

# ISPITIVANJE STROJNOG DIJELA ET.23-PL.24

---

Šarić, Deni

Undergraduate thesis / Završni rad

2023

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:190:722509>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-12**



Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U RIJECI  
TEHNIČKI FAKULTET

Preddiplomski sveučilišni studij strojarstva

Završni rad

**ISPITIVANJE STROJNOG DIJELA ET.23-PL.24**

Rijeka, rujan 2023.

Deni Šarić  
0069085426

SVEUČILIŠTE U RIJECI  
TEHNIČKI FAKULTET

Prediplomski sveučilišni studij strojarstva

Završni rad

**ISPITIVANJE STROJNOG DIJELA ET.23-PL.24**

Mentor Izv. prof. Dario Iljkić

Rijeka, rujan 2023.

Deni Šarić  
0069085426

Rijeka, 11. ožujka 2023.

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

## ZADATAK ZA ZAVRŠNI RAD

Pristupnik: **Deni Šarić (0069085426)**  
Studij: **Sveučilišni prijediplomski studij strojarstva**

Zadatak: **Ispitivanje strojnog dijela ET.23-PI.24 / Testing of workpiece ET.23-PI.24**

### Opis zadatka:

Potrebno je proanalizirati postupak ispitivanja strojnog dijela ET.23-PI.24. Potrebno je teorijski opisati odabranu metodu ispitivanja i navesti rizike primjene predložene metode.

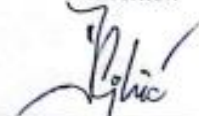
Nadalje, potrebno je ispitati strojni dio ET.23-PI.24 i opisati opremu za ispitivanje. Potrebno je definirati prednosti i nedostatke predložene metode ispitivanja. Potrebno je proanalizirati rezultate ispitivanja i donijeti odgovarajuće zaključke.

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



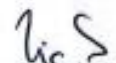
Zadatak uručen pristupniku: 20. ožujka 2023.

Mentor:



Izv. prof. dr. sc. Dario Iljkić

Predsjednik povjerenstva za  
završni ispit:



Izv. prof. dr. sc. Samir Žic

## IZJAVA

Izavljujem da završni rad s naslovom "Ispitivanje strojnog dijela ET.23-PL.24" sam izradio samostalno uz konzultacije mentora izv. prof. Daria Iljkića. Rad sam radio implementacijom znanja koje sam stekao na preddiplomskom studiju strojarstva. Osim znanja koje sam stekao na fakultetu, koristio sam i literaturu čije sam izvore naveo na kraju rada.

Deni Šarić

---

## Sadržaj

1.	UVOD .....	1
2.	Općenito o zavarivanju.....	2
2.1.	Zavarivanje električnim lukom (MMA, TIG, MIG/MAG): .....	2
2.2.	Plamenik za zavarivanje .....	4
2.3.	Zavarivanje laserom i plazmom .....	4
2.4.	Zavarivanje trenjem.....	5
2.5.	Elektronsko zavarivanje .....	6
2.6.	Eksplozijsko zavarivanje .....	7
3.	Nerazorne metode ispitivanja zavara .....	8
3.1.	Vizualni pregled zavara .....	10
3.2.	Penetrantno ispitivanje zavara .....	13
3.3.	Čistači i četke.....	20
3.4.	Radiografsko ispitivanje .....	21
3.5.	Ultrazvučno ispitivanje.....	23
3.6.	Magnetsko ispitivanje.....	25
3.7.	Ispitivanje udjela ferita u zavarenom strojnom dijelu ET.23-PL.24 .....	27
4.	Oprema za ispitivanje udjela ferita.....	29
4.1.	Feritometar.....	30
4.2.	Ispitne sonde .....	30
4.3.	Mikroskop.....	31
4.4.	Metalografska oprema .....	33
4.5.	Aditivi i otopine.....	33
4.6.	Računalni softver.....	34
5.	Postupak ispitivanja.....	36
6.	Rezultati ispitivanja.....	39
6.	ZAKLJUČAK .....	40
7.	POPIS SLIKA .....	41
7.	POPIS LITERATURE .....	42
	SAŽETAK.....	43



## 1. UVOD

Ispitivanje udjela ferita u zavaru i ispitivanje zavarenog spoja penetrantima su dva ključna postupka koji se primjenjuju u kontroli kvalitete zavarenih spojeva. Zavarivanje je široko korištena tehnika spajanja metala koja se primjenjuje u raznim industrijama kao što su automobilska, naftna i plinska, brodograđevna, zrakoplovna i mnoge druge. Učinkovita kontrola kvalitete zavarenih spojeva ključna je za osiguranje sigurnosti i pouzdanosti konstrukcija.

Ferit je kristalna faza koja se nalazi u nelegiranim i nisko-legiranim čelicima. Udio ferita u zavarenom spoju može biti od velike važnosti jer utječe na mehanička svojstva i otpornost na koroziju zavarenog spoja. Visoki udio ferita može smanjiti tvrdoću i čvrstoću spoja, dok niski udio ferita može povećati osjetljivost na koroziju. Stoga, precizno ispitivanje udjela ferita u zavaru ključno je za osiguranje optimalne kvalitete zavarenih spojeva.

Pored ispitivanja udjela ferita, ispitivanje zavarenih spojeva penetrantima također je važan postupak u kontroli kvalitete. Penetrantna ispitivanja koriste se za otkrivanje površinskih nedostataka u zavarenim spojevima, kao što su pukotine, pore, nehomogenosti ili drugi defekti koji mogu oslabiti strukturu spoja. Ovaj postupak uključuje nanošenje penetrantne tekućine na površinu zavarenog spoja, nakon čega se preostali penetrant uklanja, a nedostaci se vizualiziraju primjenom razvijaača.

Cilj ovog završnog rada je pružiti detaljan pregled ispitivanja udjela ferita u zavaru i ispitivanja zavarenog spoja penetrantima. Razmotrit ćemo principe, metode i važnost oba postupka u kontroli kvalitete zavarenih spojeva. Također ćemo istražiti primjenu ovih tehnika u industriji i njihovu ulogu u osiguravanju sigurnosti i pouzdanosti zavarenih konstrukcija.



## 2. Općenito o zavarivanju

Zavarivanje je postupak spajanja metala ili drugih materijala toplinskim ili pritiscima, često uz dodavanje dodatnog materijala (poput elektrode ili žice) kako bi se stvorila čvrsta veza. Ovisno o vrsti materijala, debljini, obliku spoja i drugim čimbenicima, postoje različite metode zavarivanja. Evo nekoliko osnovnih postupaka zavarivanja:

### 2.1. Zavarivanje električnim lukom (MMA, TIG, MIG/MAG):

MMA (Manual Metal Arc) zavarivanje koristi elektrodu (Slika 1.) koja se ručno dodaje u spoj i stvara se električni luk između elektrode i radnog materijala.



*Slika 2 MMA zavarivanje*

TIG (Tungsten Inert Gas) zavarivanje koristi ne-taljive elektrode (Slika 3) od volframa i inertni plin (obično argon) za zaštitu od oksidacije.



*Slika 4 TIG zavarivanje*

MIG (Metal Inert Gas) i MAG (Metal Active Gas) zavarivanje koriste žicu koja se automatski dovodi u spoj uz istovremeno ispuštanje inertnog ili aktivnog plina za zaštitu od oksidacije.( Slika 5)



*Slika 6 MIG zavarivanje*

## 2.2. Plamenik za zavarivanje

Ovaj postupak koristi smjesu kisika i acetilena kako bi se stvorila vrlo vruća plamena koja toplinom otapa rubove materijala koje želite spojiti. Plamenik za zavarivanje(Slika 7) je pristupačna i prilagodljiva metoda koja se često koristi u radionicama i na terenu za razne zadatke. Međutim, važno je naglasiti da je ovaj postupak visoko specijaliziran i zahtijeva odgovarajuću obuku kako bi se sigurno i učinkovito koristio, jer postoji rizik od požara i ozljeda ako se nepravilno primjenjuje.

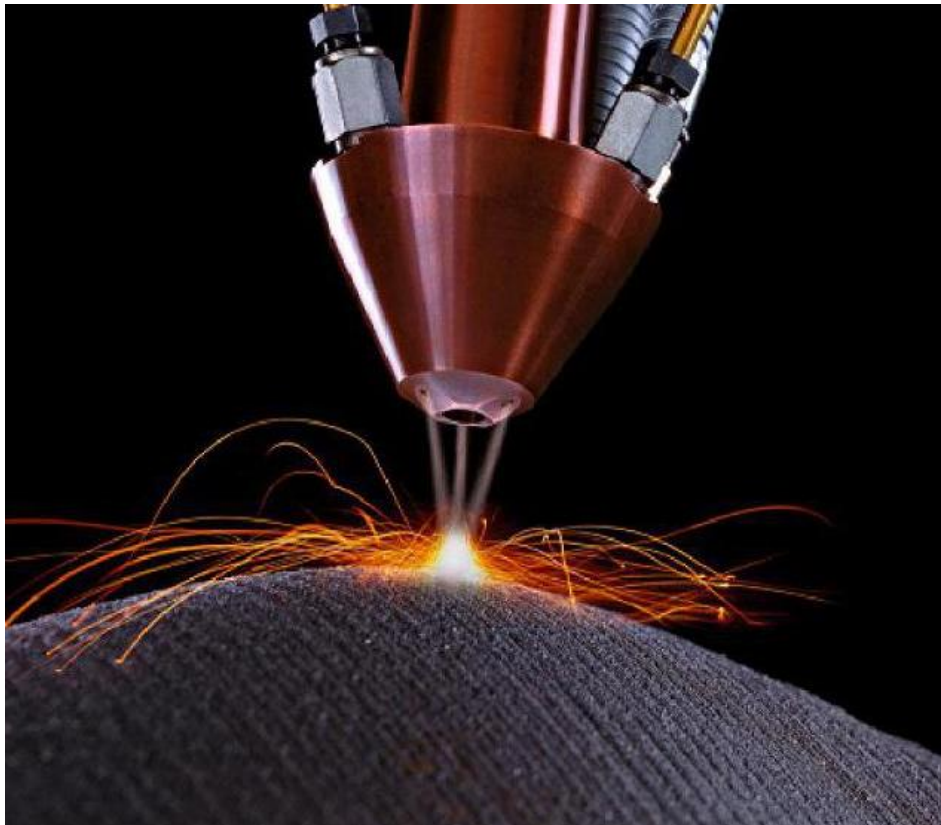


*Slika 8 Plamenik za zavarivanje*

## 2.3. Zavarivanje laserom i plazmom

Kod ovih postupaka, koncentrirana energija laserom ili plazmom koristi se za toplo otapanje materijala i stvaranje spoja. Ovo se često koristi za precizno zavarivanje i rezanje. Oba postupka omogućuju visoku kontrolu i preciznost te se često koriste u industriji i proizvodnji gdje su potrebni visoki standardi kvalitete i detaljne specifikacije.

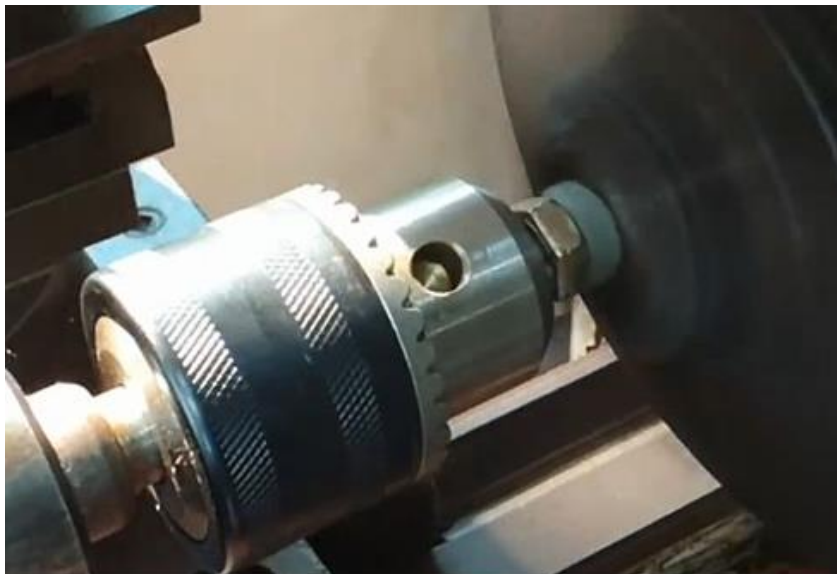
Zavarivanje laserom koristi snopove visoko usmjerenog svjetla (lasera) kako bi se stvorila toplina koja topi rubove metala i stvara spoj dok zavarivanje plazmom koristi plazmu (Slika 9) (superzagrijanu plinastu supstancu) kako bi se stvorila toplina koja topi rubove metala i omogućuje njihovo spajanje.



*Slika 10 Plazma zavarivanje*

#### **2.4. Zavarivanje trenjem**

Ovaj postupak koristi trenje između dviju rotirajućih komponenti (Slika 11) kako bi se stvorila toplina i omogućilo spajanje materijala.



*Slika 12 Zavarivanje trenjem*

## 2.5. Elektronsko zavarivanje

Ova metoda koristi snop visokoenergetskih elektrona kako bi se topio metal. EBW je često korištena za zavarivanje tankih i visoko reflektivnih metala.

Elektronsko zavarivanje koristi elektrone ubrzane na vrlo visoke brzine pomoću elektronskog topionika. Ovi visokoenergetski elektroni usmjeravaju se prema spoju metala koji se zavaruje.

Također, zahtijeva visoku vakuumsku okolinu(Slika 13) kako bi se elektroni zaustavili prije nego što udare u atmosferu.



*Slika 14 Elektronsko zavarivanje*

## 2.6. Eksplozijsko zavarivanje

Ova metoda koristi eksploziju za spajanje metala. Eksplozijsko zavarivanje se često koristi za spajanje različitih metala koji se teško spajaju drugim metodama. Ova tehnika može se primijeniti u različitim industrijama, ali zahtijeva posebnu obuku i opreznost zbog potencijalnih rizika. Detonacija eksploziva između materijala stvara visoke temperature i pritisak, što omogućava spajanje. Regulacija i sigurnosni propisi igraju važnu ulogu u kontroliranju ove tehnike kako bi se osigurala sigurnost i zaštita okoliša.



*Slika 15 valovita strukutra nakon ekslozijskog zavarivanja*

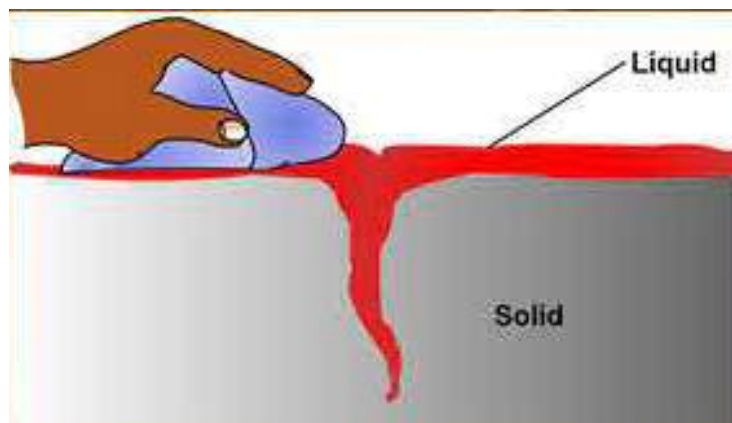


### 3. Nerazorne metode ispitivanja zavara

Metode ispitivanja zavara igraju ključnu ulogu u kontroli kvalitete zavarenih spojeva. One omogućuju otkrivanje nedostataka, procjenu integriteta zavara i osiguravaju usklađenost sa standardima i propisima. Postoje različite metode ispitivanja koje se koriste ovisno o vrsti nedostataka koje treba otkriti i procijeniti.

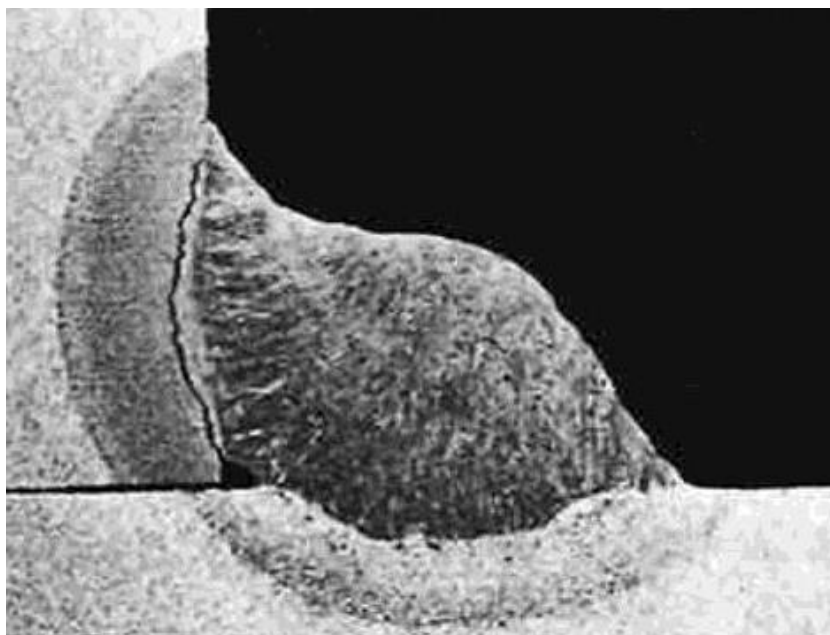
**Vizualni pregled:** Vizualni pregled je jednostavan, ali važan postupak koji se koristi za otkrivanje vidljivih površinskih nedostataka zavara. Kvalificirani inspektori pregledaju zavarene spojeve vizualno kako bi identificirali pukotine, nehomogenosti, pore, loše zavarne profile i druge nedostatke. Ovaj postupak obično zahtijeva dobru osvjetljenost i inspektorsko oko za detalje.

**Penetrantno ispitivanje:** Penetrantno ispitivanje koristi penetrantnu tekućinu koja se nanosi na površinu zavara (Slika 16). Nakon određenog vremena, višak penetranta se uklanja, a površina se razvija kako bi se vizualizirali nedostaci. Ova metoda je posebno korisna za otkrivanje površinskih pukotina, pora i drugih površinskih nedostataka.



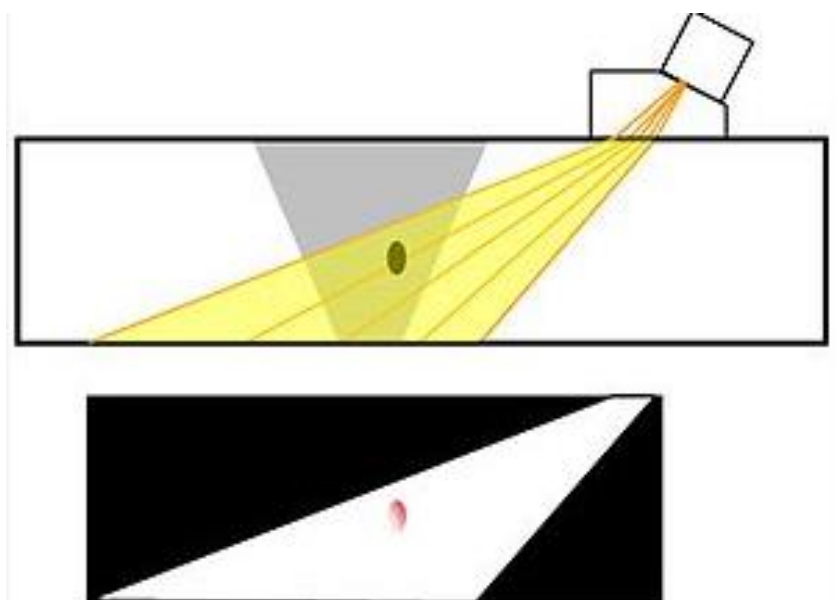
*Slika 17 Penetrantno ispitivanje*

**Radiografsko ispitivanje:** Radiografsko ispitivanje koristi rendgenske ili gama zrake kako bi se snimile unutarnje strukture zavara (Slika 18). Snimke, poznate kao radiografi, omogućuju otkrivanje nedostataka poput pukotina, nehomogenosti, loše penetracije i slabo zatopljenih zona. Ova metoda je posebno korisna za otkrivanje unutarnjih nedostataka koji nisu vidljivi vizualnim pregledom.



*Slika 19 radiografsko ispitivanje*

Ultrazvučno ispitivanje: Ultrazvučno ispitivanje koristi visokofrekventne zvučne valove (Slika 20) za procjenu unutarnje strukture zavara. Ultrazvučni valovi se šalju kroz zavareni spoj, a reflektirani signali se analiziraju kako bi se otkrili nedostaci kao što su pukotine, nehomogenosti i nepravilnosti u strukturi. Ova metoda je posebno korisna za otkrivanje malih pukotina i složenih unutarnjih nedostataka.



*Slika 21 Ultrazvučni mjerač debljine*



Magnetsko ispitivanje: Magnetsko ispitivanje koristi magnetska polja za otkrivanje površinskih i blisko-površinskih nedostataka u feromagnetskim materijalima(Slika 22). Prisutnost pukotina, pora, nehomogenosti ili drugih nedostataka mijenja magnetsko polje, što se može detektirati pomoću senzora. Ova metoda je posebno korisna za brzo ispitivanje velikih površina.



*Slika 23 Magnetsko ispitivanje*

Sve navedene metode ispitivanja mogu se kombinirati i koristiti zajedno kako bi se osigurala sveobuhvatna kontrola kvalitete zavarenih spojeva. Svaka metoda ima svoje prednosti, ovisno o vrsti nedostataka koje treba otkriti. Pravilna primjena tih metoda zahtijeva obučeno osoblje i usklađenost s relevantnim standardima i propisima.

### **3.1. Vizualni pregled zavara**

Vizualna kontrola zavara je jedna od temeljnih metoda provjere kvalitete zavarenih spojeva. Ova metoda koristi pregled s očima(Slika 24) kako bi se utvrdilo jesu li zavari ispravno izvedeni i zadovoljavaju određene standarde i specifikacije.

Vizualna kontrola zavara obično se provodi neposredno nakon izvođenja zavara, prije primjene drugih metoda ispitivanja. Cilj je identificirati nedostatke ili greške u zavaru, kao što su pukotine, nepravilno prodiranje, loše spajanje ili drugi defekti koji mogu utjecati na čvrstoću i trajnost zavara.

Kod vizualne kontrole zavara, inspektor koristi svoje oči, ali može se koristiti i dodatna oprema poput svjetiljki, ogledala, ljestvi ili kamera kako bi se omogućio pristup teško dostupnim

područjima. Inspektor pregledava zavare iz različitih kutova kako bi dobio cjelovitu sliku o njihovoj kvaliteti.



*Slika 25 Vizualna kontrola*

Inspektor će provjeriti sljedeće karakteristike zavora:

**Vizualni izgled zavora:** Pregledava se opći izgled zavora, uključujući oblik, veličinu, ravnotežu i simetriju. Zavori bi trebali imati konzistentan izgled i biti u skladu s crtežima ili specifikacijama.

**Adekvatno prodiranje:** Provjerava se dubina i ravnoteža prodiranja zavora u korijenu spoja. Ovaj pregled osigurava da zavor prodire dovoljno duboko kako bi se osigurala čvrstoća spoja.

**Prisutnost pukotina i nepravilnosti:** Inspektor traži bilo kakve pukotine, inkluzije, nepravilnosti ili druge defekte koji mogu oslabiti zavor ili utjecati na njegovu izdržljivost.

**Pravilno spajanje i slaganje:** Provjerava se da su dijelovi koji se spajaju pravilno poravnati i pozicionirani. Nепropisno poravnanje ili slaganje može dovesti do slabog kvaliteta zavora.

**Kvaliteta površine:** Pregledava se kvaliteta površine zavora kako bi se utvrdilo postoji li prisutnost nečistoća, oksidacije ili drugih neželjenih materijala na površini.

Uz vizualnu kontrolu, inspektor može koristiti i dodatne tehnike poput upotrebe magnetskih prahova, ultrazvuka ili tekućih penetracija za otkrivanje skrivenih nedostataka koji nisu vidljivi golim okom.

Vizualna kontrola zavara uključuje nekoliko faza kako bi se osigurala kvaliteta zavarenih spojeva. Ovdje je detaljniji opis svake faze:

**Planiranje i priprema:** Prije početka vizualne kontrole zavara, ključno je napraviti dobar plan i pripremiti potrebnu opremu. Inspektor mora imati pristup crtežima i specifikacijama zavara kako bi znao što treba tražiti. Također, obavlja se preliminarna provjera čistoće radnog područja kako bi se uklonile prepreke koje mogu ometati inspekciju.

**Pregled izgleda zavara:** Prva faza vizualne kontrole uključuje općeniti pregled izgleda zavara. Inspektor će provjeriti oblik, veličinu, simetriju i ravnotežu zavara. Ovo uključuje usporedbu zavara s crtežima i specifikacijama.

**Pregled prodiranja zavara:** Sljedeća faza je pregled prodiranja zavara. Inspektor će provjeriti dubinu i ravnotežu prodiranja zavara u korijenu spoja. Cilj je osigurati da zavar prodire dovoljno duboko kako bi se osigurala čvrstoća spoja.

**Pregled pukotina i nepravilnosti:** Inspektor će pažljivo pregledati zavar kako bi pronašao eventualne pukotine, inkluzije, nepravilnosti ili druge nedostatke koji mogu oslabiti zavar ili utjecati na njegovu izdržljivost. Ovdje se traže vidljivi defekti koji su jasno vidljivi golim okom.

**Pregled spajanja i poravnanja:** Inspektor će provjeriti da li su dijelovi koji se spajaju pravilno poravnati i pozicionirani. Ova faza uključuje provjeru poravnanja i uvjeravanje da su dijelovi pravilno spojeni.

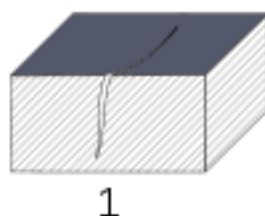
**Pregled kvalitete površine:** Posljednja faza uključuje pregled kvalitete površine zavara. Inspektor će provjeriti prisutnost nečistoća, oksidacije ili drugih neželjenih materijala na površini zavara. Glatka i čista površina zavara obično ukazuje na dobru kvalitetu.

Nakon završetka vizualne kontrole zavara, inspektor će dokumentirati nalaze, uključujući fotografije, bilješke o pronađenim nedostacima i preporuke za ispravljanje nedostataka. Ti podaci su važni za praćenje i osiguranje kvalitete zavarenih spojeva.

### 3.2. Penetrantno ispitivanje zavara

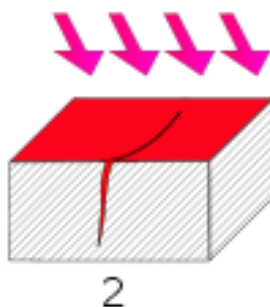
Penetrantno ispitivanje zavara je metoda neizravne kontrole koja se koristi za otkrivanje površinskih defekata i nedostataka u zavarenim spojevima. Ova tehnika često se primjenjuje zajedno s vizualnom kontrolom kako bi se povećala osjetljivost za otkrivanje nedostataka koji nisu vidljivi golim okom. Evo detaljnijeg opisa faza penetrantnog ispitivanja zavara:

**Priprema površine:** Prije početka ispitivanja, površina zavara mora biti temeljito očišćena, suha i bez nečistoća koje bi mogle ometati postupak. Ovo se postiže koristeći prikladna otapala, četke ili druga sredstva za čišćenje. Također se provodi uklanjanje hrđe ili drugih oksidacijskih slojeva kako bi se osigurala bolja prodiranja penetranta.



*Slika 26. Priprema površine*

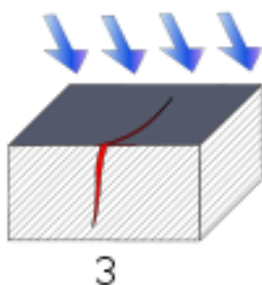
**Nanošenje penetranta:** Nakon čišćenja, površina zavara se premazuje penetrantom. Penetrant je tekućina s visokom površinskom napetošću koja ima sposobnost prodiranja u površinske nedostatke i defekte. Penetrant se nanosi raspršivanjem, kvašenjem ili potapanjem površine zavara.



*Slika 27. Nanošenje penetranta*

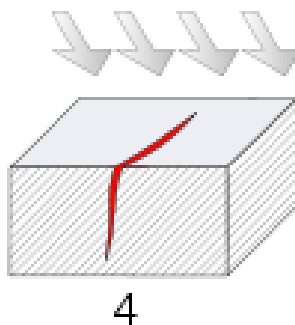
Prodiranje penetranta: Nakon nanošenja, penetrant ostaje na površini zavara tijekom određenog vremenskog razdoblja, što omogućuje da proдре u površinske pukotine, poroznost ili druge nedostatke. Vrijeme prodiranja ovisi o vrsti penetranta i temperaturi okoline.

Uklanjanje viška penetranta: Nakon prodiranja, višak penetranta se uklanja s površine zavara. To se može postići brisanjem, ispiranjem ili upotrebom posebnih sredstava za uklanjanje penetranta. Važno je temeljito ukloniti višak penetranta kako se ne bi pomiješao s razvijanjem i izazvao lažno pozitivne rezultate.



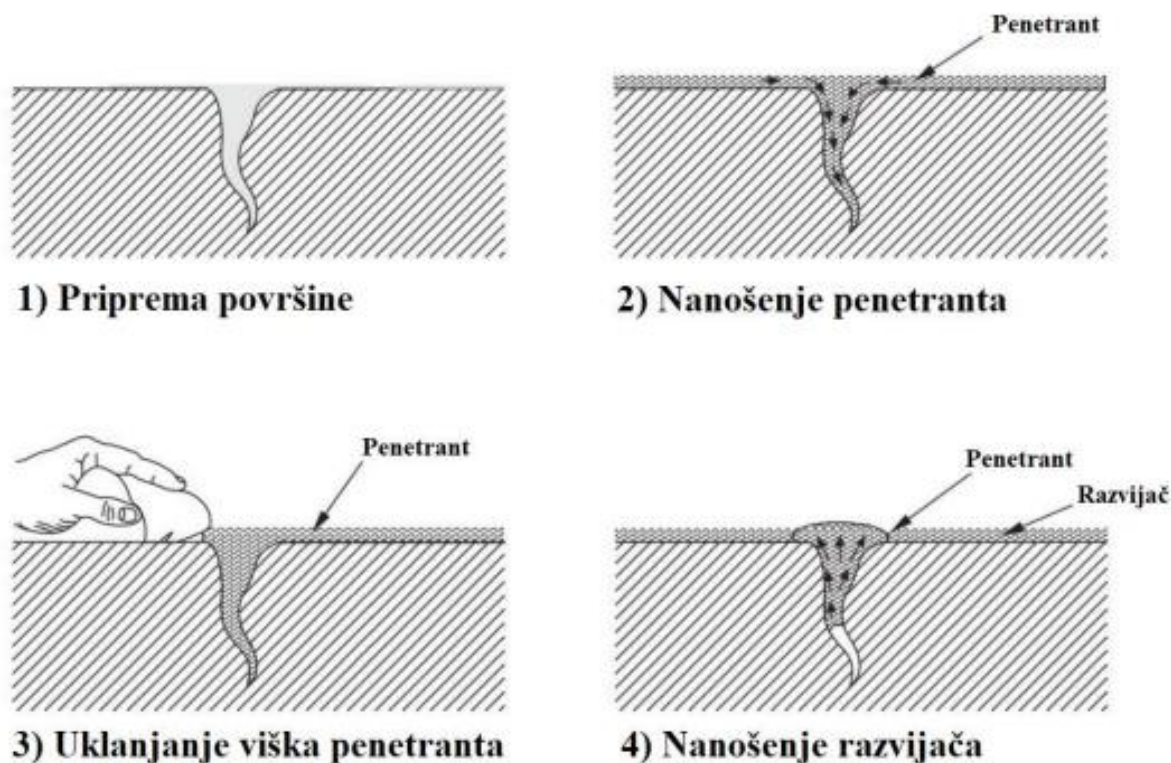
Slika 28. Višak penetranta

Primjena razvijaa: Nakon uklanjanja viška penetranta, na površinu zavara nanosi se razvijaa. Razvijaa apsorbira penetrant iz nedostataka i stvara vidljive tragove ili kontrast koji olakšava otkrivanje nedostataka. Razvijaa može biti u obliku praha, aerosola ili tekućine, ovisno o vrsti ispitivanja i uvjetima.



Slika 29. nanošenje razvijaa

Vizualni pregled: Nakon primjene razvijaa, inspektor će vizualno pregledati zavar kako bi otkrio prisutnost vidljivih tragova penetranta i identificirao površinske defekte i nedostatke.



*Slika 30. postupak nanošenja penetranta*

Penetrantno ispitivanje zavara ima niz prednosti, ali također ima i neke nedostatke. Evo dodatnih detalja o ovim aspektima:

**Prednosti penetrantnog ispitivanja zavara:**

**Detekcija površinskih nedostataka:** Penetrantno ispitivanje je izuzetno osjetljiva metoda koja omogućuje otkrivanje čak i najmanjih površinskih nedostataka, pukotina, poroznosti ili drugih defekata na površini zavara. To omogućuje rano otkrivanje problema i sprečavanje daljnjih oštećenja.

**Jednostavna primjena:** Penetrantno ispitivanje je relativno jednostavno za primjenu. Nema potrebe za složenom opremom ili postupcima, što olakšava provođenje ispitivanja. Ova metoda je pogodna za primjenu na različitim vrstama materijala, kao što su metali, keramika, plastika itd.

**Brzi rezultati:** Penetrantno ispitivanje pruža rezultate u kratkom roku, jer su tragovi penetranta vidljivi odmah nakon primjene razvijaa. To omogućuje brzo donošenje odluka i daljnje korake u procesu proizvodnje.

Relativno niska cijena: U usporedbi s nekim drugim metodama ispitivanja, penetrantno ispitivanje ima pristupačnu cijenu. Troškovi opreme, materijala i obuke su obično povoljni, što čini ovu metodu ekonomičnom opcijom za kontrolu zavara.

Nedostaci penetrantnog ispitivanja zavara:

Ovisnost o površini: Penetrantno ispitivanje pruža pouzdane rezultate samo za površinske nedostatke. Ako se nedostaci nalaze ispod površine zavara, ova metoda neće biti učinkovita u njihovom otkrivanju. To znači da dublji defekti ili nedostaci unutar materijala mogu proći nezamijećeni.

Potreba za pripremom površine: Penetrantno ispitivanje zahtijeva temeljitu pripremu površine, uključujući uklanjanje nečistoća i hrđe te čišćenje površine. Ovaj proces može biti vremenski zahtjevan i zahtijeva dodatne napore i resurse.

Ovisnost o vizualnom pregledu: Penetrantno ispitivanje zahtijeva vizualni pregled kako bi se otkrili tragovi penetranta i identificirali nedostaci. To znači da rezultati mogu biti podložni subjektivnosti i interpretaciji inspektora. Potrebna je obučena i kvalificirana osoba koja može ispravno tumačiti rezultate.

Potencijalna opasnost od kemikalija: Penetrantno ispitivanje uključuje korištenje kemikalija poput penetranta, razvijaača i čistača (Slika 31). Nepravilna uporaba ili izlaganje ovim kemikalijama može predstavljati rizik za zdravlje i sigurnost. Stoga je važno pridržavati se sigurnosnih smjernica i pravilno rukovati kemikalijama.

Iako penetrantno ispitivanje zavara ima neke nedostatke, pravilna primjena ove metode uz odgovarajuće mjere opreza može pružiti vrijedne informacije o kvaliteti zavara i doprinijeti sigurnosti i pouzdanosti struktura.



*Slika 32. Izgled zavora kod ispitivanja pomoću penetranta*

## **OPREMA ZA ISPITIVANJE ZAVARA POMOĆU PENETRANTA**

Kod ispitivanja zavora pomoću penetranta, potrebna je određena oprema koja omogućuje primjenu penetranta, razvijanje indikatora te vizualizaciju i interpretaciju rezultata. Evo nekoliko osnovnih komponenti opreme za ispitivanje zavora pomoću penetranta:

**Penetrant:** Penetrant je tekućina koja se nanosi na površinu zavora kako bi prodrla u eventualne nedostatke ili pukotine. Penetrant može biti obogaćen fluorescentnim pigmentima koji olakšavaju vizualizaciju pomoću ultraljubičaste (UV) svjetlosti.

**Emulgator:** Emulgator je tekućina koja se koristi za ukljanje viška penetranta s površine nakon određenog vremena prodora. Emulgator reagira s penetrantom i formira emulziju koja se lako ispiru vodom.

**UV svjetiljka:** UV svjetiljka koristi se za vizualizaciju fluorescencije penetranta. Emitira UV svjetlost koja aktivira fluorescentne pigmente u penetrantu, čime se nedostaci jasnije ističu. UV svjetiljke mogu biti prenosive ili stacionarne, ovisno o potrebama ispitivanja.

**Čistači i četke:** Za pripremu površine zavora i ukljanje nečistoća koriste se čistači i četke. Oni osiguravaju čistu površinu za primjenu penetranta i sprječavaju smetnje u interpretaciji rezultata..



Ova oprema osigurava ispravnu primjenu penetranta, razvoj indikatora i preciznu vizualizaciju rezultata ispitivanja. Važno je da se oprema koristi prema uputama proizvođača i uz poštivanje sigurnosnih mjera kako bi se osigurala točnost i pouzdanost rezultata ispitivanja.

## **PENETRANT**

Kod ispitivanja zavara, penetranti su neophodni za otkrivanje površinskih nedostataka i nepravilnosti. Oni su tekući materijali koji imaju sposobnost prodora i akumulacije unutar mikrostrukturnih nepravilnosti na površini materijala. Penetranti(Slika 33) se obično sastoje od organskih otapala i mogu biti fluorescentni ili nefluorescentni.



*Slika 34. penetrant*

Fluorescentni penetranti sadrže dodatke fluorescentnih pigmenata koji stvaraju svijetlu fluorescentnu boju kada se osvijetle UV svjetlošću. To omogućuje bolju vizualizaciju i identifikaciju nedostataka. Nefluorescentni penetranti, s druge strane, vizualiziraju se prirodnim svjetlom.

Primjena penetranta uključuje nanošenje na površinu zavara putem prskanja, potapanja ili četkanja. Nakon određenog vremena prodora, višak penetranta se uklanja, a površina se čisti emulgatorom koji razgrađuje penetrant. Zatim se nanosi razvijач koji apsorbira penetrant iz nedostataka i stvara kontrastne indikatore.

Penetranti se mogu prilagoditi različitim osjetljivostima kako bi se otkrili nedostaci različitih veličina i dubina. Vizualizacija rezultata ispitivanja penetrantom može se provesti vizualnim pregledom uz pomoć prirodnog svjetla ili primjenom UV svjetiljke za fluorescentne penetrante.

Kod rukovanja penetrantima važno je pridržavati se sigurnosnih smjernica, uključujući upotrebu osobne zaštite poput rukavica i zaštitnih naočala. Također je bitno koristiti penetrante prema uputama proizvođača i pridržavati se pravilnog odlaganja otpada.

Korištenje penetranta kao metode ispitivanja zavara omogućuje brzo i učinkovito otkrivanje površinskih nedostataka, pukotina ili drugih nepravilnosti. To pruža pouzdane informacije o kvaliteti zavara i pomaže u osiguravanju sigurnosti i trajnosti struktura koje su podvrgnute ispitivanju.

## **EMULGATOR**

Emulgatori se dodaju u procesu čišćenja površine zavara nakon što se penetrant ostavi da prodre u mikrostrukturne nepravilnosti. Njihova svrha je razgraditi penetrant i emulzificirati ga kako bi ga lakše uklonili s površine. Emulgatori se obično sastoje od spojeva koji imaju sposobnost razdvajanja penetranta od površine, stvarajući emulziju koja se lako može isprati ili ukloniti.

Emulgatori se primjenjuju na površinu zavara nakon što se penetrant ostavi da prodre dovoljno dugo. Oni se nanose često prskanjem ili premazivanjem, osiguravajući ravnomjerno prekrivanje cijele površine. Nakon nanošenja emulgatora, ostavlja se određeno vrijeme za djelovanje kako bi se omogućilo razgradnja penetranta i emulzifikacija.

Jednom kada emulgator djeluje, višak penetranta zajedno s emulgatorom uklanja se s površine zavara. To se može postići ispiranjem površine vodom, često uz pomoć mlaznice pod pritiskom. Također se mogu koristiti posebne krpe ili spužve za uklanjanje emulzije.

Važno je pridržavati se uputa proizvođača kada je u pitanju korištenje emulgatora. Preporučene koncentracije, vrijeme djelovanja i načini primjene mogu varirati ovisno o specifičnim penetrantima i emulgatorima koji se koriste.

Kvalitetan emulgator igra ključnu ulogu u uklanjanju viška penetranta i pripremi površine za primjenu razvijaa. Njihova pravilna upotreba osigurava uklanjanje penetranta iz nepravilnosti i nedostataka na površini zavara, čime se poboljšava vizualizacija i detekcija tih nedostataka.

## UV SVJETILJKA

UV svjetiljke emitiraju svjetlost u rasponu valnih duljina između 320 nm i 400 nm, što odgovara ultraljubičastom području spektra. Ova vrsta svjetlosti ima sposobnost prodora kroz penetrant i stvaranja kontrastnih indikacija na površini zavara.

Kada se penetrant nanese na površinu zavara i ostavi da prođe u mikrostrukturne nepravilnosti, UV svjetiljka se koristi za osvjetljavanje površine. Pod UV svjetlošću, penetrant koji se akumulirao u nedostacima ili pukotinama emitira svijetlu fluorescentnu ili kontrastnu boju.

Ova fluorescentna ili kontrastna boja omogućuje jasnu vizualizaciju nedostataka i pomaže ispitivaču da ih identificira. UV svjetiljka se obično koristi u kombinaciji s filterima koji blokiraju vidljivu svjetlost, tako da se samo UV svjetlo emitira i vizualiziraju se samo fluorescentne ili kontrastne indikacije.

### 3.3. Čistači i četke

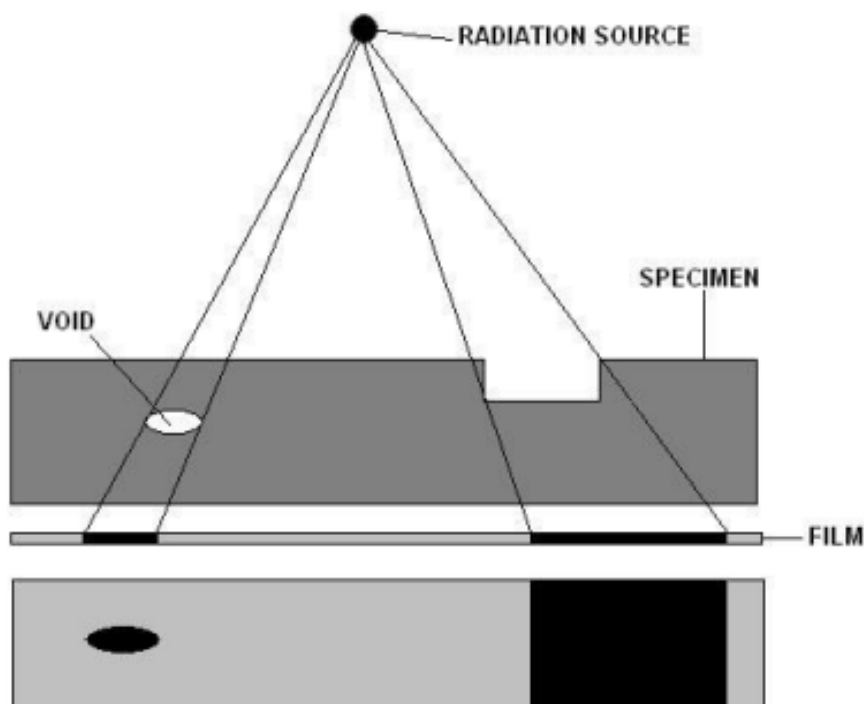
Čistači se koriste za temeljito čišćenje površine zavara prije primjene penetranta. To mogu biti različiti tipovi čistača, poput industrijskih otapala, alkohola ili specijalnih čistača koji su formulirani posebno za pripremu površine pri ispitivanju zavara. Čistači su dizajnirani da uklone masti, ulja, prašinu, rđu i druge nečistoće koje mogu ometati penetrant da prođe u nepravilnosti na površini zavara.

Četke su također ključne pri ispitivanju zavara jer omogućuju mehaničko čišćenje površine. One se koriste za uklanjanje čvrstih naslaga, hrđe ili drugih tvrdokornih nečistoća koje se ne mogu u potpunosti ukloniti samo čistačima. Četke mogu biti izrađene od različitih materijala poput čeličnih vlakana, žičanih četki, mekih četki od vlakana ili sintetičkih četki, ovisno o vrsti površine koja se čisti.

Prilikom upotrebe čistača i četki, važno je voditi računa o pravilnoj tehnici čišćenja kako bi se postigla maksimalna učinkovitost. To može uključivati nježno trljanje površine, kružne pokrete ili poteze duž zavara kako bi se osiguralo temeljito uklanjanje nečistoća.

### 3.4. Radiografsko ispitivanje

Radiografsko ispitivanje zavora je široko korištena metoda nerazarajućeg ispitivanja koja se primjenjuje za procjenu kvalitete spojeva. Koristi se rendgenske ili gama zrake (Slika 35) kako bi se dobio prikaz unutarnje strukture zavora. Radiografsko ispitivanje zavora se primjenjuje u raznim industrijama, kao što su naftna i plinska industrija, energetika, brodogradnja, avijacija i industrija transporta.



Slika 36. primjer rada radiografske kontrole

Postupak radiografskog ispitivanja zavora uključuje sljedeće korake:

**Priprema objekta:** Prije samog ispitivanja, potrebno je pripremiti zavareni spoj. To uključuje čišćenje površine, uklanjanje nečistoća i pripremu za postavljanje detektora ili filmske ploče.

**Postavljanje izvora zračenja:** Izvor zračenja, kao što je rendgenska cijev ili gama izvor, se postavlja na odgovarajuću udaljenost od zavarenog spoja. Udaljenost i pozicija izvora zračenja ovise o zahtjevima ispitivanja i karakteristikama zavora.

Izloženost zavara: Aktiviranjem izvora zračenja, zrake prolaze kroz zavareni spoj. Zrake smanjuju energiju dok prolaze kroz materijal, ovisno o gustoći i unutarnjim svojstvima zavara. Nedostaci ili nehomogenosti u materijalu apsorbiraju različite količine zračenja.

Detekcija zračenja: Na suprotnoj strani zavarenog spoja postavlja se detektor ili filmska ploča. Zrake koje prođu kroz spoj pogode detektor i stvaraju sliku unutarnje strukture zavara. Nakon toga, film se razvija ili digitalni detektor generira digitalnu sliku.

Analiza slike: Dobivena slika zavarenog spoja se pažljivo analizira kako bi se identificirali nedostaci, pukotine, nehomogenosti ili drugi problemi. Iskusni inspektori tumače slike i donose zaključke o kvaliteti zavara. Pravilna interpretacija slika omogućuje prepoznavanje nedostataka koji bi mogli utjecati na čvrstoću, trajnost i sigurnost zavara.

Radiografsko ispitivanje zavara ima brojne prednosti, uključujući:

Mogućnost otkrivanja unutarnjih nedostataka u zavarenom spoju.

Procjena kvalitete zavara i osiguranje njegove pouzdanosti.

Identifikacija potencijalnih problema koji mogu dovesti do neuspjeha zavara.

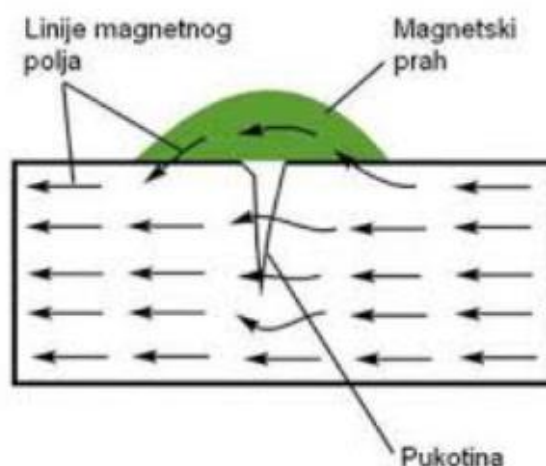
Visoka osjetljivost i preciznost u detekciji nedostataka.

Mogućnost dokumentiranja rezultata ispitivanja.

Unatoč prednostima, radiografsko ispitivanje zavara također ima određene nedostatke, kao što su potreba za specijaliziranom opremom i obučanim inspektorima, izlaganje zračenju za osoblje i ograničen pristup nekim područjima. Međutim, ova metoda ostaje nezamjenjiva u procjeni kvalitete zavarenih spojeva i osiguravanju sigurnosti u raznim industrijskim sektorima.

### 3.5. Ultrazvučno ispitivanje

Ultrazvučno ispitivanje zavara je metoda nerazarajućeg ispitivanja koja se široko primjenjuje za procjenu kvalitete zavarenih spojeva. Ova tehnika koristi visokofrekventne ultrazvučne valove (Slika 37) kako bi otkrila unutarnje nedostatke, nehomogenosti i druge probleme u zavarenim spojevima. Ultrazvuk se može primijeniti na različite materijale, uključujući metale, plastične materijale i kompozite.



Slika 38. Shema rada ultrazvučnog ispitivanja

Proces ispitivanja ultrazvukom zavara obuhvaćuje sljedeće korake:

**Priprema površine:** Prije samog ispitivanja, površina zavarenog spoja se priprema čišćenjem od nečistoća, masti ili boje. Ovaj korak je bitan kako bi se osigurao optimalan kontakt senzora s površinom zavara i postigla bolja preciznost ispitivanja.

**Postavljanje ultrazvučne opreme:** Ultrazvučni senzor ili sonda se postavlja na prikladan način na površinu zavara. Senzor šalje ultrazvučne valove koji prodiru kroz materijal i detektiraju odraze ili promjene unutar zavarenog spoja.

**Generiranje i prijam ultrazvučnih valova:** Senzor generira kratke impulsne ultrazvučne valove koji prolaze kroz zavareni spoj. Ti valovi se odbijaju od unutarnjih granica, pukotina ili drugih nedostataka u materijalu. Senzor također prima ove odbijene valove i pretvara ih u električne signale.

Analiza i tumačenje podataka: Električni signali se analiziraju kako bi se odredili oblik, veličina i položaj nedostataka u zavarenom spoju. Ti podaci se prikazuju na monitoru ili se analiziraju pomoću posebnog softvera kako bi se donijele zaključci o kvaliteti zavara.

Dokumentiranje rezultata: Rezultati ultrazvučnog ispitivanja zavara se dokumentiraju kako bi se koristili kao referenca za kvalitetu i sigurnost zavarenih spojeva. Ti podaci mogu biti korisni prilikom ocjene pouzdanosti i trajnosti zavara te pri donošenju odluka o eventualnim popravcima ili zamjeni.

Prednosti ultrazvučnog ispitivanja zavara uključuju:

Visoka osjetljivost: Ultrazvučno ispitivanje zavara može otkriti čak i najmanje nedostatke, pukotine ili nehomogenosti unutar materijala. To omogućuje visoku pouzdanost i kvalitetu ispitivanja.

Brza i precizna analiza: Ultrazvučno ispitivanje omogućuje brzo generiranje podataka i njihovu preciznu analizu. Ovo ubrzava proces ispitivanja i olakšava donošenje odluka o kvaliteti zavarenog spoja.

Mogućnost ispitivanja velikih volumena materijala: Ultrazvuk može proći kroz deblje materijale, omogućujući ispitivanje velikih volumena bez potrebe za destrukcijom ili uništavanjem.

Višestruka primjena: Metoda ultrazvučnog ispitivanja zavara može se primijeniti na različite materijale kao što su metali, plastični materijali i kompoziti. Također, može se primijeniti na različite oblike zavarenih spojeva.

Nedostaci ultrazvučnog ispitivanja zavara uključuju:

Potreba za obučanim operaterima: Ispitivanje ultrazvukom zahtijeva specifično znanje i vještine. Potrebno je obučiti operatere kako bi pravilno koristili opremu, interpretirali podatke i donijeli točne zaključke.

Ovisnost o površinskim uvjetima: Kvaliteta rezultata ispitivanja može biti ovisna o pripremi površine zavarenog spoja. Nečistoće, premazi ili nepravilnosti na površini mogu utjecati na točnost ispitivanja.

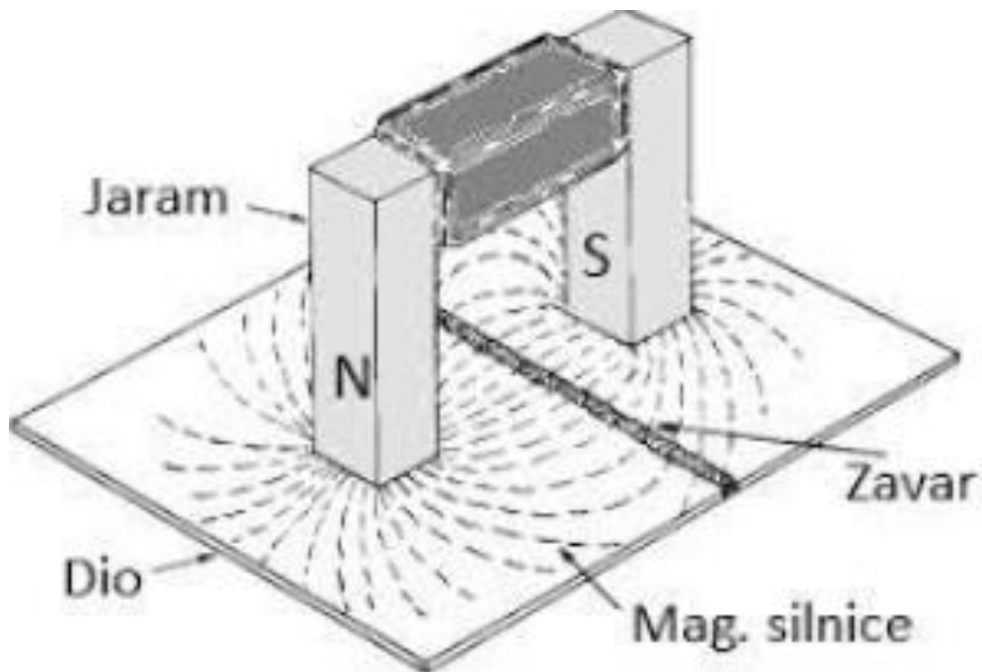
Ograničenja kod određenih materijala: Ultrazvuk može naići na poteškoće kod ispitivanja materijala visoke gustoće ili nepravilnih oblika zavara. U tim slučajevima, može biti potrebno koristiti druge metode ispitivanja za dodatnu procjenu kvalitete zavara.

Trošak opreme: Oprema za ultrazvučno ispitivanje zavara može biti skupa, što može predstavljati izazov za manje tvrtke ili projekte s ograničenim proračunom.

Unatoč tim nedostacima, ultrazvučno ispitivanje zavara ostaje jedna od najvažnijih i najpouzdanijih metoda za procjenu kvalitete zavarenih spojeva u različitim industrijskim sektorima.

### 3.6. Magnetsko ispitivanje

Magnetsko ispitivanje zavara je nerazarujuća metoda koja se koristi za otkrivanje nedostataka, pukotina i drugih defekata u zavarenim spojevima. Ova tehnika se temelji na primjeni magnetskog polja (Slika 39) na zavareni spoj i promatranju promjena u magnetskom polju koje se javljaju zbog prisutnosti defekata.



Slika 40. Prikaz rada magnetskog ispitivanja



Magnetsko ispitivanje zavara može se podijeliti na nekoliko faza:

**Priprema površine:** Površina zavarenog spoja mora biti temeljito očišćena kako bi se uklonile nečistoće, boje, masti i drugi materijali koji bi mogli ometati ispitivanje. Ova faza osigurava bolji kontakt magnetskog polja s površinom zavara.

**Postavljanje magnetskog polja:** Magnetsko polje se stvara pomoću magneta ili elektromagneta koji se postavljaju na ili blizu površine zavarenog spoja. Magnetsko polje mora biti ravnomjerno raspoređeno kako bi se osigurala pravilna detekcija defekata.

**Prisutnost defekata:** Magnetsko polje reagira na prisutnost defekata u zavarenom spoju. Ovi defekti mogu uzrokovati lokalne promjene magnetskog polja, kao što su koncentracija ili divergencija magnetskih silnica. Ove promjene se vizualiziraju pomoću feromagnetnog praha ili magnetskih senzora.

**Detekcija defekata:** Nakon stvaranja magnetskog polja i vizualizacije promjena, defekti se detektiraju i identificiraju. To može uključivati pregled magnetskim sensorima, pregled vizualiziranih područja i ocjenu veličine, oblika i ozbiljnosti defekata.

**Interpretacija rezultata:** Interpretacija rezultata magnetskog ispitivanja zavara zahtijeva stručnost i iskustvo. Operater mora procijeniti prirodu defekta, njegovu veličinu, položaj i ozbiljnost kako bi se donijele zaključke o kvaliteti zavara.

**Prednosti magnetskog ispitivanja zavara uključuju:**

**Visoka osjetljivost:** Magnetsko ispitivanje može otkriti čak i najmanje nedostatke u zavarenom spoju.

**Brza primjena:** Metoda je relativno brza i može se primijeniti na različite oblike i materijale zavarenih spojeva.

**Jednostavna primjena:** Magnetsko ispitivanje je relativno jednostavno i nije potrebno posebno obučavanje za osnovne primjene.

**Nedostaci magnetskog ispitivanja zavara uključuju:**

Ovisnost o magnetskom polju: Metoda se oslanja na stvaranje magnetskog polja, što može biti izazovno kod materijala s niskom magnetskom permeabilnošću.

Ograničenja u detekciji defekata: Magnetsko ispitivanje može imati ograničenu sposobnost detekcije određenih vrsta defekata, kao što su dubinski defekti ili defekti smješteni izvan magnetskog polja.

Priprema površine: Kvaliteta rezultata može biti ovisna o pripremi površine zavarenog spoja, uključujući uklanjanje nečistoća i premaza.

Magnetsko ispitivanje zavara je važna metoda koja se koristi u industriji za procjenu kvalitete zavarenih spojeva i osiguravanje sigurnosti i pouzdanosti konstrukcija

### **3.7. Ispitivanje udjela ferita u zavarenom strojnom dijelu ET.23-PL.24**

Ispitivanje udjela ferita u zavaru je postupak koji se koristi za određivanje količine feritne faze u metalnom zavaru. Ferit je jedna od dviju osnovnih faza u čeliku, uz austenit, i njegov udio može imati značajan utjecaj na svojstva zavara. Ovo ispitivanje obično se provodi na nehrđajućem čeliku, gdje je ferit posebno važan zbog svoje magnetske i korozione otpornosti.

Faze ispitivanja udjela ferita u zavaru mogu biti sljedeće:

Priprema uzoraka: Za ispitivanje se uzimaju reprezentativni uzorci zavarenog materijala. Uzorci se pripremaju prema određenim standardima, uključujući rezanje, brušenje i poliranje, kako bi se dobila ravna i glatka površina za ispitivanje.

Ispitivanje magnetnom metodom: Magnetna metoda se često koristi za određivanje udjela ferita u zavaru. Ova metoda koristi magnetsko polje za privlačenje feritne faze u materijalu. Magnetska sila koja se razvija prilikom privlačenja ferita može se izmjeriti pomoću posebnih uređaja, kao što su sonde s magnetskom mjerom ili mjerači magnetske indukcije.

Ispitivanje metalografskom metodom: Metalografska metoda uključuje pripremu uzoraka za mikroskopsku analizu. Uzorci se poliraju, napadaju kiselinama ili koriste posebne reagensi kako bi se razlikovala feritna faza od ostalih faza u materijalu. Nakon pripreme, uzorci se pregledavaju pod mikroskopom kako bi se odredio udio ferita.

Analiza rezultata: Nakon provedenih ispitivanja, rezultati se analiziraju i tumače. Udio ferita može se izraziti u postocima ili kao volumenski udio u zavaru. Ovi podaci mogu biti važni za procjenu mehaničkih svojstava materijala, korozione otpornosti i obradivosti.

## **Važnost ispitivanja udjela ferita u zavaru**

Ispitivanje udjela ferita u zavaru i čeliku važno je iz različitih razloga, posebno kada je riječ o čelicima koji će biti izloženi specifičnim uvjetima rada i okolišima. Ferit je jedna od dviju glavnih faza prisutnih u čeliku, druga je austenit, i njihov omjer može značajno utjecati na svojstva čelika. Evo nekoliko razloga zašto se ispituje udio ferita u zavaru i u nekim čelicima:

**Mehanička svojstva:** Udio ferita u čeliku može značajno utjecati na njegova mehanička svojstva kao što su čvrstoća, žilavost, i otpornost na zamor. Ferit i austenit imaju različite karakteristike u smislu čvrstoće i žilavosti, pa je važno znati njihov omjer kako bi se predvidjeli performanse materijala.

**Koroziona otpornost:** Udio ferita može utjecati na korozionu otpornost čelika. Određeni čelici s visokim udjelom ferita mogu biti otporniji na određene korozivne uvjete, dok drugi čelici s većim udjelom austenita mogu biti otporniji na druge oblike korozije. Ovisno o primjeni, želimo postići određeni udio ferita kako bismo poboljšali otpornost na koroziju.

**Otpornost na visoke temperature:** Udio ferita može utjecati na ponašanje čelika pri visokim temperaturama. Određeni čelici s visokim udjelom ferita mogu zadržati čvrstoću i stabilnost pri povišenim temperaturama.

**Obradivost:** Ferit i austenit imaju različite karakteristike obradivosti, što znači da će čelik s različitim omjerom ferita i austenita zahtijevati različite postupke obrade i toplinske obrade.

**Izbor materijala za specifične uvjete:** U industrijskim aplikacijama, često je potrebno odabrati čelik s određenim omjerom ferita i austenita kako bi se zadovoljili specifični zahtjevi okoline rada, kao što su temperatura, korozija i mehanička opterećenja.

**Kvaliteta zavara:** U zavarivanju, kontrola udjela ferita u zavaru može biti ključna za osiguravanje kvalitete zavara i povezanih performansi, uključujući čvrstoću i otpornost na koroziju.

## 4. Oprema za ispitivanje udjela ferita

Za ispitivanje udjela ferita u zavaru potrebna je određena oprema koja omogućuje precizno mjerenje i analizu materijala. Evo nekoliko ključnih komponenti opreme koje se koriste u tom postupku:

**Feritometar:** Ova vrsta uređaja koristi se za mjerenje magnetskog polja koje generira feritna faza u materijalu. To omogućuje kvantitativno određivanje udjela ferita. Magnetni mjerači obično imaju digitalni zaslon koji prikazuje izmjereni udio ferita.

**Ispitne sonde:** Uz feritometar najbitniji dio kod ispitivanja zavora. Sonda mora biti kalibrirana da bi imali što bolje i točnije rezultate ispitivanja.

**Mikroskop:** Mikroskop je esencijalni alat za metalografsku analizu uzoraka. Omogućuje detaljan pregled strukture materijala i identifikaciju feritne faze. Mikroskopi se koriste za promatranje uzoraka pod različitim povećanjima i mogu biti opremljeni dodatnom opremom poput digitalnih kamera za dokumentiranje rezultata.

**Metalografska oprema:** Za pripremu uzoraka za mikroskopsku analizu potrebna je određena metalografska oprema. To uključuje brusne papire, brusne kolutove i polirne materijale koji se koriste za brušenje i poliranje uzoraka. Također se koriste određene kiseline za napad na površinu uzorka i otkrivanje feritne faze.

**Aditivi i otopine:** Za kemijsku obradu uzoraka koriste se određeni aditivi i otopine. To mogu biti kiseline ili drugi specifični kemijski aditivi koji omogućuju razlikovanje feritne faze od ostalih faza u materijalu. Ove otopine se primjenjuju na površinu uzorka tijekom metalografske pripreme.

**Računalni softver:** Računalni softveri se često koriste za obradu i analizu rezultata ispitivanja udjela ferita. Oni omogućuju kvantitativno mjerenje udjela ferita na temelju dobivenih podataka. Također pružaju mogućnost generiranja izvješća i grafičkog prikaza rezultata.

Važno je napomenuti da oprema koja se koristi za ispitivanje udjela ferita može varirati ovisno o specifičnim zahtjevima i standardima u industriji. Također se preporučuje pridržavanje uputa proizvođača za sigurnu i točnu uporabu opreme.

## 4.1 Feritometar

Feritometar je specijalizirani uređaj (Slika 41) koji se koristi za mjerenje udjela ferita u metalnim materijalima, posebno u nehrđajućim čelicima. Udio ferita u metalu je važan faktor jer može značajno utjecati na mehanička svojstva, otpornost na koroziju i druge karakteristike materijala. Magnetni mjerač udjela ferita obično ima ergonomski oblik i kompaktnu veličinu, što ga čini prikladnim za terensku i laboratorijsku upotrebu. Uređaj ima magnetsku sondu koja se postavlja na površinu materijala, a zatim generira magnetsko polje kada se aktivira.



Slika 42. feritometar

## 4.2 Ispitne sonde

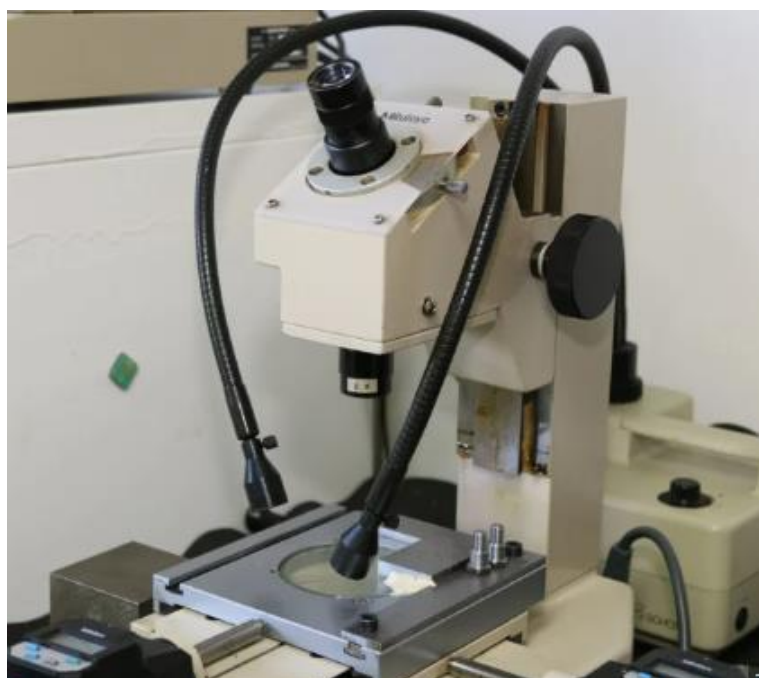
Ispitne sonde su specijalizirani senzori (Slika 43) koje se koriste skupa sa feritometrom. Postoji različite vrste sondi u ovisnosti o primjeni i obliku površine. Sonda se postavlja na površinu uzorka tijekom mjerenja da bi se omogućila detekcija i analiza ferita. Precizno postavljanje i kalibracija sondi osiguravaju točne rezultate, što je od velike važnosti za osiguranje kvalitete zavarenih spojeva.



*Slika 44. ispitna sonda*

### **4.3 Mikroskop**

Mikroskop je ključan alat prilikom ispitivanja udjela ferita u zavaru jer omogućuje detaljnu vizualnu analizu strukture materijala. Ovaj instrument(Slika 45) pruža mogućnost povećanja uzoraka i pregleda njihovih mikroskopskih detalja, što je ključno za određivanje prisutnosti i udjela feritne faze.



*Slika 46. mikroskop*

Evo nekoliko važnosti mikroskopa u ispitivanju udjela ferita:

Identifikacija feritne faze: Feritna faza u zavarenom spoju može se vizualno razlikovati od ostalih faza poput austenita ili drugih struktura. Mikroskop omogućuje precizno identificiranje feritne faze temeljem njene karakteristične morfologije i rasporeda kristalnih zrna.

Kvantitativna analiza udjela ferita: Mikroskopija omogućuje procjenu udjela ferita putem kvantitativne analize. Uzorci se pregledavaju pod mikroskopom pri odgovarajućem povećanju, a zatim se koristi poseban softver ili postupak za kvantitativno određivanje udjela feritne faze na temelju njene površinske površine u odnosu na ukupnu površinu uzorka.

Detaljna karakterizacija mikrostrukture: Mikroskopija omogućuje detaljnu karakterizaciju mikrostrukture materijala, uključujući veličinu, oblik i raspored feritne faze. To može biti korisno za proučavanje utjecaja ferita na mehanička svojstva materijala i razumijevanje ponašanja zavara pod različitim uvjetima.

Detekcija mikrostrukturnih nepravilnosti: Mikroskopija omogućuje otkrivanje mikrostrukturnih nepravilnosti ili defekata poput feritnih inkluzija, nehomogenosti raspodjele ferita ili mikrofaza. To je važno za procjenu kvalitete zavara i identifikaciju potencijalnih područja slabosti ili nedostataka.

Dokumentiranje rezultata: Mikroskopija omogućuje snimanje slika i dokumentiranje rezultata ispitivanja. Ove slike mogu biti korisne za izradu izvješća, analizu trendova, usporedbu s referentnim slikama ili pružanje vizualne evidencije za buduće potrebe ili pregled.

Mikroskop je, stoga, ključan alat koji omogućuje detaljnu analizu mikrostrukture materijala i određivanje udjela ferita u zavaru. Precizna vizualna karakterizacija omogućuje kvalitetnije ispitivanje materijala i donošenje informiranih odluka.

#### 4.4 Metalografska oprema

Metalografska oprema igra važnu ulogu u ispitivanju udjela ferita u zavaru. Ona omogućuje pripremu uzoraka i njihovu mikroskopsku analizu, što je ključno za preciznu karakterizaciju feritne faze. Metalografska oprema uključuje brusne materijale i polirne alate (Slika 47) za pripremu površine uzoraka, kemijske otopine za napadavanje površine i poboljšanje vidljivosti mikrostrukturnih detalja, metalografske mikroskope za vizualnu analizu uzoraka, te kamere i softvere za slikanje i analizu slika. Ova oprema osigurava točnost, pouzdanost i dokumentaciju rezultata, pružajući temelj za donošenje informiranih odluka u pogledu kvalitete zavara i mehaničkih svojstava materijala.



Slika 48. Polirni uređaj

#### 4.5 Aditivi i otopine

Kod ispitivanja udjela ferita u zavaru, često se koriste aditivi i otopine koji pomažu u pripremi uzoraka i olakšavaju detekciju feritne faze. Evo nekoliko primjera aditiva i otopina koji se koriste:

Etchants (otopine za napadavanje): Etchants se koriste za selektivno napadavanje površine uzorka kako bi se poboljšala vidljivost feritne faze. Različite vrste etchant (Slika 49) koriste se ovisno o materijalu koji se ispituje. Na primjer, Nital etchant, koji je mješavina dušične kiseline i etanola, često se koristi za čelike radi otkrivanja feritne faze.





*Slika 50. otopine*

Developeri (razvijači): Developeri se koriste nakon primjene penetranta kako bi se poboljšala vidljivost površinskih indikatora. Oni pomažu u izvlačenju penetranta iz pukotina i otkrivanju prisutnih indikatora. Developeri mogu biti u obliku spreja ili tekućine i često se temelje na prahu, kao što je talk.

Sprejevi za fiksiranje: Sprejevi za fiksiranje koriste se nakon primjene penetranta i developera kako bi se fiksirali rezultati ispitivanja. Oni sprječavaju premještanje penetranta i indikatora tijekom daljnje obrade uzorka. Sprejevi za fiksiranje često su bazirani na alkoholu i koriste se kao aerosoli.

Koloranti: Koloranti su aditivi koji se dodaju penetrantima kako bi se postigla bolja vidljivost i kontrast pri detekciji površinskih nedostataka. Oni mogu sadržavati različite pigmente koji se aktiviraju i oboje penetrant u svjetlijim bojama, čime olakšavaju vizualnu identifikaciju indikatora.

#### **4.6 Računalni softver**

Računalni softver ima ključnu ulogu u procesu ispitivanja udjela ferita u zavaru. Ovi sofisticirani programi pružaju napredne mogućnosti analize i obrade podataka, što omogućuje precizniju i efikasniju procjenu udjela ferita.

Jedna od glavnih uloga računalnog softvera je obrada slika. Softveri za obradu slika koriste se za analizu mikroskopskih slika uzoraka, automatsko prepoznavanje i segmentaciju feritne faze te

izračunavanje udjela ferita u odnosu na ukupnu površinu uzorka. Ovi alati olakšavaju kvantitativno mjerenje i vizualizaciju rezultata.

Statistički softveri također su važni u ispitivanju udjela ferita. Oni omogućuju statističku analizu podataka dobivenih ispitivanjem, izračunavanje srednje vrijednosti, standardne devijacije, raspodjele udjela ferita te provođenje statističkih testova. Ovi alati pomažu u procjeni pouzdanosti rezultata i provjeri hipoteza.

Pored toga, računalni softver omogućuje organizaciju i pohranu podataka u baze podataka. Ovi softveri olakšavaju pretraživanje, usporedbu i analizu podataka iz različitih uzoraka ili serija ispitivanja. Također omogućuju praćenje uzoraka, rezultata ispitivanja i parametara te pružaju cjelovit pregled podataka.

Dodatno, modeliranje softvera omogućuje numeričko modeliranje i simulaciju procesa ispitivanja udjela ferita. Ovi alati omogućuju predviđanje ponašanja materijala, interpretaciju rezultata ispitivanja te optimizaciju postupaka i parametara ispitivanja. Modeliranje softvera pruža dublje razumijevanje fenomena i pomaže u donošenju informiranih odluka.

Kombinacija svih ovih računalnih alata i softvera pruža značajne prednosti u ispitivanju udjela ferita u zavaru. Oni omogućuju precizniju analizu rezultata, bržu obradu podataka te olakšavaju tumačenje i donošenje informiranih odluka vezanih uz kvalitetu zavara

## 5 Postupak ispitivanja

Zadatak je bio ispitati udio ferita u zavaru. Dobili smo dio cijevi (Slika 51) kod koje smo imali određeni zavar kojeg smo morali po cijeloj dužini ispitati. Ispitivanje je izvršeno na tehničkom fakultetu u Rijeci na Zavodu za materijale. Dobio sam uređaj sa svom pripadajućom opremom i naravno upute za korištenje. Uz pomoć mentora i par savjeta sam uspio ispitati udio ferita u zavaru.



*Slika 52. Ispitni dio ET.23-PL.24*

Nakon pročitanih i usvojenih uputa za korištenje, dobio sam taj dio koji sam morao ispitati. Prvo sam taj dio malo očistio da nebi bilo nekih čestica koje tu nebi trebale bit. Zatim prije početka mjerenja sam kalibrirao uređaj(Slika 53). Imao sam standardne referentne uzoke(Slika 54) pomoću kojih sam provjerio ispravnost uređaja.

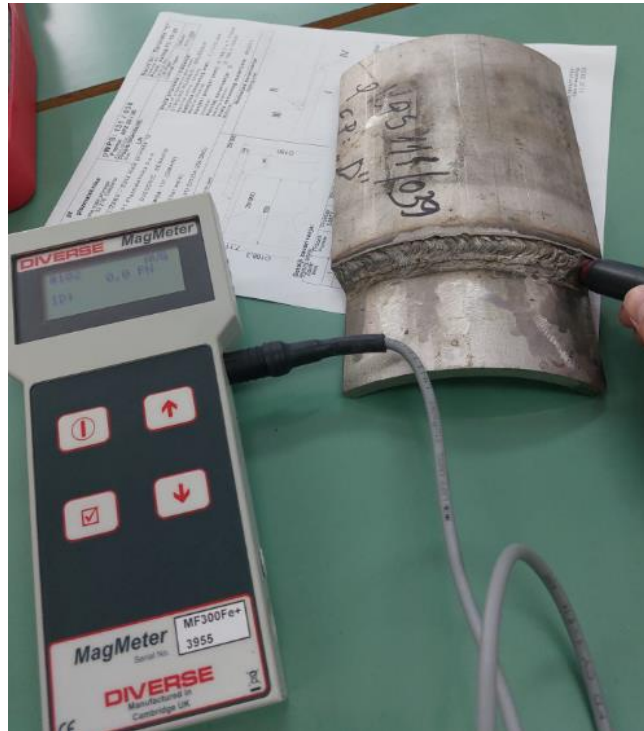


Slika 55. standardni referentni uzorci



Slika 56. kalibracija feritometra

Zatim sam uzeo feritometar spojio sa odgovarajućom sondom. Nakon pripreme uzorka, ispitnu sondu sam stavio na površinu uzorka(Slika 57).Sonda se treba pravilo pozicionirati na mjesto koje se želi ispitati.



Slika 58. ispitivanje zavora pomoću feritometra i sonde

Nakon postavljanja sonde se može početi s mjerenjem. Feritometar uređaj za mjerenje, generira elektromagnetsko polje koje prolazi kroz uzorak i pokazuje količinu ferita. U našem slučaju duž cijelog zavora nije smjelo biti ferita. Tako sam temeljito onda ispitivao zavar duž cijelog dijela, zatim sam okrenuo ispitni dio te sam također s unutrašnje strane isto ispitao. To ispitivanje je trajalo nekih 15 minuta i stvarno nigdje nisam našao ferita u zavaru. Feritometar je digitalni i na ekranu nam se prikazuje udio ferita u postocima. Kod nas nije ga bilo što znači da je zavar točno onakav kakav treba biti.

Nakon mjerenja se preporučuje i vizualna provjera pomoću mikroskopa kako bismo potvrdili rezultate.

## **6 Rezultati ispitivanja**

Najvažnija stvar u ispitivanju je bio postotak ferita u zavaru. U našem slučaju je zavar točno kakav treba biti, što znači da je u potpunosti ispravan. U našem slučaju da su rezultati ispitivanja pokazivali drugačije značilo bi da je zavar neispravan i da mora ić na ponovno zavarivanje. Redovito ispitivanje je bitno jer prati promjene u materijalima i otkrivanje problema u ranim fazama kako bi se izbjegli ozbiljni nedostaci.

Rezultate ispitivanja treba pažljivo dokumentirati kako bi se osigurala dosljednost i pravilna evidencija. Ova dokumentacija često služi kao dokaz usklađenosti s tehničkim specifikacijama i standardima.

U konačnici, rezultati ispitivanja udjela ferita davaju ključne podatke o kvaliteti i svojstvima zavarenog spoja te pomažu u osiguranju da je zavar odnosno funkcija zavara ispravna, što u našem slučaju znači da zavar je ispravan za svoju predviđenu primjenu.

## 6.ZAKLJUČAK

Ispitivanje udjela ferita u zavaru je ključan postupak u kontroliranju kvalitete zavarenih spojeva, naročito kod nehrđajućih čelika i drugih metalnih materijala. Ovaj proces pruža duboke uvide u svojstva materijala i omogućuje stručnjacima da donose informirane odluke o proizvodnji i osiguranju kvalitete.

Ispitivanje udjela ferita omogućava procjenu kvalitete zavarenih spojeva. Visoki udio ferita obično ukazuje na bolju otpornost na koroziju, dok niski udio ferita može ukazivati na bolje mehaničke svojstva. Stoga se ovim ispitivanjem osigurava da zavareni spojevi ispunjavaju potrebne tehničke specifikacije i standarde.

Interpretacija rezultata ispitivanja treba se provoditi u skladu s relevantnim tehničkim specifikacijama i standardima. Različite industrije i sektori mogu imati različite zahtjeve za udjelom ferita u zavaru, pa je važno pridržavati se tih smjernica.

Ako rezultati ispitivanja pokažu da je udio ferita izvan željenog raspona, mogu biti potrebni korektivni postupci. To može uključivati ponovno zavarivanje, termičku obradu ili druge mjere kako bi se postigao željeni udio ferita.

Redovito ispitivanje udjela ferita u zavaru igra ključnu ulogu u kontroliranju kvalitete u proizvodnji. Praćenje promjena u materijalima omogućava identifikaciju problema u ranim fazama, što pomaže u sprječavanju ozbiljnih nedostataka i poboljšanju kvalitete proizvoda.

Udio ferita ima značajan utjecaj na otpornost na koroziju i mehanička svojstva materijala. Stoga je ispitivanje udjela ferita ključno za osiguranje sigurnosti i trajnosti metalnih komponenti, posebno u industrijskim sektorima gdje je to od kritične važnosti.

U zaključku, ispitivanje udjela ferita u zavaru je nezamjenjiv alat u osiguravanju kvalitete i sigurnosti metalnih materijala i zavarenih spojeva. Redovito provođenje ovog ispitivanja pomaže u sprječavanju problema i nedostataka te pridonosi izradi visokokvalitetnih proizvoda koji su izdržljivi i pouzdani za svoju predviđenu primjenu.

## 7. POPIS SLIKA

Slika 1 MMA zavarivanje .....	2
Slika 2 TIG zavarivanje.....	3
Slika 3 MIG zavarivanje .....	3
Slika 4 Plamenik za zavarivanje.....	4
Slika 5 Plazma zavarivanje .....	5
Slika 6 Zavarivanje trenjem .....	5
Slika 7 Elektrosko zavarivanje .....	6
Slika 8 valovita strukutra nakon eksplozijskog zavarivanja .....	7
Slika 9.1 Fe-Fe <sub>3</sub> C dijagram .....	
Slika 10 Penetrantno ispitivanje.....	8
Slika 11 radiografsko ispitivanje.....	9
Slika 12 Ultrazvučni mjerač debljine .....	9
Slika 13 Ultrazvučno ispitivanje .....	10
Slika 14 Vizualna kontrola.....	11
Slika 15. Prirema površine .....	13
Slika 16. Nanošenje penetranta .....	13
Slika 17. Višak penetranta.....	14
Slika 18. nanošenje razvijaa .....	14
Slika 19. postupak nanošenja penetranta.....	15
Slika 20. Izgled zavara kod ispitivanja pomoću penetranta .....	17
Slika 21. primjer rada radiografske kontrole.....	21
Slika 22.Schema rada ultrazvučnog ispitivanja .....	23
Slika 23.Prikaz rada magnetskog ispitivanja.....	25
Slika 24. feritometar.....	30
Slika 25. ispitna sonda.....	31
Slika 26. mikroskop.....	31
Slika 27.Polirni uređaj.....	33
Slika 28. otopine.....	34
Slika 29. Ispitni dio ET.23-PL.24 .....	36
Slika 30. standardni referentni uzorci .....	37
Slika 31. kalibracija feritometra .....	37
Slika 32. ispitivanje zavara pomoću feritometra i sonde .....	38



## 7 POPIS LITERATURE

[1] John C. Lippold and Damian J. Kotecki: "Welding Metallurgy and Weldability of Stainless Steels"

[2] <https://dd-ekspert.hr/nerazorna-ispitivanja-ndt>

[3] Robert Heidersbach. : "Metallurgy and Corrosion Control in Oil and Gas Production

[4] P. Maropoulos and G. Shaw (Welding Journal, 2002): "Ferrite Measurement Using the Magnetic Saturation Technique"

[5] Božidar Liščić i Janko Juretić : "Metalurgija - svojstva, struktura, obrada i primjena materijala"

[6]: Ivo Alilović : "Zavarivanje - osnovni postupci, materijali i ispitivanje"

[7]: Gabrić, I., Šitić : Materijali II. Split, Sveučilište u Splitu, Sveučilišni odjel za stručne studije.

## **SAŽETAK**

U ovom završnom radu sam prošao naprije kroz neki uvod i sve načine ispitivanja zavara. Zatim sam svaku tu metodu pokušao što je bolje dočarat i naveo prednosti i nedostatke za svaku navedenu. Prošli smo malo detaljnije kroz ispitivanje zavara pomoću penetranta i opisao malo potrebnu opremu. Najviše sam se bazirao na ispitivanje udjela ferita u zavaru. Tu sam prošao detaljno kroz opis same metode do svih dijelova i opreme potrebne za to ispitivanje. Na kraju sam obavio ispitivanje samog tog postupka i kroz ispitivanje došao kroz rezultata.

**KLJUČNE RIJEČI:** ferit, austenit, zavar, ispitivanje zavara, obrada

## **ABSTRACT**

In this final paper, I first went through some introduction and all methods of welding testing. Then I tried to portray each of these methods as best as possible and listed the advantages and disadvantages for each of them. I was mostly based on testing the proportion of ferrite in the weld.

There I went through a detailed description of the method itself to all parts and equipment needed for that test. Finally, I performed a test of the procedure itself and came to the results through the test.

**KEY WORDS:** ferrite, austenite, weld, welding, treatment