konkurentnost

Kao što možemo vidjeti iz gore navedenih prednosti da nam primjena automata Flex Track 45 PRO donosi veliku prednost u proizvodnji. Idealan primjer za primjenu automata je zavarivanje dugačkih šavova (npr.: zavarivanje komponenti u brodogradnji). Automat za razliku od radnika može duže vremena zavarivati u jednom položaju pri istim parametrima dok radniku treba odmor nakon nekog vremena. [1]

Automat Flex Track 45 pro nazivamo još i kompaktni traktor za zavarivanje. Automat nam nudi tri različite vrste staza za vođenje i široku primjenu. Može se primjenjivati u brodogradnji, konstrukciji kontejnera, izradi spremnika ili pri zavarivanju velikih površina.

Neke od istaknutijih značajki su : [1]

1. Fleksibilnost – ona nam omogućava da automat bez ikakvih problema i ograničenja primjenjujemo na različitim površinama zavarivanja
2. Preciznost – omogućava na stalnu brzinu zavarivanja i kretanja
3. Kvaliteta – visoka kvaliteta zavarenog spoja
4. Robusnost – omogućava nam zavarivanje u teškim uvjetima, ali isto tako i otporan na vanjska oštećenja jer je kućište od lijevanog aluminijskog aluminija
5. Udobnost – omogućava nam brzu i jednostavnu montažu vodilica na površinu koju ćemo zavarivati

Ova vrsta automata nam uz pomoć fleksibilnosti i kvalitete daje bolje odnose na konačnom proizvodu, odnosno zbog svojih prednosti nas dovodi do boljeg i kvalitetnijeg proizvoda. Za tu preciznost i kvalitetu su zadužene pojedine komponente koje će biti ukratko opisane u daljnjem dijelu rada. [1]

## **2.5 Zaštitni plin**

Kao što je opće poznato prilikom zavarivanja metalnih konstrukcija gdje su široko zastupljeni postupci elektrolučnog zavarivanja, koriste se određena sredstva za zaštitu metalne

kupke kao što su plinovi, obloge i razni praškovi. Sam odabir i primjena određenih plinova, prašaka i drugih pomoćnih materijala izravno ovisi o osnovnom materijali i dodatnom materijalu koje ćemo koristiti prilikom zavarivanja. Uloga zaštitnih plinova je da zaštiti mjesto zavarivanja od okolne atmosfere, pogotovo da spriječi oksidaciju te ulazak vodika i dušika u zavareni spoj. Obično se kao zaštitni plinovi koriste aktivni plinovi, inertni plinovi te njihove mješavine. Kod uporabe određenih elektrolučnih postupaka zavarivanja odabir zaštitnog plina ovisi o vrsti osnovnog metala koji se koristi kod zavarivanja, o predviđenom obliku prijenosa rastaljenog metala kroz električni luk, o željenom izgledu površine zavara i dr. Zaštitni plin uvelike utječe i na oblik poprečnog presjeka zavara, a najpovoljniji oblik osiguravaju određene mješavine plinova. U daljem dijelu teksta bit će prikazane i objašnjene fizikalne mogućnosti plinova, vrste plinova, kombinacija plinova te njihovo značenje. [3]

### 2.5.1 Fizikalna svojstva zaštitnih plinova

Fizikalna svojstva imaju veliki utjecaj na zaštitne plinove i njihovo razumijevanje. Najvažnija fizikalna svojstva su: [3]

1. Ionizacijski potencijal.
2. Toplinska vodljivost.
3. Disocijacija i rekombinacija.
4. Čistoća plina.
5. Gustoća plina.
6. Kemijska reaktivnost.

1. Ionizacijski potencijal - ionizacijski potencijal se može definirati kao potrebna energija, izražena u elektronvoltima (eV) za uklanjanje elektrona iz atoma zaštitnog plina, te njegovo pretvaranje u ion. Ionizacijski potencijal ovisi o atomskoj masi plina. Ako je ionizacijski potencijal manji veća je atomska masa plina, npr. argon i helij. [3]
2. Toplinska vodljivost - pokazuje kako pojedini plinovi provode toplinu. Zbog toplinske vodljivosti dolazi do širenja topline odnosno njezinog gubitka od sredine električnog luka prema periferiji. Čisti argon se upotrebljava kao zaštitni plin, on posjeduje slabu toplinsku vodljivost zbog čega ima utjecaj na uspostavu električnog luka. Električni luk se sastoji od dvije zone, a to su: vruća uska jezgra i hladnija vanjska zona. [3]

3. Disocijacija i rekombinacija - zaštitni plinovi čije se molekule sastoje od viška atoma (kisik, vodik, ugljični dioksid) kod visokih temperatura, dolazi do razgradnje odnosno disociranja plinova na atome (npr. molekula ugljičnog dioksida sačinjavaju dva atoma kisika i jedan atom ugljika na koji se disocira). Atomi se bar jednim dijelom ioniziraju te tvore slobodne elektrone što pospješuju strujni tok. [3]
4. Čistoća plina - vrlo je važna jer mala količina nečistoće u zaštitnom plinu može imati nezadovoljavajući efekt na potpunost spajanja, brzinu zavarivanja, količinu poroznosti te izgled i oblik zavara a ona ovisi o tome koji se metal zavaruje i kojom tehnologijom zavarivanja. Vrlo je bitno da svaki zaštitni plin zadovoljava normama određenu toleranciju na čistoću zaštitnog plina (npr. ugljični čelik ima visoku toleranciju na čistoću plina). [3]
5. Gustoća plina - predstavlja jedan od ključnih faktora za učinkovitost zaštitnih plinova. Da bi osigurali odgovarajuću zaštitu taline zavara, plinovi koji su teži od zraka tj. imaju veću gustoću zahtijevaju manji protok plina, nego plinovi koji su lakši tj. imaju manju gustoću. [3]
6. Kemijska reaktivnost - Sklonost pojedinog plina (kod temperature električnog luka) da reagira s elementima nazočnima u talini. Primjer inertnih plinova to jest potpuno neaktivnih plinova su helij i argon, oni nemaju nikakav kemijski učinak na zavareni spoj. [3]

### 2.5.2 Klasifikacija i označavanje zaštitnih plinova

Zaštitni plinovi se označavaju sa nazivom Zaštitni plin ali i sa brojem norme, grupe i oznakom koje možemo vidjeti u tablici 2.1. Plinovi i plinske mješavine koje pripadaju glavnoj grupi moraju biti klasificirane po simbolima norme i po brojevima. Uz pomoć slova označavamo ih na sljedeći način: [3]

- M - Oznakom su označene oksidirajuće plinske mješavine koje se temelje na argonu, a sadrži  $O_2$ ,  $CO_2$  ili  $O_2+CO$ .
- R - Reducirajuća plinska mješavina.
- I - Inertni plinovi i inertne plinske mješavine.
- C - Jače oksidirajući plinovi ili plinske mješavine.

- F - Plin trome reaktivnosti ili reducirajuće plinske mješavine.
- S - Specijalna plinska mješavina, kada se dodaju komponente koje nisu navedene u tablici.

Sve glavne grupe, osim S grupe su podijeljene u podgrupe. Na osnovi razine komponenti koje utječu na reaktivnost i na prisutnost vrši se podjela. Razvrstavanje plinova i plinskih mješavina provodi se prema simbolima od kemijskih komponenti i klasifikacije te se nakon toga unose volumni postotci. Simboli kemijskih komponenti: [3]

CO<sub>2</sub> - ugljikov dioksid; O<sub>2</sub> - kisik; Ar - argon; He - helij; H<sub>2</sub> - vodik; N<sub>2</sub> - dušik.

Primjeri označavanja: [3]

1. Plinska mješavina sastoji se od 30 vol. % helija a ostatak je argon označava se kao Zaštitni plin EN 439-I3.
2. Plinska mješavina sastoji se od 10 vol. % CO<sub>2</sub>, 3 vol. O<sub>2</sub>, a ostatak je argon označava se kao Zaštitni plin EN 439-M24.

Specijalni plin sastoji se od 10 vol.% CO<sub>2</sub>, 3 vol. O<sub>2</sub>, a ostatak je argon uz 2,5 vol.% neona, označava se kao Zaštitni plin EN 439-S M24 + 2,5Ne.

Tablica 2.1 Vrste zaštitnih plinova za zavarivanje i rezanje u skladu s EN 439, vol % [3]

| Grupa | Broj | CO <sub>2</sub> | O <sub>2</sub> | Ar       | He        | H <sub>2</sub> | N <sub>2</sub> | Uporaba   |
|-------|------|-----------------|----------------|----------|-----------|----------------|----------------|---|
| R     | 1    |                 |                | Ostatak* | > 0 – 15  |                |                | TIG, Plazma zavarivanje i rezanje, zaštita korijena |
|       | 2    |                 |                | Ostatak* | > 15 - 35 |                |                |   |
| I     | 1    |                 |                | 100      |           |                |                | MIG, TIG, Plazma zavarivanje, zaštita korijena      |
|       | 2    |                 |                |          | 100       |                |                |   |
|       | 3    |                 |                | Ostatak* | > 0 - 95  |                |                |   |
| M1    | 1    | > 0 – 5         |                | Ostatak* |           |                |                | MAG   |
|       | 2    | > 0 – 5         |                | Ostatak* |           |                |                |   |
|       | 3    |                 | > 0 – 3        | Ostatak* |           | > 0 - 5        |                |   |
|       | 4    | > 0 - 5         | > 0 - 3        | Ostatak* |           |                |                |   |
| M2    | 1    | > 5 – 25        |                | Ostatak* |           |                |                | MAG   |
|       | 2    |                 | > 3 – 10       | Ostatak* |           |                |                |   |
|       | 3    | > 0 – 5         | > 3 – 10       | Ostatak* |           |                |                |   |
|       | 4    | > 5 - 25        | > 0 - 8        | Ostatak* |           |                |                |   |
| M3    | 1    | > 25 – 50       |                | Ostatak* |           |                |                | MAG   |
|       | 2    |                 | > 10 –         | Ostatak* |           |                |                |   |
|       | 3    | > 5 - 50        | 15<br>> 8 - 15 | Ostatak* |           |                |                |   |
| C     | 1    | 100             |                |          |           |                |                | MAG   |
|       | 2    | Ostatak         | > 0 - 30       |          |           |                |                |   |
| F     | 1    |                 |                |          |           |                | 100            | Plazma rezanje                                      |
|       | 2    |                 |                |          |           | > 0 - 50       | Ostatak        |   |

### 2.5.3 Pojedinačni zaštitni plinovi

Kada govorimo o pojedinačnoj primjeni zaštitnih plinova tada možemo reći da se Argon, Helij i Ugljični dioksid mogu koristiti u pojedinačnoj primjeni. Dok na primjer Kisik, Dušik i Vodik upotrebljavamo samo u plinskim mješavinama uz kontrolirano doziranje jer previše njihovog prisustva u zaštitnom plinu može dovest do štete. Zaštitnu atmosferu kod zavarivanja čine plinovi u pojedinačnom obliku ili u obliku mješavina. Mješavine mogu biti: dvokomponentne, trokomponentne te četverokomponentne koje u svome sastavu imaju plinove kao što su: [3]

1. Argon
2. Helij
3. Kisik
4. Dušik
5. Vodik
6. Ugljikov dioksid

Uz pomoć gore navedenih plinova možemo dobiti željenu komponentu. Konkretno kod MAG postupka u ovom radu budemo koristili dvokomponentni ili trokomponentni zaštitni plin. Izbor plina će konkretno ovisiti o samim svojstvima osnovnog i dodatnog materijala.

Tablica 2.2 Učinci i cijena zaštitnih plinova [3]

| Plin                                | Proizvodni učinci   | Ponašanje luka          | Cijena  |
|-------------------------------------|---|-------------------------|---------|
| Argon (Ar)                          | Inertni zaštitni plin, poboljšava razgradnju oksida, ograničava penetraciju   | Stabilan luk            | Srednja |
| Helij (He)                          | Inertni zaštitni plin, osigurava više unosa topline, poboljšava prodiranje  | Nestabilan luk          | Skupa   |
| Ugljikov dioksid (CO <sub>2</sub> ) | Koristi se u malom omjeru za oksidaciju i stabiliziranje luka, poboljšava vlažnost zrna zavarivanja, duboko prodiranje zavara | Nestabilan luk          | Jeftina |
| Kisik (O <sub>2</sub> )             | Koristi se u malom omjeru za oksidaciju i stabiliziranje luka, poboljšava fluidnost zavarivačkog sloja i prodiranje zavara    | Nikad se ne koristi sam | Jeftina |
| Vodik (H <sub>2</sub> )             | Bolja površina zrna, viša temperatura luka, veća brzina zavarivanja   | Stabilan luk            | Jeftina |
| Dušik (N <sub>2</sub> )             | Može stvarati nitrde na visokim temperaturama   | Nestabilan luk          | Jeftina |

U tablici 2.2. je prikazano označavanje pojedinih zaštitnih plinova, također možemo vidjeti proizvodne učinke, kvalitetu luka te cijenu samog plina. Također najveća prednost ove tablice je da možemo vidjeti kakvu nam kvalitetu luka daje pojedini plin ali i kakve učinke zaštitnog plina budemo imali. Konkretno gledano za ovaj rad na osnovu materijala koji se koristi najpogodniji su nam Argon (Ar) i Ugljikov dioksid (CO<sub>2</sub>).

Argon (Ar) - Inertni plin koji se u današnje vrijeme najčešće koristi. Ne ulazi u reakcije s drugim kemijskim elementima i spojevima. Argon je plin bez boje, okusa i mirisa, nije zapaljiv niti topiv i nije otrovan ali i dalje moramo biti oprezni prilikom rukovanja jer u zatvorenim prostorijama može biti opasan jer može smanjiti koncentraciju kisika. Argon se aktivno koristi kod zavarivanja željeznih i ne željeznih metala zbog njegove velike gustoće i svojstva inertnosti. Argon čistoće 99,95 % koristi se kao zaštitni plin kod TIG zavarivanja, osim kod vatrootpornih i reaktivnih metala kod kojih je potrebna čistoća 99,997%. Kao što smo već rekli argon je najčešće korišten inertni plin, u usporedbi sa helijem, argon ima veću gustoću, veći ionizacijski potencijal, nižu cijenu, veću dostupnost, manji potreban protok te je lakše uspostaviti električni luk. Najveći problem kod korištenja argona je taj da ima 40% veću gustoću od zraka, te zrak potiskuje na dno prostorije. Udisanjem argona dolazi do nesvjesticke zbog težeg disanja, a ponekad može prouzročiti trajnu invalidnost ili čak i smrt. U prostorijama gdje se izvodi zavarivanje, a argon se koristi kao zaštitni plin, obavezno treba osigurati dobru ventilaciju i prozračivanje prostorije kako bi se izbjegle navedene posljedice. [3]

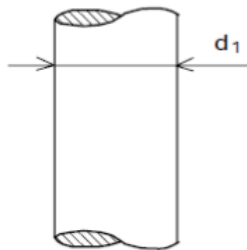
Ugljikov dioksid (CO<sub>2</sub>) - je reaktivan plin bez boje, nadražujućeg je mirisa i nije sklon zapaljivanju. Sastoji se od dva kemijska elementa a to su ugljik i vodik. Gušći je od zraka pa se obično skuplja pri dnu prostorije i u kanalima pa se kod njegove primjene koristi oprema za odsis štetnih plinova ( odnosno plinova pri zavarivanju ). Kod elektrolučnog zavarivanja čistoća CO<sub>2</sub> plina kao zaštitne atmosfere iznosi 99,8% što nam omogućava zadovoljavajuću kvalitetu zavarivanja, bez poroznosti zavarenog spoja. Ugljikov monoksid je naročito prikladan za MAG zavarivanje kratkim spojem jer ima nisku cijenu po jedinici volumena i ima veliku dostupnost. Iako ima veliku dostupnost i nižu cijenu po jedinici volumena, on nije ekonomski isplativ zbog manje učinkovitosti deponiranja metala, otpadnih plinova, prskanja te uklanjanja tragova prskanja. [3]



## 2.6 Dodatni materijal

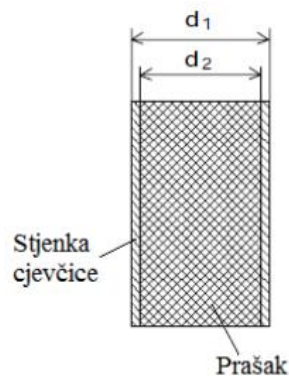
Kada govorimo o MIG/MAG postupku zavarivanja također moramo spomenuti i dodatni materijal ( odnosno žicu za zavarivanje ). Opće je poznato da se kod ovog postupka zavarivanja luk uspostavlja uz pomoć dodatnog materijala ( žice ). Kao i zaštitni plin dodatni materijal ima veliki utjecaj na kvalitetu zavarenog spoja. U današnje vrijeme postoje razni dodatni materijali za ovaj postupak zavarivanja, odnosno s obzirom na mogućnosti zavarivanja ovog postupka razvijeni su razni dodatni materijali. Dodatni materijal je kod ovog postupka u obliku žice, te ih možemo pronaći u kružnoj izvedbi. Konkretno se dijele na dvije grupe:

### 1. Puna žica



Slika 2.9 Puna žica[4]

### 2. Praškom punjena žica



Slika 2.10 Praškom punjena žica[4]

Kao što je već spomenuto dodatni materijal svojim sastavom izravno utječe na zavarivačke i metalurške procese i time osigurava zahtijevanu kvalitetu zavarenog spoja ili navara. Dodatni materijali su danas standardizirani nacionalnom ili međunarodnom normom, kod kojih se odgovarajućim oznakama označavaju njihova svojstva. Kao što je već poznato

tijekom zavarivanja se dodatni materijal rastaljuje zajedno sa osnovnim materijalom te nakon hlađenja čine zavareni spoj. Kada već govorimo o dodatnom materijalu moramo naglasiti i njihove standardne dimenzije koje se koriste tijekom proizvodnje. Stoga u tablici 2.3 i 2.4 možemo vidjeti koje su to standardne vrijednosti promjera i težine. [4]

Tablica 2.3 *Standardne dimenzije namotanog koluta*[5]

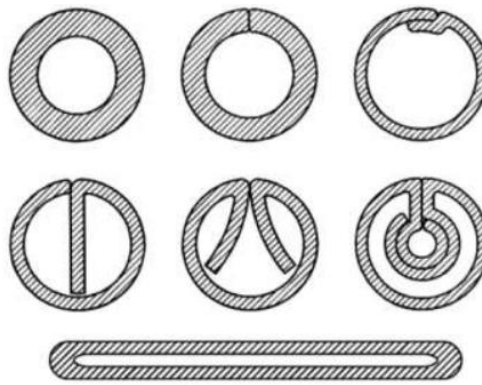
| Oznaka koluta | Vanjski promjer<br>( mm ) | Širina koluta<br>( mm ) | Promjer rupe<br>( mm ) | Težina žice<br>( kg ) |
|---------------|---------------------------|-------------------------|------------------------|-----------------------|
| D100          | 100                       | 45                      | 16,5                   | 1                     |
| D200          | 200                       | 55                      | 50,5                   | 5                     |
| D300          | 300                       | 103                     | 51,5                   | 15                    |

Tablica 2.4 *Standardni promjeri dodatnog materijala ( žice )* [5]

|                     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|---------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Pune žice ( mm )    | 0,6 | 0,8 | 1,0 | 1,2 | 1,6 | 2,0 | 2,4 |     |     |
| Punjene žice ( mm ) |     | 0,8 | 1,0 | 1,2 | 1,6 | 2,0 | 2,4 | 2,8 | 3,0 |

Također je još važno navesti da kod praškom punjenih žica postoji više različitih poprečnih presjeka. Kod praškom punjenih žica zavarivanje se može vršiti sa ili bez primjene zaštitnog plina. Recimo u slučaju kad nema ili se ne koristi zaštitni plin žica sama stvara zaštitnu atmosferu prilikom raspadanja jezgre. Na slici 2.29 možemo vidjeti različite izvedbe punjenih žica: [5]

1. Bešavne – ima deblju stijenu, prah se kod ovog tipa žice puni uz pomoć vibracije te je ova vrsta žica najkvalitetnija.
2. Zatvorene laserom – prah se kod ovih žica puni na način da se traka prvo pretvori u oblik te se zatim stavlja prah te nakon stavljanja praha, U oblik prelazi u O te se nakraju zavaruje, mogu biti i po bakrene.
3. Šavne žice – spajanje se vrši na razne načine ( na slici donja tri oblika )



Slika 2.12 Shema različitog spajanja žica [5]

Također na dnu slike 2.29 možemo vidjeti kako okvirno izgleda praškom punjena žica.

Prednosti praškom punjenih žica su: [45]

1. Visoka kvaliteta zavora.
2. Odlična penetracija i ljepši izgled zavora.
3. Odlična kod kutnih zavora u zidnom položaju.
4. Veća produktivnost.
5. Velika brzina zavarivanja.
6. Manje štrcanje.

Nedostatci praškom punjenih žica: [5]

1. Veća cijena u odnosu na punu.
2. Veća količina plinova.
3. Potreba za skidanjem troske.

U današnje vrijeme kod odabira dodatnog materijala možemo se koristiti tablicama pojedinih tvrtki koje se bave proizvodnjom dodatnog materijala. U tablicama se nalaze podatci kao što su: naziv žice, svrha, svojstva, područje primjene i na kraju možemo vidjeti kemijski sastav. Ovakva vrsta tablica nam uveliko pomaže prilikom odabira dodatnog materijala za zavarivanje jer nam ujedno i sugerira koji bi zaštitni plin ili smjesa plinova odgovarala uz pojedinu žicu za određeni materijal. U tablici 2.5 i 2.6 možemo vidjeti označavanje dodatnog materijala te sve komponente koje smo naveli u tekstu prije.[5]

Tablica 2.5 Označavanje dodatnog materijala[5]

| Naziv žice | Osnovni materijal   | Svojstvo žice  | Kemijski sastav (%) žice |          |         |                               |
|------------|---|--|--------------------------|----------|---------|-------------------------------|
|            |   |  | C                        | Mn       | Si      | Ostali                        |
| EZ-SG2     | Nelegirani i niskolegirani čelik do 590 N/mm <sup>2</sup>   | Pobakrena, zavarivanje, zaštitni plinovi CO <sub>2</sub> ili mješavine CO <sub>2</sub> /Ar                         | 0.06-0.13                | 1.4-1.6  | 0.7-1.0 | Cu (≤0.3)                     |
| EZ-SG3     | Nelegirani i niskolegirani čelik do 640 N/mm <sup>2</sup>   | Pobakrena ili pobrončana, zaštitni plinovi CO <sub>2</sub> ili mješavine CO <sub>2</sub> /Ar                       | 0.08-0.12                | 1.6-1.8  | 0.9-1.1 | Cu (≤0.3)                     |
| EZ-SG Mo   | Nelegirani i niskolegirani čelika do 590 N/mm <sup>2</sup> , cijevi visokotlačnih posuda čija tem. ne prelazi 500 °C                                  | Pobakrena ili pobrončana žica legirana molibdenom zaštitne mješavine plinova CO <sub>2</sub> /Ar                   | 0.06-0.1                 | 1.0-1.15 | 0.4-0.6 | Mo (0.45-0.5)                 |
| EZ-SG Ti   | Ugljičnih i ugljično-manganskih čelika do 510 N/mm <sup>2</sup> , te jednoprolazno zavarivanje pocinčanih, zaštićenih primjerom te oksidiranih limova | Pobakrena ili pobrončana žica legirana titanom, zaštitni plinovi CO <sub>2</sub> ili mješavine CO <sub>2</sub> /Ar | 0.04-0.06                | 1.1-1.5  | 0.5-0.8 | Ti (0.1-0.12)                 |
| EZ-SG 120  | Sitnozrnati čelici čvrstoće do 890 N/mm <sup>2</sup>  | Pobakrena ili pobrončana, zaštitni plinovi CO <sub>2</sub> ili mješavine CO <sub>2</sub> /Ar                       | 0.1                      | 1.8      | 0.8     | Cr (0.35); Ni (2.0); Mo (0.5) |

Tablica 2.6 Označavanje dodatnog materijala[5]

| Naziv žice          | Osnovni materijal  | Svojstvo žice  | Kemijski sastav (%) žice |      |      |  |
|---------------------|--|--|--------------------------|------|------|--|
|                     |  |  | C                        | Mn   | Si   | Ostali                                   |
| EZ-MIG 307 Si       | Za austenitne nehrđajuće čelike, čelika slabe zavarljivosti, manganski čelika                                      | Austenitna puna žica, zaštitni plinovi Ar+CO <sub>2</sub> (2.5% ) ili Ar+O <sub>2</sub> (1-3%) | ≤0.07                    | 6.9  | 0.7  | Cr (18.5); Ni(8.0)                       |
| EZ-MIG 309 LSi      | Zavarivanje raznorodnih spojeva, navarivanje nehrđajućeg čelika na obični čelik                                    | Austenitna puna žica, zaštitni plinovi Ar+CO <sub>2</sub> (2.5% ) ili Ar+O <sub>2</sub> (1-3%) | ≤0.02                    | 2.0  | 0.8  | Cr (23.5); Ni (14.0)                     |
| EZ-MIG 310          | Zavarivanje visokotemperaturnih nehrđajućih čelika koji su tijekom eksploatacije izloženi temperaturama do 1200 °C | Austenitna puna žica, zaštitni plinovi Ar+CO <sub>2</sub> (2.5% ) ili Ar+O <sub>2</sub> (1-3%) | ≤0.1                     | 1.7  | 0.4  | Cr (25.6); Ni (21.0)                     |
| EZ - MIG 318 Si     | Zavarivanje korozijski postojanih CrNi(Mo) čelika  | Austenitna puna žica, zaštitni plinovi Ar+CO <sub>2</sub> (2.5% ) ili Ar+O <sub>2</sub> (1-3%) | ≤0.04                    | 1.5  | 0.85 | Cr (19.0); Ni (12.0); Mo (2.5) Nb (0.65) |
| EZ – MIG Al99.7     | Zavarivanje aluminija  | Aluminijska žica, zaštitni plin Ar   | /                        | /    | /    | Al (>99.7)                               |
| EZ-MIG AISi5        | Zavarivanje Al-Si i Al-Mg-Si legura  | Aluminijska žica, zaštitni plin Ar   | /                        | 0.01 | 5.0  | Al (balans); Fe (0.15); Zn (0.01);       |
| EZ – MIG AlMg 4.5Mn | Zavarivanje Al-Mg-Mn i AlMg legura   | Aluminijska žica, zaštitni plin Ar   | /                        | 0.7  | 0.1  | Al (balans); Mg (4.8); Fe (0.2)          |
| EZ – MAG 600 TN     | Namjena za navarivanje   | Puna žica, zaštitni plin CO <sub>2</sub> ili Ar+ CO <sub>2</sub> (18%)                         | 0.45                     | 0.4  | 3.0  | Cr (9.5)                                 |

## 2.7 Primjena postupaka u praksi

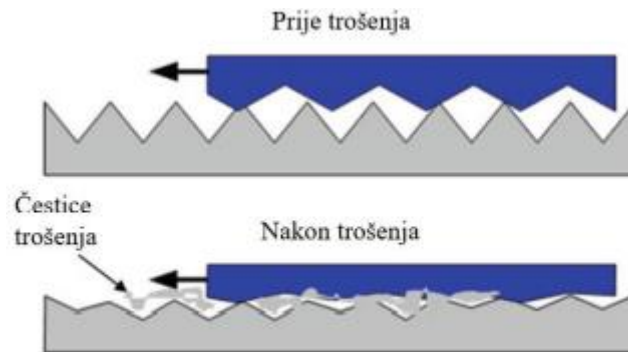
U tekstu prije naveli smo sve vezano za MAG postupak zavarivanja, dok ćemo ovdje navesti neka područja primjene i još ih ukratko pojasniti. MAG postupak je visoko automatiziran i robotiziran, te se danas koristi o sve većoj mjeri. Sa strane kvalitete zavara oba dva postupka su visoko kvalitetna, naravno sa pravilno odabranim parametrima, dok sa financijske strane je ipak kvalitetniji MAG postupak. MAG postupaka može u jedinici vreme napraviti više nego sam REL postupak. S obzirom na sve što je do sad navedeno možemo reći da se MAG postupak više koristi u proizvodnji, ali i da je kvalitetniji za robotizaciju i automatizaciju.

### 3 Hardox materijal

Hardox materijali spadaju u vrstu materijala koji imaju izuzetno veliku otpornost na trošenje. Stoga se ova vrsta materijala primjenjuje kod uvjeta rada gdje postoji veliki rizik od brze potrošnje materijala. Trošenje materijala je jedino poželjno kod strojne obrade, jer na taj način možemo imati kvalitetniju strojnu obradu. Konstruktor tijekom izrade nekog proizvoda mora znati ili predvidjeti uvjete u kojima će taj proizvoda raditi, ali i koju vrstu materijala treba koristiti. Jer kvalitetnim odabirom postiže željeni vijek trajanja, ali i izbjegava nepotrebne troškove u smislu skupo izbora materijala.

Materijali otporni na trošenje često se primjenjuju kako bi se u eksploataciji dijelovi zaštitili od abrazivnog trošenja. Uglavnom se ovo svojstvo povezuje uz alate i alatne materijale, ali postoje i primjeri konstrukcijske primjene gdje je otpornost na trošenje jedno od najvažnijih svojstava. Niskolegirani čelici s dodatkom bora prepoznati su kao materijali koji zadovoljavaju ovaj kriterij. Proizvodnja ove vrste čelika započela je u Europi 1970. godine od strane švedske čeličane SSAB-Oxelösund i komercijalizirana je pod trgovačkim imenom "Hardox". Budući da ovaj čelik postiže visoku otpornost na abrazivno trošenje te ima visoku čvrstoću, dobru zavarljivost i sposobnost kaljenja, sve se više koristi u raznim primjenama za proširenje životnog vijeka skupih strojnih konstrukcija i njihovih dijelova. [6]

Trošenje je jedan od glavnih problema tijekom životnog vijeka nekog proizvoda. Do trošenja može doći kada su dva materijala jedan na drugome ili kada se preko materijala konstanto kreće neka vrsta medija. Mediji koji najviše utječu na abrazijsko trošenje su voda i pijesak (zemlja). Na slici 3.1 možemo vidjeti primjer kako nastaje trošenje materijala tijekom obavljanja neke vrste posla.



Slika 3.1 Prikaz trošenja materijala [6]

Kao što smo gore već objasnili do trošenja dolazi uslijed konstantnog kretanja dva materijala jedan po drugom, što je jasno vidljivo na slici. Materijali će se trošiti na način da će uvijek prije otići onaj slabijeg sastava.

Mehanizme trošenja dijelimo u četiri osnovne skupine:[6]

1. Abrazija
2. Adhezija
3. Umor površine
4. Tribokorozija.

### 3.1 Otpornost čelika na trošenje

Procesi proizvodnje čelika otpornih na trošenje kao i njihov sastav mogu se znatno razlikovati ovisno o proizvođaču čelika. Debljina ploče ili trake također utječe na legiranje, a time i na svojstva čelika budući da je s povećanom debljinom potrebno više legiranja kako bi se osiguralo otvrdnjavanje odnosno otpornost na trošenje. Kao što kod općih konstrukcijskih čelika broj u oznaci predstavlja minimalnu granicu razvlačenja, kod velike većine konstrukcijskih čelika poboljšane otpornosti na trošenje broj u oznaci predstavlja tvrdoću.[6]

Konkretno kemijski sastav materijala koji će se koristiti u ovome radu je prikazan na slici 3.2

| Plate thickness<br>mm | C    | Si   | Mn   | P     | S     | Cr   | Ni   | Mo   | B     |
|-----------------------|------|------|------|-------|-------|------|------|------|-------|
|                       | max  | max  | max  | max   | max   | max  | max  | max  | max   |
|                       | %    | %    | %    | %     | %     | %    | %    | %    | %     |
| 3*) - (8)             | 0,21 | 0,70 | 1,60 | 0,025 | 0,010 | 0,25 | 0,25 | 0,25 | 0,004 |
| 8 - 20                | 0,21 | 0,70 | 1,60 | 0,025 | 0,010 | 0,50 | 0,25 | 0,25 | 0,004 |
| (20) - 40             | 0,23 | 0,70 | 1,60 | 0,025 | 0,010 | 1,00 | 0,25 | 0,25 | 0,004 |
| (40) - 50             | 0,23 | 0,70 | 1,60 | 0,025 | 0,010 | 1,40 | 0,25 | 0,60 | 0,004 |
| (50) - 80             | 0,26 | 0,70 | 1,60 | 0,025 | 0,010 | 1,40 | 1,00 | 0,60 | 0,004 |

Slika 3.2 *Kemijski sastav Hardox 400 [19]*

Na slici 3.2 je prikazan kemijski sastav lediranih elemenata koji omogućuju da hardox materijal ima tražene specifikacije s obzirom na debljinu. Baš zbog tih specifikacija ovaj materijal koristimo u granama kao što su:

1. Poljoprivreda
2. Rudarstvo
3. Građevinarstvo
4. Posebna strojna postrojenja

S obzirom da rastu zahtjevi za kapacitetima strojeva tako rastu i zahtjevi za kvalitetu materijala, stoga firma koja proizvodi hardox materijal nudi razne nove hardox čelike koji imaju neka bolja svojstva. Te specifikacije ćemo ostvariti kvalitetnim odabirom kemijskog sastava. Što se tiče čvrstoće i ostalih komponenti prikazane su u tablici 3.1 prikazuje mehaničke specifikacije.

Tablica 3.1 *Mehanička svojstva [8]*

| Mehaničke karakteristike    | Hardox 400 |
|-----------------------------|------------|
| Tvrdoća                     | 370-430 HB |
| Granica razvlačenja         | 1000 MPa   |
| Vlačna čvrstoća             | 1250 MPa   |
| Istezanje                   | 10 %       |
| Udarni rad loma (na -40 °C) | 45 J       |

### 3.2 Zahtjevi za zavarivanje Hardox materijala

Kao i kod nekih drugih materijala hardox čelici imaju neke zahtjeve koje treba ispuniti kako bi dobili kvalitetne spojeve. Primjer toga je odabir kvalitetne temperature predgrijavanja, kvalitetna obrada i odabir spojeva i naravno ono najbitnije odabir postupka zavarivanja.



| Welding method              | AWS classification | EN classification        |
|-----------------------------|--------------------|--------------------------|
| MAG/ GMAW, solid wire       | AWS A5.28 ER70X-X  | EN ISO 14341-A- G 38x    |
|                             | AWS A5.28 ER80X-X  | EN ISO 14341-A- G 42x    |
| MAG/ MCAW, metal cored wire | AWS A5.28 E7XC-X   | EN ISO 17632-A- T 42xH5  |
|                             | AWS A5.28 E8XC-X   | EN ISO 17632-A- T 46xH5  |
| MAG/ FCAW, flux cored wire  | AWS A5.29 E7XT-X   | EN ISO 17632 -A- T 42xH5 |
|                             | AWS A5.29 E8XT-X   | EN ISO 17632 -A- T 46xH5 |
| MMA (SMAW, stick)           | AWS A5.5 E70X      | EN ISO 2560-A- E 42xH5   |
|                             | AWS A5.5 E80X      | EN ISO 2560-A- E 46xH5   |
| SAW                         | AWS A5.23 F49X     | EN ISO 14171-A- S 42x    |
|                             | AWS A5.23 F55X     | EN ISO 14171-A- S 46x    |
| TIG/ GTAW                   | AWS A5.18 ER70X    | EN ISO 636-A- W 42x      |
|                             | AWS A5.28 ER80X    | EN ISO 636-A- W 46x      |

Slika 3.3 Metode zavarivanja [7]

Kao što je vidljivo na slici 3.3 proizvođač nam je ponudio neke od metoda i norme koje bi najbolje odgovarale za zavarivanje ovog materijala. Naravno mi i dalje sami odabiremo dali ćemo raditi sa time ili ne. U većini slučajeva firme nemaju mogućnosti ispuniti te zahtjeve pa traže neka manje kompliciranija rješenja kako bi mogli zavariti sa svojom opremom.

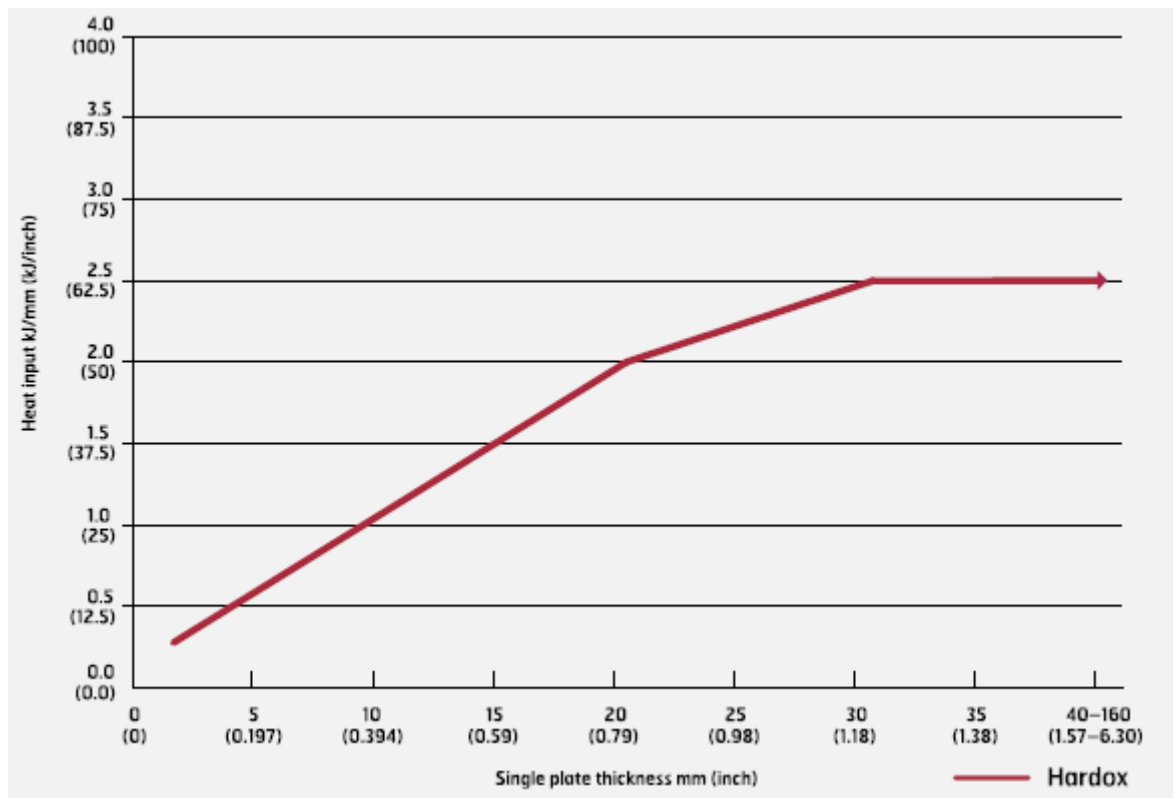
S obzirom da su nam već dali primjere postupaka za zavarivanje također su nam prikazali koje plinove bi mogli koristiti sa kojim dodatnim materijalom. S toga na slici 3.4 možemo vidjeti prikazane plinove za svaki postupak koji smo naveli na slici prije.

| Welding method                 | Arc type  | Position      | Shielding gas                  |
|--------------------------------|-----------|---------------|--------------------------------|
| MAG/ GMAW, solid wire          | Short Arc | All positions | 18 – 25% CO <sub>2</sub> in Ar |
| MAG/ MCAW, metal cored wire    | Short Arc | All positions | 18 – 25% CO <sub>2</sub> in Ar |
| MAG/ GMAW, solid wire          | Spray Arc | Horizontal    | 15 – 20% CO <sub>2</sub> in Ar |
| MAG/ GMAW, FCAW                | Spray Arc | All positions | 15 – 20% CO <sub>2</sub> in Ar |
| MAG/GMAW, MCAW                 | Spray Arc | Horizontal    | 15 – 20% CO <sub>2</sub> in Ar |
| Robotic and automated MAG/GMAW | Spray Arc | Horizontal    | 8 – 18 % CO <sub>2</sub> in Ar |
| TIG/ GTAW                      |           | All positions | 100% Ar                        |

Slika 3.4 Omjeri plinova [7]

Vrijednosti sa slike 3.4 su pokazne vrijednosti koje ćemo mi morati još prilagoditi parametrima s kojima ćemo mi raditi. Proizvođač nam je s ovime samo olakšao odabir postupka, zaštitnog plina, pozicije ali i vrstu dodatnog materijala.

S obzirom da sad znamo pozicije u kojima možemo zavarivati, metode zavarivanja, zaštitne plinove i dodatni materijal, važno je napomenuti da trebamo paziti na unos topline. Odnosno na temperaturu predgrijavanja. Na slici 3.5 je prikazan dijagram koji nam govori koja bi bila preporučena unesena toplina (odnosno toplinski input) s obzirom na debljinu.



Slika 3.5 Toplinski input [7]

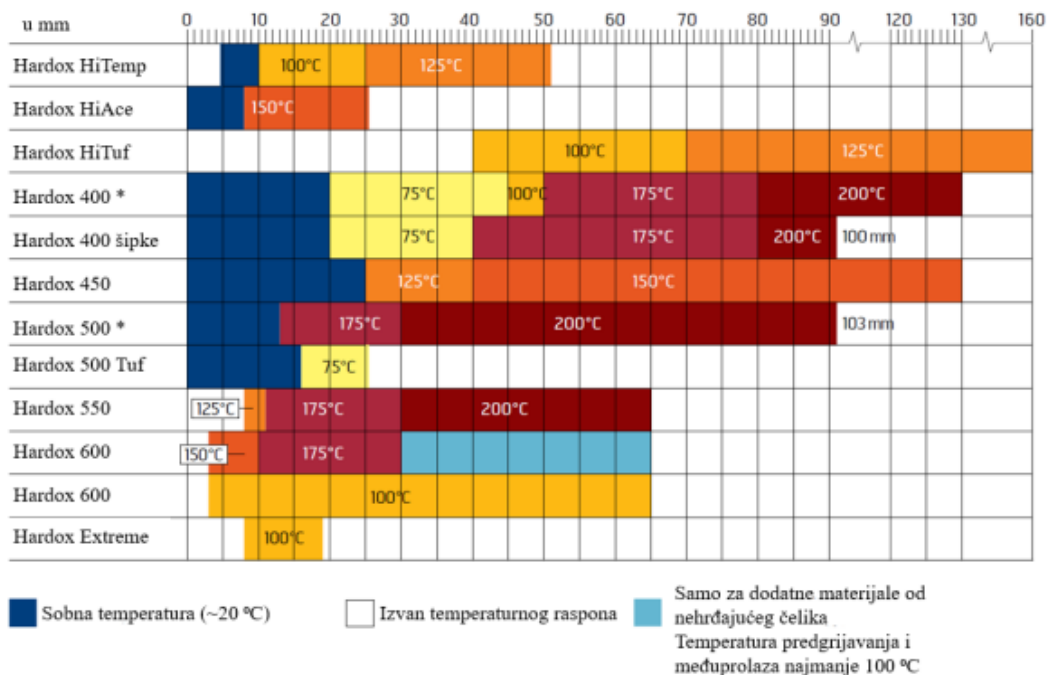
Također kada govorimo o toplinskom inputu važno je spomenuti da trebamo paziti na temperaturu između prolaza, ako zavarujemo debelo stijene materijale. Kao i kod ostalih materijala pa tako i kod hardox-a postoje neke temperature kojih bi se trebali pridržavati. Pa sukladno tome na slici 3.6 možemo vidjeti temperature između prolaza, sa stajališta jedne određene debljine materijala, dok tablica 3.2 prikazuje koje bi trebale biti temperature predgrijavanja s obzirom na debljinu materijala.. Dok slika 3.7 prikazuje preporučene minimalne temperature predgrijavanja.

|                |               |
|----------------|---------------|
| Hardox HITemp  | 300°C (572°F) |
| Hardox HITuP** | 300°C (572°F) |
| Hardox 400     | 225°C (437°F) |
| Hardox 450     | 225°C (437°F) |
| Hardox 500     | 225°C (437°F) |
| Hardox 550     | 225°C (437°F) |
| Hardox 600     | 225°C (437°F) |
| Hardox Extreme | 100°C (212°F) |

Slika 3.6 Temperatura između prolaza [7]

Tablica 3.2 *Temperatura predgrijavanja ovisno o debljini materijala [8]*

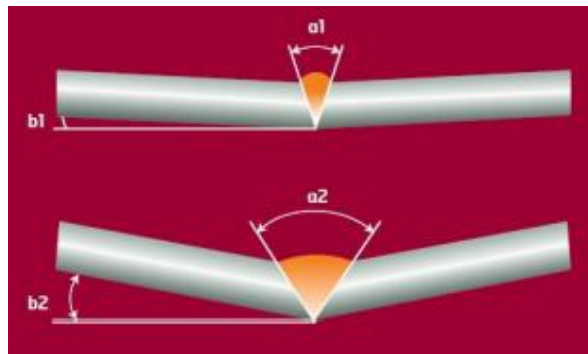
| Debljina materijala (mm) | Hardox 400        |
|--------------------------|-------------------|
| <20                      | Sobna temperatura |
| 20-39,9                  | 75                |
| 40-44,9                  | 75                |
| 45-49,9                  | 100               |
| 50-80                    | 175               |
| >80                      | 200               |

Slika 3.7 *Preporučene temperature predgrijavanja [6]*

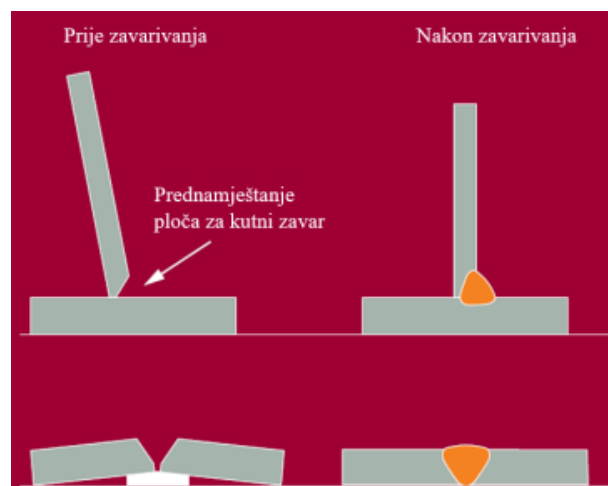
Sada kad smo naveli važnije karakteristike vezane za samo zavarivanje trebamo još spomenuti kako spriječiti eventualne deformacije. Deformacije nastaju zbog raznih pojava do kojih može doći tijekom zavarivanja, neke od tih pojava je prekomjerni unos topline, nepravilan odabir žljeba za zavarivanje i sl.

Stoga kako bi smanjili moguće deformacije primjenjujemo sljedeće korake u cilju sprječavanja deformacija:[6]

1. Zavarivanje sa što manjim unosom topline
2. Smanjenje površine poprečnog zavara (slika 3.8)
3. Provesti pravilno pred namještanje komada koji se zavaruju (slika 3.9)
4. i dr.

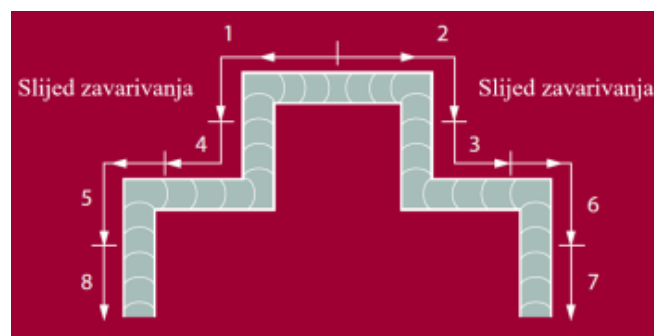


Slika 3.8 Smanjenje površine poprečnog presjeka [6]



Slika 3.9 Pred namještanje komada koji se zavaruju [6]

Također veliku važnost tijekom zavarivanja imaju i sami prolazi, jer nam oni izravno utječu na unos topline u zavareni spoj. Stoga slika 3.10 i 3.11 prikazuje moguće putanje tijekom zavaravanja uz pomoć kojih možemo izbjeći prekomjerni unos topline. [6]



Slika 3.10 Smjer zavarivanja [6]

Slika 3.11 *Smjer zavarivanja [6]*

### 3.3 Strojna obrada Hardox materijala

Hardox materijali tijekom pripreme za eksploataciju prolaze kroz strojne obrade kao što su:

#### 1. Rezanje

Kod rezanja postoji samo jedan zahtjev a to je da ako ide na neke od plamenih postupaka rezanja potrebno je predgrijavanje, koje naravno ovisi o debljini samog materijala. Tablica 3.3 nam prikazuje temperature predgrijavanja s obzirom na debljinu.

Tablica 3.3 *Temperatura predgrijavanja kod rezanja [8]*

| Debljina materijala / mm | Hardox 400         |
|--------------------------|--------------------|
| < 40                     | Bez predgrijavanja |
| 40 - 44,9                | Bez predgrijavanja |
| 45 - 49,9                | 100                |
| 50 - 59,9                | 100                |
| 60 - 69,9                | 150                |
| 70 - 80                  | 150                |

#### 2. Savijanje

Kod savijanja nema nikakvih posebnih zahtjeva osim da se pazi na debljinu radijusa kod alata da ne bude ispod 8 mm.

#### 3. Bušenje

Bušenje se obično izvodi na strojevima vrlo rijetko se buši ručno. Ovdje je jedini zahtjev kvaliteta svrdla koje će izdržati postupak bez da pukni ili da se odlomi.

#### 4. Zavarivanje (iako ne spada u strojnu obradu

### 3.4 Primjena u praksi



Slika 3.12 Primjena Hardox materijala [9]



Slika 3.13 Kiper prikolica [10]



Slika 3.14 Valjak za usitnjavanje zemlje [11]

Na slikama od 3.12 do 3.14 možemo vidjeti neke od primjena hardox materijala u praksi. To su uglavnom uvjeti u kojima se traži velika otpornost na trošenje. Kod bagera su to najviše koristi na korpama jer tijekom vremena eksploatacije prenesu veliku količinu materijala, kod prikolica se hardox materijal obično stavlja na dno, dok se kod valjaka oštrica radi od hardox materijala, jer ima veliku otpornost na trošenje ali i veliku oštrinu samog brida.

## 4. Proba zavarivanja i ispitivanje zavarenog spoja

Za ovaj pokus odnosno probu koristili smo Fronius-ove uređaje za zavarivanje. Točnije koristili smo izvor serije TPSi i automat Flex track 45 pro. U nastavku teksta će biti detaljno opisani i prikazani uređaji i parametri koje smo pratili tijekom zavarivanja. Također ćemo navesti zaštitni plin i dodatni materijal te opisati koji je zavareni spoj odabran.

### 4.1 Uređaji za zavarivanje

Za ovaj rad koristili smo TPSi uređaj za zavarivanje, točnije TPS 400i. Uređaj je povoljnih karakteristika za ručno zavarivanje ili u kombinaciji sa automatom za zavarivanje.



Slika 4.1 TPS400i uređaj za zavarivanje

Na slici 4.1 je prikazan uređaj koji je korišten kod ove probe zavarivanja. Ovaj uređaj je odabran za izradu ovog pokusa s obzirom na njegove tehničke mogućnosti. U ovome slučaju nam je bila bitna komunikacija sa automatom, način prijenosa luka i brzina dodavanja žice. Hlađenje uređaja se vrši vodom. Što se tiče samog uređaja neke od bitnih karakteristika možemo pronaći u tablici 4.1.

Tablica 4.1 *Karakteristike TPS 400i uređaja [12]*

|   |               |
|---|---------------|
| Maksimalna struja zavarivanja                   | 400 A         |
| Minimalna struja zavarivanja                    | 3 A           |
| Struja zavarivanja/radni ciklus<br>[10min/40°C] | 400A / 40%    |
| Struja zavarivanja/radni ciklus<br>[10min/40°C] | 360A / 60%    |
| Struja zavarivanja/radni ciklus<br>[10min/40°C] | 320A / 100%   |
| Radni napon                                     | 14,2 – 34,0 V |
| Napon praznog hoda                              | 73,0 V        |
| Mrežna frekvencija                              | 50 – 60 Hz    |
| Masa  | 36,45 kg      |

U tablici 4.1 smo spomenuli neke od tehničkih specifikacija, koje su standardno provedene na uređaju za zavarivanje i jednake su za sve. Dok još moramo spomenuti da ovaj uređaj nudi brzu i laku izmjenu gorionika, pa sukladno tome možemo imati različite vrste odnosno veličine gorionika (ali iste marke). Taj sistem se zove Plug & weld, i može se vidjeti na slici 4.2.

Slika 4.2 *Plug & weld [12]*

Također uz brzu izmjenu gorionika ovi uređaji imaju mogućnost pomicanja dodatnog materijala bez da aktiviramo prekidač na gorioniku. Pomicanje možemo vršiti naprijed i nazad. To nam omogućava da nakon brze izmjene gorionika ne moramo ići skroz do kraja gorionika kako bi započeli sa provodom dodatnog materijala. Jer danas pojedini proizvodni procesi imaju udaljenost gorionika i po 30 metara, te bi sukladno tome trebali imati dva radnika tijekom montaže novog bunta dodatnog materijala. Taj prekidač možemo vidjeti na slici 4.3.





Slika 4.3 Prekidač za pomak dodatnog materijala [12]


Također uz mogućnost pomaka dodatnog materijala (žice) imamo i mogućnost provjere prolaznosti zaštitnog plina. Uređaj aktivira puštanje zaštitnog plina na par sekundi kako bi mogli provjeriti dali je zaštitni plin otvoren i dali je sapnica prohodna.

Sljedeća bitna stavka ovog uređaja je displej osjetljiv na dodir. Displej nam nudi dva izbora rada. Prvi je da nam prikazuje tri najbitnija parametra tijekom trajanja zavarivanja, a drugi je da možemo odabirati odnosno podešavati bilo koji od parametara prije početka zavarivanja.



Slika 4.4 Displej TPS 400i uređaja [12]

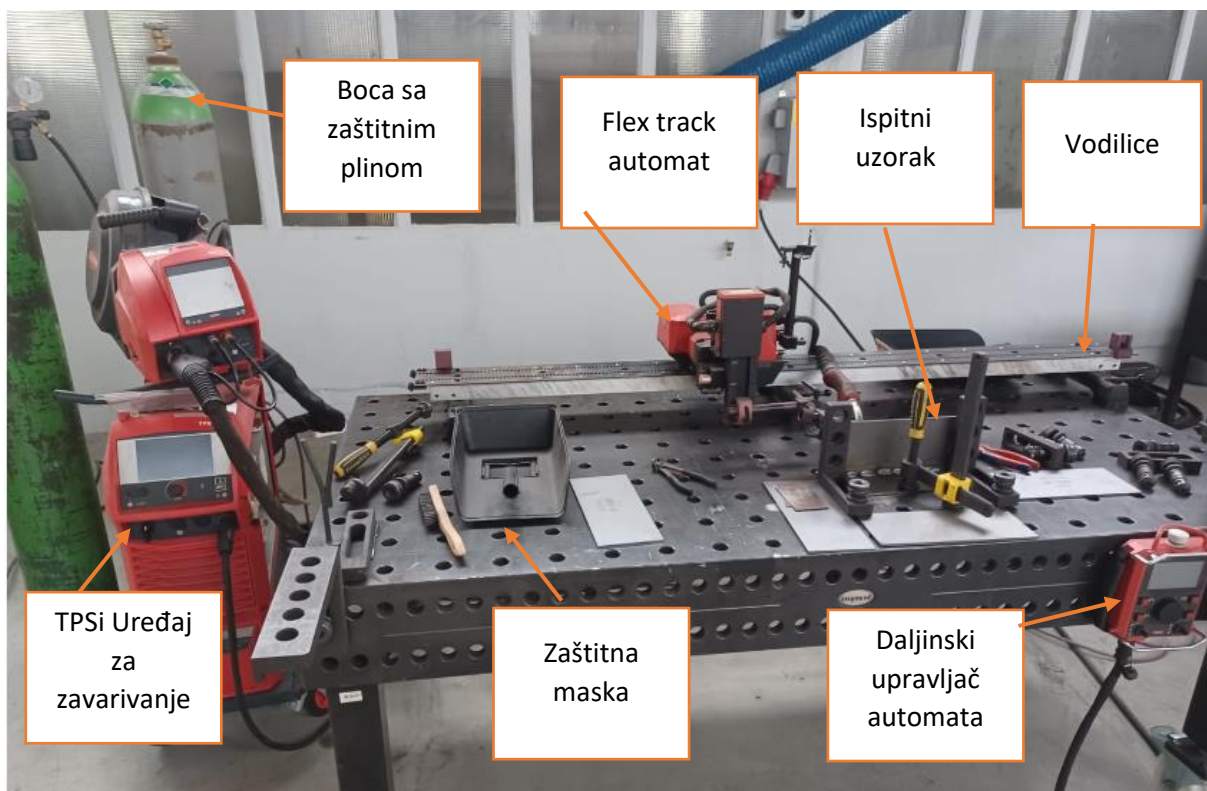
Na slici 4.4 možemo vidjeti kako izgleda displej na kojem je prikazan odabir načina zavarivanja, te možemo vidjeti da je odabran CMT postupak zavarivanja. Također nakon zavarivanja možemo se vratiti u samu povijest i provjeriti parametre koje smo imali tijekom trajanja prošlog zavarivanja. Sama ta povijest je poredana po datumima i vremenu zavarivanja, radi lakšeg praćenja. To možemo vidjeti na slici 4.5.



| Br. | ddmngg   | hhmmss   | s    | A   | V    | m/min | kJ    | Job | Br. |
|-----|----------|----------|------|-----|------|-------|-------|-----|-----|
| 26  | 06.06.23 | 13:29:40 | 20.0 | 134 | 23.3 | 4.5   | 77.3  |     |     |
| 25  | 06.06.23 | 13:26:25 | 24.7 | 136 | 22.9 | 4.5   | 96.4  |     |     |
| 24  | 06.06.23 | 13:23:55 | 27.2 | 138 | 22.8 | 4.5   | 108.2 |     |     |
| 23  | 06.06.23 | 13:20:08 | 40.3 | 141 | 22.6 | 4.5   | 164.2 |     |     |
| 22  | 06.06.23 | 13:11:53 | 10.3 | 143 | 22.8 | 4.4   | 42.7  |     |     |
| 21  | 06.06.23 | 12:49:13 | 23.3 | 123 | 23.3 | 4.5   | 84.2  |     |     |
| 20  | 06.06.23 | 12:44:57 | 32.9 | 124 | 23.1 | 4.5   | 120.6 |     |     |
| 19  | 06.06.23 | 12:39:59 | 43.4 | 128 | 22.9 | 4.5   | 164.2 |     |     |
| 18  | 06.06.23 | 12:36:03 | 48.9 | 130 | 22.8 | 4.5   | 187.8 |     |     |
| 17  | 06.06.23 | 12:05:16 | 11.7 | 123 | 23.6 | 4.4   | 41.3  |     |     |
| 16  | 06.06.23 | 12:04:22 | 14.7 | 129 | 23.7 | 4.4   | 54.2  |     |     |

Slika 4.5 Povijest zavarivanja

Sada kad smo naveli neke od značajnijih karakteristika samog uređaja moramo spomenuti i pojedine karakteristike o samom Flex track 45 pro automatu. Ovo je nova vrsta automata koja ima mogućnost zavarivanja u svim položajima uz samu izmjenu vodilica. Upravljanje i podešavanje parametara se vrši uz pomoć kontrolora. Sam automat sa popratnom opremom je prikazan na slici 4.6 i biće pojašnjen u nastavku teksta.



Slika 4.6 Flex track 45 PRO

Sa slike 4.6 možemo vidjeti sve što nam je potrebno da bi smo mogli provesti zavarivanje sa automatom. Prije nego što krenemo dalje sa objašnjavanjem ovog automata

potrebno je navesti da se kretanje odvija po vodilicama, i da uz pomak po x osi imamo pomake i po y i z osi. Rukovanje i kontrola se odvija u pomoć daljinskog upravljača.

Također važno je napomenuti kakve nam prednosti donosi upotreba ovakve vrste automata pri zavarivanju, stoga neke od prednosti su:

1. Brži proizvodni proces
2. Povećava se kvaliteta proizvodnje
3. Smanjenje troškova
4. Povećana konkurentnost

Već na temelju nabrojanoga možemo zaključiti da te prednosti dobivamo iz stabilnijeg rada, za razliku od ruke zavarivača. To se najviše primjećuje kod zavarivanja dugačkih zavara, automat radi bez prestanka dok se zavarivač mora svako malo pomicati kako bi mogao nastaviti sa zavarivanjem. Neke od istaknutijih značajki na kojima se također primjetni prednost korištenja ovog automata su: [1]

1. Fleksibilnost - omogućava da se automat bez ikakvih problema primjenjuje na različitim površinama
2. Preciznost – omogućava stalnu brzinu zavarivanja i pokrete
3. Kvaliteta – osigurava visoku kvalitetu zavarenog spoja
4. Robusnost – omogućava nam zavarivanje u teškim uvjetima, ali isto tako je i otporan na vanjska oštećenja jer je kućište od lijevanog aluminijskog aluminija
5. Udobnost – omogućava brzu i jednostavnu montažu vodilica na površinu koju ćemo zavarivati

Također nakon što smo naveli neke od prednosti koje nam ovaj automat nudi, važno je još navesti i pojasniti sastavne dijelove ovog automata. Stoga sastavni dijelovi su:

1. Daljinski upravljač
2. Traktor
3. Izvor za spajanje
4. Roboti za pomicanje po osima (po jedan robot za svaku os)

## 5. Vodicica robota

## 6. Magnetni držači

## 7. Prateća oprema

1. Daljinski upravljač – jedan od najvažnijih dijelova automata za zavarivanje. Bez njega automat je neupotrebljiv jer se svi parametri zadaju preko njega. Upravljač ima mnoge naredbe a posebno ga odlikuju tipke F1, F2, F3, F4, koje nam omogućavaju pomak po osima ili pomicanje nekog od parametara tijekom trajanja zavarivanja. Sami odabiremo koje ćemo naredbe imati na tim mjestima. Na slici 5.7 možemo vidjeti kako daljinski upravljač izgleda.



Slika 4.7 Daljinski upravljač FRC-45 Pro [1]

Također ovaj daljinski upravljač ima kotačić za podešavanje i display osjetljiv na dodir radi lakšeg i bržeg korištenja. Stoga na slici 4.8 možemo vidjeti kako izgleda display.



Slika 4.8. Displej i kotačić za podešavanje [1]

Značenja kartica na slici 4.8 su sljedeća: [1]

1. Postavke - služe za učitavanje i spremanje zavarivačkih programa
2. Kartica CAR – služi za učitavanje parametara koji utječu na traktor (pomak automata)
3. Kartica OSC – služi za unos parametara koji utječu na oscilaciju
4. Kartica ACC -služi za unos svih parametara vezano za ACC (odnosno za parametre vezene za regulacije strujnog luka)
5. Kartica PS – koristimo ju kod odabirana vezanih za snagu zavarivanja
6. Kartica ORB – kraticu ORB koristimo kod unosa svih parametara vezanih za orbitalno zavarivanje
7. Gumb za povratak – vraća nas u glavni izbornik
8. Display osjetljiv na dodir – prikazuje nam sve opcije vezane za OSC,ACC,PS,CAR i ORB.
9. Indikator stanja – prikazuje nam dali je električni luk aktivan ili ne
10. Brzina rada – prikazuje nam trenutnu brzinu rada automata
11. Snaga zavarivanja – displej automatski postavlja snagu zavarivanja u m/min
12. Brzina protoka žice – pokazuje nam kojom brzinom izlazi žica (dodatni materijal)
13. Prikazno polje – daje nam obavijesti kao što su greške ili služi kao tipka za brzo zaustavljan

Displej se nalazi unutar čvrstog kućišta i okružen je tipkama i kotačićima za lakše i brže podešavanje. Daljinski upravljač je lagan i jako jednostavan za korištenje. Kao što je već spomenuto imamo numerički displej osjetljiv na dodir i funkcijski kotač. Još neke od funkcija su:

1. Automat ima odabir čak 5 standardnih jezika ( DE, EN, ES, FR, PL ), također jedna od zanimljivih činjenica je ta da se ostali jezici mogu tražiti po zahtjevu kupca ( naručitelja )
2. Skladištenje 99 programa – jedna od mnogobrojnih korisnih stvari je skladištenje, pridonosi veliku dobit u velikim poduzećima koji se bave zavarivanjem jer ne moraju svaki put unositi parametre iznova nego ih već imaju učitane i spremljene te ih samo pokrenu ovisno o potrebi.
3. Načini zavarivanja sa lukom ili bez
4. Kombinacija sa TPS/i izvorima zavarivanja
5. Postavljanje parametara zavarivanja
6. Smjer putovanja
7. Brzina vožnje traktora se može regulirati

Način njihanja, brzinu njihanja, kretanje njihanja i vrijeme zadržavanja također možemo regulirati

8. Kraj punjenja kanala ( kratera, mjesta koje zavarujemo )

9. Traktor – što se tiče traktora na njega se montiraju njihala za pomicanje po y i z osi. Uz pomoć bočnih fiksatora se osigurava prijanjanje odnosno fiksiranje za vodilicu, dok se uz posebnog zupčanika vrši regulirani pomak po x osi. Na slici 5.9 možemo vidjeti traktor spreman za rad.



Slika 4.9 *Traktor (automat) spreman za rad*

3. Izvor za spajanje – odnosno kontrolna kutija nije samo izvor za napajanje nego na njega spajamo traktor i uređaj za zavarivanje. Pomoću njega omogućavamo međusobno korištenje robota i aparata za zavarivanje. Na slici ispod možemo vidjeti kako izgleda kontrolna kutija.



*Slika 4.10. Kontrolna kutija [1]*

Svi kablovi se spajaju sa zadnje strane kontrolne kutije, a svaki utor koji se nalazi na kontrolnoj kutiji ima svoju oznaku. Te oznake su postavljene radi lakšeg spajanja automata, uređaja za zavarivanje i automata. Pa baš zbog toga razloga nije potrebna nikakva naknadna obuka za rad.

4. Roboti za pomicanje po osima – kao što smo već spomenuli traktor služi za pomicanje po x osi dok za pomicanje po z i y osi koristimo robote ili drugim imenom oscilatore. Na z osi samo podešavamo visinu dok sa robotom (oscilatorom) na y osi vršimo osciliranje.



*Slika 4.11 robot za pomak po z-osi (lijevo), robot za pomak po y-osi (desno) [1]*

5. Vodilice – služe za vođenje automata tijekom zavarivanja. Mogu biti fleksibilne, ravne ili kružne. Vrste vodilica ovisi o samom poslu, odnosno o položaju zavarivanja. Na slikama 4.12 i 4.13 možemo vidjeti kako izgledaju vodilice u pojedinim uvjetima rada. ,



Slika 4.12 *Uzdužno zavarivanje [1]*



Slika 4.13 *Kružno zavarivanje [1]*

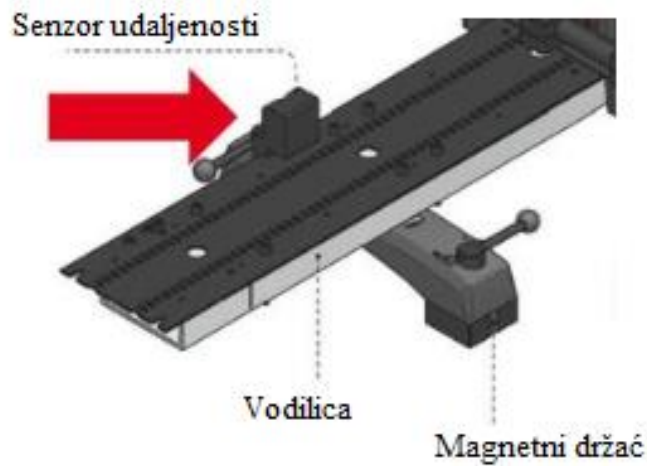
6. Magnetni držači – osiguravaju da vodilice tijekom cijelog trajanja postupka budu priliječljene za radni predmet, neovisno o položaju zavarivanja. Vodilice se uz pomoć vijaka montiraju na magnetne držače. Držači mogu podnest toplinu iznad 180 ° C. Na slici 4.14 možemo vidjeti kako izgleda jedan magnetni držač.



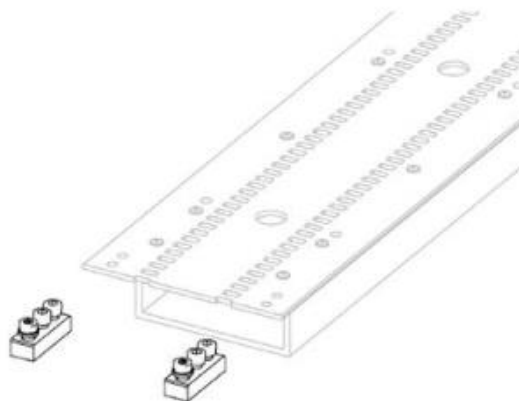
Slika 4.14. *Magnetni nosač za Flex Track 45 Pro [1]*



7. Prateća oprema – pod prateću opremu spadaju svi ostali kablovi, senzori i spojnice vodilica na sljedećih par slika možemo vidjeti spojnice vodilica, te senzore koji se nalaze na kraju vodilica. Svrha tih senzora je da ugase automat kada dosegne kraj.



Slika 4.15. Senzor položaja (udaljenosti) [1]



Slika 4.16 Elementi za spajanje vodilica [1]

To je ukratko to što se tiče samog uređaja i automata za zavarivanje. Kao što se može vidjeti ni uređaj, a ni automat nisu zahtjevni za korištenje, te ga mogu koristiti zavarivači sa malo radnog iskustva.

#### 4.2 Odabrani dodatni materijal

Za ovaj pokus odabrane su dvije vrste dodatnog materijala, prvo je obična žica oznake ISO 14341-A : G424 M21 3Si1, dok je drugi dodatni materijal praškom punjena žica ISO 17632-A: T464 MM 1H5. Specifikacije za običnu žicu oznake ISO 14341-A : G424 M21 3Si1 možemo vidjeti na sljedećih nekoliko slika.

| Materials           |                       |
|---------------------|-----------------------|
| Width               | DIN                   |
| S185 - P355T1       | St 33 - St 52.0       |
| S235JR - S355J0     | St 37.2 - St 52.3     |
| S235JR - S355J2     |                       |
| P235G1TH - P265G1TH | St 35.8 - St 45.8     |
| P235GH, P265GH      | H I, H II             |
| P235TR2 - P355T2    | St 37.4 - St 52.4     |
| E295                | St 50.2               |
| L210 - L360NB       | StE 210.7 - StE 360.7 |
| S255N -S380N        | StE 255 - StE 380     |
| GE 200 - GE 240     | GS-38, GS-45          |
| P295GH, P355GH      | 17Mn4, 19Mn5          |
| FL E70T-5/30        | A, B, D, E            |

Slika 4.17 Specifikacije ISO G424 M21 3Si1 [13]

Na slici 4.17 možemo vidjeti za koje se sve materijale ova žica primjenjuje, oznake su prikazane po ISO i po DIN normi.



| Typical Chemical Features of the Welding Wire |      |      |      |
|---|------|------|------|
| Type of Analysis                              | C    | Si   | Mn   |
| Welding Wire                                  | 0.07 | 0.90 | 1.45 |

| Typical Mechanical Values of Weld Metal |                |                                     |                                       |                   |                               |
|---|----------------|-------------------------------------|---------------------------------------|-------------------|-------------------------------|
| Test Condition                          | Protection Gas | Yield Strength (N/mm <sup>2</sup> ) | Tensile Strength (N/mm <sup>2</sup> ) | Elongation A5 (%) | Charpy V-Notch Properties (J) |
| As welded                               | C1             | 430                                 | 540                                   | 29                | -30°C → 70                    |
| As welded                               | M21            | 460                                 | 560                                   | 27                | -40°C → 75                    |

\* Chemical composition and mechanical properties are valid when using shielding gas EN ISO 14175 - C1 (%100 CO<sub>2</sub>) ve M21 (Ar + %20 CO<sub>2</sub>) .

| Application Information  |   |
|--|---|
| <p>Welding Positions</p>  <p>PA PB PC PD PE PF PG</p> | <p>Polarity:</p>  <p>Protection Gas:<br/>M20 M24 M26 M21 C1</p> |

Slika 4.18 Specifikacije ISO G424 M21 3Si1 [13]

| Symbol         | Chemical composition, % (by mass) <sup>a</sup> |              |              |       |       |              |      |              |      |      |              |              |
|----------------|--|--------------|--------------|-------|-------|--------------|------|--------------|------|------|--------------|--------------|
|                | C  | Si           | Mn           | P     | S     | Ni           | Cr   | Mo           | V    | Cu   | Al           | Ti + Zr      |
| 2Si            | 0,06 to 0,14                                   | 0,50 to 0,80 | 0,90 to 1,30 | 0,025 | 0,025 | 0,15         | 0,15 | 0,15         | 0,03 | 0,35 | 0,02         | 0,15         |
| 3Si1           | 0,06 to 0,14                                   | 0,70 to 1,00 | 1,30 to 1,60 | 0,025 | 0,025 | 0,15         | 0,15 | 0,15         | 0,03 | 0,35 | 0,02         | 0,15         |
| 3Si2           | 0,06 to 0,14                                   | 1,00 to 1,30 | 1,30 to 1,60 | 0,025 | 0,025 | 0,15         | 0,15 | 0,15         | 0,03 | 0,35 | 0,02         | 0,15         |
| 4Si1           | 0,06 to 0,14                                   | 0,80 to 1,20 | 1,60 to 1,90 | 0,025 | 0,025 | 0,15         | 0,15 | 0,15         | 0,03 | 0,35 | 0,02         | 0,15         |
| 2Ti            | 0,04 to 0,14                                   | 0,40 to 0,80 | 0,90 to 1,40 | 0,025 | 0,025 | 0,15         | 0,15 | 0,15         | 0,03 | 0,35 | 0,05 to 0,20 | 0,05 to 0,25 |
| 2Al            | 0,08 to 0,14                                   | 0,30 to 0,50 | 0,90 to 1,30 | 0,025 | 0,025 | 0,15         | 0,15 | 0,15         | 0,03 | 0,35 | 0,35 to 0,75 | 0,15         |
| 3Ni1           | 0,06 to 0,14                                   | 0,50 to 0,90 | 1,00 to 1,60 | 0,020 | 0,020 | 0,80 to 1,50 | 0,15 | 0,15         | 0,03 | 0,35 | 0,02         | 0,15         |
| 2Ni2           | 0,06 to 0,14                                   | 0,40 to 0,80 | 0,80 to 1,40 | 0,020 | 0,020 | 2,10 to 2,70 | 0,15 | 0,15         | 0,03 | 0,35 | 0,02         | 0,15         |
| 2Mo            | 0,08 to 0,12                                   | 0,30 to 0,70 | 0,90 to 1,30 | 0,020 | 0,020 | 0,15         | 0,15 | 0,40 to 0,60 | 0,03 | 0,35 | 0,02         | 0,15         |
| 4Mo            | 0,06 to 0,14                                   | 0,50 to 0,80 | 1,70 to 2,10 | 0,025 | 0,025 | 0,15         | 0,15 | 0,40 to 0,60 | 0,03 | 0,35 | 0,02         | 0,15         |
| Z <sup>b</sup> | Any other agreed composition                   |              |              |       |       |              |      |              |      |      |              |              |

<sup>a</sup> Single values shown in the table are maximum values.

<sup>b</sup> Consumables for which the chemical composition is not listed in this table shall be symbolized similarly and prefixed by the letter Z. The chemical composition ranges are not specified and therefore two electrodes with the same Z classification may not be interchangeable.

Slika 4.19 Specifikacije ISO G424 M21 3Si1 [14]

Na slici 4.18 vidimo neke kemijske sastave i glavna mehanička svojstva dok na slici 4.19 vidimo u cijelosti kemijski sastav ovog dodatnog materijala. Također na slici 4.18 već imamo i predložene pozicije zavarivanja koje možemo izvoditi sa ovim dodatnim materijalom. Sljedeći dodatni materijal je praškom punjena žica ISO 17632-A: T464 MM 1H5.

| Materials          |                             |
|--------------------|-----------------------------|
| EN                 | DIN                         |
| S185 - S355J0      | St 33- St 52.3              |
| S255N - S420N      | StE 255 - StE 420           |
| P295GH             | 17Mn4                       |
| P235TR2 - P355T2   | St 37.4 - St 52.4           |
| P235G1TH, P255G1TH | St 35.8 - St 45.8           |
| P235GH, P265GH     | H I, H II                   |
| L210 - L415NB      | StE 210.7 - StE 415.7       |
| L290MB - L450MB    | StE 290.7 TM - StE 445.7 TM |
| GE 200, GE 240     | GS 38, GS 45                |
|                    | AH 32, EH 36                |
|                    | A, B, D, E                  |
|                    | X42 - X65                   |

Slika 4.20 Specifikacije ISO 17632-A: T464 MM 1H5 [15]

Na slici 4.20 možemo vidjeti za koje se sve materijale ova žica primjenjuje, oznake su prikazane po ISO i po DIN normi.








| Typical Chemical Values of Weld Metal |      |      |      |
|---------------------------------------|------|------|------|
| Type of Analysis                      | C    | Si   | Mn   |
| Weld Deposit                          | 0.06 | 0.60 | 1.60 |

| Typical Mechanical Values of Weld Metal(%) |                |                                     |                                       |                   |                               |
|--|----------------|-------------------------------------|---------------------------------------|-------------------|-------------------------------|
| Test Condition                             | Protection Gas | Yield Strength (N/mm <sup>2</sup> ) | Tensile Strength (N/mm <sup>2</sup> ) | Elongation A5 (%) | Charpy V-Notch Properties (J) |
| As welded                                  | M21            | 500                                 | 580                                   | 25                | -20°C → 100<br>-40°C → 80     |

\* Chemical composition and mechanical properties are valid when using shielding gas EN ISO 14175 - M21 (Ar + %20 CO2).

Slika 4.21 Specifikacije ISO 17632-A: T464 MM 1H5 [15]

| Welding Positions :   |   | Polarity:  |   |
|---|---|--|---|
|  |  |   |  |
| PA  | PB  | PC   | PD  |
|  |  |  |   |
| PE  | PF  | =+   |   |
| Welding Parameters & Efficiency :   |   | Protection Gas:  |   |
|   |   | M21  |   |
| Diameter (mm)   | Current (A)   | Deposition Rate(kg/h)  | Efficiency(%)   |
| 1.00  | 100-200   | 3.74   | 98  |
| 1.20  | 150-300   | 3.96   | 98  |
| 1.40  | 200-350   | 4.91   | 99  |
| 1.60  |   | 6.01   | 99  |

Slika 4.22 Specifikacije ISO 17632-A: T464 MM 1H5 [15]

| Chemical composition of deposited metal (% , Typical) |      |      |       |       |      |    |    |    |   |
|---|------|------|-------|-------|------|----|----|----|---|
| C   | Si   | Mn   | P     | S     | Ni   | Mo | Cu | Cr | N |
| 0,06  | 0,50 | 1,40 | 0,015 | 0,010 | —    | —  | —  | —  | — |
| 0,06  | 0,50 | 1,29 | 0,014 | 0,005 | 0,30 | —  | —  | —  | — |
| 0,05  | 0,42 | 1,30 | 0,013 | 0,004 | 0,44 | —  | —  | —  | — |
| 0,05  | 0,42 | 1,30 | 0,013 | 0,004 | 0,44 | —  | —  | —  | — |
| 0,05  | 0,52 | 1,22 | 0,013 | 0,008 | —    | —  | —  | —  | — |
| 0,05  | 0,46 | 1,48 | 0,014 | 0,005 | 0,33 | —  | —  | —  | — |
| 0,05  | 0,53 | 1,50 | 0,016 | 0,011 | —    | —  | —  | —  | — |
| 0,05  | 0,72 | 1,28 | 0,015 | 0,006 | —    | —  | —  | —  | — |
| 0,05  | 0,66 | 1,69 | 0,008 | 0,013 | —    | —  | —  | —  | — |

Slika 4.23 Kemijski sastav ISO 17632-A: T464 MM 1H5 [16]

| Yield strength(MPa) | Tensile strength(MPa) | Elongation(%) |
|---------------------|-----------------------|---------------|
| 520                 | 580                   | 28            |
| 593                 | 611                   | 28            |
| 545                 | 600                   | 27            |
| 545                 | 600                   | 27            |
| 530                 | 575                   | 25            |
| 597                 | 616                   | 25            |
| 510                 | 585                   | 27            |
| 460                 | 560                   | 30            |
| 500                 | 570                   | 29            |

Slika 4.24 Mehanička svojstva ISO 17632-A: T464 MM 1H5 [16]

Od slike 4.20 pa do slike 4.24 možemo vidjeti koji se materijali mogu zavarivati, kemijski sastav, položaje zavarivanja ali i mehanička svojstva praškom punjene žice. Također važno je napomenuti da ova normirana žica ima i drugu oznaku koja je A5.18 E70C-GM-H4.

### 4.3 Zaštitni plin

Za ovaj pokus smo koristili zaštitni plin oznake Corgon 18. Ovaj plin se sastoji od 18 %  $CO_2$  + 82 % Argon. Također ovaj plin još nazivamo i M21., odnosno po ISO normi M21 - ArC – 18 . Što se tiče samog plina kao zaštitnog on nam nudi : [17]

1. Vrlo dobro provarivanje i protaljivanje
2. Vrlo dobro radi kod kratkog i štrcajućeg luka
3. Uzrokuje malo više prskotina i šljake

Na slici 4.25 možemo vidjeti usporedbu Corgon 18 sa ostalim plinovima iz te skupine zaštitnih plinova za MAG postupak. Boje označene svijetlo plavo su malo lošije karakteristike, plavom bojom su označene dobre karakteristike a tamno plavom odlične karakteristike zaštitnog plina. [17]

| MAG           | Brzina zavarivanja | Kontrola prskanja | Smanjena oksidacija na površini | Kontrola poroznosti | Protaljivanje | Provarivanje (penetracija) | Jednostavnost uporabe | Debljina materijala (mm) |   |   |    |     |  |
|---------------|--------------------|-------------------|---------------------------------|---------------------|---------------|----------------------------|-----------------------|--------------------------|---|---|----|-----|--|
|               |                    |                   |                                 |                     |               |                            |                       | 3                        | 6 | 9 | 12 | 15+ |  |
| CORGON 10     |                    |                   |                                 |                     |               |                            |                       |                          |   |   |    |     |  |
| CORGON 5 S 4  |                    |                   |                                 |                     |               |                            |                       |                          |   |   |    |     |  |
| CORGON 18     |                    |                   |                                 |                     |               |                            |                       |                          |   |   |    |     |  |
| CORGON 13 S 4 |                    |                   |                                 |                     |               |                            |                       |                          |   |   |    |     |  |
| CORGON 10He30 |                    |                   |                                 |                     |               |                            |                       |                          |   |   |    |     |  |
| MISON 8       |                    |                   |                                 |                     |               |                            |                       |                          |   |   |    |     |  |
| MISON 18      |                    |                   |                                 |                     |               |                            |                       |                          |   |   |    |     |  |

Slika 4.25 Corgon 18 [17]

Sa slike možemo očitati da Corgon 18 ima jako zadovoljavajuće karakteristike iako su mu brzina zavarivanja, kontrola prskanja i oksidacija na površini lošiji faktori. U ovom pokusu je bilo važno da osiguramo kvalitetnu penetraciju i jednoličnost samog zavara. [17]

Ovaj zaštitni plin se može primjenjivati u bilo kojim uvjetima rada, baš zbog svojih povoljnih svojstava. Naravno i dalje moramo paziti da imamo pravilno odabran zaštitni plin i dodatni materijal.

#### **4.4 Odabrani žljeb za zavarivanje**

Kod ovog postupka odlučili smo se da ispitivanje provodimo sa kutnim zavarenim spojem. Odnosno dva komada istih dimenzija stavili smo jedan na drugi i tako ih fiksirali, a potom i zavarili. Na slici 4.26 možemo vidjeti kako izgleda jeda zavareni ispitni uzorak, pripremljen za sljedeći dio u ispitivanju.



Slika 4.26 *Ispitni uzorak nakon zavarivanja*

#### **4.5 Provedeno zavarivanje**

Nakon što smo pojasnili sa čime smo radili, koje smo dodatne materijale i zaštitni plin koristili, važno je spomenuti i koje smo faktore mijenjali tijekom zavarivanja. Konkretno kod ovog pokusa smo uspoređivali dvije vrste dodatnog materijala, 4 različite brzine zavarivanja i 2 različita načina zavarivanja. Sukladno tome u tablici 4.2 možemo pronaći podatke o samim brzinama zavarivanja.

Tablica 4.2 Ispitne brzina zavarivanja za karakteristiku Steel (high strength)

| Pulsna struja |                    |        |                      |
|---------------|--------------------|--------|----------------------|
| No.           | $v_{zav}$ / cm/min | Žica   | Žica                 |
| 1             | 15                 | Obična | Praškom punjna (138) |
| 2             | 20                 | Obična | Praškom punjna (138) |
| 3             | 25                 | Obična | Praškom punjna (138) |
| 4             | 30                 | obična | Praškom punjna (138) |

Kao što piše u tablici i u opisu tablice ova 4 ispitivanja smo proveli za dvije različite žice za karakteristiku koja se zove Steel (high strength). Dok smo u tablici 4.3 za prikazane brzine koristili karakteristiku Metal cored. Razlika je u tome da ove dvije karakteristike rade svaka na svoj način, odnosno nakon odabira jedne od tih karakteristika nama uređaj za zavarivanje sam nudi neke parametre za koje on misli da su odgovarajući. Naravno mi još sami možemo dodatno podesiti neke od tih parametara.

Metal cored karakteristiku smo koristili samo za praškom punjenu žicu kako bi još dodatno usporedili te dvije karakteristike na jednom dodatnom materijalu.

Tablica 4.3 Ispitne brzina zavarivanja za karakteristiku Metal cored

| Pulsna struja |                    |                      |
|---------------|--------------------|----------------------|
| No.           | $v_{zav}$ / cm/min | Žica                 |
| 1             | 15                 | Praškom punjna (138) |
| 2             | 20                 | Praškom punjna (138) |
| 3             | 25                 | Praškom punjna (138) |
| 4             | 30                 | Praškom punjna (138) |

Sada kada smo odredili brzine zavarivanja možemo krenuti sa samim postupkom zavarivanja. Zavarivanje smo provodili tako da smo pripremili 4 ispitna komada, te smo zatim na svaki od ta 4 komada prvo proveli zavarivanje sa običnom žicom, a zatim sa proveli ispitivanje sa praškom punjenim žicom. Sukladno tome uzorce nakon zavarivanja možemo vidjeti na slikama 4.27 i 4.28.

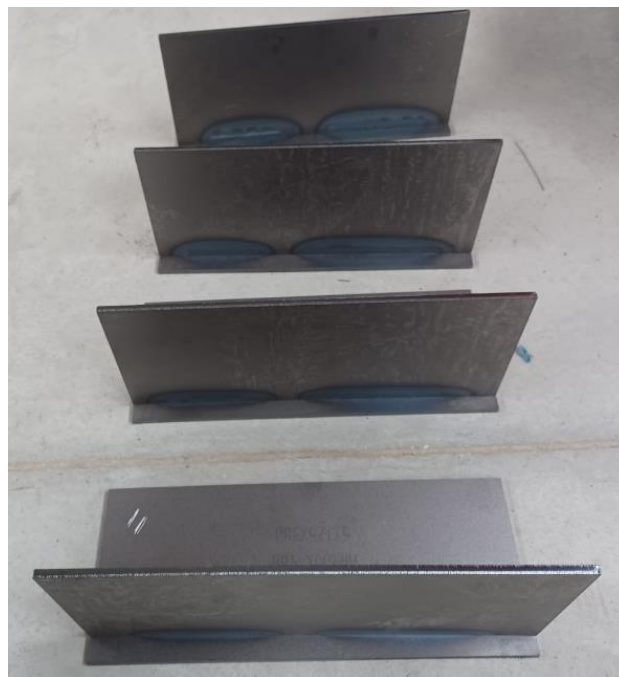


Slika 4.27 Ispitni uzorci nakon zavarivanja običnom žicom



Slika 4.28 Ispitni uzorci nakon zavarivanja običnom žicom i praškom punjenom žicom

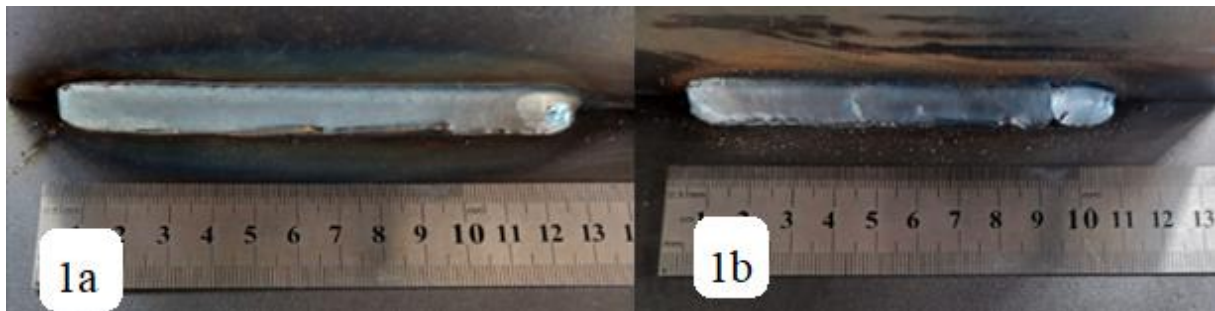
Nakon što smo proveli ispitivanje ispitni uzorci su ostavljeni da se ohlade. Također moramo spomenuti da se može i vidjeti unos topline nakon zavarivanja. Pa na temelju toga možemo zaključiti da se i ne vidi velika razlika s obzirom da je riječ o dva različita dodatna materijala, i da je riječ o različitim brzinama zavarivanja. Sa slike 4.29 možemo vidjeti kako izgleda zona utjecaja topline nakon provedenog pokusa za oba dva dodatna materijala na zadanim brzinama.



Slika 4.29 Zona utjecaja topline nakon zavarivanja [12]



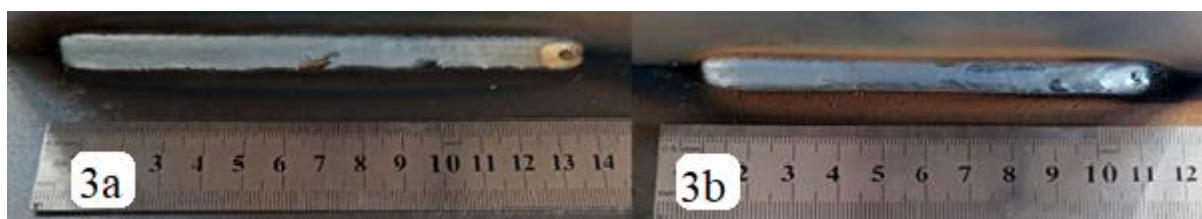
Na sljedećih nekoliko slika možemo vidjeti uzorke označene za daljnje ispitivanje. Ispitni uzorci označeni sa 1a, 2a, 3a, 4a su ispitni uzorci zavarivani običnom žicom + zaštitni plin (oznake ISO 14341-A : G424 M21 3Si1 + Corgon 18) , uzorci označeni sa 1b, 2b, 3b, 4b zavareni sa praškom punjenom žicom + zaštitni plin (ISO 17632-A: T464 MM 1H5 + Corgon 18).



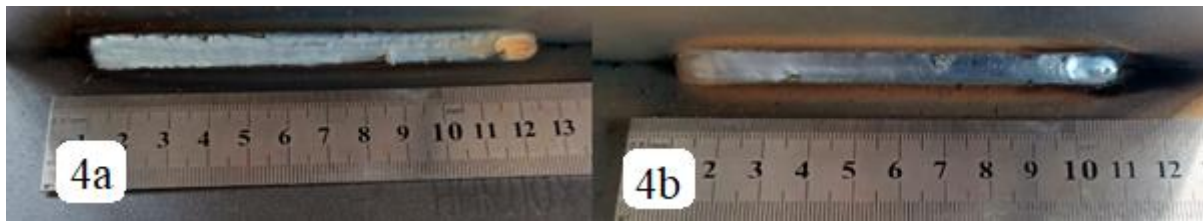
Slika 4.30 Ispitni uzorci: a-obična žica, b-praškom punjena žica za brzinu zavarivanja 15 cm/min



Slika 4.31 Ispitni uzorci: a-obična žica, b-praškom punjena žica za brzinu zavarivanja 20 cm/min

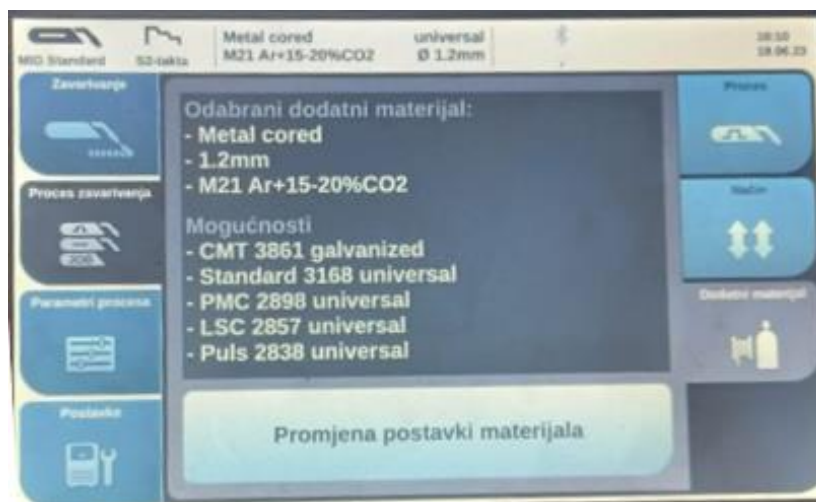


Slika 4.32 Ispitni uzorci: a-obična žica, b-praškom punjena žica za brzinu zavarivanja 25 cm/min



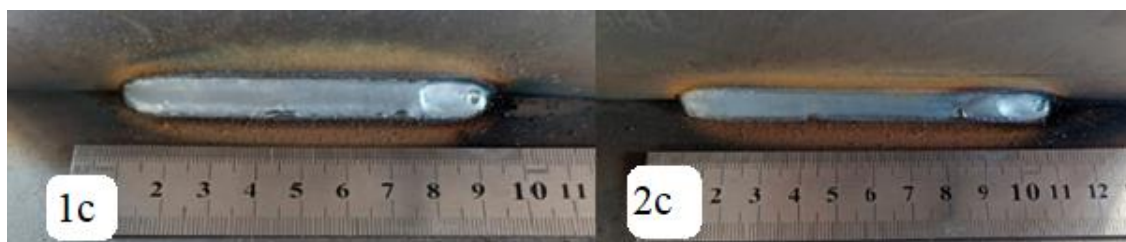
Slika 4.33 Ispitni uzorci: a-obična žica, b-praškom punjena žica za brzinu zavarivanja 30 cm/min

To su bili ispitni uzorci koji se vežu na tablicu 5.2. Odnosno uzorci zavarivani sa karakteristikom Steel (high strength), dok ćemo sada prikazati uzorke koji se vežu na tablicu 5.3 odnosno na karakteristiku Metal cored. Te karakteristike se odnose na dodatni materijal, odnosno na to koje će parametre koristiti sam aparat za zavarivanje. Na slici 5.34 možemo vidjeti kako izgleda kad izaberemo karakteristiku Metal cored.

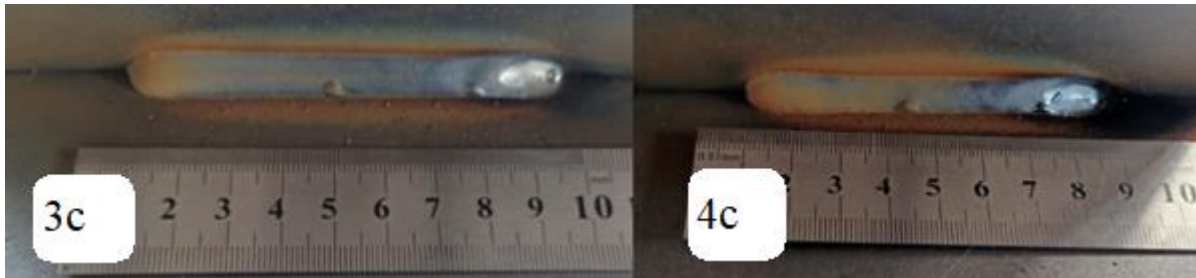


Slika 4.34 Metal cored karakteristika

Uz neke od standardnih parametara koje ova karakteristika podešava, automatski nam i preporučuje sa kojim načinom zavarivanja možemo izvoditi zavarivanja. U ovom slučaju mi smo odabrali pulsno zavarivanje.



Slika 4.35 Ispitni uzorci praškom punjenom žicom za brzinu zavarivanja a = 15 i b = 20 cm/min



Slika 4.36 Ispitni uzorci praškom punjenom žicom za brzinu zavarivanja  $a = 25$  i  $b = 30$  cm/min

Nakon što smo poslikali sve ispitne uzorke i prikazali njihove dimenzije, krenuli smo sa izrezivanjem ispitnih uzoraka, kako bi mogli provesti daljnja ispitivanja. Izrezivanje uzoraka smo vršili na tračnoj pili sa polaganim hlađenjem sa emulzijom. Morali smo imat hlađenje tijekom rezanja kako rezanjem ne bi unesli naknadnu toplinu pa time poremetili strukturu zavarenog spoja. Stoga na sljedećih par slika možemo vidjeti kako smo izrezivali ispitne uzorke i kako oni izgledaju nakon izrezivanja.



Slika 4.37 Izrezivanje prvog ispitnog uzorka



Slika 4.38 *Izrezan prvi ispitni uzorak*



Slika 4.39 *Rezanje drugog ispitnog uzorka*

Nakon što smo sve ispitne uzorke izrezali ponovno smo ih označili istim redoslijedom za sljedeća ispitivanja. Sukladno tome na slici 4.40 možemo vidjeti ispitne uzorke spremne za daljnje ispitivanje.



Slika 4.40 *Izrezani ispitni uzorci*

#### **4.6 Ispitivanje zavarenog spoja**

U ovome dijelu rada vršit ćemo ispitivanje na ispitnim uzorcima koje smo izrezali. Kao što je već spomenuto ispitni uzorci su ispitivani u skladu sa tablicama 4.2 i 4.3. Stoga će na sljedećih nekoliko slika biti prikazano ispitivanje zavarenih spojeva, a zatim u nastavku teksta i objašnjeni dobiveni rezultati. Stoga ispitne uzorke smo dodatno skratili kako bi olakšali samu pripremu glavnog dijela zavarenog spoja. Ispitne uzorke pripremljene za brušenje možemo vidjeti na slici 4.41.



Slika 4.41 *Ispitni uzorci*

Nakon naknadne pripreme krenuli smo sa brušenjem. Započeli smo sa granulacijom 120 i išli redom, 240, 320, 500, 600, 800. Brušenje smo vršili na uređaju sa slike 4.42. Brušenje se izvodilo sa hlađenjem vodom kako eventualnim zagrijavanjem ne bi izazvali nekakve promjene u zavarenom spoju.



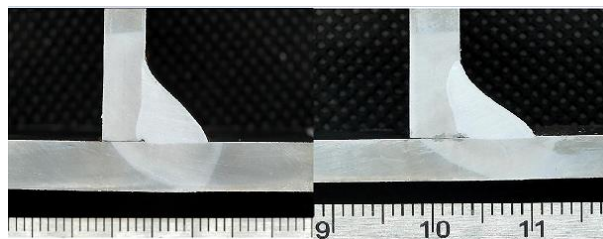
Slika 4.42 Uređaj za brušenje uzoraka

Na sljedećoj slici prikazat ćemo obrušene ispitne uzorke sa kojima možemo krenuti u daljnje ispitivanje zavarenog spoja. Uzorke smo brusili sve dok nisu dobili staklastu površinu bez vidljivih tragova odsijecanja.



Slika 4.43 Obrušeni ispitni uzorci

Prije samog postupka nagrizanja, odabranu površinu smo još jednom kratko pre brusili kako bi skinuli sloj hrđe koji se je pojavio nakon sušenja. Ispitne uzorke smo prvo namočili u Nitalu (držali smo ih 15 sekundi umočenima), zatim smo isprali pod mlazom vode, nakon toga smo ih pošpricali sa alkoholom i osušili fenom. Površinu smo pošpricali alkoholom kako bi osigurali da nakon sušenja neće doći do pojave fleka, koje bi mogle nastati nakon ispiranja vodom. Fleke koje bi tada ostale ometale bi nas pri očitavanju samih vrijednosti sa ispitnih uzoraka. Na sljedećoj slici možemo vidjeti kako pod povećalom izgledaju nagriženi ispitni uzorci.



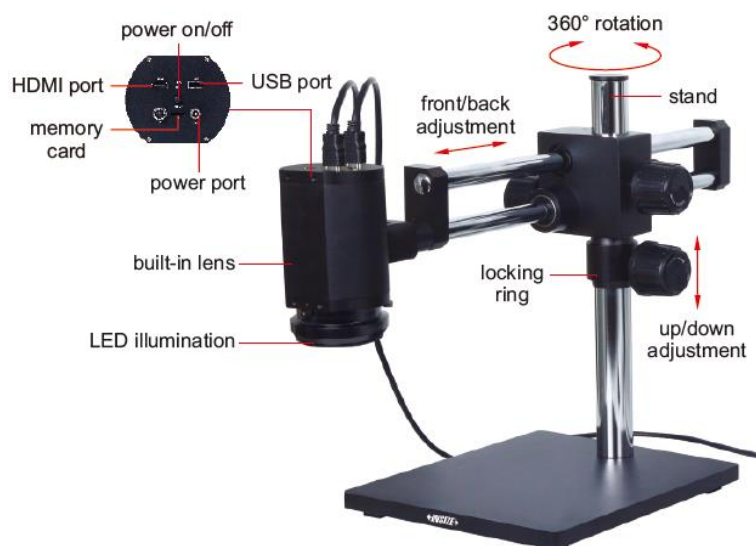
Slika 4.44 Ispitni uzorci : lijevo-1a, desno-1b

Ispitne uzorke ćemo mjeriti i ispitivati uz pomoć auto fokus uređaja. Riječ je o uređaju koji može slikati i snimati ispitne uzorke, te vršiti mjerenje. U ovom slučaju mi smo ga koristili kako bi odredili visinu zavarenog spoja i odredili do kud seže zona utjecaja topline. Na slici 4.45 možemo vidjeti kako izgleda sam uređaj.



Slika 4.45 Auto fokus mjerni mikroskop

Detaljan prikaz svih dijelova ovog mjernog uređaja možemo vidjeti na slici 4.46. Uređaj je lagan i praktičan pa ga stoga možemo i koristiti na terenu ako za to imamo potrebe.



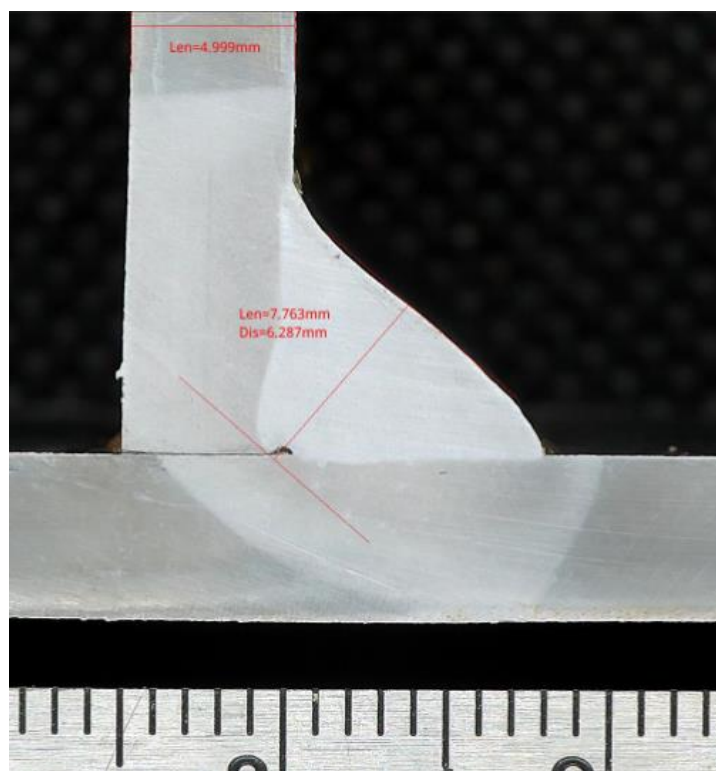
Slika 4.46 Auto fokus mikroskop [18]

Uređaj se spaja na kompjuter, a nakon završenog ispitivanje slike i rezultate sprema na memorijsku karticu pa na taj način možemo rezultate prikazivati ili dijeliti sa drugima. Na slici 4.47 možemo vidjeti kako izgleda ispitni uzorak koji je pozicioniran na mjesto za ispitivanje.



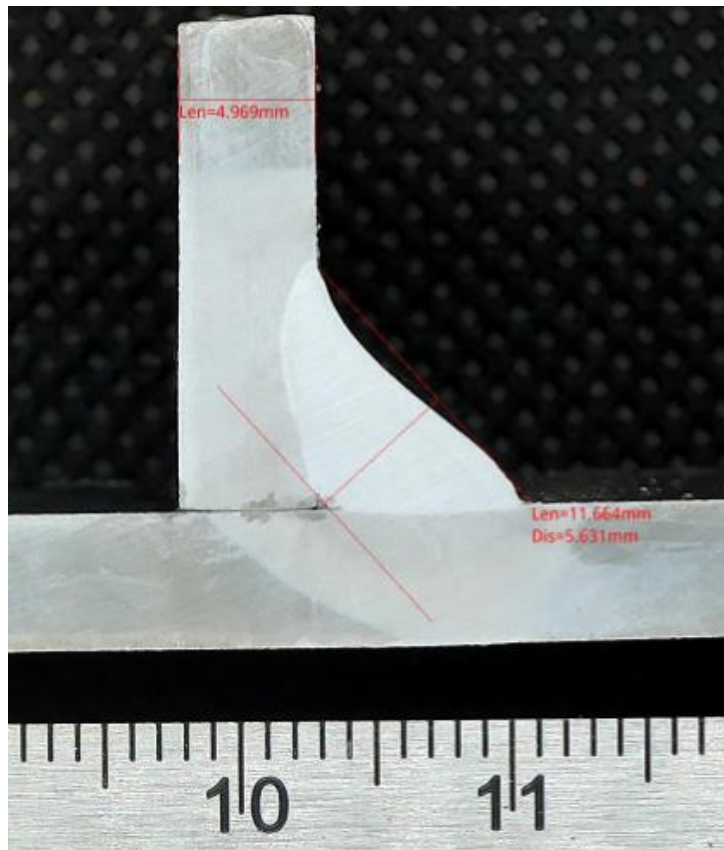
Slika 4.47 Ispitni uzorak spreman za ispitivanje

S obzirom da smo do sad prikazali primjer ispitnih uzoraka koji su spremni za ispitivanje i sam uređaj za ispitivanje na sljedećih nekoliko slika biti će prikazani ispitni uzorci nakon završenog ispitivanja. Odnosno prikazat ćemo kako izgledaju ispitni uzorci nakon provedenih svih ispitivanja. Moći ćemo vidjeti sam zavar, zonu utjecaja topline i osnovni materijal.

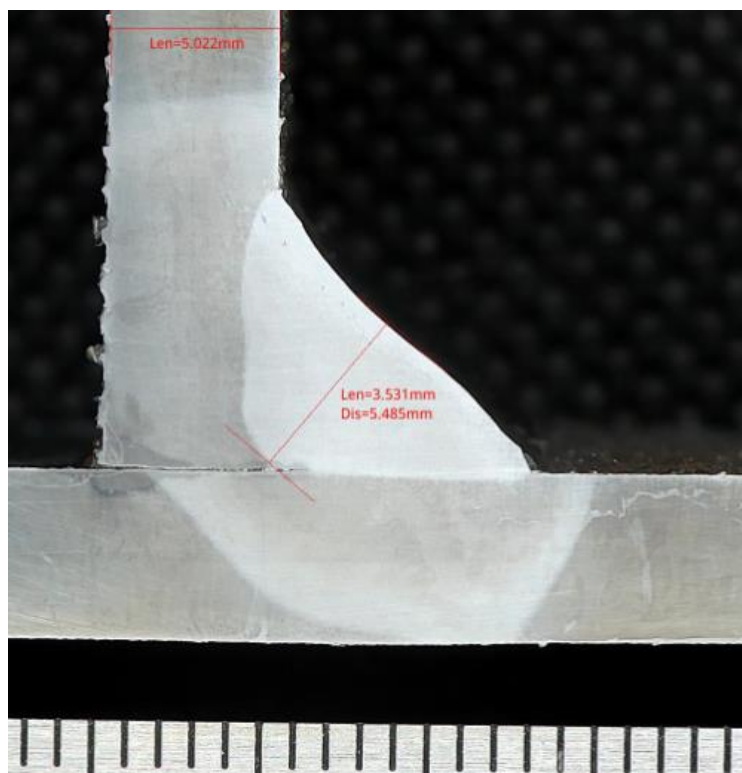


Slika 4.48 1a - ispitni uzorak za brzinu zavarivanja 15 cm/min (obična žica)

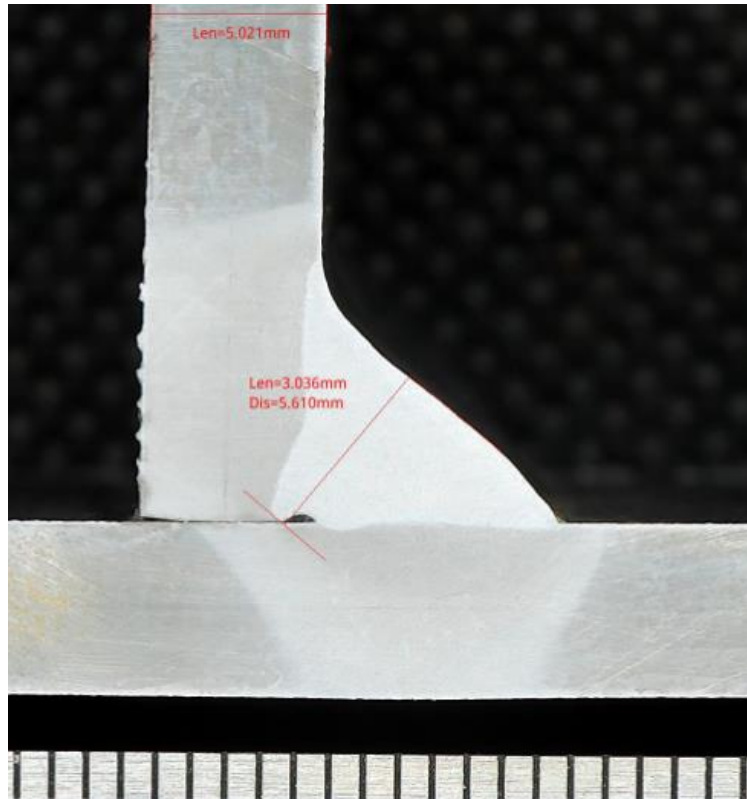




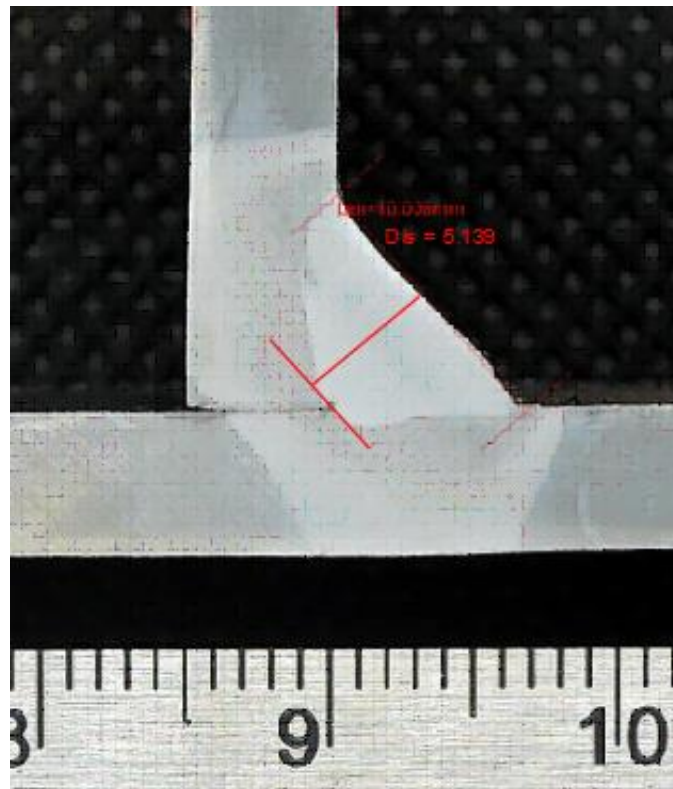
Slika 4.49 1b - ispitni uzorak za brzinu zavarivanja 15 cm/min (praškom punjena žica)



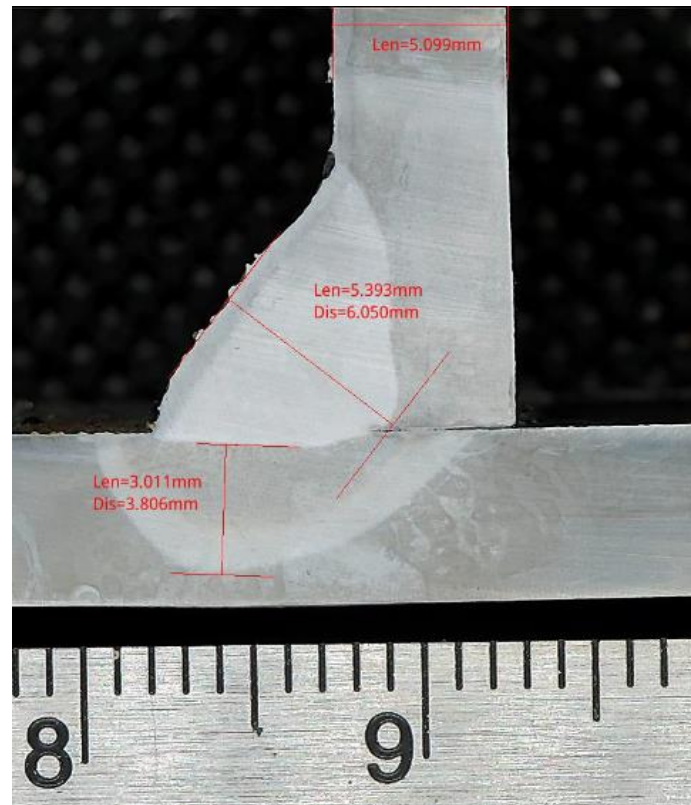
Slika 4.50 1c - ispitni uzorak za brzinu zavarivanja 15 cm/min (praškom punjena žica)



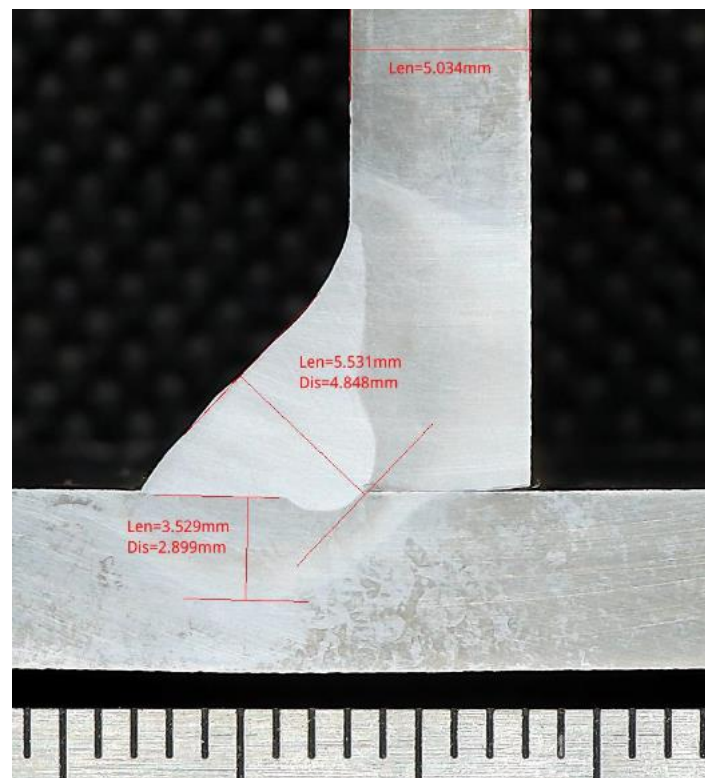
Slika 4.51 2a - ispitni uzorak za brzinu zavarivanja 20 cm/min (obična žica)



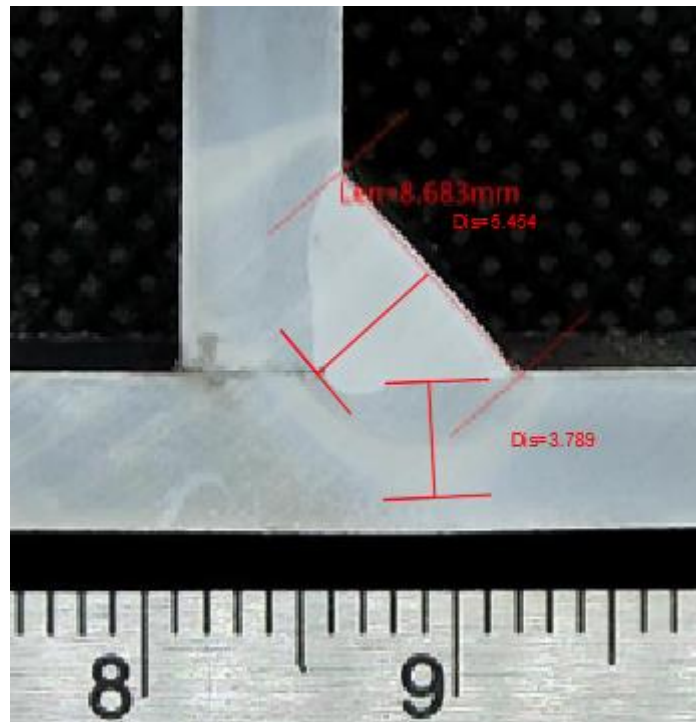
Slika 4.52 2b - ispitni uzorak za brzinu zavarivanja 20 cm/min (praškom punjena žica)



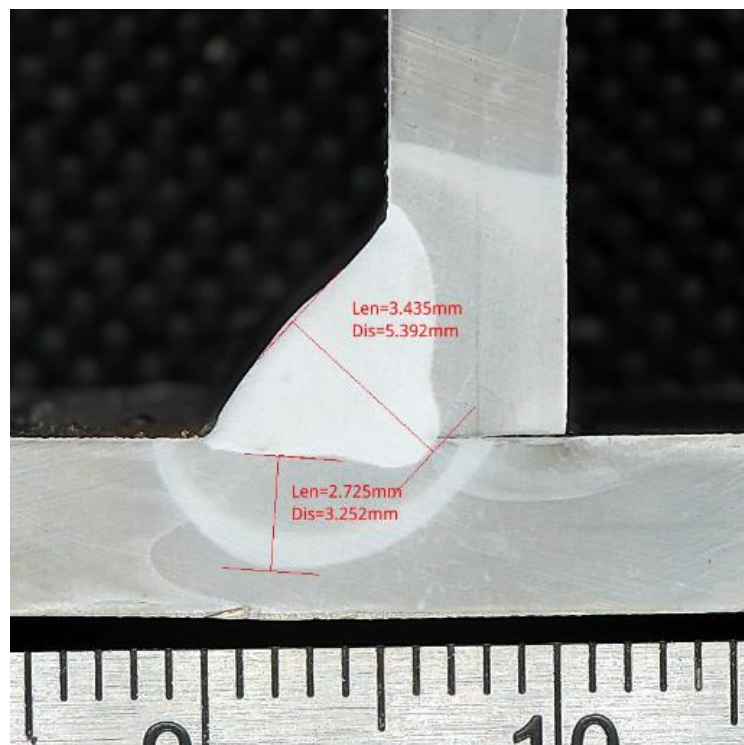
Slika 4.53 2c - ispitni uzorak za brzinu zavarivanja 20 cm/min (praškom punjena žica)



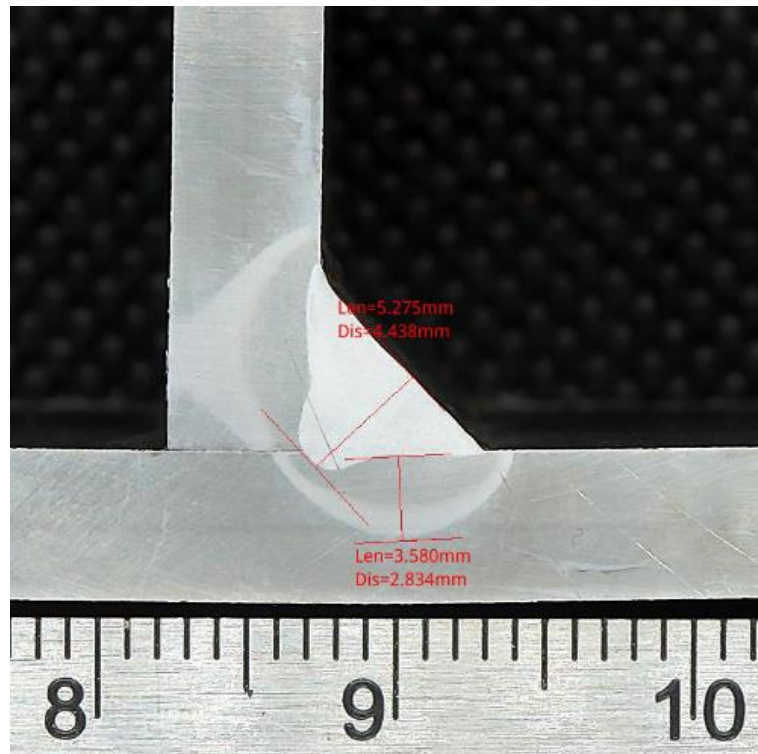
Slika 4.54 3a - ispitni uzorak za brzinu zavarivanja 25 cm/min (obična žica)



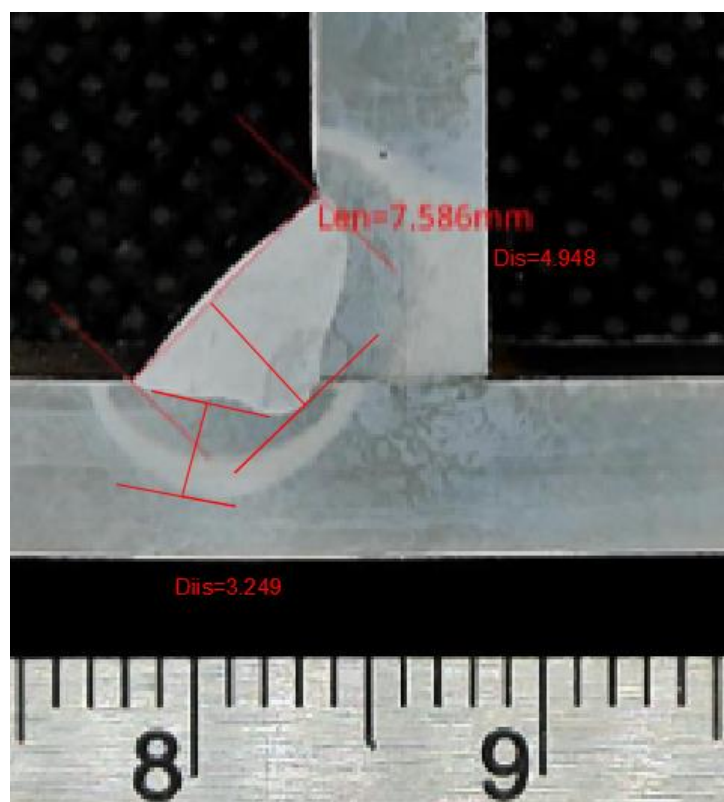
Slika 4.55 3b - ispitni uzorak za brzinu zavarivanja 25 cm/min (praškom punjena žica)



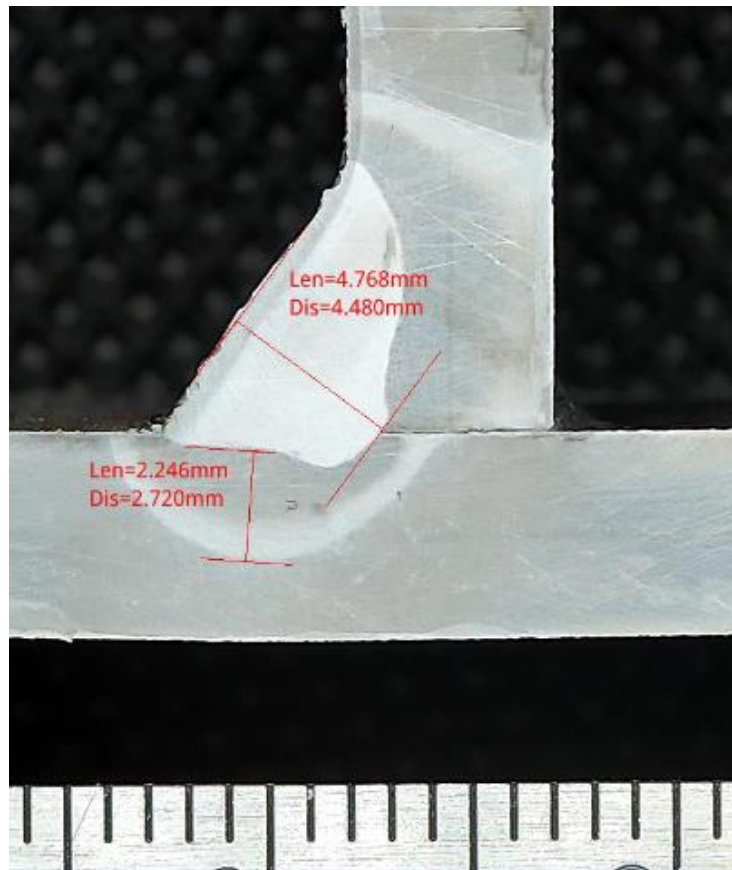
Slika 4.56 3c - ispitni uzorak za brzinu zavarivanja 25 cm/min (praškom punjena žica)



Slika 4.57 4a - ispitni uzorak za brzinu zavarivanja 30 cm/min (obična žica)



Slika 5.58 4b - ispitni uzorak za brzinu zavarivanja 30 cm/min (praškom punjena žica)



Slika 4.59 4c - ispitni uzorak za brzinu zavarivanja 30 cm/min (praškom punjena žica)

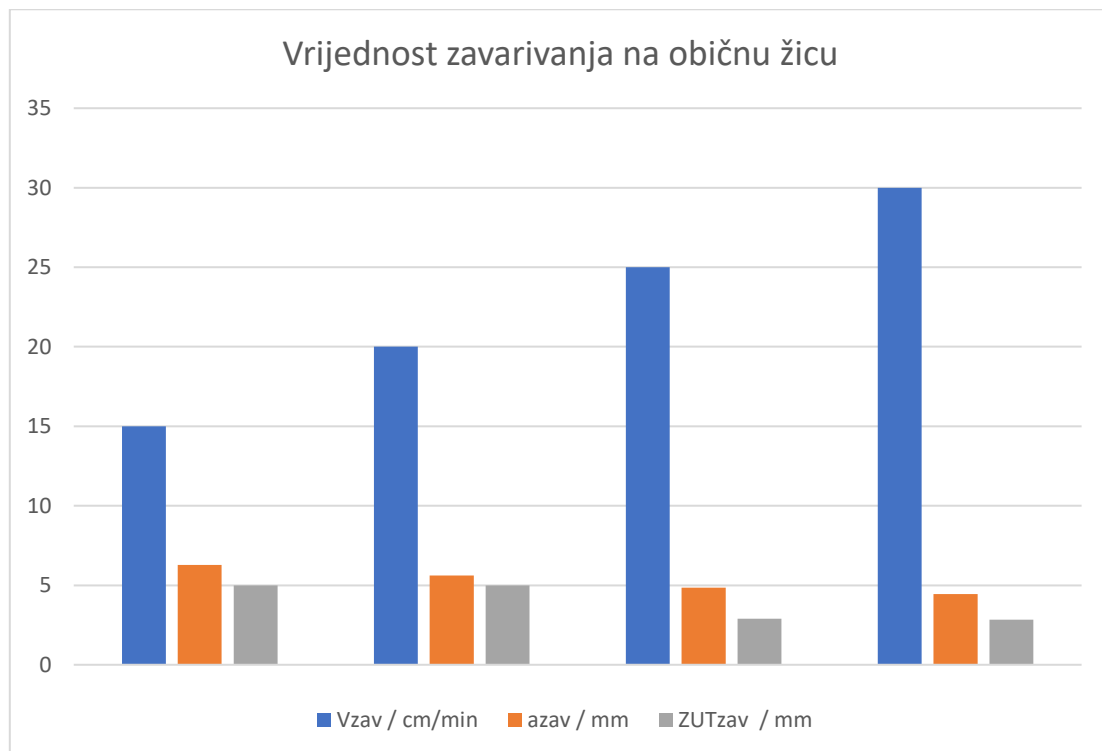
## 5. Objašnjenje provedenog ispitivanja

Sukladno spomenutom na slikama od 4.48 do 4.59 možemo vidjeti dimenzije zavarenog spoja. Što se tiče debljine materijala ona iznosi 5 mm, na pojedinim slikama se vidi blago odstupanje, ali je to zanemarivo. Kod ovog pokusa je bilo važno prikazati visinu zavara i zonu utjecaja topline. Sa slika možemo vidjeti da je kod ispitnih uzoraka 1a,1b,1c,2a i 2b zona utjecaja topline prolazi kroz cijeli materijal sa obje strane. Što znači da pri tim brzinama imamo jako velik unos topline.

Dok kod uzoraka 2c,3a,3b,3c,4a,4b i 4c zona utjecaja topline prolazi potpuno kroz jednu stranu dok je na drugoj strani prolazi otprilike po polovici materijala. Sve te vrijednosti možemo pronaći u tablici 5.1 i tablici 5.2.

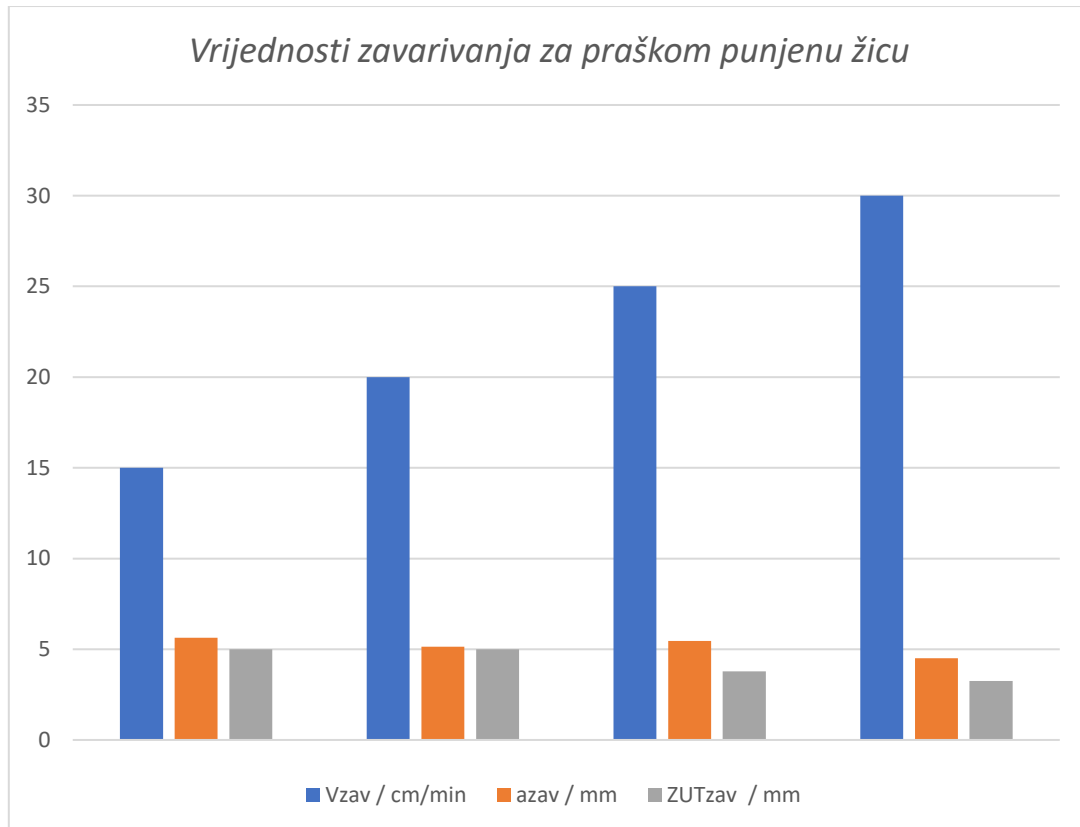
Tablica 5.1 *Vrijednosti zavarivanja za običnu žicu*

| Pulsna struja |                    |                |                  |
|---------------|--------------------|----------------|------------------|
| No.           | $v_{zav}$ / cm/min | $a_{zav}$ / mm | $ZUT_{zav}$ / mm |
| 1.            | 15                 | 6.287          | 5                |
| 2.            | 20                 | 5.610          | 5                |
| 3.            | 25                 | 4.848          | 2.899            |
| 4.            | 30                 | 4.438          | 2.834            |

Grafikon 5.1 *Vrijednosti zavarivanja za običnu žicu*

Tablica 5.2 Vrijednosti zavarivanja za praškom punjenu žicu

| Pulsna struja |                    |                |                  |
|---------------|--------------------|----------------|------------------|
| No.           | $v_{zav}$ / cm/min | $a_{zav}$ / mm | $ZUT_{zav}$ / mm |
| 1.            | 15                 | 5.631          | 5                |
| 2.            | 20                 | 5.139          | 5                |
| 3.            | 25                 | 5.454          | 3.789            |
| 4.            | 30                 | 4.948          | 3.249            |



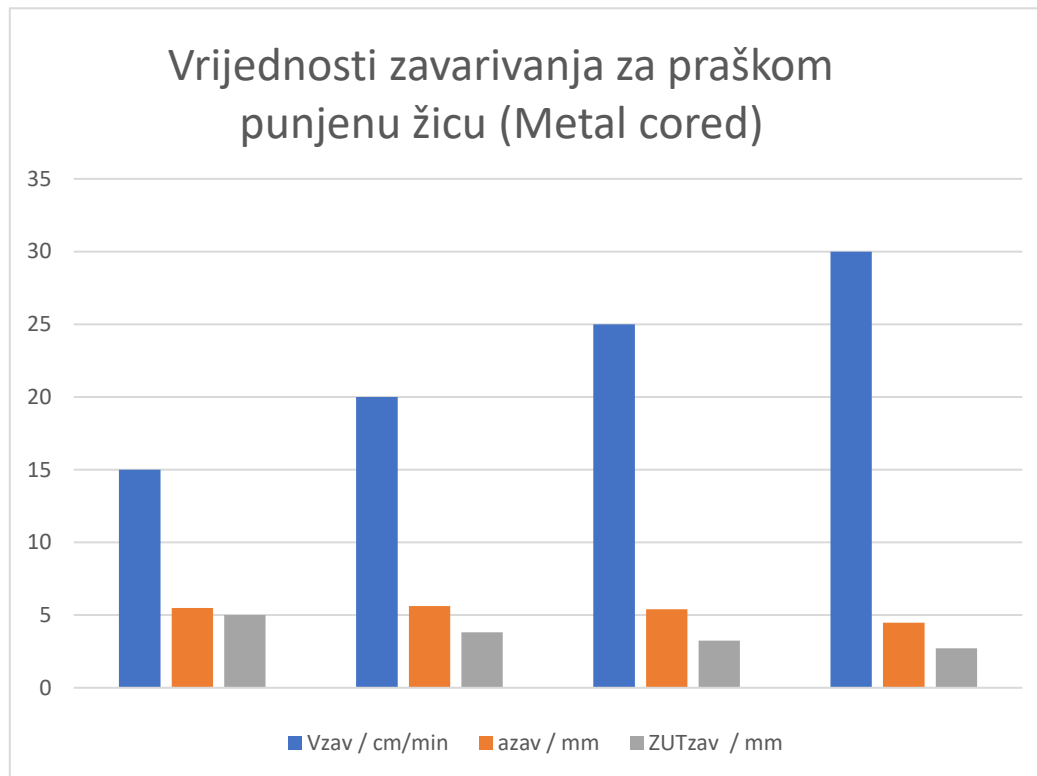
Grafikon 5.2 Vrijednosti zavarivanja za praškom punjenu žicu



To su bile vrijednosti za karakteristiku Steel (high strength), dok tablica 5.3 prikazuje vrijednosti za karakteristiku Metal cored.

Tablica 5.3 Vrijednosti zavarivanja za praškom punjenu žicu (Metal cored)

| Pulsna struja |                    |                |                  |
|---------------|--------------------|----------------|------------------|
| No.           | $v_{zav}$ / cm/min | $a_{zav}$ / mm | $ZUT_{zav}$ / mm |
| 1.            | 15                 | 5.485          | 5                |
| 2.            | 20                 | 6.050          | 3.806            |
| 3.            | 25                 | 5.392          | 3.252            |
| 4.            | 30                 | 4.480          | 2.720            |



Grafikon 5.3 Vrijednosti zavarivanja za praškom punjenu žicu (Metal cored)

Kao što smo već spominjali ZUT je s jedne strane prošao kroz cijeli materijal dok je kroz drugu stranu, odnosno drugi dio materijala prošao skroz ili djelomično kako prikazuju vrijednosti iz tablica. Što se tiče visine zavara možemo vidjeti da se visine zavara u sva tri slučaja podudaraju, odnosno imamo malo odstupanje. Dok se već vidi razlika u ZUT-u.

Na grafikonima od 5.1 do 5.3 možemo bolje vidjeti kako izgleda kretanje debljina zavara i zona utjecaja topline s obzirom na samu brzinu zavarivanja.

## 6 Zaključak

Nakon svega prikazanog možemo zaključiti da je sama uporaba hardox materijala vrlo široka i da skoro pa da ne poznaje granice primjene. Hardox materijali nisu jeftini te treba obratiti pozornost kada ih koristiti a kada ne. Također smo prikazali odabir zaštitnog plina i možemo zaključiti da sam odabir nije težak. Jedino se treba pratiti da izaberemo dodatni materijal što sličnijih karakteristika osnovnom materijalu kako bi imali kvalitetan zavreni spoj. Samim praćenjem gore navedenih kriterija ostvarit ćemo kvalitetno zavreni spoj na hardox materijalu.

Što se tiče samog pokusa možemo vidjeti da pravilan odabir parametara zavarivanja ima izravan utjecaj na samu visinu zavora, pa sukladno tome možemo zaključiti da sa debljim zavarom imamo veću količinu potrošenog dodatnog materijala i veći unos topline. S obzirom na sve navedeno možemo zaključiti da su svi ispitni uzorci kod ovog pokusa kvalitetno odrađeni i da je zavreni spoj zadovoljavajuć. Također možemo vidjeti da sam odabir karakteristike zavarivanja odabrane na uređaju i brzine zavarivanja na automatu utječu na samu zonu utjecaja topline.

## 7 Literatura

- [1] Marko, Grgić, *Primjena automata flex track 45 kod elektrolučnog zavarivanja (17. Stručna)*, Sl. Brod. 2020.
- [2] Eurotehnika, URL: <https://www.eurotehnika.hr/kategorija-proizvoda/zavarivanje/> (20.3.2023)
- [3] Šantek, Iva, *Zaštitni plinovi kod MIG/MAG i TIG zavarivanja*, Varaždin 2021.
- [4] Atlija, Nataša, *MAG postupak zavarivanja*, Rijeka 2016.
- [5] Plantić, Miroslav, *Tehnologija izrade rasvjetnog stupa MAG postupkom zavarivanja*, Varaždin 2016.
- [6] Marić, Davor, *Analiza mikrostrukture i svojstava zavarenog spoja čelika Hardox 450*, Zagreb 2022.
- [7] SSAB, URL: <https://www.ssab.com/en/brands-and-products/hardox/product-program/400> (7.6.2023)
- [8] SSAB, URL: <https://www.ssab.com/en> (8.6.2023)
- [9] Mineral&Gradnja, URL: <https://www.mineral.com.hr/8015/Novi-bager-CAT-326-pruza-vecu-ucinkovitost-i-visoke-performanse-kopanja-i-podizanja> (9.6.2023)
- [10] Schmitz Cargobull, URL: <https://www.cargobull.com/en-ov/products/tipper/tipper-semi-trailer> (9.6.2023)
- [11] BKL, URL: <https://bkl.hr/> (9.6.2032)
- [12] Fronius Corporate <https://www.fronius.com/en/welding-technology/products/manualwelding/migmag/tpsi/tpsi/tps-400i> (23.6.2023)
- [13] Magmaweld, URL: <https://loewener.dk/wp-content/uploads/2021/06/MG-2.pdf> (26.6.2023)
- [14] European standard,  
URL: <https://uscc.ua/uploads/page/images/normativnye%20dokumenty/dstu/vigotovlennya-mk-mizhnarodna-gilka-standarty/48-dstu-en-iso-14341-2014-mater-ali-zvaryvaln.pdf>  
(26.6.2023)
- [15] Magmaweld, URL: <https://www.magmaweld.com/fcw-21-uo> (26.6.2023)

[16] Nippon steel, URL:[https://www.weld.nipponsteel.com/en/pdf/sfsm\\_e.pdf](https://www.weld.nipponsteel.com/en/pdf/sfsm_e.pdf) (26.6.2023)

[17] GTG plin, URL:<https://gtg-plin.com/assets/zavarivanje-hr.pdf> (26.6.2023)

[18] Insize, URL:<http://m.insize.com/page-21-1819.html> (30.6.2023)

[19] Australian steel,

URL:[https://www.australiansteel.com.au/wp/wpcontent/uploads/2015/04/HARDOX450DATASHT.pdf?fbclid=IwAR34yQEn0tvq9Wrj4UfNsY4YmPtD\\_bwwO8jpk9i42cU3ZFMZiURi8e1-jU](https://www.australiansteel.com.au/wp/wpcontent/uploads/2015/04/HARDOX450DATASHT.pdf?fbclid=IwAR34yQEn0tvq9Wrj4UfNsY4YmPtD_bwwO8jpk9i42cU3ZFMZiURi8e1-jU) (6.7.2023)