

# Održavanje zavaranih konstrukcija kod grafičkog postrojenja

---

**Mučnjak, Dorian**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2022**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Graphic Arts / Sveučilište u Zagrebu, Grafički fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:216:096396>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-07**



*Repository / Repozitorij:*

[Faculty of Graphic Arts Repository](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
GRAFIČKI FAKULTET

# ZAVRŠNI RAD

Dorian Mučnjak



Sveučilište u Zagrebu  
Grafčki fakultet

Smjer: Tehničko-tehnološki

# ZAVRŠNI RAD

ODRŽAVANJE ZAVARANIH KONSTRUKCIJA KOD GRAFIČKOG POSTROJENJA

Mentor:

izv. prof. dr. sc. Dubravko Banić

Student:

Dorian Mučnjak

Zagreb, 2022

## SAŽETAK

Tematika ovog rada je održavanje zavarenih konstrukcija u grafičkom postrojenju. Zavarivanje predstavlja postupak spajanja dva ili više istorodnih ili pak raznorodnih materijala. Postupak zavarivanja se provodi taljenjem ili pak pritiskom. Moguće je dodati i dodatni materijal. Temeljni cilj koji se nastoji postići je dobivanje homogenog zavarenog spoja. Upravo stoga ovaj rad usmjerava se na varove, vrste varova i za što se konkretno varovi koriste. Sve navedeno vrlo je bitno za grafička postrojenja. Prikazom konstrukcija koje se mogu pronaći u grafičkim postrojenjima naglasit će se važnost održavanja i održavanja varova takvih konstrukcija. Cilj istraživanja jest upravo odrediti to važnost održavanja te koliko često je ona potrebna i zašto je ta grana održavanja unutar grafičkog postrojenja veoma zanemarena ili skoro nikad ne dođe na red za pregled.

Ključne riječi: zavarivanje, varovi, grafičko postrojenje, konstrukcija

## **SUMMARY**

The topic of this paper is the maintenance of welded structures in a graphic plant. Welding is the process of joining two or more similar or dissimilar materials. The welding process is carried out by melting or pressing. It is possible to add additional material. The basic goal to be achieved is to obtain a homogeneous welded joint. That is why this paper focuses on welds, types of welds and what exactly welds are used for. All of the above is very important for graphics plants. The presentation of structures that can be found in graphic plants will emphasize the importance of maintenance and upkeep of such structures. The aim of the research is to determine the importance of maintenance and how often it is needed and why this branch of maintenance within the graphics plant is very neglected or almost never comes up for review.

Key words: welding, welds, graphic plant, construction

# SADRŽAJ

|           |  |           |
|-----------|--|-----------|
| <b>1.</b> | <b>UVOD</b> .....  | <b>1</b>  |
| <b>2.</b> | <b>ZAVARIVANJE</b> .....   | <b>2</b>  |
| 2.1.      | Temeljne značajke zavarivanja .....                                      | 2         |
| 2.2.      | Povijesni razvoj zavarivanja.....  | 5         |
| <b>3.</b> | <b>VRSTE ZAVARIVANJA I PRIMJENA U GRAFIČKOM POGONU</b> .....             | <b>8</b>  |
| 3.1.      | Plinsko zavarivanje .....  | 9         |
| 3.2.      | Ručno elektrolučno zavarivanje obloženim elektrodama – REL.....          | 11        |
| 3.3.      | Zavarivanje s taljivom elektrodom u zaštitnoj plinskoj atmosferi .....   | 13        |
| 3.4.      | Zavarivanje s netaljivom elektrodom u zaštitnoj plinskoj atmosferi ..... | 15        |
| 3.5.      | Zavarivanje plazmenim lukom.....   | 17        |
| 3.6.      | Zavarivanje trenjem.....   | 18        |
| <b>4.</b> | <b>EKONOMIČNE PRAKSE ZAVARIVANJA U GRAFIČKOM POGONU</b> .....            | <b>20</b> |
| 4.1.      | Razmatranja na temelju vrsta zavara.....                                 | 20        |
| 4.1.1.    | CJP zavarivanje utora .....  | 20        |
| 4.1.2.    | PJP naspram kutnih zavara .....  | 20        |
| 4.1.3.    | Mješoviti PJP kutni zavari .....   | 20        |
| 4.2.      | Ostala razmatranja zavarivanja .....                                     | 21        |
| 4.2.1.    | CJP zavarivanje utora .....  | 21        |
| 4.2.2.    | PJP zavarivanje utora.....   | 21        |
| 4.2.3.    | Kutni zavari.....  | 21        |
| <b>5.</b> | <b>INSPEKCIJA ZAVARIVANJA U GRAFIČKOM POGONU</b> .....                   | <b>22</b> |
| 5.1.      | Vizualno testiranje (VT).....  | 22        |
| 5.2.      | Ispitivanje penetrantima (PT).....                                       | 24        |
| 5.3.      | Ispitivanje magnetskim česticama (MT) .....                              | 25        |
| 5.4.      | Radiografsko ispitivanje (RT) .....                                      | 26        |
| 5.5.      | Ultrazvučno ispitivanje (UT) .....                                       | 27        |
| <b>6.</b> | <b>ODRŽAVANJE OPREME ZA ZAVARIVANJE</b> .....                            | <b>28</b> |
| 6.1.      | Postupci održavanja opreme kod različitih postupaka zavarivanja.....     | 29        |
| 6.1.1.    | Otporno zavarivanje.....   | 29        |
| 6.1.3.    | Oprema za plinsko zavarivanje .....                                      | 31        |
| 6.1.4.    | Oprema za lasersko zavarivanje.....                                      | 32        |

|           |   |           |
|-----------|---|-----------|
| 6.1.5.    | Održavanje zavarivača pogonjenog motorom..... | 34        |
| 6.1.6.    | Održavanje zavara u grafičkom pogonu .....    | 36        |
| <b>7.</b> | <b>ZAKLJUČAK.....</b>                         | <b>39</b> |
| <b>8.</b> | <b>LITERATURA .....</b>                       | <b>40</b> |

## 1. UVOD

Na temelju formiranja problema ovog rada, na temelju formiranja rezultata i hipoteza rada dolazi do kombiniranja razno raznih kombinacija znanstvenih metoda. Rad se temelji na teorijskoj obradi znanstvene kao i stručne literature. Riječ je zapravo o već postojećoj literaturi koja kao takva uključuje velik broj različitih znanstvenih članaka, odnosno radova, istraživanja, rezultata istih koji su provedeni od strane organizacija kako domaćih tako i stranih.

Što se tiče metoda, induktivnom metodom se putem pojedinačnih činjenica, odnosno spoznaja koje dopiru iz literature kreiraju zaključci. Nadalje, putem deduktivne metode objašnjavaju se već postojeće činjenice, no ujedno se ukazuje i na neke sasvim nove. Putem deduktivne metode usmjerava se prema predviđanju budućih događaja.

Na temelju analize prikupljaju se podaci koji omogućuju područje uočavanja, otkrivanja i izučavanja potrebne znanstvene istine kako bi na taj način se formirali relevantni zaključci koji su potrebni u samom radu. Nadalje, tu je ujedno i sinteza kojom se povezuju podaci u određene misaone cjeline. Isto tako jedna od metoda je i metoda generalizacije, a radi se o metodi koja omogućuje uopćavanje prikupljenih podataka do konkretnog formiranja općeg pristupa prema problematici.



## 2. ZAVARIVANJE

Umjetnost spajanja metala stara je oko 3000 godina. Podrijetlo zavarivanja vjerojatno se može pratiti od doba oblikovanja metala. U industriji svaki radnik radi mijenjanje oblika metala različitim metodama i strojevima. Zavarivanje je metoda spajanja metala. Zavarivanje je proces spajanja dva ili više dijelova istih ili različitih materijala za postizanje potpune koalescencije[1]. U nastavku rada naglasak se postavlja na postupak zavarivanja.

### 2.1. Temeljne značajke zavarivanja

Prije samog opisa temeljnih značajki zavarivanja prikazat će se temeljni termini unutar ovog područja radi lakšeg shvaćanja cjelokupne teoretske osnove. Prvi pojam na koji se postavlja usmjerenost je zavarivač. Riječ je o osposobljenom i provjerenom zaposleniku koji provodi određen opseg zavarivačkih radova. Ovdje se stoga uključuju različiti postupci, različiti materijali, položaji koji se odnose na zavarivanje, geometrijski oblici radnog predmeta, uvjeti koji se odnose na zavarivanje i slično[2]. Nadalje, zavarivanje je proces spajanja ili pak prevlačenja temeljnog materijala i to postupkom primjenjivanja topline ili pak pritiska, ili pak oboje, sa ili bez dodatnih materijala. To bi značilo kako je sama zona spoja u određenom trenutku dovedena u tekuće ili pak plastično stanje.

Upravo će svojstva spoja zavisiti od samog postupka zavarivanja. Spoj koji nastaje je nerastavljiv. Zavareni spoj stoga karakterizira jednu cjelinu koja je kao takva ostvarena upravo procesom zavarivanja. Zavareni spoj stoga obuhvaća dodirne dijelove zavarenih komada, a upravo je okarakterizirano zapravo međusobnim položajem dijelova koji su zavareni kao ujedno i oblikom njihovih zavarenih krajeva. Što se tiče zavarljivosti, ovdje se radi konkretno o samoj sposobnosti materijala da se isti putem određenih povoljnih uvjeta zavarivanja postigne kontinuirani zavareni spoj koji će u konačnici svojim temeljnim svojstvima moći udovoljiti svim potrebnim uvjetima kao ujedno i samom vijeku eksploatacije[3]. Isto tako ovdje je potrebno istaknuti i navarivanje, a radi se o procesu unutar kojeg se dodaje dodatni materijal na površinu kako bi se postigao sloj koji je željenih dimenzija.

Pri samom definiranju osnovnih pojmova potrebno je istaknuti značenje zone taljenja (ZT) i zone utjecaja topline (ZUT). Prvo navedeno, zona taljenja predstavlja onaj dio površine koji ima poprečni presjek zavarenog spoja koji je zapravo bio rastaljen. Isti se najčešće sastoji od mješavine temeljnog materijala (OM) kao i od dodatnih materijala (DM), no isto tako ponekad samo od DM (lemljenje) ili pak samo od temeljnog materijala što podrazumijeva zavarivanje bez dodatnog materijala[3]. Što se tiče zone utjecaja topline, navedena predstavlja prijelaznu zonu, odnosno dio osnovnog materijala koji se kao takav nije rastalio. Njegova su se struktura kao i svojstva izmijenili upravo pod utjecajem topline zavarivanja, odnosno putem lemljenja ili pak putem toplinskog rezanja.

Od ostalih pojmova tu su još pojam predgrijavanja i metalne kupke. Proces predgrijavanja označava proces zagrijavanja neposredno prije samog procesa zavarivanja i to u zoni osnovnog materijala gdje će se vršiti zavarivanje, odnosno lemljenje ili pak toplinsko rezanje. Isto tako ovdje je potrebno izvršiti propisivanje minimalne temperature koja je potrebna. Sama temperatura podgrijavanja se najčešće mora održavati i to sve do samog završetka zagrijavanja. Što se tiče metalne kupke, navedena predstavlja u konačnici volumen koji se odnosi na rastaljeni metal i to unutar samog trenutka zavarivanja.

Prilikom opisivanja zavarivanja navodi se kako je isti jedan od vrlo bitnih postupaka koji se odnosi na spajanja. Putem zavarivanja ostvaruje se ušteda troškova i to kako za modele tako ujedno i za alate. Ujedno zavarivanjem se postiže manji utrošak materijala prema lijevanim te prema kovnim dijelovima. Uz vrlo spretno zavarivanje moguće je ostvariti i 50% lakši dio i to bez gubitka čvrstoće ili pak krutosti. Nadalje, važno je istaknuti kako su zavarivanje konstrukcije upravo zbog vrlo jednostavnog oblikovanja daleko bolje od zakovanih.

Prilikom definiranja zavarivanja navodi se kako je riječ o postupku spajanja dva ili više istorodnih ili pak raznorodnih materijala. Postupak zavarivanja se provodi taljenjem ili pak pritiskom. Moguće je dodati i dodatni materijal. Temeljni cilj koji se nastoji postići je dobivanje homogenog zavarenog spoja. Ovdje se radi stoga o spoju koji nema grešaka, tj. dobije se spoj s zahtijevanim mehaničkim i drugim svojstvima.

Postupkom zavarivanja moguće je ostvarenje spajanja kovina, stakla, polimera, stakla, keramike, kompozita, karbida i drugih elemenata, no isto tako moguće je ostvariti spajanje kovina i nekovina. Radi se stoga o interdisciplinarnoj tehnologiji. Kako bi se spoznala i razumjela navedena tehnologija ujedno je vrlo bitno poznavati znanja s različitih područja kao što je primjerice znanost o materijalima i o metalurgiji, znanost o termodinamici, elektrotehnici, kemiji te o informatici i drugim znanostima.

Metode spajanja kao što su zakivanje, montaža vijcima, lemljenje i ostalo rezultira privremenim spojevima. Zavarivanje je jedini način spajanja metala trajno. Privremeni spojevi mogu se odvojiti ako je:

- glava zakovice zrezana,
- matica vijka odvrnuta,
- kukica šava otvorena,
- daje se više topline nego što je potrebno za lemljenje

Iz svega do sada navedenog moguće je uočiti kako sam proces zavarivanja je proces koji obuhvaća široko područje znanosti. U pogledu najboljih tehnoloških, a ujedno i ekonomskih rezultata pri zavarivanju metalnih materijala, mogu se postići isključivo u situaciji kada su svi čimbenici koji imaju bilo kakav utjecaj na ovaj proces, na pravilan način podešeni. Jasno je stoga kako je upravo zavarivanje proces koji se odnosi na spajanje dva ili pak nekoliko dijelova uz postupak dodavanja nekog dodatnog materijala, ili bez istog. Na ovaj način moguće je dobiti stoga kontinuirani nerastavljivi spoj koji ima vrlo jednolična svojstva što bi se ogledalo u području mehaničkih svojstava, žilavosti kao ujedno i otpornosti na trošenje. Isto tako pored uređaja koji su namijenjeni za postupak zavarivanja postoji i mogućnost dodatnog materijala što se prije svega odnosi na korištenje zaštitnog plina.

Zavareni spojevi se ne mogu odvojiti kao spojevi koji su lemljeni jer se izrađuju homogeni spojevi zagrijavanjem i spajanjem spojenih rubova.

Zavarivanje je superiornije od ostalih metoda spajanja metala jer:

- je trajno tlačno nepropusni spoj,
- zauzima manje prostora,
- daje veću ekonomičnost materijala,
- ima manju težinu,
- podnosi visoku temperaturu i pritisak jednak spojenom materijalu,
- može se obaviti brzo,
- ne mijenja boju na spojevima.

To je najjači spoj i može se spajati bilo koja vrsta metala bilo koje debljine.

## 2.2. Povijesni razvoj zavarivanja

Kada se govori o postupcima zavarivanja, naglašava se kako je većina istih otkrivena upravo u ovom vijeku. Samim time jasno je kako samo neki od postupaka kao što su primjerice zavarivanje kovanjem, lijevanjem i lemljenjem bili poznati još u starom vijeku. Ukoliko bi se usmjerili prema prvom korištenju samorodnog bakra, jasno je kako je isto započelo još prije 10 000 godina, no šire korištenje isto tako nije bilo moguće dok čovjek nije naučio izdvajati metale iz ruda postupkom taljenja[4].

Naime, 5000 godina prije nove ere u Perziji te na području Afganistana započelo je izdvajanje metala bakra iz ruda, odnosno iz kamena i to postupkom taljenja u vatri[5]. U vremenu oko 3800 godina prije nove ere na srednjem je istoku otkrivena bronca dok je kasnije sama vještina njezina dobivanja prenesena u Kinu. Na ovaj način je stoga potpomognut procvat kineske civilizacije, a poglavito za vrijeme dinastije Čang i to oko 1500 godina prije nove ere. Vrlo je važno bilo to što je bronca bila daleko tvrđa od bakra pa je ujedno stoga ona bila i korisnija za uporabu. Isto tako navodi se kako je talište bakra i bronce znatnije niže od tališta željeza što stoga ujedno i olakšava njihovo dobivanje[4].

Vidljivo je stoga kako se zavarivanje razvijalo upravo kao sastavni dio vještina kovača kao ujedno i zlatara te lijevača prilikom izrade oruđa za rad, nakit, posuda, oružja i građevina. Tako se može govoriti o lijevačkom zavarivanju koje se razvijalo u sukladnosti s vještinom lijevanja. Upravo kasnijim lijevanjem dalje su se spajali različiti držači, odnosno oslonci te figure iz već ranije odlivenog osnovnog tijela same veza ili pak nekog drugog predmeta. Što

se tiče lemljenja, riječ je zapravo o tehnici spajanja taljenjem legure i to s nižim talištem i to od materijala koji se spajaju. Upravo kroz povijest se stoga lemljenje kao tehnika spajanja primjenjivala upravo na nakitima i figurama[4].

Što se tiče željeza, ono se najprije počelo koristiti samorodno. Tako je najprije se našlo na površini zemlje i to od meteorita. Tako primjerice prvi tragovi izdvajanja željeza iz ruda datiraju još od perioda od oko 2500 godina prije nove ere dok do široke primjene došlo je tek kasnije. U periodu od 1500 godina prije nove ere počeli su se nalaziti željezni predmeti. Što se tiče dobivanje čelika ono započinje oko 1000 godina prije nove ere i to u Indiji.

Što se nadalje tiče kovačkog zavarivanja naglašava se kako su upravo najbolji mačevi, odnosno najbolje oružje u srednjem vijeku, upravo bilo građeno od niskougličnog čelika. Isto tako navodi se kako su se na njihove rubove stavljale kovački zavarivane oštrice, odnosno trake koje su bile od visokougličnog čelika. One su uz toplinsku obradu dalje davale vrlo tvrde, čvrste kao i vrlo oštre bridove. Oružje kod kojih se primjenjivala ova tehnika koja se odnosi na kovačko zavarivanje bilo je poznato na području tadašnje Grčke, Kine, Japana, Franačke države, Indonezije te Sirije. Isto tako bila je poznata i tehnika spajanja traka i to iz različitih vrsta željeznih materijala putem kovanja. Riječ je o „damasciranju“. Sve se navedeno provodilo kako bi se postigla kvalitetna svojstva kako za mačeve tako ujedno i za puške.

Prilikom provođenja kovačkog zavarivanja, krajevi dva dijela koja se nastoje zavariti, odnosno spojiti, su spojevi koji se najprije zagriju unutar kovačke vatre i to do vremena bijelog usijanja. Ukoliko postoji potreba oni će se posuti bijelim pijeskom koji je namijenjen za čišćenje. Potom se vrši čekićanje spoja kako bi se istisnuli rastaljeni oksidi ili pak troska s dodirnih površina. Nadlaje se sučeljavaju čiste metalne površine kada dolazi do početka djelovanja među atomskih sila dvaju dijelova. Upravo tada dolazi do čvrstog, odnosno do zavarenog spoja.

Konkretan razvoj današnjeg postupka zavarivanja promatra se od godine 1802. Naime, upravo je tada došlo do Petrova istraživanja električnog luka koji je bio primijenjen za opću namjenu, no ujedno ne još za sam postupak zavarivanja. Godine 1856. Joule je po prvi puta odlučio se na primjenu sučeonoelektrotpornog zavarivanja žica. Godine 1888. Slavjanov se odlučio na prijedlog samog postupka elektrolučnog zavarivanja i to putem metalne elektrode. Upravo je tada došlo do uspostavljanja električnog luka između metalne elektrode i metalnih predmeta koji su se trebali spojiti. Godine 1895. dolazi do početka uporabe aluminotermijskog

zavarivanja koje se koristilo za sam postupak zavarivanja tračnica kao i za popravak odljevka. Godine 1907. dolazi do patentiranja te do primjenjivanja obložene elektrode od strane Oscara Kjølberga.

Naime, obložena se elektroda proizvodila putem uranjanja gole žice unutar otopine minerala. Kasnije, od godine 1936. ova obloga se nanosila procesom estrudiranja. Samim time proizvodnja bazičnih elektroda započela je u vremenu 1940. godine. Sam postupak zavarivanja unutar zaštitne atmosfere vodika i to „arcatom“ započelo je godine 1925. pet godina kasnije dolazi do početka primjenjivanja automatskog načina zavarivanja i to pod praškom EP unutar procesa brodogradnje na području Sjedinjenih Američkih Država. Godine 1936. dolazi do primjenjivanja zavarivanja TiG postupkom u zaštitnoj atmosferi He.

Što se tiče postupka zavarivanja u zaštitnim plinovima TIG, ista započinje naročito nakon Drugog svjetskog rata. Od ostalih vrsta zavarivanja, ovdje je bitno istaknuti i MIG zavarivanje koje se počinje primjenjivati nakon 1948. godine i to u pogledu Sigma postupka. U bivšem se Sovjetskom Savezu od godine 1953. započinje primjenjivati MAG postupak sa CO<sub>2</sub> zaštitnim aktivnim plinom. Što se tiče hladnog zavarivanja koje se vrši pod pritiskom, isto se primjenjuje od godine 1948.

U periodu iza godine 1950. dolazi do postupnog razvijanja brojnih postupaka kao što je primjerice godine 1951. postupak zavarivanja pod troskom, odnosno iza 1956. godine postupak zavarivanja trenjem, godine 1957. zavarivanje snopom elektrona, godine 1960. zavarivanje ultrazvukom, godine 1960. zavarivanje laserom, odnosno plazmom od godine 1961.

### 3. VRSTE ZAVARIVANJA I PRIMJENA U GRAFIČKOM POGONU

Sama podjela ovog postupka može se provesti na temelju vrste energije koja je potrebna kako bi došlo do ostvarenja samog spoja, odnosno prema vrsti izvora same energije. Na taj način razlikuju se dvije vrste zavarivanja. Prva vrsta odnosi se na zavarivanje taljenjem. Riječ je zapravo o spajanju dva ili više metalnih dijelova u njihovom rastaljenom stanju i to na mjestu samog spajanja putem korištenja ili bez dodatnog materijala te bez djelovanja pritiska ili pak udarca. S druge strane postoji zavarivanje pritiskom, a radi se o procesu spajanja dva ili nekoliko metalnih dijelova putem pritiska i to bez ili pak uz lokalno ograničeno zagrijavanje, no bez korištenja dodatnog materijala[6].

Ukoliko bi se usmjerili prema daljnju podjelu tada je moguće navesti kako postupci zavarivanja uz djelovanje pritiska obuhvaćaju slijedeće postupke zavarivanja metala:

- Kovačko zavarivanje,
- Zavarivanje trenjem,
- Elektrootporno zavarivanje,
- Elektroindukcijsko zavarivanje,
- Eksplozijsko zavarivanje,
- Zavarivanje pomoću ultrazvuka.

Što se tiče zavarivanja taljenjem ovdje je moguće razlikovati slijedeće vrste zavarivanja:

- Ljevačko zavarivanjem,
- Alumuniotermijsko zavarivanje,
- Zavarivanje s pomoć plinskog plamena,
- Zavarivanje pod elektroprovodljivom troskom,
- Zavarivanje električnim lukom,
- Zavarivanje plazmatskim lukom,
- Zavarivanje laserskim snopom,
- Zavarivanje elektronskim snopom.

U nastavku rada će se istaknuti neke od bitnijih vrsta zavarivanja.

### 3.1. Plinsko zavarivanje

Kada se radi o plinskom zavarivanju (Slika1), tada se ujedno govori o jednom od najstarijih tehnika zavarivanja. Da li će grafički pogon imati vlastitu službu za ovo zavarivanje ovisi o veličini pogona. Vjerojatno rijetko za današnje uvjete rada u Hrvatskoj. Kod navedenog postupka dolazi do toga da se toplinska energija dobiva konkretno izgaranjem gorivih plinova u samom kisiku. Plamen koji će nastati stoga se koristi za proces omekšavanja rubova metala te ujedno eventualno za dodatni materijal u šipkastom obliku. Što se tiče gorivih plinova, ovdje najčešće dolazi do korištenja acetilena  $C_2H_2$ , a ujedno može se koristiti i vodik, butan, propan, metan i drugi. Prilikom samog zavaravanja plamenom dolazi do korištenja mješavine kisika i gorivog plina. Omjer navedenih je najčešće 1:1. Isto tako moguće je dodatno dovođenje čistog kisika čime je moguće ostvariti i rezanje metala. Oprema koja je potrebna za plinsko zavarivanje je oprema koja uključuje bocu acetilena, bocu kisika, redukcijski ventil, cijev koja je potrebna za zavarivanje, plamenik te dodatni materijal. Acetilen i kisik se miješaju u plameniku, oni se pale te izgaranjem stvaraju temperaturu koja iznosi 3100 C.



Slika 1. Plinsko zavarivanje

*Izvor: Flanjak Ivan, 2015, Tehnološki oblikovanje zavarenih konstrukcija*  
<https://repositorij.vuka.hr/islandora/object/vuka:212/datastream/PDF/download>

Ova vrsta zavarivanja se koristi za zavarivanje čelika, bakra, aluminija i legura navedenih. Postupak se smatra jednostavnim dok je oprema jedna od jeftinijih u području zavarivanja.



Ono što je problem je brzina zavarivanja koja je mala, a ujedno upaljivost te eksplozivnost rada povećava opasnost pri radu. Ovaj postupak zavarivanja plinskim plamenom postupak je koji se ranije koristio za različite zadatke. Danas su nove te brže metode zavarivanja na postepen način preuzele veliku većinu poslova.

Tako se postupci zavarivanja plamenom tankih limova u današnjem vremenu mijenjaju s MIG/MAG postupcima zavarivanja. Isto tako zavarivanje plamenom se ponajviše koristi u pogledu montažnih te instalacijskih radova kao što su primjerice zavarivanje cijevi i različitih cilindara. Primjerice, navedeno se koristi za zavarivanje crijevnih sustava i to iz nelegiranih čelika te za postupke reparacija lijevanog željeza. Naglašava se kako kisik-acetilen plamen ima iznimno veliku industrijsku promjenu prilikom lemljenja, tijekom toplinskog rezanja kao i kod lokalnih toplinskih obrada.

Kao što je prethodno spomenuto, plinsko zavarivanje vrlo je popularan oblik zavarivanja. To je zato što ima neke vrlo jasne prednosti u odnosu na svoje konkurente. To uključuje, ali nije ograničeno na[11]:

- ✓ Može se koristiti za spajanje mnogih različitih vrsta metala: - Plinsko zavarivanje može se koristiti za međusobno zavarivanje željeznih i obojenih metala. To je jedna od njegovih najvećih prednosti u usporedbi s drugim postupcima zavarivanja.
- ✓ Ne zahtijeva upotrebu električne energije: - Kada usporedimo plinsko zavarivanje s drugim popularnim metodama zavarivanja kao što su elektrolučno zavarivanje, plinsko zavarivanje, za rad plinskog zavarivanja nije potrebna električna energija. Dakle, možete koristiti plinsko zavarivanje na mjestima koja nemaju pristup električnoj energiji.
- ✓ Jeftini troškovi opreme: - Početni potrebni kapital za plinsko zavarivanje vrlo je nizak u usporedbi s drugim oblicima zavarivanja. Za neke aplikacije ovo je vrlo korisno.
- ✓ Ne zahtijeva specijaliziranu radnu snagu: Plinsko zavarivanje ne zahtijeva visoko specijaliziranu radnu snagu. To olakšava pronalaženje plinskih zavarivača, kao i niske troškove rada.
- ✓ Oprema za plinsko zavarivanje vrlo je prenosiva: cijeli uređaj za plinsko zavarivanje relativno je lako uzeti i premještati, za razliku od nekih drugih oblika zavarivanja.

Iako plinsko zavarivanje ima neke opipljive i važne prednosti u odnosu na druge oblike zavarivanja, ono nije savršeno. Neki od njegovih nedostataka uključuju, ali nisu ograničeni na[11]:

- ✓ Nije prikladno za debele dijelove.

- ✓ Plinsko zavarivanje obično daje nisku završnu površinu. To znači da zavare obično treba doraditi nakon zavarivanja ako je estetika važna.
- ✓ Ne može se koristiti za čelik visoke čvrstoće. To je zato što, ali u samoj svojoj prirodi, zagrijana zona može utjecati na mehanička svojstva osnovnih metala.
- ✓ Spora brzina zagrijavanja i spajanja metala u usporedbi s drugim oblicima zavarivanja.
- ✓ Ne može postići temperature elektrolučnog zavarivanja
- ✓ Nema namjenski sustav zaštite od fluksa. To može rezultirati nekim vrlo ozbiljnim nedostacima zavara.

Plinsko zavarivanje koristi se u raznim industrijama. Evo nekih od najčešćih [1].

- ✓ Popravci: Jedna od najčešćih primjena plinskog zavarivanja su popravci.
- ✓ Izrada limova: Tanki do srednji limovi lako se zavaruju plinskim zavarivanjem.
- ✓ Zrakoplovna industrija: zavarivanje kisikom i acetilenom obično se koristi za spajanje različitih dijelova zrakoplova.
- ✓ Automobilska industrija: Koristi se za zavarivanje dijelova okvira i šasije.
- ✓ Spajanje čelika s visokim udjelom ugljika: Plinsko zavarivanje vrlo je učinkovito u topljenju čelika s visokim udjelom ugljika.
- ✓ Kao što smo vidjeli, plinsko zavarivanje jedna je od najvažnijih i naširoko korištenih metoda zavarivanja. Kombinacija njegove relativno niske cijene, jednostavnosti upotrebe i prenosivosti čine plinsko zavarivanje jednom od najpopularnijih metoda zavarivanja koje danas koristimo.

### 3.2. Ručno elektrolučno zavarivanje obloženim elektrodama – REL

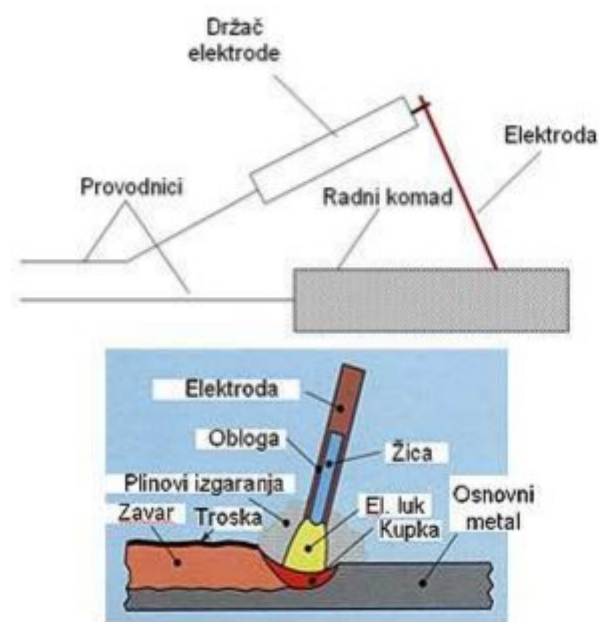
Kada se radi o elektrolučnom zavarivanju (Slika 2.) s obloženim elektrodama – REL, predstavlja postupak vrlo jednostavan za rukovanje. Ovi uređaji su relativno jeftini i obuka radnika koji bi s njima radio nije jako zahtjevna. Za sitne intervencije, grafičko poduzeće može imati radnika koji bi obavljao i poslove zavaravanja uz neke druge tehničke poslove.

Ovaj postupak se primjenjuje za provođenje zavarivanja i za navarivanje svih vrsta metala i to putem istosmjerne ili pak izmjenične struje. Ovdje se navodi kako električni luk se uspostavlja između vrha elektrode i radnog komada, a sam postupak je ručni što znači kako je

zapravo neophodan zavarivač[7]. Ovdje se ističu prednosti i nedostaci. Što se tiče prednosti ovdje se ističe jeftina oprema, iznimno širok spektar elektroda, korištenje za sve konstrukcije čelika kao što su Cu, Ni, Ti i ostali. Prednosti se ističu na području zavarivanja debljine zavara i to od 1 milimetra do 100 milimetara. Putem ručnog elektrolučnog zavarivanja obloženim elektrodama moguće je izvesti i višeslojno zavarivanje kao i zavarivanje u svim položajima. Od nedostataka se ponajviše ističe što se postupak obavlja ručno pa samim time postoji i mogućnost greške. Isto tako pojavljuje se dosta dima prilikom zavarivanja pa je u samom procesu nužna ventilacija. Dolazi i do stvaranja troske pa se javlja i opasnost koja se odnosi na pojavu troske u zavaru. Prilikom zavarivanja javlja se otpad koji se mora otkloniti. S obzirom na prekide i na uspostavljanje luka javljaju se i moguće pogreške.

Obloga koja se stvara ima nekoliko temeljnih funkcija, a to su slijedeće:

- Električna funkcija,
- Fizikalna funkcija,
- Metalurška funkcija.



Slika 2. Ručno elektrolučno zavarivanje obloženim elektrodama (REL)

Izvor: Flanjak Ivan, 2015, Tehnologično oblikovanje zavarenih konstrukcija  
<https://repozitorij.vuka.hr/islandora/object/vuka:212/datastream/PDF/download>

Što se tiče električne funkcije, ona se smatra važnom s obzirom da utječe na samu stabilnost električnog luga. Nadalje, fizikalna funkcija iznimno je bitna jer utječe na zaštitu taline od zraka, tj. plinovi štite talinu. Posljednja je metalurška funkcija. To bi značilo kako se u oblozi nalaze komponente koje vrše legiranje samog metala zavara pa samim time one utječu na deoksidaciju taline[7].

Ukoliko se radi o bazičnoj oblozi tada se radi o oblozi koja daje iznimno dobru žilavost kao i čvrstoću. Nadalje, bazična obloga potražuje posebnu opremu za zavarivača. Dolazi do zavarivanja isključivo na + polu. Ovdje je visina luka jednaka 1 promjenu elektrode. Bazična obloga na sebe veže kisik, vodik, sumpor i fosfor. Što se tiče zavarenog spoja, isti je oslobođen štetnih plinova kao i nemetalnih primjesa.

Slijedeća obloga je rutinalna. Riječ je o oblozi koja ima vrlo lijep estetski zavar te je iznimno lako s njom raditi. Njezin električni luk je stabilan. Moguće je s navedenim raditi na istosmjernoj i na izmjeničnoj struji. Ipak, ona ima nešto lošija mehanička svojstva. Što se tiče kisele obloge, naglašava se kako ona ima ista svojstva kao i bazična obloga[7].

### 3.3. Zavarivanje s taljivom elektrodom u zaštitnoj plinskoj atmosferi

Ukoliko se radi o zavarivanju s taljivom elektrodom u zaštitnoj plinskoj atmosferi (Slika 3.) naglašava se kako se električni luk prilikom navedenog zavarivanja s ovim oblikom taljive elektrode u plinskoj atmosferi, ujedno uspostavlja i održava između vrha taljive metalne elektrode, tj. žice i zavarenog metala. Samim time uočava se kako električni luk na ovaj način kreira potrebnu toplinu te ujedno osigurava taljenje dodatnog metala i spajanja rubova koji se odnose na osnovni metal u okruženju tako zvanog zaštitnog plina. Kad se kao zaštitni plin koriste neutralni ili pak inertni plinovi kao što je primjerice argon ili pak helij, odnosno mješavina plinova, upravo tada se postupak koji se koristi naziva postupkom MIG (Metal Inert Gas). Ukoliko se kao zaštitni plin koristi aktivni plin, i to najčešće kao CO<sub>2</sub> i mješavine navedenog s drugim plinovima, tada se ovaj postupak naziva MAG (Metal Active Gas)[7].



Slika 3. Zavarivanje s taljivom elektrodom u zaštitnoj plinskoj atmosferi

*Izvor: Bernečić, Zavarivanje, 2015,*

[https://www.pfri.uniri.hr/web/dokumenti/uploads\\_nastava/20180302\\_095155\\_bernecic\\_ZAVARIVANJE.2015.pdf](https://www.pfri.uniri.hr/web/dokumenti/uploads_nastava/20180302_095155_bernecic_ZAVARIVANJE.2015.pdf)

U ovom postupku je metalna elektroda koja ima oblik žice, namotana na kolut te se potiskuje putem potisnog mehanizma i to kroz pištolj za zavarivanja sve do mjesta taljenja. Potom se u električnom luku navedeno tali te se prenosi u rastaljeni metal. Što se tiče inertnog plina on štiti talinu od štetnog utjecaja samog kisika i dušika iz zraka. Samim time vođenje ka i upravljanje zavarivačkog pištolja je ručni postupak, no ujedno može biti i potpuno automatizirani postupak. Sam promjer žica te parametri koji se odnose na zavarivanje MIG ili pak MAG se odabiru putem debljine zavarenih izradaka kao i pri položaju zavarivanja. Ovdje se najčešće koristi žica koja je od punog presjeka te je promjena od 0,6 do 2,4 milimetra i to kako bi se ostvario bolji električni kontakt i zaštita od same korozije koja je pobakrena. Navedeni postupak stoga se najčešće koristi za zavarivanje obojenih metala, visokolegiranih čelika kao i drugih metala koji se vežu s kisikom, odnosno za zavarivanje tankih limova[8].

Kada je riječ o prednostima MIG/MAG postupka tada se navodi prije svega brzina zavarivanja koja traje do 1m/min. Nadalje, prednost se očituje u činjenici što se mogu zavarivati tanki, a ujedno i srednji te debeli komadi. Ovaj postupak zavarivanja je dobar za sve vrste metala, a ujedno je moguće i zavarivanje u svim položajima. Navedeni postupak se može automatizirati kao i robotizirati.

Što se tiče nedostataka MIG/MAG postupka, oni se očituju u pogledu iznimno skupe opreme. Isto tako postoji opasnost od velike poroznosti oko zaštite zbog samog plina. Ovaj postupak zavarivanja se odvija s pomoću dvije ruke i postoji opasnost od naljepljivanja. Iz samog opisa

može se zaključiti da je ova metoda zahtjevna i uslugu zavarivanja bi u grafičkom pogonu obavljala vrlo vjerojatno „vanjska2 kvalificirana osoba.

### 3.4. Zavarivanje s netaljivom elektrodom u zaštitnoj plinskoj atmosferi

Postupak zavarivanja s netaljivom elektrodom u zaštitnoj plinskoj atmosferi (Slika 4.) je postupak koji se temelji na području uspostavljanja kao i održavanja električnog luka i to između volframove netaljive elektrode te između radnog komada uz provođenje zaštite neutralnog ili pak inertnog plina, tj. putem korištenja odgovarajuće mješavine ovih plinova[7]. Navedeni se postupak ujedno naziva i postupkom TIG zavarivanja. Iz svega navedenog slijedi kako mali intenzivan električni luk zapravo je luk koji nastaje iz usmjerene elektrode i kao takav je idealan za iznimno visoko kvalitetno te vrlo precizno zavarivanje. Što se tiče topline električnog luka, ona je namijenjena za taljenje te za spajanje rubnih dijelova osnovnog metala. Ukoliko je potrebno sa strane se dovodi i dodatni materijal. Ovaj postupak je postupak koji se može izvesti u bilo kojem radnom položaju te na bilo koje radne komade debljine čak i na manje od milimetra. Temeljna prednost ove vrste zavarivanja leži u iznimno visokoj pravilnosti depozita te mogućnosti koja se odnosi na prijenos dodatnog materijala unutar same kupke i to bez bilo kakvog značajnog gubitka elemenata od kojih se navedeni sastoji[7].

Kada je riječ o postupku zavarivanja aluminija, magnezija kao i drugih legura, ovdje dolazi do korištenja izmjenične struje. Kada je riječ o ostalim metalima tada dolazi do korištenja istosmjerne struje koja ima minus pol na samoj elektrodi. Ovaj TIG postupak je razvijen s namjenom zavarivanja magnezija te drugih njegovih legura. Danas se TIG postupak upotrebljava u pogledu zavarivanja različitih metala kako od aluminija tako od titana, nehrđajućih čelika, drugih tankih čeličnih limova i ostalih ne željeznih metala kao i legura. Ovdje se kao zaštitni plin koristi upravo argon ili pak helij[8].



Slika 4. Zavarivanje s netaljivom elektrodom u zaštitnoj plinskoj atmosferi

Izvor: Bernečić, Zavarivanje, 2015,

[https://www.pfri.uniri.hr/web/dokumenti/uploads\\_nastava/20180302\\_095155\\_bernecic\\_ZAV\\_ARIVANJE.2015.pdf](https://www.pfri.uniri.hr/web/dokumenti/uploads_nastava/20180302_095155_bernecic_ZAV_ARIVANJE.2015.pdf)

Oni imaju svrhu da naprave zaštitnu atmosferu koja kao takva se može na lakši način ionizirati te štiti sam vrh elektrode kao ujedno i talinu od same kontaminacije kisikom i drugim plinovima iz okoline. Što se tiče zaštitnog plina, ovdje se najčešće koristi argon ili pak helij. Oni imaju svrhu da kreiraju zaštitnu atmosferu koja se kao takva može na lakši način ionizirati i samim time štiti vrh same elektrode i taline od daljnje kontaminacije kisikom kao i drugim plinovima iz okoline[7].

Moguće je navesti određene prednosti ovog postupka. Prije svega ovdje je luk taj koji je vrlo stabilan. Razlog tome je činjenica što osigurava visokokvalitetno zavarivanje. Ovdje su zavareni spojevi prije svega homogeni, imaju vrlo dobru estetiku i kvalitetna mehanička svojstva. TIG postupak se koristi za zahtjevne metale kao što su primjerice različiti nehrđajući čelici, Al, Ti, Cu i drugi. Ovaj postupak zavarivanja daje zapravo najkvalitetniji zavar. Od nedostataka ovdje je moguće istaknuti primjerice vrlo malu brzinu zavarivanja koja iznosi 10 do 15 cm u minuti. Isto tako ovaj postupak je ograničen za tanke materijale, tj. za materijale koji su do 6 milimetara. Oprema za ovaj postupak je iznimno skupa s obzirom da je sku p plin argon, a ujedno je skup i wolfram. Radi samog procesa oksidacije ujedno je nužna i sekundarna zaštita. Ova metoda također je zahtjevna i uslugu zavarivanja bi u grafičkom pogonu obavljala vrlo vjerojatno „vanjska2 kvalificirana osoba.

### 3.5. Zavarivanje plazmenim lukom

Kada se radi o zavarivanju plazmenim lukom (Slika 5.) naglašava se kako sama plazma stvara plin koji je kao takav zagrijan do ekstremno visokih temperatura, odnosno riječ je o temperaturama koje su više od 50 000 °C. Ujedno je navedeni plin ioniziran na način da isti postane električki vodljiv. Prilikom samog procesa zavarivanja plazmom dolazi do korištenja plazme za sam prijenos električnog luka do obratka. Upravo putem intenzivne topline samog luka metal koji se zavaruje se konkretno topi i spaja. Što se tiče netaljive volframove elektrode ona je spojena na (-) pol izvora koji je istosmjerne struje, a kao takav nalazi se u središnjem dijelu bakrene spanice. Iz tog razloga upravljački luk se inicira konkretno između elektrode samog plamenika, i vrha spanice, a potom se prijenos vrši dalje na metal koji se dalje zavaruje[9]. Što se tiče konkretnog plazmenog plina ovdje se najčešće koristi upravo argon. Isto tako se u plameniku koristi i sekundarni plin argon, odnosno argon/vodik ili pak helij. Riječ je o plinovima koji pomažu pri pružanju zaštite od same oksidacije taljive kupke navedenog zavara.



Slika 5. Zavarivanje plazmenim lukom

*Izvor: Bernečić, Zavarivanje, 2015,*

[https://www.pfri.uniri.hr/web/dokumenti/uploads\\_nastava/20180302\\_095155\\_bernecic\\_ZAV\\_ARIVANJE.2015.pdf](https://www.pfri.uniri.hr/web/dokumenti/uploads_nastava/20180302_095155_bernecic_ZAV_ARIVANJE.2015.pdf)

Što se tiče zavarivanja plazmenim lukom, on se koristi prije svega za sve metale, a poglavito za zavarivanje onih koji su visoko legirani te su nehrađajući čelici, odnosno nikal, titan, aluminij, bakar i druge njihove legure. Sama debljina metala ne smije biti manja od 3 do 4



milimetra. Ovdje se metal može spajati bez nekih dodatnih materijala, a ukoliko je potrebno tada se on može na izravan način dodati u luk. Kao temeljna prednost korištenja navedene metode navodi se veća brzina samog rada te ujedno i raznovrsnost same uporabe. Ujedno je ovdje potrebno istaknuti i bolju kvalitetu koja se odnosi na sam rez.

Od prednosti se navodi razmak koji se ostvaruje između pištolja te radnog komada koja nije kritična veličina. Isto tako ovdje se navodi vrlo velika koncentracija energije u samom mlazu plazme čime se omogućuje vrlo duboka penetracija te samim time i potpuno protaljivanje i to u jednom prolazu. Što se tiče zone utjecaja topline spoja, riječ je o uskoj s paralelnim rubovima čime dolazi do smanjenja kutne deformacije. Od prednosti se navodi vrlo velika koncentracija energije čime se osigurava vrlo velika brzina koja se odnosi na zavarivanje i to uz osiguranje stabilnog luka. Na ovaj način ostvaruje se iznimno visoka kvaliteta spojeva.

Što se tiče nedostataka, ovdje se navodi kako je plazma pištolj kao takav izrazito osjetljiv na oštećenje nego primjerice kod TIG postupka. Isto tako pištolj kao takav mora imati vodeno hlađenje. Od nedostataka se isto tako navodi kako se zahtjeva izrazito točno održavanje razmaka i to između vrha elektrode i između sapnice.

### 3.6. Zavarivanje trenjem

Zavarivanje trenjem (Slika 6.) je postupak koji se izvodi putem relativnog kretanja jedne komponente kao takve u odnosu na primjerice druge. Zavarivanje trenjem je zavarivanje koje se provodi duž zajedničke dodirne površine i to uz pritisak na konkretno mjesto spajanja. Toplina kao takva nastaje trenjem i na taj način smekša metal. Taj metal potom postaje plastičnim. Upravo u tom segmentu površinski materijal se istiskuje van robova samog spoja i to na način da se "čisti" materijal koji se zavaruje. Moguće je razlikovati ukupno tri vrste trenja. Ovdje se radi o okretnom zavarivanju trenjem, dužinskom zavarivanju trenjem i zavarivanju trenjem s okretnim alatom. Ukoliko se radi o okretnom zavarivanju trenjem tada je riječ o postupku koji se najviše upotrebljava.

Upravo stoga jedan dio koji se spaja se potom okreće u odnosu na drugi dio. Navedenim postupkom dolazi do spajanja čelišnih osovina i poluosovina. Isto tako navedenim postupkom mogu se spajati elementi koji se odnose na ovjes, na vilicu mjenjača, na ventil motora i na druge. Što se tiče ventila motora, navedeni predstavlja primjer spajanja različitih materijala s

obzirom da je glava ventila iz jednog dok je sama drška ventila iz drugog materijala. Nadalje, dužinsko zavarivanje trenjem predstavlja postupak koji je dobio naziv prema provođenju pravocrtnog kretanja jednog dijela koji se kao takav spaja u odnosu na drugi i to putem njihove površine spajanja[10].

Primjerice, ovaj postupak je primjer postupka koji se u području avionske industrije može upotrebljavati za spajanje lopatica propelera na sam disk. Postupak se smatra izričito jeftinim te se koristi za postupak spajanja diskova kočnica, odnosno postupak koji se koristi kod obruča kotača i kod drugih dijelova motora[10].

Zavarivanje trenjem s okretnim alatom postupak je kojim dolazi do stvaranja plastificiranog područja samog materijala, no na drugi način. Naime, netrošivi rotirajući alat se dalje pritišće na sam materijal koji će se kao takav zavariti- Spomenuta rotacija alata se zagrijava i tada se plastificiraju materijali spajanja. Upravo s okretanjem alata duž samog spoja materijal koji se nalazi ispred samog alata je materijal koji se zakreće oko plastificiranog kruga i na navedenim načinom eliminira se površina i na taj način stvara se zavar. Navedeni postupak je postupak koji je patentiran godine 1991. i riječ je o postupku koji se prvo primjenjivao za zavarivanje aluminija. Kvaliteta navedenog je odlična s obzirom da nema poroznosti koja može nastati prilikom samog taljenja, odnosno mehanička svojstva zavara su jednake kvalitete kao ujedno i najkvalitetniji tradicionalni zavar. Ovaj postupak stoga je postupak koji je ekološki prihvatljiv s obzirom da ne dolazi do razvijanja zavarivačkih plinova kao niti do prskanja elektrode[10].



Slika 6. Zavarivanje trenjem s okretnim alatom

*Izvor: Bernečić, Zavarivanje, 2015,*

[https://www.pfri.uniri.hr/web/dokumenti/uploads\\_nastava/20180302\\_095155\\_bernecic\\_ZAVARIVANJE.2015.pdf](https://www.pfri.uniri.hr/web/dokumenti/uploads_nastava/20180302_095155_bernecic_ZAVARIVANJE.2015.pdf)

Zavarivanje trenjem kao postupak sigurno se ne bi provodio u grafičkom pogonu. Ovdje je opisan i bilo bi dobro educirati radnike da je „nepoželjno“ zavarivanje trenjem moguće kada između dva dijela koji se taru nestane maziva. S gledišta održavanja strojeva je ovo važno uočiti.

## 4. EKONOMIČNE PRAKSE ZAVARIVANJA U GRAFIČKOM POGONU

Većina troškova zavarivanja povezana je s radom. Smanjenje u volumenu zavarenog metala obično dovodi do ekonomičnijih zavara. Kvalitetni varovi koji su bez nedostataka izbjegavaju potrebu za popravcima koji troše vrijeme i novac (tj. jednom zavariti).

### 4.1. Razmatranja na temelju vrsta zavara

#### 4.1.1. CJP zavarivanje utora

Ovo je najskuplja vrsta zavara, pa je treba rezervirati za vrijeme kada bude jedina održiva opcija. Općenito je povoljno s elektrotroskim ili elektroplinskim zavarivanjem; međutim, MDOT to ne dopušta postupcima zavarivanja.

#### 4.1.2. PJP naspram kutnih zavara

Može se koristiti u T spojevima i unutarnjim kutnim spojevima. Općenito može se pretpostaviti da PJP zavari zahtijevaju polovicu volumena za određenu snagu. Također može se procijeniti vrijeme skošenja PJP spoja kao jednako jedan prolaz kutnog zavara. Općenito: 1) kutni zavar je ekonomičniji ako ga zahtijeva samo jedan prolaz, 2) PJP zavari su idealni u ravnom položaju, i 3) kutni zavari su idealni u ravnim ili horizontalnim položajima. Opće pravilo palca je:

- Ako je veličina kraka manja od 1 inča, upotrijebiti kutne spojeve.
- Ako je veličina noge veća od 1 inča, upotrijebiti PJP zavar s utorom.

#### 4.1.3. Mješoviti PJP kutni zavari

Slika 7 je primjer mješovitog PJP kutnog zavara, također poznatog kao kutni šav ojačani PJP zavar. Mogao bi biti ekonomičniji od pojedinačnog PJP-a ili kutnog zavara. Za T spojeve, kutni zavari na vrhu PJP zavara pružaju bolju konturu na raskrižju. Ova vrsta zavara poželjna je za zavare u svim položajima osim ravnog.

## 4.2. Ostala razmatranja zavarivanja

### 4.2.1. CJP zavarivanje utora

Jednostrane zavare lakše je proizvesti osim ako postoji potrebna kontrola izobličenja. Tipična ušteda 2 prema 1 pretpostavljena za dvostrane zavare nije točna za mnoge predkvalificirane spojeve.

Izbor otvora korijena i uključenog kuta ovisi o dimenziji grla:

- Ako je dimenzija grla manja od 1 inča, upotrijebiti najmanji dopušteni korijenski otvor s većim uključenim kutom.
- Ako je dimenzija grla veća ili jednaka 1 inču, upotrijebiti veći otvor korijena i manji uključeni kut.

### 4.2.2. PJP zavarivanje utora

Jednostrani PJP zavari s utorima obično zahtijevaju manje od tri zavara i ekonomičniji su od dvostranih. Dvostrani zavari sprječavaju kidanje nezaraslog dijela korijena. Zavareni spojevi s utorima ne moraju uvijek puniti vodu za ispiranje. Mora se navesti potrebno grlo kako bi se dobio potreban kapacitet.

### 4.2.3. Kutni zavari

Čvrstoća raste linearno s duljinom zavara i veličinom kraka. Bilješka:

- 1 prema 1 povećanje volumena zavara s duljinom zavara.
- 4 prema 1 povećanje volumena zavara s veličinom kraka zavara.
- Često se odabiru kontinuirani zavari umjesto isprekidanih.

## 5. INSPEKCIJA ZAVARIVANJA U GRAFIČKOM POGONU

Varovi se moraju pregledati kako bi se osiguralo da zadovoljavaju specifikacije. Postoje dvije kategorije metoda inspekcije. Inspekcije koje su jednostavne/vizualne može provoditi vlastita služba održavanja grafičkog poduzeća. Za zahtjevnije treba koristiti vanjske usluge specijaliziranih tvrtki.

- Destruktivna:

- Koristi se za kvalifikaciju postupka zavarivanja.
- Prikladno za ispitivanja rastezanja, Charpy ispitivanja udarca i testovi savijanja.

- Nedestruktivna (NDT):

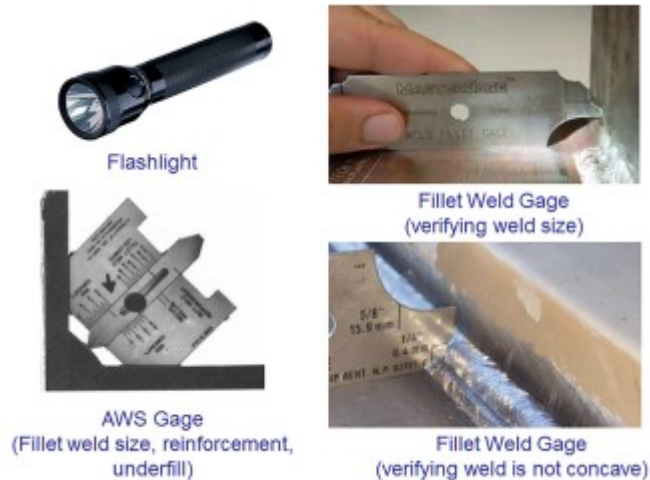
- Provjera in situ zavarenog spoja bez oštećenja.
- MDOT specificira NDT zahtjeve.

- Metode uključuju:

- › Vizualno testiranje (VT).
- › Ispitivanje penetrantima (PT).
- › Ispitivanje magnetskim česticama (MT).
- › Radiografsko ispitivanje (RT).
- › Ultrazvučno ispitivanje (UT)[12].

### 5.1. Vizualno testiranje (VT)

Ova metoda je moćan alat prije, tijekom i nakon zavarivanja. Ona zahtijeva dobar vid i osvjetljenje. Glavni alat je svjetiljka i mjerači za mjerenje zavara. MDOT zahtijeva da svi zavari budu VT pregledani. Slika 7. prikazuje alate odnosno proces.



Slika 7. VT alati.

Izvor: Michigan Department of Transportation, Field Manual for

Structural Welding, 2nd Edition – May 2022, <https://www.michigan.gov/mdot/-/media/Project/Websites/MDOT/Programs/Bridges-and-Structures/Structure-Construction/Field-Manual-for-Structural-Welding.pdf?rev=ab829cd4bcd345149ce649e720477e3a&hash=AFABAE36EBC67618303AFBDA231C8>  
12B

Predzavarivanje:

- Pregledati specifikacije
- Provjeriti usklađenost s WPS-om
- Provjeriti AWS i MDOT odobrenje zavarivača
- Pregledati certifikaciju materijala
- Pregledati opremu
- Provjeriti ima li na osnovnom metalu diskontinuiteta i nečistoća
- Provjeriti montažu i poravnanje
- Provjeriti potrebno predgrijavanje
- Procijeniti stanje okoliša
- Bilježiti rezultate.

Tijekom zavarivanja [12]:

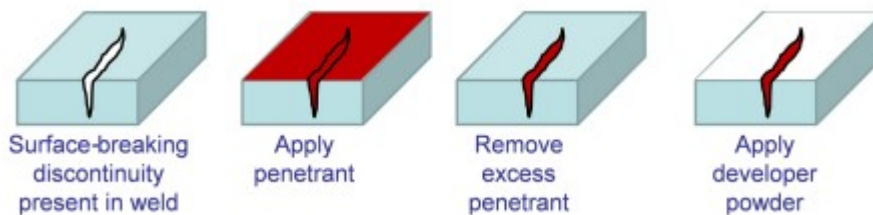
- Osigurati usklađenost s WPS procedurama
- Provjeriti kvalitetu korijena zavara
- Provjeriti pripremu korijena spoja prije zavarivanja druge strane (dvostrani varovi)
- Provjeriti međuprolaznu temperaturu
- Pregledati nakon svakog zavarivanja (više prolazni zavari).

Nakon zavarivanja:

- Provjeriti ima li poroznosti, podreza, pukotina i drugih diskontinuiteta
- Provjeriti konačnu veličinu zavara
- Provjeriti duljinu zavara
- Provjeriti jesu li svi zavari dovršeni prema crtežima
- Uvjeriti se da nema dodatnih zavara
- Provjeriti postoji li prekomjerno izobličenje
- Provjeriti ima li luka[12].

## 5.2. Ispitivanje penetrantima (PT)

Ova metoda koristi kapilarno djelovanje za povlačenje tekućine u površinsko lomljenje diskontinuiteta. Ispitivač primjenjuje programera da napravi vidljive diskontinuitete i mora osigurati dovoljno vremena za kapilarno djelovanje da se uvuče tekućina (otprilike 15 minuta). Slika 8. prikazuje proces. PT može otkriti samo površinske prekide. Djelotvoran je kod naglašavanja površinskih diskontinuiteta koje je teško vizualno vidjeti.



Slika 8. PT metoda

*Izvor: Michigan Department of Transportation, Field Manual for*

*Structural Welding, 2nd Edition – May 2022, <https://www.michigan.gov/mdot/-/media/Project/Websites/MDOT/Programs/Bridges-and-Structures/Structure-Construction/Field-Manual-for-Structural-Welding.pdf?rev=ab829cd4bcd345149ce649e720477e3a&hash=AFABAE36EBC67618303AFBDA231C812B>*

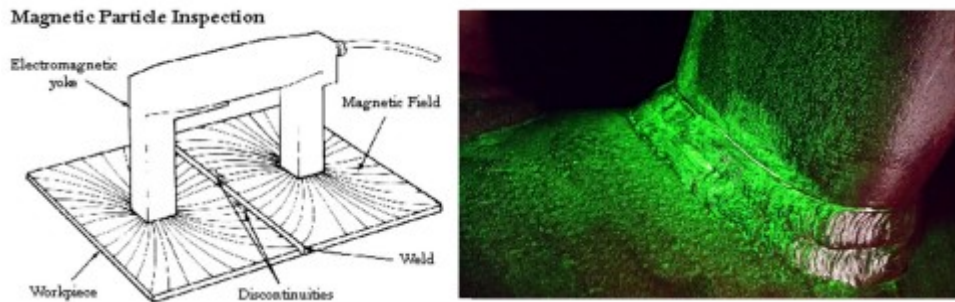
### 5.3. Ispitivanje magnetskim česticama (MT)

MT otkriva diskontinuitete kroz promjenu magnetskog toka (vidljivo kroz čestice). Stvara drugačiji uzorak i može otkriti površinu i blage ispodpovršinske diskontinuitete (Slika 9). Postoje dva načina za stvaranje elektromagnetskog polja:

- Propustiti struju izravno kroz materijal[12]:
  - Dva nosača u kontaktu s materijalom.
  - Kroz njih je prošla električna struja.
- Za induciranje magnetskog polja upotrijebiti zavojnicu na jarmu[12]:
  - Struja prolazi kroz zavojnicu.
  - Kraj jarma se stavlja u kontakt s materijalom za ispitivanje.

Pukotine okomiti na polje koje najlakše otkriva MT. MT se koristi za osiguranje kvalitete popravljenih zavora, posebno zavora PJP utora i kutnih zavora. Također se koristi za pregled otvora za pristup zavarima. MT je bolji od PT jer je brži, jednostavniji i manje neuredan.





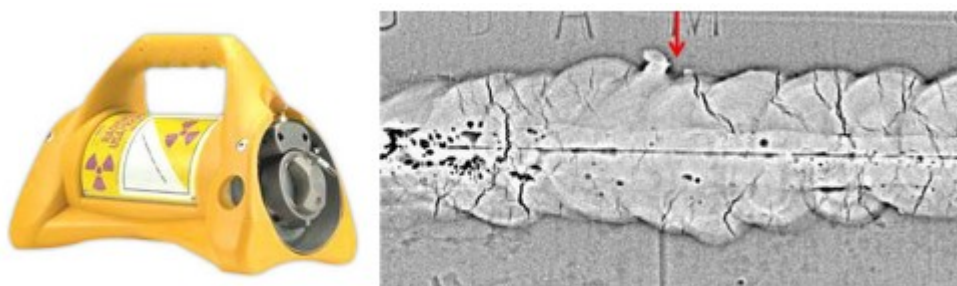
Slika 9. MT metoda

*Izvor: Michigan Department of Transportation, Field Manual for*

*Structural Welding, 2nd Edition – May 2022, <https://www.michigan.gov/mdot/-/media/Project/Websites/MDOT/Programs/Bridges-and-Structures/Structure-Construction/Field-Manual-for-Structural-Welding.pdf?rev=ab829cd4bcd345149ce649e720477e3a&hash=AFABAE36EBC67618303AFBDA231C8>*  
*[12B](#)*

#### 5.4. Radiografsko ispitivanje (RT)

U RT, gama zrake ili X zrake propuštaju se kroz materijal. A radiografski film postavlja se na suprotnu stranu zgloba kako bi se osigurala slika unutrašnjosti zavara. Tanki dijelovi (diskontinuiteti) su tamniji (najviše izloženo), a ojačanje zavara pokazuje se kao svjetlije područje (Slika 10.). RT zahtijeva vještog tehničara za čitanje.



Slika 10. RT metoda

*Izvor: Michigan Department of Transportation, Field Manual for*

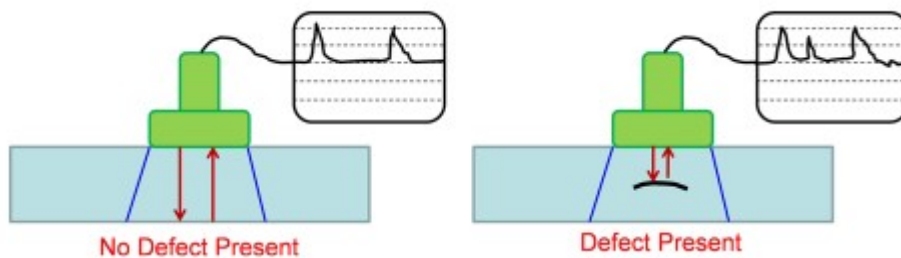
*Structural Welding, 2nd Edition – May 2022, [https://www.michigan.gov/mdot/-/media/Project/Websites/MDOT/Programs/Bridges-and-Structures/Structure-Construction/Field-Manual-](https://www.michigan.gov/mdot/-/media/Project/Websites/MDOT/Programs/Bridges-and-Structures/Structure-Construction/Field-Manual-for-Structural-Welding.pdf?rev=ab829cd4bcd345149ce649e720477e3a&hash=AFABAE36EBC67618303AFBDA231C8)*

RT zahtijeva pristup objema stranama zgloba. Pukotine usmjerene okomito na smjer izvora zračenja (tj. paralelno s film) mogu proći neotkriveno. Ova metoda osigurava trajni zapis i idealno je prikladan za CJP zavare utorima u sučeonim spojevima. Međutim, nije prikladan za PJP zavare s utorima ili ugaone zavare i teško ih je protumačiti proizlaze iz T spojeva i kutnih spojev[2]a.

## 5.5. Ultrazvučno ispitivanje (UT)

U UT (Slika 11.) zvučni valovi visoke frekvencije prenose se kroz materijal. Prijemnik hvata zvučne valove koji se odbijaju od stražnje strane površine materijala. Prekidi uzrokuju prekid zvuka valova i rezultiraju srednjim signalom. Čita se na ekranu. Veličina signala iz diskontinuiteta proporcionalna je količini reflektiranog zvuka. Pruža podatke o veličini, vrsti i orijentaciji diskontinuiteta. Ponekad je preosjetljiv.

UT je najosjetljiviji na ravninske diskontinuitete okomite na put zvuka (kao što su pukotine, laminacije i nepotpuna fuzija). Idealno je prikladan za CJP zavare utorima (sučeonim, kutnim, T spojevima). Može se koristiti za pregled PJP zavarova, ali se ne može koristiti za kutne zavare.



Slika 11. UT metod

Izvor:Michigan Department of Transportation, Field Manual for

Structural Welding, 2nd Edition – May 2022, [https://www.michigan.gov/mdot/-/media/Project/Websites/MDOT/Programs/Bridges-and-Structures/Structure-Construction/Field-Manual-for-Structural B](https://www.michigan.gov/mdot/-/media/Project/Websites/MDOT/Programs/Bridges-and-Structures/Structure-Construction/Field-Manual-for-Structural-B)

## 6. ODRŽAVANJE OPREME ZA ZAVARIVANJE

Jedva da ijedno moderno industrijsko postrojenje danas nema opremu za zavarivanje za proizvodnju i održavanje. Zavarivanje je postalo neophodan korak u svakom procesu proizvodnje metala, a posljednjih godina njegova važnost u održavanju postrojenja porasla je do te mjere da se ne može zanemariti. Danas je potreba za dužim održavanjem opreme za zavarivanje veća nego prije jer su zamjenski dijelovi skuplji. Pravilnim održavanjem može se postići bolja proizvodnja opreme za zavarivanje.

Zbog svoje izdržljivosti i dugog vijeka trajanja, aparati za zavarivanje ponekad ne dobivaju rutinsko održavanje. Za neke tvrtke pokvareni aparat za zavarivanje predstavlja manju smetnju. Za one koji se uvelike oslanjaju na zavarivanje, pokvareni stroj može uzrokovati velike glavobolje. To obično znači skupi gubitak proizvodnje. Strojevi za zavarivanje s nepravilnim lukovima također troše energiju. Varovi koji ne prođu rendgenske, ultrazvučne ili druge testove skupi su za popravak.

Teški kvarovi, kao što su napuhane PC ploče ili električno "spržene" komponente, ne mogu se predvidjeti. Međutim, vlasnici opreme za zavarivanje mogu izravno kontrolirati "meke kvarove" popravkom istrošenih predmeta, kao što su kabeli, veze, unutarnje ožičenje, sustavi pogonskih valjaka, pištolji, plamenici i potrošni materijal. Sprječavanje mekih kvarova također uključuje uklanjanje korozije i onečišćenja koja se prenose zrakom sa stroja koji dovode do pregrijavanja i kvara na tiskanoj ploči. Kratki rokovi i drugi prioriteti često uzrokuju kašnjenja u održavanju dok ne bude prekasno[13].

Briga o aparatu za zavarivanje ne zahtijeva mnogo truda i dugoročno može uštedjeti značajno vrijeme i novac, kako u dugotrajnosti opreme, tako i u kvaliteti zavara i performansama. Ispravno održavanje stroja pomoći će u izbjegavanju nekih uobičajenih pogreški pri zavarivanju i pomoći u izbjegavanju plaćanja skupih popravaka nepropisno održavane ili zanemarene opreme.

- Pridržavanje specifikacija [13]:

Najosnovniji način održavanja opreme za zavarivanje je njezina uporaba u skladu s njezinim specifikacijama.

- Zaštititi stroj od prašine:

Ovo je vrlo važno za dugotrajnu trajnost aparata za zavarivanje. U intervalima skinuti poklopce s aparata za zavarivanje i upuhati komprimirani zrak u jedinice kako bi se uklonila sva prašinu i ostatke s mehaničkih dijelova stroja. Također je dobra ideja koristiti poklopac za svoj aparat za zavarivanje i brušenje obavljati dovoljno daleko od aparata kako ništa ne bi usisalo u aparat za zavarivanje dok radi.

- Očistiti svoj aparat za zavarivanje

Dijelovi aparata za zavarivanje trebaju redistribuciju masti ili novu primjenu masti. Ponekad će novi dijelovi ili komprimirani zrak obaviti posao.

- Uspostaviti raspored rutinskog održavanja[13]:

Jedna od najboljih stvari koja se može učiniti za opremu za zavarivanje je uspostaviti raspored rutinskog održavanja. Neke trgovine imaju postupke za svaki tjedan, mjesec i godinu koji održavaju njihove strojeve u vrhunskom stanju bez opasnosti od pregorevanja. Nije neuobičajeno da zavarivačke radionice daju svoju opremu na profesionalni servis jednom godišnje, ali taj raspored je nešto što se postavlja na temelju vlastite upotrebe.

- Zamijeniti loše dijelove:

Ponekad je potrebno zamijeniti određene dijelove opreme za zavarivanje, kao što su četke unutar dodavača žice, vrhove ili mlaznice također je potrebno često mijenjati. Ovisno o tome koliko često se koristi stroj, morat će se zamijeniti košuljica kako bi uvlačenje žice bilo glatko.

## 6.1. Postupci održavanja opreme kod različitih postupaka zavarivanja

Mnoge vrste opreme za zavarivanje koriste se u modernim postrojenjima. Korištenje takve opreme zahtijeva posebne postupke održavanja.

### 6.1.1. Otporno zavarivanje

Budući da je oprema koja se koristi u procesu otpornog zavarivanja relativno skupa, svi njezini dijelovi zahtijevaju redovitu provjeru i njegu u različitim intervalima kao što su tjedni, mjesečni ili godišnji, ovisno o mnogim čimbenicima. Otporno zavarivanje zahtijeva: redovito održavanje neke opreme kao što su mjerači vremena, prekidači, motori, kontaktori, elektrode i držači, rashladni i zračni sustavi, stezaljke i hidraulični priključci, vanjski dijelovi zavarivača itd. Program održavanja za otporno zavarivanje[14]:

Tjedni:

- očistiti držač elektrode, stezaljke i vanjski dio aparata za zavarivanje, koristiti ugljikov tetraklorid za čišćenje stroja; ne napada bakar. Izbjegavati korištenje benzina.
- ne dopustiti nakupljanje prljavštine u transformatoru, to može uzrokovati ozbiljne opekotine. Koristiti niskotlačni (25 psi ili manje) zračni kanal usisivača.

Mjesečno:

- nožni prekidač, cijevne utičnice, kablove i ventilacijske zaslone treba provjeravati i čistiti svaki mjesec.
- sustav hlađenja za ispiranje trebao bi se preokrenuti jednom mjesečno kako bi se isprale čestice prljavštine i hrđe.

Tromjesečno:

- pregled crijeva za vodu i priključaka na hrđu i druga oštećenja treba provoditi kvartalno.
- vodena crijeva moraju se pregledati, a priključci za koroziju i druga oštećenja moraju se provjeriti jednom u kvartalu.
- ako je potrebno, pokrenuti test na mjerачu vremena s osciloskopom ili snimačem ciklusa ponovno kalibrirajući jedinicu.
- zračni sustav treba provjeriti zbog curenja, poput neispravnih regulacijskih ventila i kontrola.

Godišnje:

- provjeriti prekomjernu istrošenost svih pokretnih dijelova stroja.
- očistiti transformator, zamijeniti crijeva za vodu i zrak ako je potrebno[14].

#### 6.1.2. Oprema za elektrolučno zavarivanje

Program održavanja koji se ovdje slijedi ovisi o vrsti transformatora ili istosmjernog motora-generatora.

Tjedni:

- podmazati ležajeve i druge pokretne dijelove ako se koristi DC induktor-generator.

- provjeriti istrošenost četkica i, umjesto kratkih četkica, postaviti ih u kontru komutatora. U suprotnom postoji mogućnost da se komutator ošteti.

- držače elektroda, kabele za zavarivanje i uzemljenje treba ispravno provjeriti.

Mjesečno[14]:

- provjeriti lebdenje ležajeva tijekom rada, ako je ležaj pregrijan, izvaditi ga i zamijeniti.

- treba provjeriti četke i oprugu.

Tromjesečno[14]:

- ispušiti transformator niskotlačnim puhalom.

Polugodišnji:

- koristiti puhalicu za čišćenje transformatora s niskotlačnim (25 psi) zračnim kanalom.

- potporni vijci transformatora i labavi električni spojevi trebaju biti pravilno zategnuti.

- provjeriti ventilator i očistiti ga ako je potrebno.

- pregledati kondenzatore, pečene jedinice ili one koje izvlače dielektrično ulje i moraju se zamijeniti.

- provjeriti kondenzatore, zakrivljene jedinice ili one koje ispuštaju dielektrično ulje su pregorjele i moraju se zamijeniti.

- labave električne spojeve i potporne vijke treba zategnuti.

Godišnje:

- sve električne spojeve treba provjeriti zbog bilo kakvih nedostataka.

- svi pokretni dijelovi troja i ležajevi trebaju biti čisti i ponovo podmazani.

- ispuhati armaturu transformatora ili generatora i zavojnicu s polja, matičnu zavojnicu, zavojnicu rotora i statora i očistiti ih na odgovarajući način[14].

### 6.1.3. Oprema za plinsko zavarivanje

Održavanje ovih jedinica zahtijeva puno više od ostalih tipova jer može nastati ozbiljan problem zbog oštećenja tlačnih dijelova. Neke od glavnih mjera za to su sljedeće:

Dnevno:

- regulator tlaka, odvodnik bljeskalice, crijevo treba provjeravati svakodnevno.
- ventile za zatvaranje kisika i acetilena treba svakodnevno provjeravati zbog curenja.
- pregledati plinske cijevi i razdjelnike, ako se koriste.
- izbjegavati korištenje maziva u regulatorima na bilo koji način za spajanje cilindara.
- nanositi otopinu na sumnjivo curenje svaki dan.
- provjeriti ima li na vrhovima puhaljki ugljika i troske.
- provjeriti curenje crijeva.

Tjedni:

- usisna cijev ventilatora ne smije biti začepljena.

Mjesečno:

- sve manometre i regulatore treba provjeriti.

Dva puta godišnje:

- provjeriti ima li na usisnoj cijevi ili nosačima i konstrukciji bilo kakvih nedostataka.
- provjeriti kompletan ventilacijski sustav[15].

#### 6.1.4. Oprema za lasersko zavarivanje

Lasersko zavarivanje prava je revolucija u svijetu industrijskog zavarivanja. Nudi velike prednosti pri radu, omogućuje zavarivanje velikom brzinom i postizanje otpornih i preciznih varova. Ali prije kupnje laserskog aparata za zavarivanje, zanimljivo je saznati više o ovim strojevima. Dobro održavanje stroja uvijek je važno za produženje vijeka trajanja stroja bez ikakvih problema.

Uglavnom, treba napomenuti da laser omogućuje fokusiranije i specifičnije zavarivanje, tako da materijal nije toliko pod utjecajem topline i postoji minimalna deformacija. Ova oprema je konfigurabilna, omogućuje detaljno uređivanje valne duljine i snage lasera. Različite tehnike zavarivanja mogu se raditi s istim laserskim strojem i na različitim površinama i oblicima. Osim toga, laserski pištolj ima izmjenjive mlaznice ovisno o poslu koji treba obaviti. Također ima automatski sustav dodavanja žice, u slučaju zavarivanja s materijalnim doprinosom.

To je vrlo svestrana tehnika, može obrađivati limove od nehrđajućeg čelika, pocinčani čelik, aluminij, među mnogim drugim materijalima. Što se tiče sigurnosti, važno je koristiti naočale za zaštitu od lasera te odgovarajuću odjeću i rukavice kako biste zaštitili kožu od mogućih strugotina i iskri koje mogu nastati tijekom zavarivanja. Ukratko, lasersko zavarivanje može zamijeniti druge metode zavarivanja kao što su TIG ili MIG[16].

Važno je upoznati se s radom i općim održavanjem opreme za lasersko zavarivanje prije početka rada s ovim strojevima. Stručnjaci preporučuju izvođenje općeg pregleda operacije kako bi sve njegove komponente radile kako treba. Međutim, ako se pojave neuobičajeni problemi, važno je ne manipulirati električnim komponentama ili laserom i obavijestiti tehničku službu kako bi riješili svaki incident za koji nije navedeno kako ga riješiti u priručniku s uputama.

Postoje neki osnovni koraci održavanja koje se mogu provesti na laserskom stroju, čime će se produžiti vijek trajanja komponenti stroja, potrošnog materijala i uštedjeti troškove. Neki se korisnici pitaju kakvo je održavanje ove laserske opreme, a istina je da uopće nije komplicirano i da je to oprema s malo potrošnog materijala, uvijek ovisno o vrsti posla koji se obavlja i brzi koja se vodi. Neke od najčešćih radnji koje treba poduzeti kako bi stroj za lasersko zavarivanje bio u dobrom stanju su sljedeće[16]:

- ✓ Zamijenite zaštitu za leće. Štitnik za leće nalazi se u maloj ladici na laserskom pištolju, vrlo ga je lako zamijeniti. Zaštitnik za leće može se oštetiti ako ne pravilno koristi plin pri zavarivanju ili ako se zaprlja.
- ✓ Zamijeniti fokusnu leću. Bitno je izvršiti ovu radnju u okruženju bez prašine. Ova leća se nalazi u plinskom bloku na samom pištolju.
- ✓ Laser i izlazna cijev za plin uvijek moraju biti čisti iznutra. Da bi se provjerilo dobro stanje, oprema se mora isključiti i ukloniti cijev tako da se odvrne kako bi se izvadila iz pištolja.
- ✓ Mlaznice se lako mijenjaju okretanjem u smjeru suprotnom od kazaljke na satu. Važno ih je održavati čistima i pravilno koristiti.
- ✓ Laserski hladnjak se mora povremeno kontrolirati, provjeravajući razinu vode i čistoću. U slučaju da to nije kako bi trebalo biti, pravilno promijeniti vodu u hladnjaku deioniziranom destiliranom vodom.



- ✓ Laserski pištolj mora biti čist.
- ✓ Povremenim pregledima štitnika za leće provjeriti jesu li na njemu tragovi, onečišćenje ili prljavština.

#### 6.1.5. Održavanje zavarivača pogonjenog motorom

Od projekata cjevovoda do gradilišta, zavarivači pokretani motorom su radni konji na terenu koji pružaju neusporedivu fleksibilnost i snagu u rukama dobro obučениh stručnjaka. Ovi svestrani strojevi dva u jednom, ili strojevi tri u jednom sa zračnim kompresorom, dizajnirani su za izvedbu na najvišim razinama čak i u najtežim uvjetima okoline - odnosi se na kišu, hladnoću, vjetar, vrućinu i prašinu[17].

Uz tu razinu intenzivne funkcionalnosti na zahtjev, zavarivači s motorom zahtijevaju redovitu njegu i osnovno održavanje kako bi održali rad na optimalnoj razini i izbjegli skupe zastoje i popravke.

Prema konstrukciji, zavarivač pokretan motorom koristi mehaničku energiju koju stvara motor i pretvara je u električnu energiju koja omogućuje funkciju zavarivanja. Ako motor izgubi konjske snage, snaga može biti značajno smanjena, što održavanje motora čini kritičnim.

Iz tog razloga važno je redovito provjeravati filtre, posebice filtre goriva, kako bi se osigurao dobar protok goriva kroz motor. Filtre ulja i zraka treba redovito provjeravati, pa čak i svakodnevno na prašnjavim radnim mjestima, jer nakupljanje čestica prašine u filtru zraka može ometati rad. Ovi filtri su lako dostupni i vidljivi kada se otvore pristupna vrata motora za zavarivanje. Filtri su prvo mjesto koje trebate pogledati ako postoje problemi s napajanjem.

Ipak, važno je da se sva predložena održavanja i njega provedu kada je zavarivač isključen. Stroj treba često ispuhivati komprimiranim zrakom kako bi se uklonile čestice prašine i prljavštine s električnih komponenti i dijelova motora. To treba činiti barem jednom svaka dva tjedna ili češće ovisno o uvjetima rada[17].

Kao što se moglo očekivati, različite vrste motora zahtijevaju različite vrste održavanja. Svaki zavarivač s pogonom na motor trebao bi biti opremljen naljepnicom s detaljnim rasporedom održavanja koji navodi preporučene postupke svakih 100, 200 i 500 sati uporabe. Osim toga, toplo se preporučuje da se korisnici konzultiraju s korisničkim priručnikom kako bi osigurali da se tijekom procesa koriste odgovarajuća klasa ulja, odgovarajući filtri i rashladna sredstva.

Postoji i početno razdoblje uhodavanja za zavarivače s pogonom na motor. Ovo razdoblje uhodavanja omogućuje pokretnim dijelovima stroja trošenje jedni protiv drugih kako bi se izvršila potrebna konačna podešavanja veličine i oblika. Tijekom prvih 50 sati kada je stroj uključen, trebao bi biti uključen u najmanje umjereno opterećenje zavarivanjem kako bi se klipni prstenovi mogli namjestiti i stupiti u kontakt sa stijenkama cilindra. Stroj ne bi trebao stajati besposlen ili biti uključen u laganu upotrebu tijekom tog vremena. Ulje treba provjeravati svakih pet sati, ili svakodnevno, tijekom perioda uhodavanja i dolijevati ako je prisutan gubitak ulja.

Generator zavarivači s motorom, ovisno o tipu, opremljeni su AC ili DC generatorom i slijede slične rasporede održavanja. I AC i DC generatori zahtijevaju redovito rješavanje problema s njihovim unutarnjim ugljenim četkicama, koje su jedina električna veza s pokretnim dijelovima generatora. Te se četkice voze na rotoru (AC) i armaturi (DC) kako bi uspostavile ključnu vezu za pretvaranje mehaničke energije u električnu.

Četke treba provjeravati mjesečno (prilikom ispuhivanja stroja) kako bi se osiguralo da su gurnute prema rotoru ili armaturi. Duljina bi trebala biti najmanje jedna četvrtina inča. Četke kraće od toga ne mogu izvršiti potreban pritisak i treba ih zamijeniti. Ono gdje se ove dvije vrste generatora razlikuju – u smislu održavanja – jest briga za unutarnje mehaničke dijelove.

Na AC generatoru, rotor ima mesingane klizne prstenove koji neizbježno skupljaju prljavštinu koja stvara filmsku, crnu glazuru. Ova nakupina može uzrokovati probleme pa prstenje treba redovito čistiti do lijepog sjaja koristeći brusnu krpnu granulacije 500-600. Prstenove treba provjeravati najmanje jednom u dva mjeseca.

Međutim, istosmjerni generator ima armaturu koja ima komutator i niz bakrenih šipki koje također skupljaju prljavštinu tijekom procesa zavarivanja. U ovom slučaju, umjesto brusnog platna koje bi moglo uzrokovati kratki spoj u armaturi zbog svoje vodljivosti, upotrijebiti komutatorski kamen za čišćenje bakrenih dijelova. Ovo područje treba provjeriti i očistiti, ako je potrebno, svaka dva mjeseca.

Kada se koristi aparat za zavarivanje s motorom, vodovi za zavarivanje trebaju biti potpuno izvučeni. Ako su vodovi ostavljeni namotani, posebno oko nečega od čelika, to bi moglo uzrokovati električnu prigušnicu koja će smanjiti izlaz. Ove vodove treba redovito pregledavati zbog vidljivih rezova ili oštećenja koja bi mogla upućivati na njihovu zamjenu. Stezaljke za uzemljenje i držač elektrode također bi trebali biti u dobrom radnom stanju.

Stručnjaci za rješavanje problema preporučuju da se na radnom kamionu drži niz kratkih kabela dugih 10 stopa kako bi se testiralo kada se pojave problemi s električnom strujom. Ponekad se kontakti mogu pojaviti u besprijekornom stanju, ali više ne rade svoj posao[17].

#### 6.1.6. Održavanje zavara u grafičkom pogonu

Prije vizualnog pregleda samog zavara (Slike 12.13.) isti mora biti vidljiv, očišćen i odmašćen kako bi se lakše uočile moguće greške odnosno imperfekcije poput napuklina u zavaru, u zoni utjecaja topline (ZUT), nedovoljan nanos vara u osnovnom materijalu odnosno naljepljivanje, nedovoljna dimenzija zavara (porozan zavar). Za lakše uočavanje greške zavara jedan od najvažnijih alata je svjetiljka jačine 500 luxa te maksimalna udaljenost od 50 centimetara od površine pregleda. Za teže dostupna zavarena mjesta koristi se malo ručno ogledao uz svjetiljku radi boljeg uočavanja greške. Uz svjetiljku koristi se i mjerilo za visinu zavara ako zavar ne odgovara zadovoljavajućim dimenzijama.

Ako se radi o gore navedenim greškama u zavarenom spoju isti se prvo treba obilježiti. Nakon toga zavar treba izbrusiti (užlijebiti) kutnom brusilicom ili običnom brusilicom te očistiti i odmastiti područje novog zavara. Tada se primjenjuje navarivanje TIG postupkom – netaljiva Wolframova elektroda u zaštitnom plinu argonu (reparatura zavara). Ispitivanje zavara izvršava se 24 sata nakon zavarivanja.

Po završetku reparature (Slika 14.15.) zavar se treba ispitati jednom od nedestruktivnih metoda a u ovom primjeru koristit ću metodu ispitivanja tekućim penetrantima. Mjesto popravka treba očistiti odnosno odmastiti od zaostalih čestica prašine, boje i masti pomoću čistača koji se nalazi u spreju (acetone). Nakon toga kistom se nanosi penetrant crvene boje te ga se ostavlja da on djeluje na površini zavara 30 minuta kako bi penetrant ušao u materijal. Po završetku djelovanja penetranta uzima se čistač u spreju i suha krpa te se penetrant makne s površine ispitanog zavara. Nakon što je ispitana površina očišćena nanosi se razvijač koji je bijele boje i koji se također nalazi u spreju. Razvijač na sebe navuče crveni penetrant i prikaže moguće greške. Tom metodom se isključuje greška pukotina i pora. Ispitivanje penetrantima se koristi na svim vrstama čelika i aluminija. Po završetku reparature zavarenog spoja treba sastaviti izvještaj o mjestu popravljenog spoja, metodi zavarivanja, načinu ispitivanja reparature i rezultat (da li je moguće grešku ukloniti ili se mora mijenjati cijeli sklop).



Slika 12. Grafički pogon



Slika 13. Šivačica



Slika 14. Stroj za izradu pregiba



Slika 15. Tisak s folija

## 7. ZAKLJUČAK

Zavarivanje je proizvodni proces koji trajno spaja dva materijala, obično metala, dovoljnom toplinom da se materijal koji se spaja rastali. Ponekad se za zavarivanje materijala može koristiti pritisak ili kombinacija topline i pritiska. Zavarivanje se koristi u cijeloj industriji za građevinske radove, održavanje i popravke, kao i za proizvodnju opreme, strojeva i alata.

Popravak zavarivanjem je postupak popravka zavara. To se može učiniti iz više razloga, uključujući popravljane greške u zavaru, poboljšanje čvrstoće i/ili izgleda zavara ili vraćanje zavara u njegovo izvorno stanje (npr. popravak nedostataka tijekom rada). Postoji niz različitih tehnika popravka zavarivanjem, od kojih svaka ima svoje prednosti i nedostatke. Neke uobičajene tehnike uključuju uklanjanje kvara i ponovno zavarivanje, zavarivanje zakrpe i zamjenu zahvaćenog dijela uaturi.

Prije započinjanja popravka zavarivanja potrebno je pregledati i uzeti u obzir različite aspekte kao što su vrsta materijala, lokacija popravka, dostupnost opreme i još mnogo toga što je navedeno u nastavku. Od ovih faktora, financijski dio se najviše razmatra u raznim aspektima. Na primjer, vrijedi li popravak provoditi ili ne.

Zbog svoje izdržljivosti i dugog vijeka trajanja, uređaji za zavarivanje ponekad nemaju redovno održavanje. Za neke tvrtke, pokvareni zavarivač predstavlja manju neugodnost. Za one tvrtke kojima je proces zavarivanja temeljni dio proizvodnje, pokvaren stroj može biti uzrok velikih zastoja. To često znači znatne gubitke u proizvodnji. Strojevi za zavarivanje s nepravilnim lukovima također troše energiju, zato kod odabira stroja i energetske trošak treba uzeti u obzir. Popravci zavara koji ne prođu rendgenske, ultrazvučne ili druge testove su skupi. Kvaliteta rada cijelog postupka treba biti dobro definirana.

Unutar grafičkog pogona imamo dugoviječni rad strojeva i zato oni moraju isporučiti visoku pouzdanost jer kod visoko produktivne proizvodnje često strojevi rade u 3 smjene odnosno konstantno. Iz tog razloga kontrola svih dijelova, pa tako i zavarenih je neophodna i detaljna.

## 8. LITERATURA

- [1] Ivan Čorak, 2015, Visokoučinski postupci zavarivanja, <https://zir.nsk.hr/islandora/object/ffri:787/preview>
- [2] Neven Cvetković, 2022, Primjena HRN EN ISO 3834-2 i HRN EN 1090-2 u izradi strojarskih konstrukcija <https://repozitorij.unin.hr/islandora/object/unin:830/datastream/PDF/view>
- [3] Rajković Robert, Dr.Sc. Ivan Samardžić, Zavarivanje Sve, <https://pdfcoffee.com/zavarivanje-sve-500-stranica-pdf-free.html>
- [4] Flanjak Ivan, 2015, Tehnolično oblikovanje zavarenih konstrukcija <https://repozitorij.vuka.hr/islandora/object/vuka:212/datastream/PDF/download>
- [5] Željko Jareb, 2018, Robotizirano elektrootporno točkasto zavarivanje, <https://core.ac.uk/download/pdf/198074187.pdf>
- [6] Zavarivanje, <https://hr.wikipedia.org/wiki/Zavarivanje>
- [7] RAM Rijeka, Osnovni postupci zavarivanja, <https://www.zavarivanje.info/Repository/Documents/Osnovni-postupci-zavarivanja.pdf>
- [8] Bernečić, Zavarivanje, 2015, [https://www.pfri.uniri.hr/web/dokumenti/uploads\\_nastava/20180302\\_095155\\_bernecic\\_ZAVARIVANJE.2015.pdf](https://www.pfri.uniri.hr/web/dokumenti/uploads_nastava/20180302_095155_bernecic_ZAVARIVANJE.2015.pdf)
- [9] Osnovni postupci zavarivanja, <https://pdfslide.net/documents/osnovni-postupci-zavarivanja-558445092ffd4.html?page=1>
- [10] Pavković Josip, 2019, Primjena elektrootpornog točkastog zavarivanja u autoindustriji, <https://repozitorij.fsb.unizg.hr/islandora/object/fsb:6886/datastream/PDF/download>
- [11] Vyas, K. (2021), Gas Welding Basics: Advantages, Disadvantages, and Applications, <https://interestingengineering.com/innovation/gas-welding-basics-advantages-disadvantages-and-applications> (02.09.2022.)
- [12] Michigan Department of Transportation, Field Manual for Structural Welding, 2nd Edition – May 2022, <https://www.michigan.gov/mdot/-/media/Project/Websites/MDOT/Programs/Bridges-and-Structures/Structure-Construction/Field-Manual-for-Structural> (02.09.2022.)
- [13] Maintenance avoids welding machine failures, <https://www.plantengineering.com/articles/maintenance-avoids-welding-machine-failures/> (02.09.2022.)
- [14] Welding Maintenance Tips, <https://www.gz-supplies.com/news/welding-maintenance-tips/> (02.09.2022.)
- [15] Maintenance of welding equipment, <https://theweldings.com/maintenance-of-welding-equipment/> (02.09.2022.)

[16] Maintenance of laser welding machine,  
<https://lasercomercial.com/en/2022/01/27/maintenance-of-laser-welding-machine/>(02.09.2022.)

[17] Nylstorm, A., Engine Driven Welder Maintenance, Technical Service Representative, Lincoln Electric, <https://www.lincolnelectric.com/en/welding-and-cutting-resource-center/welding-how-tos/engine-driven-welder-maintenance> (02.09.2022.)