

Ispitivanje strojnog dijela ZD.23-PI.48

Copan, Viktor

Undergraduate thesis / Završni rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Rijeka, Faculty of Engineering / Sveučilište u Rijeci, Tehnički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:190:143110>

Rights / Prava: [Attribution 4.0 International](#)/[Imenovanje 4.0 međunarodna](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-17**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Engineering](#)



SVEUČILIŠTE U RIJECI
TEHNIČKI FAKULTET

Prijediplomski sveučilišni studij strojarstva

Završni rad

ISPITIVANJE STROJNOG DIJELA ZD.23-PI.48

Rijeka, ožujak 2024.

Viktor Copan

SVEUČILIŠTE U RIJECI

TEHNIČKI FAKULTET

Prijediplomski sveučilišni studij strojarstva

Završni rad

ISPITIVANJE STROJNOG DIJELA ZD.23-PI.48

Mentor: izv. prof. dr. sc. Dario Iljkić

Rijeka, ožujak 2024,

Viktor Copan

Rijeka, 11. ožujka 2023.

Zavod: **Zavod za materijale**
Predmet: **Materijali II**
Grana: **2.11.03 proizvodno strojarstvo**

ZADATAK ZA ZAVRŠNI RAD

Pristupnik: **Viktor Copan (0069087618)**
Studij: Sveučilišni prijediplomski studij strojarstva

Zadatak: **Ispitivanje strojnog dijela ZD.23-PI.48 / Testing of workpiece ZD.23-PI.48**

Opis zadatka:

Potrebno je proanalizirati postupak ispitivanja strojnog dijela ZD.23-PI.48. Potrebno je teorijski opisati odabranu metodu ispitivanja i navesti rizike primjene predložene metode.

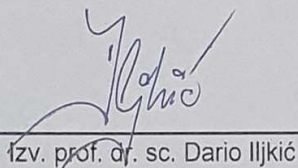
Nadalje, potrebno je ispitati strojni dio ZD.23-PI.48 i opisati opremu za ispitivanje. Potrebno je definirati prednosti i nedostatke predložene metode ispitivanja. Potrebno je proanalizirati rezultate ispitivanja i donijeti odgovarajuće zaključke.

Rad mora biti napisan prema Uputama za pisanje diplomskih / završnih radova koje su objavljene na mrežnim stranicama studija.

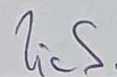
Copan Viktor

Zadatak uručen pristupniku: 20. ožujka 2023.

Mentor:


Izv. prof. dr. sc. Dario Ilkić

Predsjednik povjerenstva za
završni ispit:



Izv. prof. dr. sc. Samir Žic

IZJAVA

Izjavljujem da sam prema članku 8. Pravilnika o završnom radu, završnom ispitu i završetku studija preddiplomskih sveučilišnih studija Tehničkog fakulteta Sveučilišta u Rijeci, samostalno izradio završni rad „Ispitivanje strojnog dijela ZD.23-PI.48“ pod mentorstvom izv. prof. dr. sc. Daria Iljkića.

ZAHVALA

Zahvaljujem izv. prof. dr. sc. Dariu Iljkiću na njegovoj pomoći i usmjeravanju prilikom pisanja završnog rada na zadanu temu, kao i svim ostalim profesorima koji su me usmjeravali tijekom cijelog studiranja. Zahvaljujem firmama Oprema strojevi d.o.o., te Ferum d.o.o. kod izrade uzorka ZD.23-PI.48.

SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
2. ZAVARIVANJE	2
3. RUČNO ELEKTROLUČNO ZAVARIVANJE (REL)	5
3.1. Elektroda kod REL zavarivanja.....	5
3.2. Parametri i oprema REL zavarivanja.....	6
3.3. Prednosti i nedostaci REL zavarivanja.....	8
4. MIG/MAG ZAVARIVANJE	9
4.1. Princip rada i parametri MIG/MAG postupka.....	10
4.2. Prednosti i nedostaci MIG/MAG zavarivanja	11
5. TIG POSTUPAK ZAVARIVANJA.....	12
5.1. Princip rada i parametri TIG zavarivanja	12
5.2. Prednosti i nedostaci TIG zavarivanja.....	15
6. METODE ISPITIVANJA KVALITETE ZAVARA.....	16
6.1. Metode ispitivanja bez razaranja	16
6.1.1. Vizualni pregled	16
6.1.2. Dimenzionalne provjere	19
6.1.3. Penetratsko ispitivanje.....	20
6.1.4. Magnetsko ispitivanje.....	22
6.1.5. Radiografija	24
6.1.6. Ispitivanje ultrazvukom	25
6.2. Metode ispitivanja sa razaranjem	26
6.2.1. Ispitivanje poprečnim zatezanjem	27
6.2.2. Ispitivanje poprečnim savijanjem.....	27
6.2.3. Ispitivanje tvrdoće zavara.....	28

7. ISPITIVANJE STROJNOG DIJELA ZD.23-PI.48	29
7.1. Ispitivanje tvrdoće zavara.....	30
7.2. Ispitivanje savijanjem	32
8. ZAKLJUČAK.....	37
POPIS SLIKA	38
POPIS TABLICA.....	40
LITERATURA	41
SAŽETAK.....	42
SUMMARY	42

1. UVOD

Zavarivanje i kontrola kvalitete zavarenog spoja je vrlo bitan čimbenik kod svih industrija. Zavarivanje se koristi diljem cijelog svijeta kao spajanje dva metala ili nemetala. Nепropusna je i relativno jeftina metoda spajanja dva radna komada. Za sigurnost ljudi vrlo je bitno kontroliranje svih vrsta zavara. Kontrola može biti sa razaranjem zavara ili bez razaranja. Obje kontrole mogu otkriti nešto što nije vidljivo golim okom.

Puknuća u zavaru mogu dovesti do katastrofalnih posljedica za cijelu konstrukciju pa i opasnost za živote mnogih ljudi. Stoga se zavari svih konstrukcija detaljno kontroliraju prema normama koje su izrađene kao iskusne i proračunate smjernice inženjerima.

U ovom radu strojni dio ZD.23-PI.48 ispitan je razaranjem čestica i to kontrolama tvrdoće, te kontrolom savijanja. Postoje mnoge metode međutim savijanje je jedna od najbitnijih metoda kontrole zavara.

2. ZAVARIVANJE

Zavarivanje je postupak spajanja materijala primjenom visokih temperatura i/ili tlakova, te spada u nerastavljive spojeve. Zavarivanje se koristi svakodnevno i u različitim industrijama poput građevinarstva, automobilske industrije, brodogradnje i još mnogo drugih. Kod zavarivanja taj spoj se naziva zavar. Kod zavarivanja potrebna je velika vještina i obuka kako bi se usavršila tehnika zavarivanja te kako bi zavareni spojevi bili što veće kvalitete.

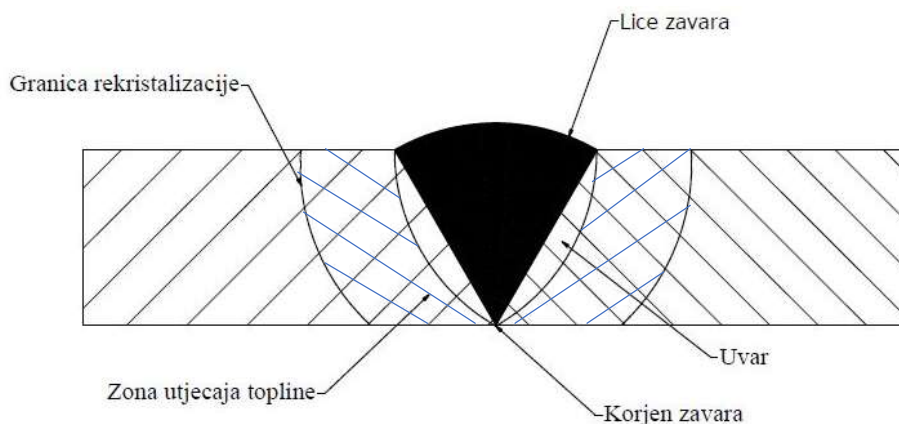
Prednosti zavarenog spoja:

- Široka primjena za različite vrste materijala
- Najekonomičniji nerastavljivi spojevi za srednje količine
- Spoj ima malo manju nosivost od samog materijala

Nedostaci zavarenog spoja:

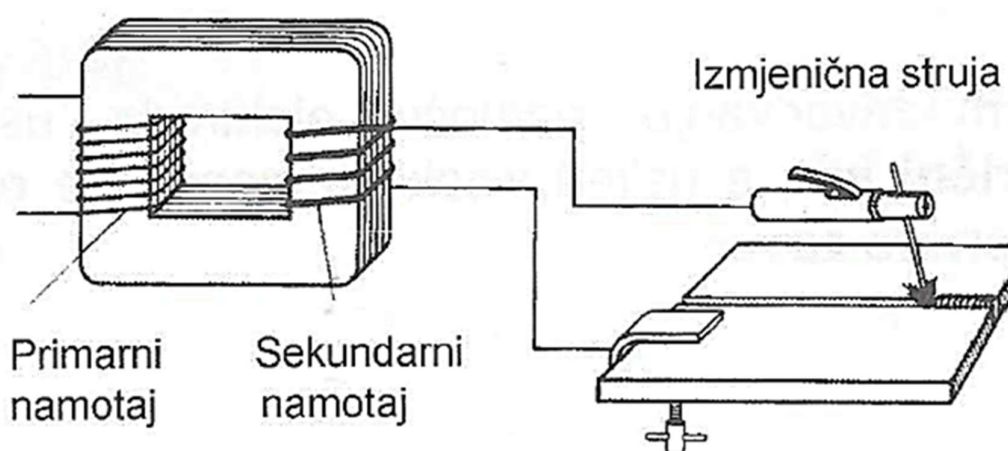
- Potrebna je vještina i vrlo dobra obuka radnika
- Zavareni spojevi postaju skloni koroziji
- Nije moguća velika proizvodnja zbog visokih cijena
- Materijal prije zavarivanja mora proći kroz pripremu, tj. čišćenje i oblikovanje
- Postoje mogućnosti da zaostanu naprezanja zbog lokalnog naglog zagrijavanja te hlađenja.(moguće je spriječiti naknadnim žarenjem).[1]

Na slici 1. Prikazani su osnovni dijelovi zavarenog spoja.



Slika 1 Zavareni spoj

Elektrolučno zavarivanje je jedna od najčešćih metoda zavarivanja koja koristi električni luk između dva elektroda kao izvor energije. Električni luk nastaje tako da se anoda i katoda primaknu jedna drugoj te tada na mjestu dodira nastaje kratki spoj, zatim laganim odmicanjem katode od anode dolazi do velikog otpora protjecanja struje te nastaje visoka temperatura. Na maloj udaljenosti elektroni putuju kroz ionizirani zrak te električni luk postaje kontinuiran. Katoda se pritom zagrijava na temperaturu do 3400°C , a anoda do 4000°C . U samom električnom luku nastaje temperatura oko 2000°C . Kako bi se temperature povećale potrebno je i povećati jačinu električne energije.



Slika 2 Elektrolučno zavarivanje

Na slici 2. Prikazano je elektrolučno zavarivanje pomoću elektroda te primjenom izmjenične struje. Struja koja se može koristiti za elektrolučno zavarivanje može biti izmjenična i istosmjerna. Napon u struji je od 15 do 110V ali je ukupna snaga struje velika jer je jačina struje između 60 do 300 A. Kod domaće primjene, struju iz mreže napona 220V, potrebno je transformirati u struju niže voltaže i velike jakosti.

Postoje elektrolučna zavarivanja sa taljivom i netaljivom elektrodom:

Sa taljivom:

- Ručno elektrolučno zavarivanje
- MIG/MAG zavarivanje
- Zavarivanje pod zaštitnim praškom (EPP)
- Zavarivanje pod zaštitnom troskom (EPT)

Sa netaljivom elektrodom:

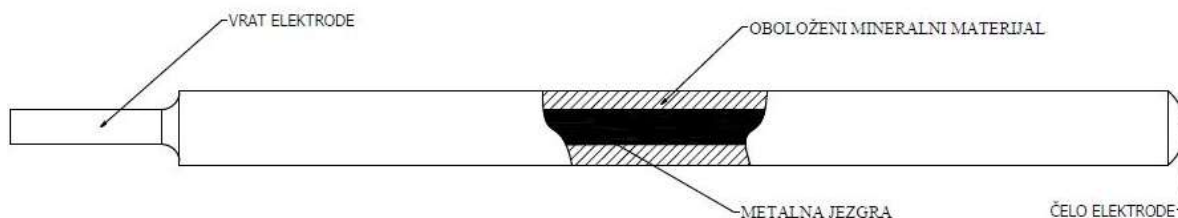
- TIG zavarivanje
- Plazma zavarivanje

3. RUČNO ELEKTROLUČNO ZAVARIVANJE (REL)

Ručno elektrolučno zavarivanje (REL) je postupak zavarivanja koji se služi potrošnom elektrodom za zavarivanje.

3.1. Elektroda kod REL zavarivanja

Elektrode za zavarivanje kod REL zavarivanja su načinjene najčešće od metalne jezgre, te su obložene mineralnim materijalom. Mineralni materijal tijekom zavarivanja se tali i mnogo je lakši od same metalne jezgre, te pliva po zavaru i pokriva ga. Pokrivanjem zavara mineralnim materijalom naziva se troska. Troska kod REL zavarivanja služi kao zaštitni sloj zavara. Pri stvrdnjavanju na površini zavara ne propušta kisik i dušik iz zraka da dođe do samog zavara. Da ne postoji troska kisik i dušik bi se miješali sa taljenom metalnom jezgrom elektrode i tako bi zavar postao krhak. Time bi se smanjila nosivost same konstrukcije ili konstrukcijskog dijela. Postoji i mogućnost da se kisik veže sa čelikom, te bi taj zavar postao nečist sa oksidnim uključcima. Tada se unutar zavara stvaraju male pukotine koje sa vremenom korodiraju i oštećuju zavar. Na slici 3. prikazani su glavni dijelovi opće elektrode. Vrat elektrode se koristi kao hvat za držača elektrode (pištolja).



Slika 3 Glavni dijelovi REL elektrode

3.2. Parametri i oprema REL zavarivanja

Kod svih elektrolučnih zavarivanja potreban je aparat za zavarivanje. Potrebno je također aparat spojiti na izvor električne energije koja nam tako omogućuje stvaranje električnog luka. Električni luk se stvara dodiranjem između elektroda (kratkim spojem) te se materijali tale. Tijekom varenja ako bi se elektroda dignula pre visoko ili bi električni luk prešao iznad otvrdnute troske, električni luk bi se prekinuo, te na tom mjestu može doći do poroznosti spoja.

Prilikom REL zavarivanja potrebno je pripaziti na glavne parametre REL zavarivanja:

- **Jakost struje**

Potrebno je biti oprezan sa jačinom struje koja se pušta kroz elektrodu, jer primjenom prevelike količine energije topi se i izradak koji želimo zavariti te se može desiti da prevarimo cijelu konstrukciju.

- **Brzina zavarivanja**

Brzina zavarivanja je važna zbog prijenosa energije na samu konstrukciju. Brzim prelaskom elektrode po mjestu za zavarivanje ne daje se dovoljno energije i dodatnog materijala iz elektrode, pa se zavarivanje ne odradi u cijelosti i nastaju loši zavari. Presporim prelaskom daje se previše energije i može doći do taljenja cijele konstrukcije na tom mjestu.

- **Nagib elektrode**

Nagib elektrode je kut pod kojim zavarivač drži elektrodu u odnosu na radni komad. Nagib elektrode sa brzinom zavarivanja utječe na količinu rastopljenog metala. Ako je kut prevelik dolazi do prevelike količine dodatnog materijala koji će se kasnije ukloniti što iziskuje da gubitke na potrošnom materijalu. Ako je kut elektrode premalen smanjuje se prodornost toplinske energije te mogu nastati porozni zavari. [4]

- **Poprečna kretanja elektrode**

Poprečna kretanja elektrode su gibanja koje radnik izvodi prilikom varenja.

- Položaj zavarivanja

Položaj zavarivanja utječe na kvalitetu zavara zbog pristupnosti radnog mjesta. Vješti radnik može sigurno i lako zavarivati na bilo kojem radnom mjestu (iznad glave, ispod nogu, na stolu). Položaj zavarivanja se dobiva iskustvom.

- Uspostava električnog luka

Prilikom prekida električnog luka može doći do pada troske u taljeni dio zavara i nastanak pora u samom zavaru. Uspostava električnog luka mora biti kontinuirana i bez većih prekida.

REL zavarivanje se primjenjuje kod spajanja većine metalnih materijala. Koristi se za izvođenje kraćih zavara i zavare ne deblje od 15 mm za čelone zavare, te za kutne spojeve sa manjom debljinom zavara gdje nije potrebna penetracija zavara u sam ugao materijala (korijen zavara).

Oprema kod REL zavarivanja se sadrži od aparata za zavarivanje, stezaljke za masu (anoda), držača elektrode (katoda), te zaštitnih sredstava poput tamne maske za radnike, zaštitne rukavice za zavarivanje te pomoćnih alata koji drže radni komad privremeno spojen (magneti..). Na slici 4. prikazan je zavarivač sa zaštitnom opremom u postupku zavarivanja.



Slika 4 REL zavarivanje [5]

3.3. Prednosti i nedostaci REL zavarivanja

Prednosti REL zavarivanja su:

- Pogodan za izvođenje van tvrtke
- Lako prenosiv
- Mogućnost višeslojnog zavarivanja
- Širok spektar elektroda (različite vrste materijala)
- Oprema za zavarivanje ima relativno niske cijene u odnosu na MIG/MAG postupak
- Zadovoljavajuća mehanička svojstva zavara

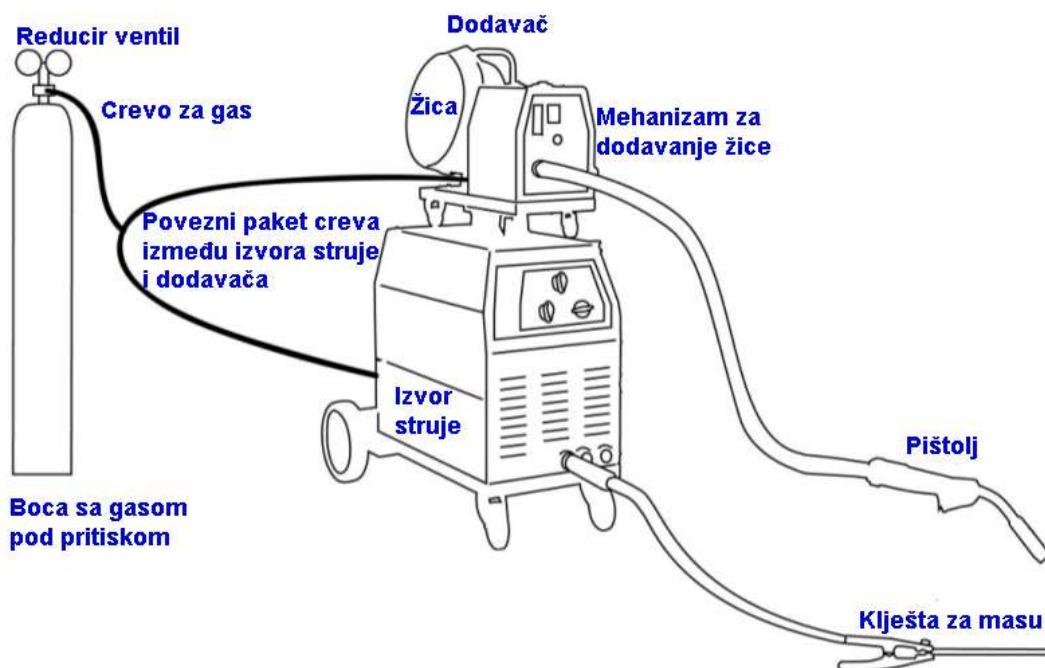
Nedostaci REL zavarivanja su:

- Mogućnost ljudske pogreške
- Gubljenje vremena prilikom čišćenja troske sa zavara
- Potrebno veliko iskustvo zavarivača te njegova edukacija
- Dugo korištenje može ugroziti zdravlje zavarivača
- Mala brzina zavarivanja

4. MIG/MAG ZAVARIVANJE

Zavarivanje MIG/MAG postupcima su postupci zavarivanja koji se za zaštitu vara od vanjskih utjecaja oslanjaju na plinove tijekom zavarivanja. Razlika između MIG(Metal Inert Gas) i MAG(Metal Active Gas)postupka je da se kod MAG zavarivanja koristi CO₂ kao plin za zaštitu vara, a kod MIG postupka koristi se argon ili mješavina argona i CO₂.

MIG/MAG postupci zavarivanja kao dodatni materijal koriste žicu koja je namotana u samom aparatu te se automatski pritiskom gumba na pištolju izvlači. Žica izlazi kroz sredinu pištolja za zavarivanja a oko žice nalaze se mlaznice za plin. Plin tjera zrak iz zone taljenja te ne dopušta da se prilikom skrućivanja kisik zahvati za taljevinu, tj. da ne postoje neki strani oksidni uključci. Kao plin koristi se argon ili CO₂ jer oni ne podržavaju gorenje. Slika 5. prikazuje cjelokupni sustav koji je potreban da bi se ostvarilo MIG/MAG zavarivanje.



Slika 5 MIG/MAG sustav [6]

4.1. Princip rada i parametri MIG/MAG postupka

Princip rada MIG/MAG zavarivanja je gotovo identičan REL zavarivanju. Razlika je to što se ne koriste elektrode već žica. Samim time MIG/MAG zavarivanje je brža i efikasnija metoda zavarivanja. Jednostavnija je uporaba aparata, ali je oprema puno skuplja u odnosu na REL postupak.

Parametri MIG/MAG zavarivanja koji utječu na kvalitetu zavara su:

- **Jakost struje**

Jačina struje kod MIG/MAG postupka je bitan parametar koji ovisi o debljini samog radnog dijela. Kada bi jačina struje bila preniska to daje neadekvatno topljenje žice i nepotpuno prodiranje u metal i samim time slabu kvalitetu zavarenog spoja.

- **Brzina zavarivanja**

Brzina zavarivanja također ovisi o debljini radnog dijela te o vrsti materijala. Brzina zavarivanja je veća u usporedbom sa REL postupkom

- **Promjer žice**

Promjer žice ovisi o debljini radnog dijela a može varirati od 0,6 mm do 1 mm za limove, od 1 mm do 1,2 mm za dijelove automobila, te za konstrukcije srednjih debljina i 1,2 mm do 1,6mm za konstrukcije mostova, brodova i drugih većih spojeva,

- **Količina i vrsta zaštitnog plina**

Količina je proporcionalna veličina sa brzinom zavarivanja. Ako se brzo zavaruje potrebna je i veća količina plina. Vrsta plina koji se koriste su argon i smjesa argona i ugljikovog dioksida. Čisti argon se koristi za zavarivanje nelegiranih čelika i aluminija te legura aluminija. Smjesa argona i ugljikovog dioksida se najčešće upotrebljava kod zavarivanja čelika jer pruža bolju penetraciju nego čisti argon

4.2. Prednosti i nedostaci MIG/MAG zavarivanja

Prednosti MIG/MAG zavarivanja su:

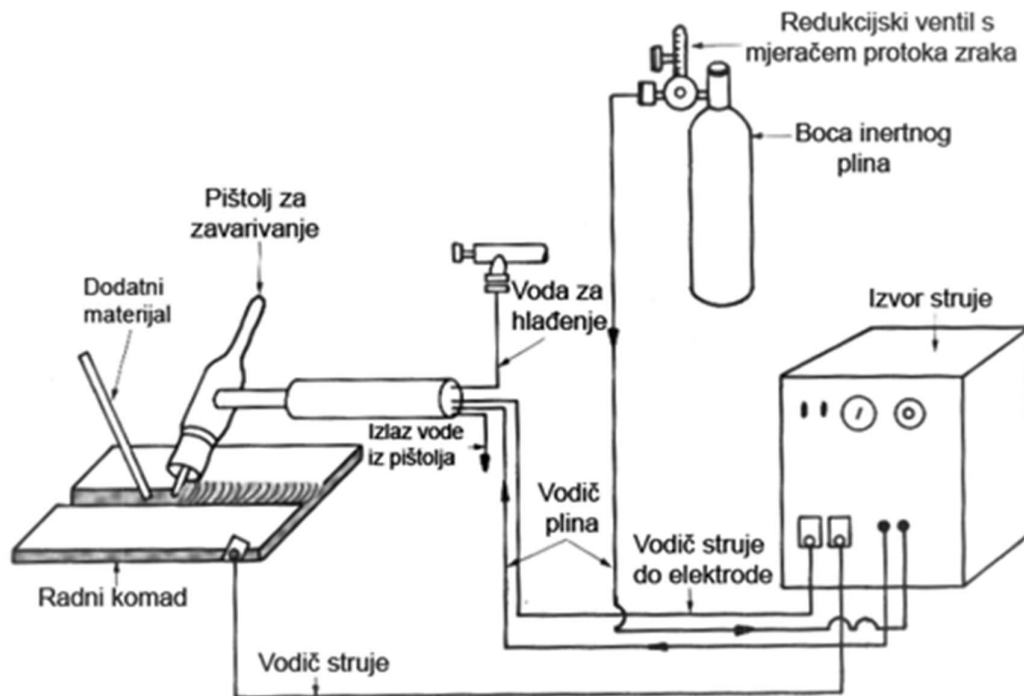
- Mogućnost automatizacije
- Oprema skuplja od REL opreme ali jeftinija od TIG postupka
- Mogućnost masovne proizvodnje

Nedostaci MIG/MAG zavarivanja:

- Kvaliteta zavara ovisi o vještini zavarivača
- Dugotrajni rad aparatom može biti štetan za zdravlje
- Osjetljivost na vjetar i vremenske prilike
- Potreba za usavršavanjem zavarivača

5. TIG POSTUPAK ZAVARIVANJA

TIG (Tungsten Inert Gas) je ručno zavarivanje koje se zasniva na uspostavi električnog luka između volframove netaljive elektrode i radnog komada. Kao zaštita se koristi inertni plin kao kod MIG/MAG postupka zavarivanja. Kod TIG postupka se kao plin uz argon koristi i helij, te njihove mješavine. Koristi se također i voda u samom pištolju za hlađenje.(slika 6.)

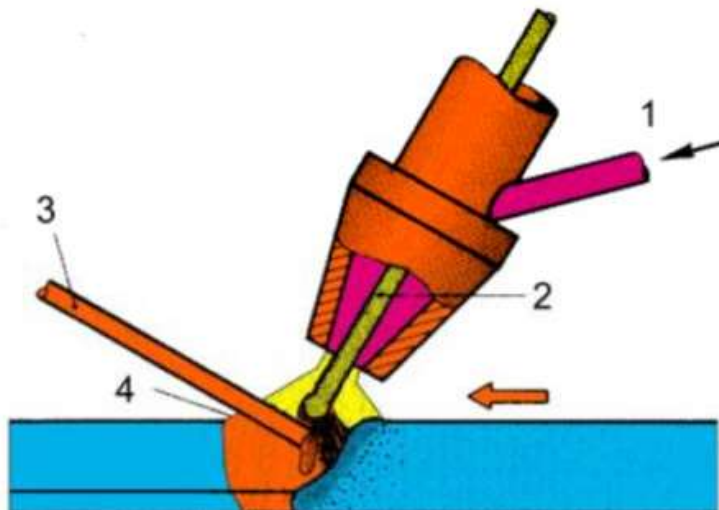


Slika 6 Radno postrojenje TIG zavarivanja [7]

5.1. Princip rada i parametri TIG zavarivanja

TIG postupak zavarivanja koristi šiljaste, netaljive volframove elektrode kako bi se uspostavio električni luk. Uz to je dodani i inertni plin koji štiti samu taljevinu od utjecaja kisika. Stiskanjem tipke na samom pištolju dolazi kao i kod MIG/MAG zavarivanja inertni plin, ali ne postoji dodatni materijal na žicu, već električni luk tali radni materijal i zavarivač polagano dodaje dodatni materijal prema potrebi. Pri završetku varenja iz mlaznica izlazi još dodatno plin kako bi se zaštitila taljevina i vrh elektrode. TIG je jedan od postupaka zavarivanja koji nije nužno dodati dodatan materijal.

Zavari konstrukcijskih čelika TIG postupkom izvide se sa najvećom kvalitetom.(slika 7.) TIG se uglavnom koristi za zavarivanje tankih limova i cijevi te za varenja korijenskog prolaza na debljim materijalima.[7]



Slika 7 Shema TIG zavarivanja: 1 – Inertni plin, 2 – Volframova netaljiva elektroda, 3 – Dodatni materijal, 4 – Inertni plin [7]

Parametri TIG zavarivanja:

- **Jačina struje**

Kao i kod svih tipova zavarivanja najbitniji je parametar jačina struje. Ona se odabire prema debljini i tipu materijala, te se za deblje materijale koristi veća, a za tanke limove mala jačina struje.

- **Tip plina**

Često se kao inertni plin koristi argon ili mješavina argona i helija kao zaštita od vanjskih utjecaja.

- **Brzina dodavanja punjenja**

Brzina dodavanja punjenja mora biti usklađena sa brzinom zavarivanja jer bi se u suprotnom trošio dodatni materijal ili oslabio zavar. Naravno ponekad nije potrebno dodavati punjenje pa se ovaj parametar zanemaruje.

- **Vrsta elektrode**

Vrsta elektrode može biti od čistog volframa ili od legura volframa, odabire se ovisno o zahtjevima zavarivanja i materijalu zavarivanja. U tablici 1. prikazani su neki od legura volframa koji se koriste u današnjoj industriji.

Tablica 1 Oznake volframovih elektorda [7]

Oznaka (ISO)	Dodatak oksida (%)	Tip oksida
W	--	--
WC20	1,8-2,2	CeO ₂
WL10	0,9-1,2	La ₂ O ₃
WL15	1,4-1,6	La ₂ O ₃
WL20	1,9-2,1	La ₂ O ₃
WZ8	0,7-0,9	Zr O ₂
WT10	0,8-1,2	ThO ₂
WT20	1,7-2,2	ThO ₂
WT30	2,8-3,2	ThO ₂
WT40	3,8-4,2	ThO ₂

- **Ugao elektrode**

Kao i kod drugih postupaka zavarivanja bitan je sam ugao elektrode na radni materijal. Ako bih bio ugao prestrm tada bi se previše materijala otopilo, a opet ako je pre plitak tada se ne otopi dovoljno materijala i zavar neće biti kvalitetan.

5.2. Prednosti i nedostaci TIG zavarivanja

Prednosti TIG zavarivanja su:

- Kvaliteta zavarenog spoja vrlo je visoka
- Odlična mehanička svojstva zavara
- Estetski privlačnog izgleda
- Mogućnost zavarivanja u svim položajima
- Moguće zavarivanje svih vrsta metala

Nedostaci TIG zavarivanja:

- Cijena opreme je puno skuplja u odnosu na MIG/MAG i REL postupke zavarivanja
- Kvaliteta zavara ovisi o sposobnosti zavarivača, tj. o njegovom iskustvu
- Nije uvelike pogodan za automatizaciju
- Neekonomičan za materijale deblje od 6 mm
- Kod zavarivanja dolazi do jačeg bljeska no što to dolazi kod MIG/MAG zavarivanja.
- Potrebno je konstantno prozračivanje prostora kod aparata
- Velike cijene zaštitnih plinova
- Nepogodan je za rad van tvrtke zbog vjetrova koji otpušu zaštitni plin
- Kod pripreme spoja potrebni su visoki zahtjevi na kvaliteti obrade i velika čistoća spoja

6. METODE ISPITIVANJA KVALITETE ZAVARA

Metode ispitivanja kvalitete zavarenih spojeva se provode kako bi ispitali zavar nakon zavarivanja. Postoje dvije osnovne vrste podjela ispitivanja a to su ispitivanja bez razaranja i metode ispitivanja sa razaranjem zavara.

6.1. Metode ispitivanja bez razaranja

Metode ispitivanja bez razaranja utvrđuje kvalitetu i usklađenost osnovnog materijala i zavarenog spoja, a da pri tome ne utječe na funkcionalnost radnog dijela. Metode ispitivanja zavara bez razaranja su:

1. Vizualni pregled
2. Dimenzionalne provjere
3. Penetratsko ispitivanje
4. Magnetsko ispitivanje
5. Radiografija
6. Ultrazvuk
7. Ispitivanje nepropusnosti
8. Termografija

6.1.1. Vizualni pregled

Vizualni pregled je najčešća i najstarija kontrola zavara bez razaranja. Općenito kod pregleda nekih radnih elemenata je prva kontrola je vizualni pregled komada. Vizualnim pregledom se vrlo efikasno otkriju razne površinske nepravilnosti. Vizualnim pregledom kontrolira se i prije početka samog zavarivanja. Potrebna vizualna provjera prije samog zavarivanja je očišćenost samih susjednih površina na koje dolazi var. Potrebno je provjeriti da li su svi dijelovi pripremljeni prema nacrtu. Vizualni pregled se koristi prilikom samog zavarivanja i to stavljajući pažnju na vidljive nepravilnosti koje mogu nastati pri zavarivanju, potrebno je također provjeriti da li je očišćena troska kod zavarivanja na više slojeva. Nakon samog zavarivanja potrebno je provjeriti da li se na samom varu nalaze pukotine, nečistoće, površinska poroznost te neprovarenost korijena zavara.

Uz običnu vizualnu kontrolu postoje različiti aparati i uređaji koji omogućuju da se približimo mjestu zavara.

Neke od tih pomagala su:

- **Zrcala i povećala**

Omogućuju nam poblže prikazati zavarene spojeve ako su sakriveni iz nekih drugih elemenata

- **Boreskop**

Boreskop(slika 8.) je optički uređaj koji se sastoji od okulara i objektivna te duge krute ili fleksibilne cijevi koja nam omogućuje vizualno ispitivanje na teško dostupnim mjestima. Borekopi su često i opremljeni s optičkim vlaknima koja služe kao osvjetljenje.



Slika 8 Boreoskop sa krutom cijevi

- Fiberskop

Fiberskop je je vrlo sličan boreskopu, koristi okular i objektiv, ali sliku prikazuje pomoću digitalnog uređaja.



Slika 9 Fiberskop

- Videoskop

Videoskop radi na sličnim principima kao i fiberskop ili boreskop ali umjesto okulara i objektiv koristi kameru na vrhu žice. Slika je zatim vidljiva na samom uređaju. Videoskop je najbolji, zbog velike razlučivosti slike, te mogućnosti automatizacije.



Slika 10 Videoskop

6.1.2. Dimenzionalne provjere

Dimenzionalne provjere zavara postoje kako bi se provjerila debljina nanošenog zavara kod kutnih i sučeonih zavara.

Postoje različite vrste mjerila:

- **Mjerilo s tri skale**

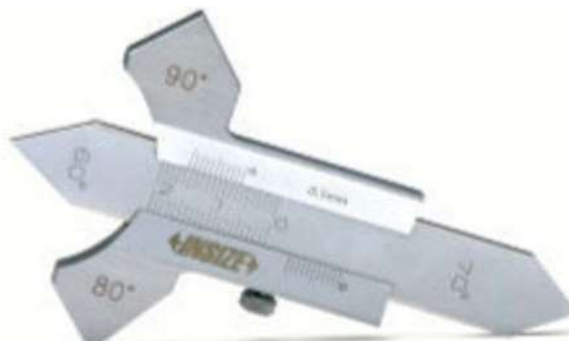
Mjerilom sa tri skale moguće je mjeriti nadvišenja sučeonih zavara, te debljine kutnih spojeva i nejednakosti kateta kutnih zavara.



Slika 11 mjerilo s tri skale

- **Mjerilo visine zavara**

Mjerilom visine zavara mjeri se debljina zavara kod kutnih spojeva



Slika 12 mjerilo visine zavara

6.1.3. Penetratsko ispitivanje

Penetratsko ispitivanje je jedno od najraširenijih metoda ispitivanja nerazorenih metoda ispitivanja. Penetratsko ispitivanje nam omogućuje vrlo lako uočavanje pukotina i diskontinuiteta na površinama. Penetratskim ispitivanjem moguće je ispitivati sve vrste metala, te plastika, guma, keramika i staklo. Utjecaj na raširenost metode je jednostavnost korištenja, kako u pogonu, tako je moguće i na terenu. Moguće je ispitati dijelovi različitih oblika i konstrukcija.

Princip rada penetratskog ispitivanja nosi 5 glavnih faza:

1. Priprema površine

Ispitivanje penetratima moguće je uočiti samo površinske pukotine zavara. Stoga je bitno da se površina zavara temeljito očisti od masti, boja i prašine. Ako nije dobro očišćena površina, penetrat neće ostati u pori vara već će prilikom 3. faze biti očišćen, te se ta greška neće pravilno uočiti.

2. Nanošenje penetrata

Postoje dva vrsta penetrata, a to su fluorescentni i obojeni penetrati. Fluorescentni penetrati daju jaču indikaciju od obojenih jer je njih moguće usijati UV lampom. Obojeni su nešto lošiji, ali ako nema UV zraka, jednako dobro se može uočiti greška. Greške se prikazuju crvenom ili ljubičastom bojom. Prilikom nanošenja potrebno je pričekati par minuta prema uputstvima na penetratu, da ispravno djeluje.

3. Uklanjanje viška penetrata

Nakon isteka određenog vremena penetrat se nalazi po cijelom čelu zavara. Potrebno je detaljno uklanjanje penetrata, ali bez pretjeranog čišćenja je ova operacija izrazito jako utječe na kvalitetu ispitivanja. Prilikom prejakog čišćenja skida se penetrat unutar pukotine i prilikom nanošenja razvijatelj neće doprijeti do penetrata. Prilikom nedovoljnog čišćenja pokazat će se pore koje ne postoje.

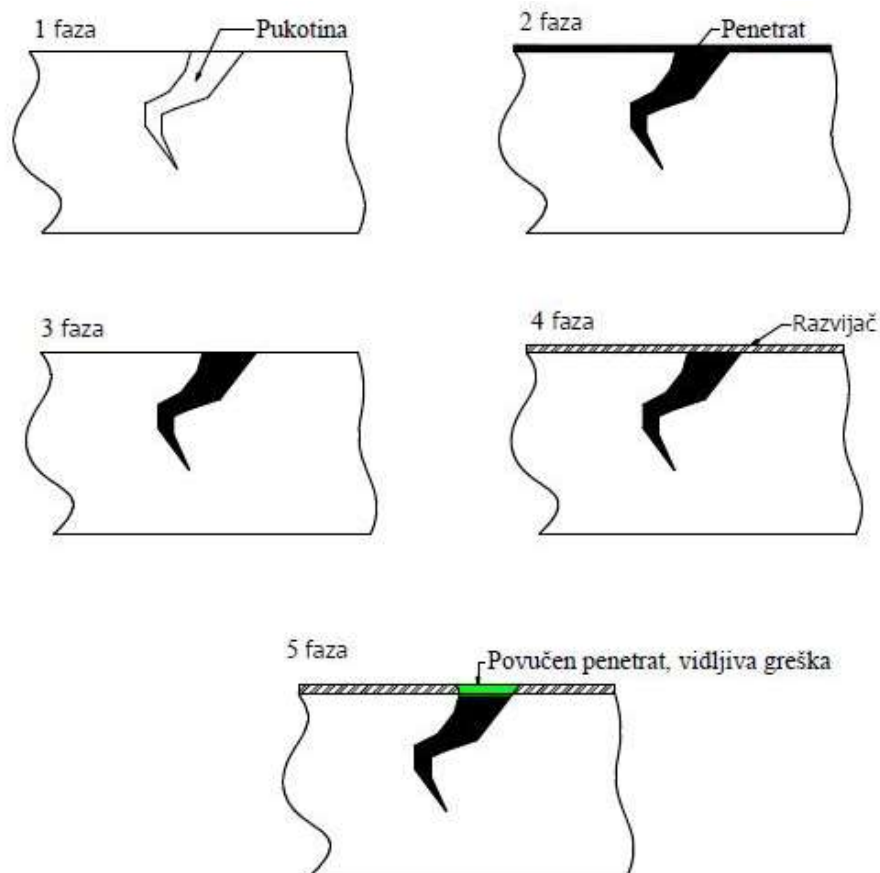
4. Nanošenje razvijaa

Nakon čišćenja viška penetrata sa površine, na tu površinu se nanosi porozni sloj razvijaa. Razvijaa omogućuje povlaenje penetrata iz pukotine i širenje po površini kako bi se lakše uočio. Razvijaa je bijele boje kako bi kontrast prema fluorescentnom ili obojenom penetratu bio veći.

5. Pregled

Nakon nanošenja razvijaa pregledava se ispitani dio te se odlučuje jeli zavar zadovoljio kvalitetu ili će se razoriti i ponovno zavarivati [9]

U nastavku na slici 13. prikazane su faze rada penetrata:



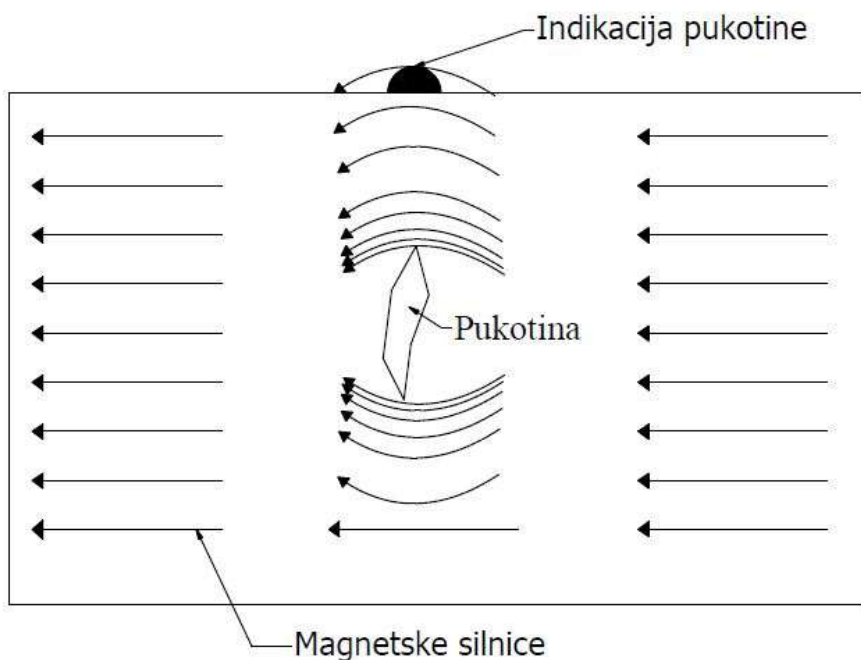
Slika 13 Faze rada penetrata

6.1.4. Magnetsko ispitivanje

Magnetskom ispitivanjem zavara je metoda za otkrivanje površinskih i potpovršinskih grešaka u zavaru. Često se koristi u velikim serijama i u masovnoj proizvodnji.

Princip rada magnetskog ispitivanja se zasniva na principu magnetske indukcije. Prilikom prelaska električne struje stvara se magnetsko polje oko vodiča, kada se u ispitnom komadu nalazi pukotina ili neki drugi oštri prijelaz, dolazi do koncentracije magnetskih silnica. Različitošć kod magnetskih silnica će se stvoriti na površini ispitnog komada.

Na slici 14. ilustrirane su magnetske silnice koje tada dolaze do površine, te se magnetne čestice prikupljaju iznad pukotina ili nečistoća.



Slika 14 Princip rada magnetnih čestica

Proces magnetskim ispitivanjem se ostvaruje kroz 4 faze:

1. Priprema ispitne površine

Kao i kod ispitivanja sa penetratima potrebno je dobro očistiti sve nečistoće na površini ispitnog komada. Kod magnetskog ispitivanja važno je dobro izbrusiti sve oštre neravnine koje nastaju prilikom varenja (troska), kako bi se izbjegle lažne indikacije.

2. Nanošenje magnetskih čestica

Magnetske čestice su feromagnetni materijal u vrlo sitnim česticama. Red zrna magnetskih čestica iznosi 1 μm . Postoji suha ili mokra tehnika nanošenja čestica na ispitnu površinu. Kod suhe tehnike se magnetske čestice posipaju po površina, a kod mokre tehnike, magnetne čestice se nalaze u vodi ili lakim uljima. Postoje i magnetne čestice koje su fluorescentne te ih je moguće bolje uočiti ispod UV svjetla.

3. Magnetizacija ispitnog objekta

Magnetizacija ispitnog objekta se odvija sa jednom od dvije tehnike, tehnikom magnetizacije ili tehnikom strujnog prolaza. Tehnikom strujnog prolaza se kroz ispitni komad propušta struja niskog napona i velike jakosti, zbog tog se ispitni komad ponaša kao vodič te se oko njega stvara magnetsko polje. Tehnikom magnetizacije koristi se magnet koji dolazi u dodir sa ispitnim komadom te se tako magnetizira materijal. Tehnikom magnetizacije moguće je ispitivanje samo feromagnetnih materijala

4. Čišćenje površine

Nakon odrađenog ispitivanja potrebno je detaljno očistiti sve magnetske čestice zbog mogućnosti stvaranja korozije.

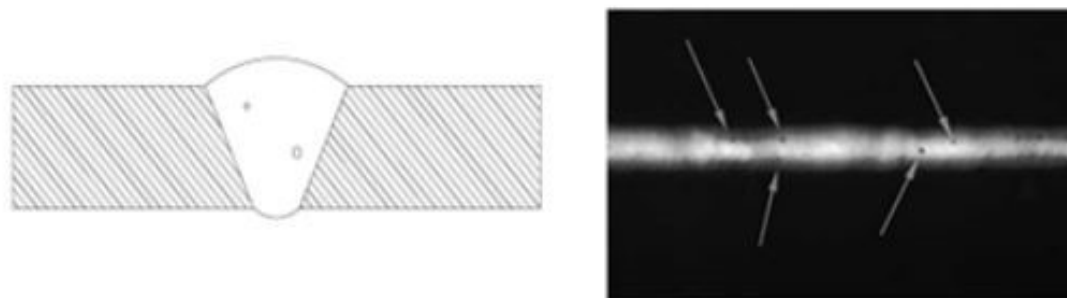
6.1.5. Radiografija

Radiografija je metoda ispitivanja zavara pomoću svojstava rendgenskog zračenja i gama zraka. Gama i rendgenske zrake su malih valnih duljina i visokih frekvencija, te prodiru dublje u sve poznate materijale. Probijanjem zraka kroz materijal one se različito apsorbiraju zbog različite gustoće i debljine materijala.

Prikaz ozračenog ispitnog komada može se prikazati na 3. načina:

- Formiranjem slike na fluorescentnom zaslonu
- Radiogramom
- Grafičkim praćenjem pisača

Najčešća metoda prikaza ispitnog komada je radiogramom. On nastaje tako da se standardni radiografski film stavlja iza ispitnog komada, te se zrači. Gdje je veći broj eksponiranih zrnaca na mjestu tamo je film tamniji te se dobiva konačni radiogram (slika 15). [9]



Slika 15 Indikacije poroznosti na ispitnom komadu prikazane na radiogramu

6.1.6. Ispitivanje ultrazvukom

Ispitivanje ultrazvukom je metoda ispitivanja zavarenog spoja uređajem koji generira impulse visokih frekvencija ultrazvučnih valova, te sa njima probija kroz materijal. Koristi ultrazvučne senzore koji omogućuju kada signal dospe do postojeće indikacije, pukotine ili granice materijala da se dio tih valova reflektira u suprotnom smjeru, te tada senzor prihvati signal i pretvara ga u impuls koji je vidljiv na ekranu.

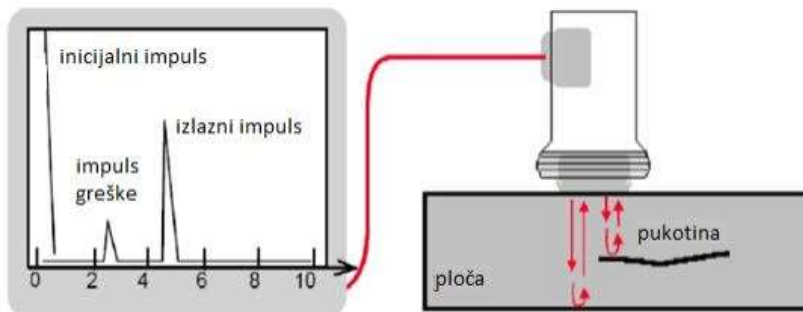
Tehnike koje se koriste kod ultrazvučnih ispitivanja su:

- Metoda transmisije
- Puls-eho metoda
- Metoda rezonancije

Kod korištenja ultrazvučnog ispitivanja najčešće se koristi samo jedna od tih tri metoda.

Metoda transmisije se bazira na apsorpciju ultrazvuka u nehomogenostima u ispitnom komadu. Koriste se dvije ultrazvučne sonde, jedna sonda usmjerava ultrazvučne valove dok ih druga prima na suprotnoj strani komada. Pri prolazu kroz materijal, valovi ultrazvuka koji su emitirani biće jednaki primljenima. Pri pojavi pukotina, uključka ili nekih drugih nehomogenosti u materijalu sonda koja prima signal neće primiti istu količinu koju je ispustila prva sonda te se tada prikazuje nejednako na ekranu.[9]

Puls-eho metoda se bazira samo na jednoj sondi koja služi kao odašiljač i prijatelj valova. Radi na istom principu kao i metoda transmisije. (slika 16.)



Slika 16 Puls-eho metoda

6.2. Metode ispitivanja sa razaranjem

Metode ispitivanja zavora razaranjem su metode koje namjerno uništavaju ili oštećuju uzorke materijala radi proučavanja njegovih mehaničkih svojstava. Metode razaranjem pomažu u razumijevanju i poboljšanju svojstava materijala. Primjenjive su samo kada je uzorke dostupne za testiranje moguće u potpunosti razoriti, te njihova primjena više nije moguća.

Potrebne metode ispitivanja razaranjem su:

- Ispitivanje poprečnim zatezanjem
- Ispitivanje poprečnim savijanjem
- Ispitivanje udarom
- Ispitivanje tvrdoće
- Makroskopski pregled

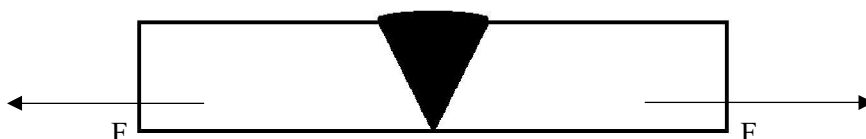
Ispitivanja poprečnim zatezanjem te ispitivanje poprečnim savijanjem se odvijaju na kidalici. (slika 17.)



Slika 17 Kidalica

6.2.1. Ispitivanje poprečnim zatezanjem

Ispitivanje poprečnim zatezanjem je postupak kojim se ispituje otpornost zavora na poprečno zatezanje. Postupak se odvija na kidalici. Dvije zavarene ploče je potrebno zategnuti na kidalici prema odabranoj normi, te se zavar opterećuje vlačnim silama (slika 18). Rezultati se koriste za izradu hookovog dijagrama. Time se detaljno usvajaju granice tečenja i granica loma zavora.



Slika 18 Vlačno naprezanje zavora

6.2.2. Ispitivanje poprečnim savijanjem

Za ispitivanje poprečnim savijanjem zavora izrađuje se uzorak koji je potrebno ispitivati ovisno o debljini samog uzorka. Uzorak se ispituje na kidalici (slika 19.). Prema normi DIN EN 910 Potrebno je za materijale tanje od 12 mm ispitati dva puta preko čela zavora te dva puta preko korijena zavora. Kada bi uzorak bio deblji od 12mm tada je potrebno izraditi četiri ispitivanja preko korijena, te četiri ispitivanja preko čela.

Ispitivanje poprečnim savijanjem vrlo je važno za kvalitetu zavora. Kada bi ispitivanje savijanjem dalo rezultate loma zavora nakon savijanja, tada se ne vrše druga ispitivanja te se smatra da je zavar ne kvalitetan i ne može biti prihvaćen za proizvodnju



Slika 19 Ispitivanje zavarana savijanje

6.2.3. Ispitivanje tvrdoće zavara

Ispitivanje tvrdoće zavara prema normi BS EN 1043-1 vrši se Vickersovom metodom ispitivanja tvrdoće materijala (slika 20.). Vickersova metoda ispituje se šiljatom piramidom te prema normi ISO 6507-1 na sili jednakoj 49 N ili 98 N (HV 5 ili HV 10). Vickersova metoda zasniva se na principu piramidastog vrha koji zasniva kut od 136 stupnjeva. Zatim se odabire željena sila te se preko mikroskopa određuje veličina utiska u materijal.

Prema normi BS EN 1043-1 potrebno je ispitati tri tvrdoće svakog od osnovnih materijala, tri tvrdoće svake zone pod utjecajem topline, te tri tvrdoće samog zavara.



Slika 20 Uređaj za mjerenje tvrdoće zavara.

7. ISPITIVANJE STROJNOG DIJELA ZD.23-PI.48

Ispitivanje strojnog dijela ZD.23-PI.48 obuhvatilo je ispitivanje tvrdoće, te ispitivanje savijanjem. Ispitivanja koje se provode je razornog su oblika, tj. izrađuje se ispitni uzorak, te se ispituje kvaliteta zavora prema normi EN ISO 15614.

Prema normi EN ISO 15614 potrebno je 5 ispitnih uzoraka istog zavora. Ispitni uzorci su izrađeni iz uzorka strojnog dijela ZD.23-PI.48(slika 21.). Za ispitivanje razornog oblika ispitivat će se tvrdoća zavora, te ispitivanje poprečnim savijanjem.



Slika 21 Uzorak strojnog dijela ZD.23-PI.48

Zavarivanje strojnog dijela ZD.23-PI.48 izvršeno je MAG metodom zavarivanja. Dimenzije uzorka su prema normi 200x350x5 mm. Nakon zavarivanja, uzorak se reže na 5 jednakih poprečnih dijelova(slika 22).

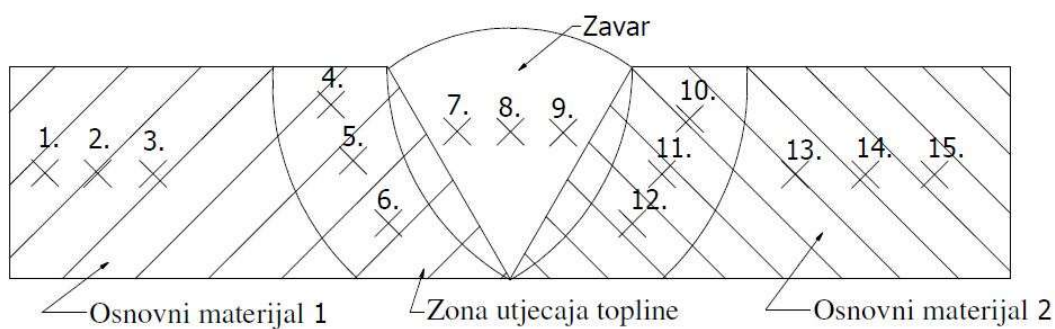


Slika 22 Rezanje uzorka

7.1. Ispitivanje tvrdoće zavara

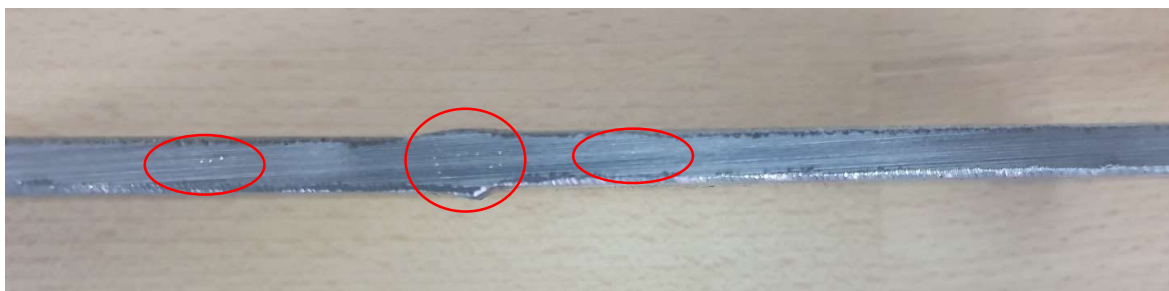
Nakon rezanja nastavlja se ispitivanje tvrdoće zavara na jednom ispitnom uzorku prema normi EN 1043-1. Za ispitivanje tvrdoće zavara koristi se Vickersova metoda. Mjerenje tvrdoće potrebno je ispitati na (slika 23.):

- Tri puta na samom zavaru
- Tri puta na zoni utjecaja topline
- Tri puta na oba osnovna metala [10]



Slika 23 Mjesta ispitivanja tvrdoće

Na slici 24. prikazan je ispitni uzorak sa mjestima ispitivanja.



Slika 24 Ispitni komad

U tablici 2. prikazani su podaci o testiranju tvrdoće zavara.

Tablica 2 Ispitivanje tvrdoće zavara

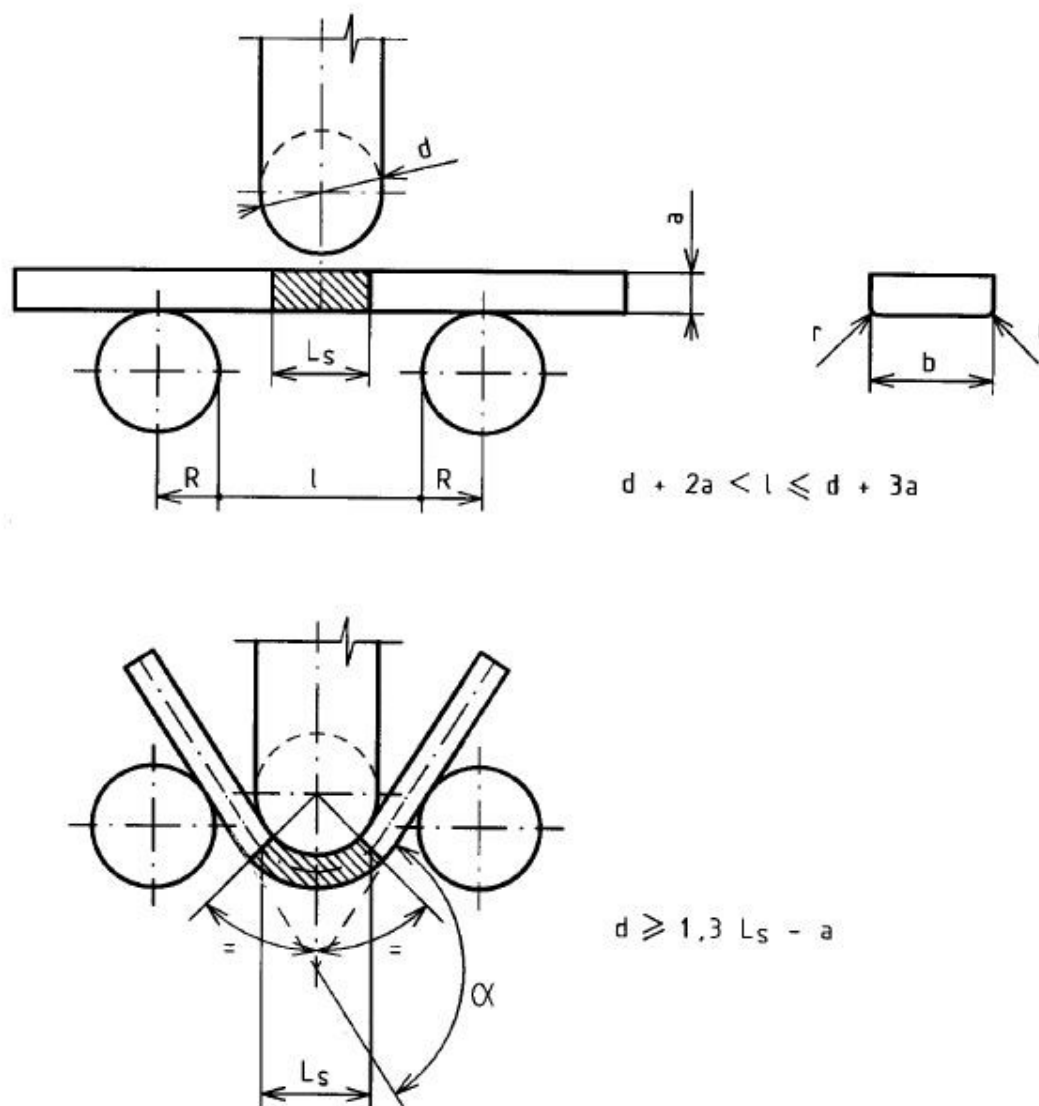
	Pozicija	Pozicija mjerenja	Vrijednost tvrdoće
Osnovni materijal 1.	1	Osnovni materijal 1, nepromijenjen	145
	2	Osnovni materijal 1, nepromijenjen	145,4
	3	Osnovni materijal 1, nepromijenjen	122,1
	4	Osnovni materijal 1, u zoni utjecaja topline	220,8
	5	Osnovni materijal 1, u zoni utjecaja topline	214
	6	Osnovni materijal 1, u zoni utjecaja topline	197,5
Zavar	7	Zavar	239,9
	8	Zavar	258
	9	Zavar	231
Osnovni materijal 2.	10	Osnovni materijal 2, u zoni utjecaja topline	227,3
	11	Osnovni materijal 2, u zoni utjecaja topline	186,1
	12	Osnovni materijal 2, u zoni utjecaja topline	210,6
	13	Osnovni materijal 2, nepromijenjen	153,4
	14	Osnovni materijal 2, nepromijenjen	197,3
	15	Osnovni materijal 2, nepromijenjen	158,1

Prilikom ispitivanja prema normi EN1043-1 tvrdoća zavara ne smije prolaziti 380HV. Uzorak ZD.23-PI.48 prema normi EN1043-1 **zadovoljava** tvrdoću zavara.

7.2. Ispitivanje savijanjem

Ispitivanje savijanjem vrši se prema normi DIN EN 910. Savijanje se ispituje na hidrauličnoj kidalici. Za limove koji su debljine manje od 12 mm potrebno je odraditi dva savijanja preko korijena zavora i dva savijanja preko čela zavora. [10]

Prije samog ispitivanja potrebno je namjestiti kidalicu na parametre koji zadovoljavaju normu DIN EN 910(slika 25.)



Slika 25 parametri za postavljanje kidalice

$$a = 5 \text{ mm}$$

$$d = 25 \text{ mm}$$

a – Debljina lima

d – promjer preše

Prema formuli iz norme DIN EN 910 duljina između oslonaca mora bit jednaka:

$$d + 2 * a < l \leq d + 3 * a \quad (7.2.1)$$

$$25 + 2 * 5 < l \leq 25 + 3 * 5 \quad (7.2.1)$$

$$35 < l \leq 40 \quad (7.2.1)$$

l – duljina između oslonaca

Kidalica je namještena tako da je razmak između oslonaca postigao dužinu od 40mm(slika 26.)



Slika 26 Namještena kidalica prema normi DIN EN 910

Kidalica je spremna za rad te se 4 navedena uzorka savijaju.



Slika 27 Uzorak 1 savijanje preko čela zavara



Slika 28 Uzorak 2 savijanje preko čela zavara

Provedena su dva savijanja sa dva uzorka preko čela zavara bez pukotina te su oba zadovoljila ispitivanje savijanjem. (slika 27. slika 28.)



Slika 29 Uzorak 3 savijanje preko korijena zavara



Slika 30 Uzorak 4 savijanje preko korijena zavara

Uzorak broj 3 je izdržao savijanje preko korijena zavara bez pukotina, te zadovoljava ispitivanje savijanjem.(slika 29.)

Prilikom savijanja ispitnog uzorka broj 4 dolazi do pucanja zavara po cijeloj dužini (slika 30, slika 31). Pukotine su nastale duboko u zavar te na poslijetku se je komad u potpunosti odlijepio od zavara.



Slika 31 Pucanje uzorka 4 u kidalici

Prema normi DIN EN 910 svaki ispitni uzorak testiran na savijanje mora sadržavati pukotine manje od 3 mm kako bi zadovoljio normu. Ako samo jedan od uzoraka pukne ili sadrži pukotine šire od 3 mm zavar ne zadovoljava te se mora skidati i ponovo zavarivati.

Na poslijetku testiranja uzorak strojnog dijela ZD.23-PI.48 prema normi DIN EN 910 ne zadovoljava ispitivanje savijanjem, te tako zavareni strojni dio ZD.23-PI.48 ne smije u proizvodnju.

8. ZAKLJUČAK

Zavarivanje ima ključnu ulogu u mnogim industrijama kao što su građevinarstvo, automobilska industrija, brodogradnja te mnoge različite strojarske industrije. Kvalitetno zavarivanje igra ključnu ulogu u sigurnosti konstrukcija i strojeva.

Kontrola zavarivanja važan je pojam u samom zavarivanju. Kontrolom se otkrivaju mnoge greške koje mogu dovesti do smanjenog vijeka trajanja same konstrukcije. Kontrolom zavarivanja bez razaranja moguće je otkriti površinske nepravilnosti, uključke, te poroznost zavara. Kontrolom zavarivanja sa razaranjem moguće je provjeriti sama mehanička svojstva zavara.

Kod ispitivanja strojnog dijela ZD.23-PI.48 nisu bile vidljive površinske greške. Međutim ispitivanjem uzorka strojnog dijela ZD.23-PI.48 na savijanje dokazano je, da strojni dio ZD.23-PI.48 nije kvalitetno zavaren, te mehanička svojstva prilikom savijanja nisu zadovoljila.

POPIS SLIKA

Slika 1 Zavareni spoj	2
Slika 2 Elektrolučno zavarivanje	3
Slika 3 Glavni dijelovi REL elektrode	5
Slika 4 REL zavarivanje [5]	7
Slika 5 MIG/MAG sustav [6]	9
Slika 6 Radno postrojenje TIG zavarivanja [7]	12
Slika 7 Shema TIG zavarivanja: 1 – Inertni plin, 2 – Volframova netaljiva elektroda, 3 – Dodatni materijal, 4 – Inertni plin [7]	13
Slika 8 Boreskop sa krutom cijevi	17
Slika 9 Fiberskop	18
Slika 10 Videoskop	18
Slika 11 mjerilo s tri skale	19
Slika 12 mjerilo visine zavara	19
Slika 13 Faze rada penetrata	21
Slika 14 Princip rada magnetnih čestica	22
Slika 15 Indikacije poroznosti na ispitnom komadu prikazane na radiogramu	24
Slika 16 Puls-eho metoda	25
Slika 17 Kidalica	26
Slika 18 Vlačno naprezanje zavara	27
Slika 19 Ispitivanje zavarana savijanje	27
Slika 20 Uređaj za mjerenje tvrdoće zavara	28
Slika 21 Uzorak strojnog dijela ZD.23-PI.48	29
Slika 22 Rezanje uzorka	29
Slika 23 Mjesta ispitivanja tvrdoće	30

Slika 24 Ispitni komad.....	30
Slika 25 parametri za postavljanje kidalice	32
Slika 26 Namještena kidalica prema normi DIN EN 910	33
Slika 27 Uzorak 1 savijanje preko čela zavara.....	34
Slika 28 Uzorak 2 savijanje preko čela zavara.....	34
Slika 29 Uzorak 3 savijanje preko korijena zavara	35
Slika 30 Uzorak 4 savijanje preko korijena zavara	35
Slika 31 Pucanje uzorka 4 u kidalici	36

POPIS TABLICA

Tablica 1 Oznake volframovih elektroda [7]..... 14

Tablica 2 Ispitivanje tvrdoće zavara.....31

LITERATURA

- [1] „Elementi strojeva“ Prof. dr. sc. Damir Jelaska, s interneta, <http://bib.irb.hr/datoteka/321780.ES-skripta-760-kon.pdf>, 20.01.2024.
- [2] „oblici zavarivanja“, s interneta, <https://interestingengineering.com/lists/types-of-welding-their-applications-advantages-and-disadvantages> 21.01.2024.
- [3] "Termini i definicije kod zavarivanja", Dr.sc. Ivan Samardžić, izv. prof., Strojarški fakultet u Slavonskom Brodu, 2012.
- [4] Priručnik za zavarivanje, Elektroda Zagreb, Zagreb 1987.
- [5] „REL zavarivanje“, s interneta <https://ctitesla.com/elektrolucno-zavarivanje/> 23.01.2024.
- [6] „MIG/MAG zavarivanje“, s interneta <https://var.rs/sve-o-zavarivanju/migmag-zavarivanje-co2-zavarivanje/> 24.01.2024.
- [7] „TIG zavarivanje“, s interneta <https://tsi.webador.com/tois-tig-postupak-zavarivanja> 24.01.2024.
- [8] „Dimenzionalne provjere zavora“, s interneta <https://www.newmantools.com/gauge/weldgaugeindex.ht>, 01.02.2024.
- [9] I. Juraga, K. Ljubić, M Živčić, I. Garašić, Pogreške u zavarenim spojevima, četvrto prerađeno izdanje, Zagreb, 2015.
- [10] Norma „Destructive tests on welds in metallic materials, BS EN 1043-1“, 1996 godina

SAŽETAK

U ovom završnom radu objašnjene su tehnike zavarivanja MIG/MAG, Ručno-elektrolučno zavarivanje, te TIG zavarivanje. Objasnjene su kontrole zavara bez razaranja materijala vizualnim pregledom, ispitivanje penetratima, ultrazvukom, te radiografijom. Kao praktični dio završnog rada ispitan je dio ZD.23-PI.48 pomoću kontrola zavara sa razaranjem i to postupkom savijanja i kontrole tvrdoće zavara. Strojni dio ZD.23-PI.48 nije zadovoljio kontrolu.

Ključne riječi: Zavarivanje, MIG/MAG, TIG, kontrola zavarivanja bez razaranja materijala, kontrola zavarivanja sa razaranjem materijala.

SUMMARY

In this final paper, the welding techniques of MIG/MAG, manual electric arc welding, and TIG welding are explained. Controls of welds without material destruction by visual inspection, penetrant testing, ultrasound, and radiography are explained. As a practical part of the final work, part ZD.23-PI.48 was tested by means of destructive weld controls, with the bending procedure and weld hardness control. The machine part ZD.23-PI.48 did not pass the inspection.

Keywords: Welding, MIG/MAG, TIG, control of welding without material destruction, control of welding with material destruction.