

Ispitivanje zavarenih spojeva metodama bez razaranja

Sedlaček, Marijan

Undergraduate thesis / Završni rad

2017

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Karlovac University of Applied Sciences / Veleučilište u Karlovcu**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:128:388156>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-18**



VELEUČILIŠTE U KARLOVCU
Karlovac University of Applied Sciences

Repository / Repozitorij:

[Repository of Karlovac University of Applied Sciences - Institutional Repository](#)



zir.nsk.hr



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

**VELEUČILIŠTE U KARLOVCU
STROJARSKI ODJEL
PROIZVODNO STROJARSTVO**

MARIJAN SEDLAČEK

**ISPITIVANJE ZAVARENIH SPOJEVA
METODAMA BEZ RAZARANJA**

ZAVRŠNI RAD

Mentor:

Predavač:

Tihana Kostadin, mag. ing.stroj.

KARLOVAC, 2017.



VELEUČILIŠTE U KARLOVCU

Stručni / specijalistički studij: ...STROJARSTVO.....
(označiti)

Usmjerenje: ...PROIZVODNO STROJARSTVO.....Karlovac, ...15.02.2017.....

ZADATAK ZAVRŠNOG RADA

Student: MARIJAN SEDLAČEK..... Matični broj: 0110613073

Naslov:ISPITIVANJE ZAVARENIH SPOJEVA METODAMA BEZ RAZARANJA.....

.....
Opis zadatka:

U završnom radu nakon uvoda, opisati metode kontrole bez razaranja, sa posebnim naglaskom na postupak penetrantske kontrole ispitivanja materijala. Također teorijski obraditi zavarene spojeve. Nakon postavke zadatka, u eksperimentalnom dijelu, opisati postupak provođenja ispitivanja zavarenog spoja penetrantskom kontrolom, na konkretnom primjeru. Na kraju napraviti analizu rezultata i zaključak.

Zadatak zadan:

....15.02.2017.....

Rok predaje rada:

....08.03.2017.....

Predviđeni datum obrane:

....15.03.2017.....

Mentor:

Predsjednik Ispitnog povjerenstva:

IZJAVA:

Izjavljujem da sam ja – student Marijan Sedlaček, OIB: 45084193822 , matični broj: 0110613073, upisan kao apsolvent akademske godine 2016./2017., radio ovaj rad samostalno, koristeći se znanjem stečenim tijekom obrazovanja, te uz stručnu pomoć i vođenje mentorice Tihane Kostadin, mag.ing.stroj. i kod eksperimentalnog dijela u tvrtci Turbomehanika d.o.o pod vodstvom g. Bojana Benčića, dipl.ing.str. kojima se ovim putem zahvaljujem.

Marijan Sedlaček

Karlovac, 02.03.2017

SAŽETAK:

Kontrola zavarenih spojeva izrazito je bitna, jer su zavareni spojevi u vrlo širokoj uporabi u strojarstvu. Baš iz tih razloga, bitno je da zavar bude ispravan i da zadovoljava sve uvjete koje korisnici očekuju. Naravno, ništa nije idealno, tako ni zavareni spojevi, no bitno je ako postoje greške da se pronađu prije izlaska proizvoda u uporabu, pa se stoga provode ispitivanja u svrhu sprječavanja neželjenih pucanja zavara, ili slično. Zavareni spojevi mogu se ispitivati razornim (DT) i nerazornim metodama (NDT). U ovome završnome radu radit će se analiza ispitivanja zavarenih spojeva nerazornim metodama (NDT).

NDT (Non – destructive testing) metode vrlo su cijenjene pošto imaju vrlo široku uporabu u praksi, za razne vrste površinskih i podpovršinskih grešaka, a uz to ne oštećuju ispitivani proizvod ili poluproizvod, odnosno, uporabom NDT metoda ispitivanjem se ne utječe na funkcionalnost ispitivanog objekta. Nerazorne metode (NDT) imaju još i naziv DEFEKTOSKOPIJA.

Metodama bez razaranja proizvod se može pratiti od sirovine preko poluproizvoda, pa do konačnog gotovog proizvoda. Ispitivanja bez razaranja (defektoskopska ispitivanja) obično se provode s minimalno dvije NDT metode uz nadopunu ispitivanja s razaranjem ovisno o proizvodu koji se ispituje i karakteristikama koje je potrebno ispitati.

Nerazorna ispitivanja provode se uz mnogo metoda. Metoda se odabire prema vrsti ispitivanog objekta, greški koju tražimo ili opremi za izvođenje ispitivanja. Ispitivanje zavarenih spojeva provodi se: Vizualnom metodom (VT), Magnetskom kontrolom (MT), Ultrazvučnom kontrolom (UT), Radiografskom kontrolom (RT) i Penetrantskom kontrolom (PT) koja je glavni predmet razmatranja ovog rada.

Penetrantska kontrola (Penetrant testing) je jedna od ranih metoda kontrole bez razaranja i na svoj način je nastavak vizualne kontrole, jer se pogreške detektiraju golim okom ili uz pomoć mikroskopa. Penetrantska kontrola ima vrlo široku uporabu u praksi radi velikih mogućnosti i relativno niske cijene provođenja ispitivanja. Eksperimentalni dio ovoga rada opisuje provođenje ispitivanja zavarenog spoja penetrantskom kontrolom. Eksperimentalni dio obuhvaća pripremu ispitivanja, postupak ispitivanja, detektiranje grešaka, analizu i zaključak.

Ključne riječi: Ispitivanja bez razaranja, Defektoskopija, Penetrantska kontrola.

Testing welded joints with non-destructive methods

SUMMARY:

Control of the welded compounds is pronouncedly substantially territory of technology because of the widespread use of welded compounds in engineering. For that reason, it is substantially that compound is correct and that satisfies all conditions users are expecting. Of course, nothing is perfect, neither are welded compounds, but it is substantially to notice defects, if there are, before using products, therefore conducting tests are necessary in order to prevent unwanted weld cracking or similar. Welded compounds can be tested with destructive and non-destructive methods. In this final work will be made analysis tests of the welded compounds with non-destructive methods.

Non – destructive methods are very appreciated because of their widespread use in praxis, for various kinds of surface and subsurface defects, and besides that they do not damage tested product or semi product, actually, with using NDT methods of testing it is not affecting on functionality of the tested object. Non-destructive methods (NDT) are also named defectoscopy.

NDT methods can follow the product of raw material through semi product, and to final product. Testing without destructing (defectoscopic testing) are usually conducting with two NDT methods minimal, with supplement of one destructing test depending on product to be tested and characteristics that are required to be tested.

Non-destructing testing are conducting with plenty of methods. Method is selected according to type of tested objects, defects we are looking for or equipment for conducting tests. Testing of welded compounds is conducting with: Visual method (VT), Magnetic control (MT), Ultrasonically control (UT), Radiographic control (RT) and Penetrant control (PT) which is the main case of consideration of this work.

Penetrant testing (PT) is one of the early methods of control without destructing and on its way it is the extension od visual control because defects are detected by eye, with microscope or similar. PT has very wide using in praxis because of many possibilities and relatively low cost of test conducting.

Experimental part of this work describes test conducting of welded compound by penetrant control (PT). Experimental part includes test preparation, test procedure, defect detecting, analysis and conclusion.

Key words: Non - destructive methods, Defectoscopy, Penetrant testing.

SADRŽAJ:

POPIS SLIKA:	III
POPIS OZNAKA:	IV
POPIS PRILOGA:	V
1 UVOD.....	1
2 OPĆI DIO (TEORIJSKI)	2
2.1 Općenito o metodama bez razaranja	2
2.2 Povijest kontrole bez razaranja	3
2.3 Općenito o zavarenim spojevima	4
2.3.1 Definicija zavarenog spoja.....	4
2.3.2 Postupci zavarivanja	4
2.3.3 Kontrola i ispitivanje zavarenog spoja	9
2.4 Podjela nerazornih metoda ispitivanja zavarenih spojeva	10
2.4.1 Vizualna kontrola (VT)	10
2.4.2 Magnetska kontrola (MT).....	13
2.4.3 Ultrazvučna kontrola (UT)	16
2.4.4 Akustična kontrola (AT).....	22
2.4.5 Vakuum kontrola	23
2.5 Ispitivanje zavarenih spojeva penetrantskom kontrolom.....	23
2.5.1 Općenito o penetrantskoj kontroli.....	23
2.5.2 Postupak provođenja penetrantske kontrole	25
2.5.3 Tipovi penetranta	26
2.5.4 Prednosti i nedostaci penetrantske kontrole.....	28
3 POSTAVKA ZADATKA	29
4 EKSPERIMENTALNI DIO	30
4.1 Priprema za ispitivanje	30
4.2 Postupak provođenja ispitivanja	31
4.2.1 Čišćenje površine.....	31
4.2.2 Nanošenje penetranta	31
4.2.3 Uklanjanje viška penetranta i nanošenje razvijača	33

4.2.4	Detektiranje penetrantskih indikacija	34
4.2.5	Čišćenje površine od razvijača.....	34
4.3	Rezultati ispitivanja.....	35
4.4	Analiza rezultata	36
5	ZAKLJUČAK	38
	LITERATURA:.....	39
	PRILOZI	

POPIS SLIKA:

Slika 1. 1895." Oldham Boiler Works Co." [3]	3
Slika 2. Shematski prikaz REL postupka zavarivanja [10]	5
Slika 3. Shematski prikaz procesa i uređaja za TIG zavarivanje [10]	6
Slika 4. Prikaz procesa MAG/MIG zavarivanja [10]	7
Slika 5. Shematski prikaz EPP zavarivanja [10]	9
Slika 6. Vizualna kontrola uz pomoć Boreskopa [9]	11
Slika 7. Moderna vizualna kontrola fiberoskopom [3]	11
Slika 8. Pukotina otkrivena vizualnom kontrolom [11]	12
Slika 9. Pore otkrivene vizualnom kontrolom [11]	12
Slika 10. Pregled zavarenog spoja Vizualnom kontrolom [11]	12
Slika 11. Pregled zavarenog spoja Vizualnom kontrolom [11]	13
Slika 12. Ispitivanje magnetskim česticama [3]	14
Slika 13. Indikacija pukotine primjenom magnetskih čestica [3]	14
Slika 14. Indikacija pukotine primjenom magnetskih čestica [3]	15
Slika 15. Indikacija pukotine primjenom magnetskih čestica [11]	15
Slika 16. Ultrazvučno ispitivanje [3]	16
Slika 17. Ispitivanje vratila Ultrazvukom [4]	17
Slika 18. Ultrazvučna kontrola zavarenog spoja [4]	18
Slika 19. Ultrazvučna kontrola zavarenog spoja [2]	18
Slika 20. Princip rada radiografske kontrole [5]	20
Slika 21. Rezultat radiografske kontrole zavarenog spoja [5]	21
Slika 22. Gamagrafski snimak tereta [5]	22
Slika 23. Ispitivanje akustičnom kontrolom [2]	22
Slika 24. Ispitivanje akustičnom kontrolom [2]	23
Slika 25. Prikaz PT [7]	24
Slika 26. Prikaz kapilarnog učinka [11]	24
Slika 27. Penetrantska indikacija obojenog penetranta [8]	27
Slika 28. Penetrantska indikacija fluorescentnog penetranta [7]	27
Slika 29. Oprema za provođenje ispitivanja	30
Slika 30. Čista površina pripremljena za nanošenje penetranta	31
Slika 31. Prikaz nanešenog penetranta na površinu zavara	32
Slika 32. Uvećani prikaz nanešenog penetranta na površinu zavara	32
Slika 33. Stvaranje penetrantskih indikacija	33
Slika 34. Detektiranje penetrantskih indikacija	34
Slika 35. Uočene greške – grupa pora	35
Slika 36. Računalni prikaz grešaka - pora	36

POPIS OZNAKA:

OZNAKA

NDT

DT

VT

MT

UT

RT

AT

VT

PT

ZNAČENJE

Non- Destructive Testing

Destructive Testing

Visual Testing

Magnetic Testing

Ultrasonic Testing

Radiography Testing

Acoustic Testing

Vacuum Testing

Penetrant Testing

POPIS PRILOGA:

1. Izveštaj o ispitivanju penetrantima

1 UVOD

Tehnologija u današnje vrijeme ubrzano napreduje i konstantno dolazi do noviteta u raznim granama industrije. Naime, tehnologiju je potrebno kontrolirati, jer svima je cilj da strojevi izrađuju proizvode pouzdano, sigurno i na kraju kvalitetno.

Kvaliteta je karakteristika koja je povezana s prisutnošću grešaka, nedostataka koji su nastali ili tijekom proizvodnje, ili nakon izlaska proizvoda u uporabu. Svima je prvenstveno bitno da je proizvod siguran, ali je poznato da su greške svuda prisutne, te ih je potrebno smanjiti na minimum, odnosno, otkloniti.

Da bi se greške smanjile, odnosno otklonile, potrebno je provoditi kontrole i vršiti ispitivanja u raznim segmentima proizvodnje. U ovom slučaju, ispitivanje zavarenih spojeva treba provoditi organizirano i dosljedno uz ispitivanja na početku, tijekom i na kraju procesa zavarivanja.

U ovome završnome radu predmet razmatranja je jedna metoda bez razaranja, Penetrantska kontrola, koja slijedi nakon kratkog uvida u NDT metode kojima je moguće vršiti ispitivanje zavarenih spojeva.

2 OPĆI DIO (TEORIJSKI)

2.1 Općenito o metodama bez razaranja

Kontrola bez razaranja ili ispitivanje materijala bez razaranja (eng. Nondestructive testing ili Non-destructive testing – NDT) je multidisciplinarno područje s problematikom rješavanja principa, metoda i sredstava pronalaženja, mjerenja i procjene utjecaja diskontinuiteta ili grešaka u materijalu, poluproizvodu i proizvodu na kvalitetu, a da se pri povodaenju ispitivanja kontrole ne utječe na mogućnost funkcioniranja ispitivanog objekta. [1]

Testiranje se provodi s ciljem lociranja i karakterizacije stanja materijala i eventualnih grešaka, te se sprječavaju opasne pojave kao što su pucanje rezervoara, curenje kemikalija, eksplozija, pucanja, te razne druge pojave.

Neke tehnike NDT-a vrlo su slične onima koje se primjenjuju u proizvodnji i uporabi medicinske opreme, samo što se u ovom slučaju ispitivanja provode na neživim objektima. Metoda omogućava uvođenje novih materijala i tehnoloških procesa u cilju postizanja jeftinijeg i sigurnijeg proizvoda.[2]

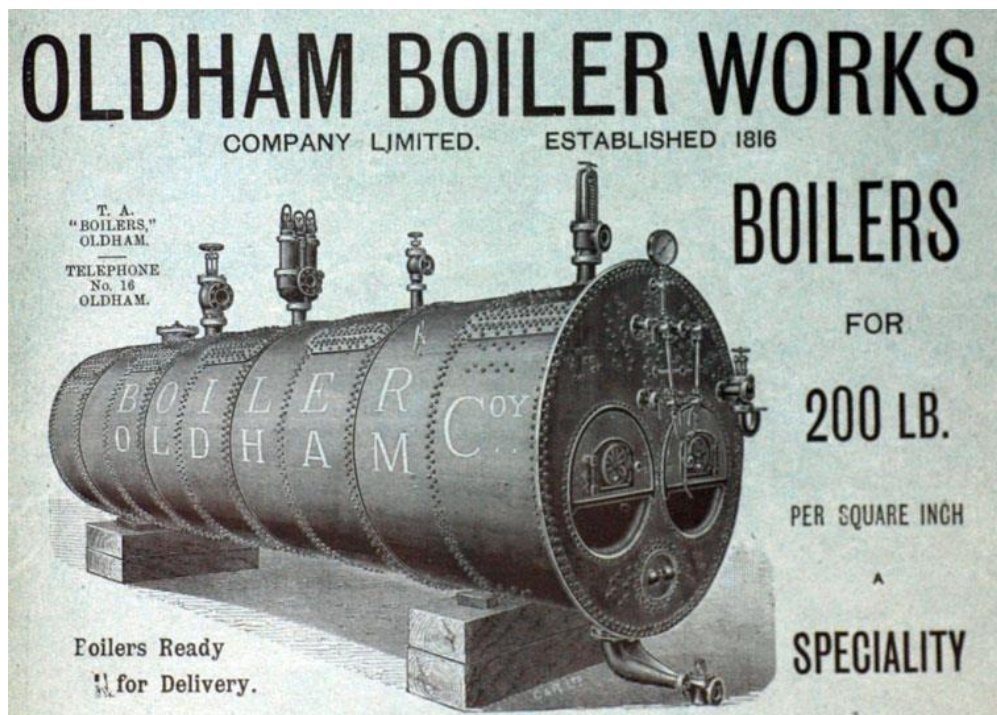
2.2 Povijest kontrole bez razaranja

Prvi koraci u kontroli bez razaranja nastali su davne 1857.godine u Connecticutu kada se skupina od 12 ljudi udružila i osnovala politehnički klub (Polytechnic Club) koji je radio na proučavanju kotlova. Naime, klub je osnovan iz razloga što je u ožujku 1854. godine u tvrtki „Fales and Gray Cars Works“ eksplodirao kotao. Unatoč tome što je tvrtka imala dobru reputaciju, visoke faktore sigurnosti, nove materijale, poginula je 21 osoba a 50 je ranjeno iz razloga što je eksploziju uzrokovao preveliki pritisak pare. [3]

1864. godine u Connecticutu je izglasan prvi zakon o pregledu kotlova koji je ponudio smjernice za pregled i stavljao izvan upotrebe kotlove koji nisu zadovoljili na pregledu. Prijedlog je bio: certifikacija zaposlenika, kontrola sigurnosti, izoliranje lokacije, te izrada propisa o minimalnoj sigurnost.[3]

Ovi događaji bili su jedan od razloga za pokretanje i razvijanje postupaka kontrole bez razaranja. U cijelom tom procesu nastale su i razvile se brojne metode koje daju doprinos u osiguranju i kontroli mnogih današnjih proizvoda.

Slika 1. Ilustrira tvrtku “Oldham Boiler Works” koja je imala veliki napredak kroz povijest u razvoju metoda pregleda kotlova.



Slika 1. 1895." Oldham Boiler Works Co." [3]

2.3 Općenito o zavarenim spojevima

2.3.1 Definicija zavarenog spoja

Zavarivanje je spajanje dvaju ili više dijelova, uz dodavanje ili bez dodavanja dodatnog materijala na takav način da spoj ima kontinuitet i što jednoličnija svojstva.

Zavarivanje je spajanje materijala, čvrstih, omekšanih ili rastaljenih na mjestu spajanja pomoću različitih oblika energije uz pomoć pritiska ili bez njega.

Zavareni spoj je cjelina ostvorena zavarivanjem koja obuhvaća dodirne dijelove zavarenih komada. Zavareni spoj je karakterističan međusobnim položajem zavarenih dijelova i po potrebi oblikom njihovih zavarenih krajeva.

2.3.2 Postupci zavarivanja

2.3.2.1 REL zavarivanje

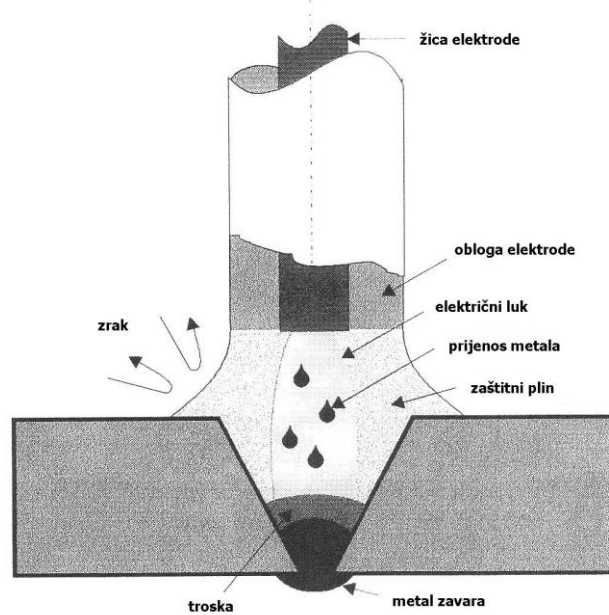
Ručno elektrolučno zavarivanje (REL) je postupak zavarivanja taljenjem s pomoću električnog luka i metalne obložene elektrode. Električna energija dolazi iz izvora struje

(transformator, ispravljač, inventar), prolazi kroz provodnik i stezaljku na radni komad koji se zavaruje, te kroz drugi provodnik na držač elektrode, elektrodu i električni luk koji zatvara strujni krug. U električnom luku se električna energija pretvara u toplinsku, koja tali metal elektrode, oblogu elektrode i metal komada na mjestu zavarivanja. Od obloge se stvaraju dimni plinovi kao i sloj troske kao zaštita taline metala.

Ručno elektrolučno zavarivanje primjenjuje se za zavarivanje i navarivanje svih metala i legura koje su sposobne za zavarivanje taljenjem, uz odgovarajući materijal i odgovarajuću vrstu struje. Oprema spada u jeftiniju, a postupak je prilagodljiv svim položajima zavarivanja i svim oblicima i dimenzijama radnih komada.

Nedostaci REL-a su u tome što spada među sporije postupke što mu smanjuje produktivnost, zavarivač jako utječe svojom tehnikom i znanjem na kvalitetu zavarenog spoja, neugodni bljeskovi tijekom zavarivanja i velike količine dima uzrokovane izgaranjem obloge elektrode.

Na slici 2. predložen je shematski prikaz REL postupka zavarivanja.



Slika 2. Shematski prikaz REL postupka zavarivanja [10]

2.3.2.2 TIG zavarivanje

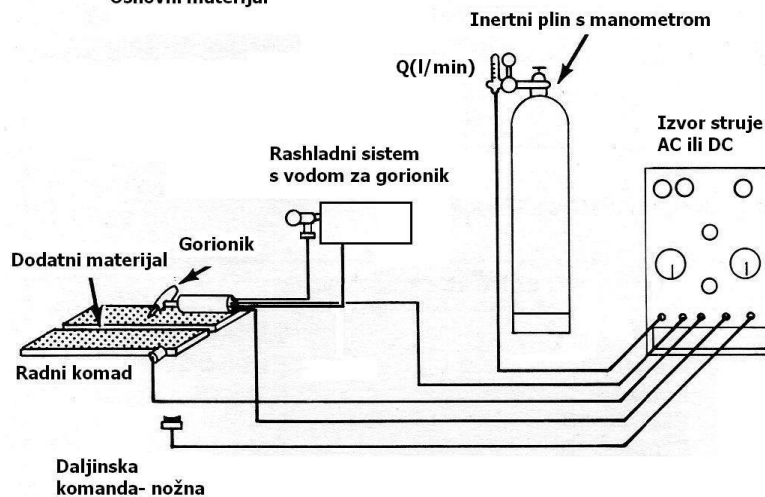
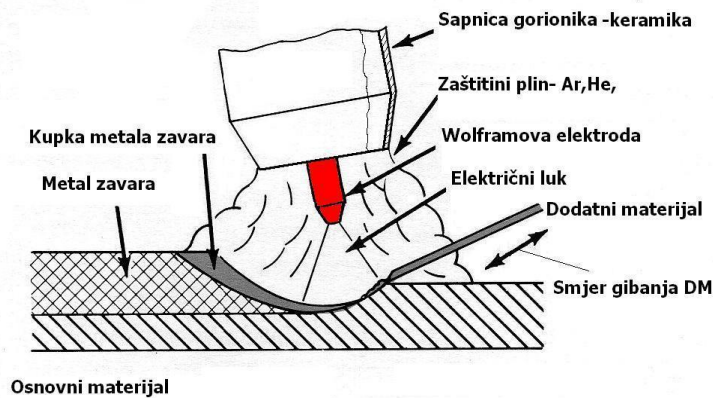
Elektrolučno zavarivanje netaljivom elektrodom u inertnoj atmosferi zaštitnog plina (Tungsten Inert Gas - **TIG**, Wolfram Inert Gas - **WIG**), je postupak taljenjem gdje se luk održava između netaljive volframove elektrode i osnovnog materijala. Dodatni materijal (žica) dodaje se u električni luk mehanizirano ili ručno.

Primjena TIG zavarivanja vrlo je raširena u zavarivanju aluminija i Al-legura, bakra i Cu-legura, Ti-legura, nikla i Ni-legura, nehrđajućih čelika.

Budući da je zaštitni plin razmjerno skup, a postupak je jedan od najsporijih, primjenjuje se najviše za zavarivanje manjih debljina koje se teže zavaruju ostalim postupcima zavarivanja.

Prednost TIG zavarivanja je u tome što su zavareni spojevi najkvalitetniji, nema dima, nema rasprskavanja kapljica metala, nema čišćenja troske a zavar je vrlo lijep, gladak i čist.

Na slici 3. shematski je prikazano TIG zavarivanje i oprema za TIG zavarivanje.



Slika 3. Shematski prikaz procesa i uređaja za TIG zavarivanje [10]

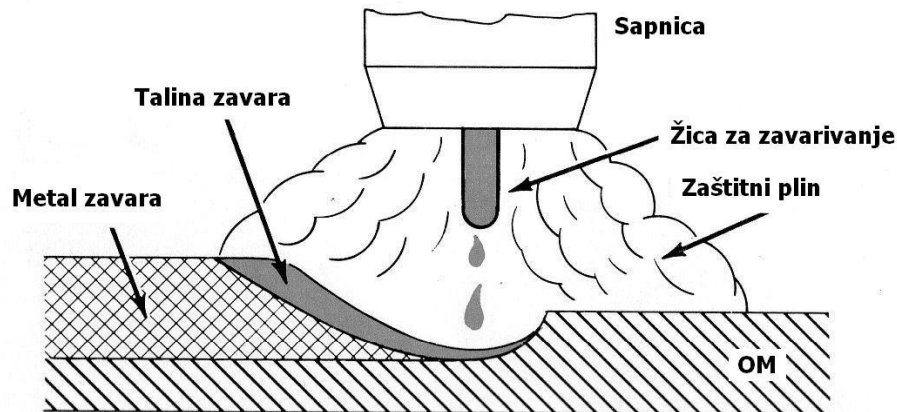
2.3.2.3 MAG/MIG zavarivanje

Elektrolučno zavarivanje metalnom taljivom elektrodom u zaštitnoj atmosferi plina, spada u postupke zavarivanja taljenjem. Postupak MIG zavarivanja odvija se u zaštitnoj atmosferi inertnog plina (Ar, He, ili njihove mješavine), dok kod postupka MAG zavarivanje se odvija u zaštitnoj atmosferi aktivnog plina (CO₂, ili njegovih mješavina s Ar, O₂ i sl.). Električni luk održava se između taljive žice, koja je u principu spojena na " + pol " (- pol na žici može se koristiti kod navarivanja, gdje je manje uvarivanje ali je luk nestabilniji) i radnog komada koji se zavaruje.

Oprema za zavarivanje sastoji se od izvora struje zavarivanja, komandnog ormarića s kolutom žice i sustavom za dovod žice, plina i električne struje, gorionika s vodičima električne struje, plina i žice, kao i čelične boce s plinom u koliko se ne radi o centralnom razvodu plina-mješavine za zavarivanje.

Prema stupnju mehanizacije taj postupak se može podijeliti na poluautomatizirano, automatizirano i robotizirano zavarivanje.

Na slici 4. prikazan je shematski postupak zavarivanja MAG/MIG.



Slika 4. Prikaz procesa MAG/MIG zavarivanja [10]

Osnovne karakteristike MAG/MIG postupka zavarivanja su slijedeće:

- visok koeficijent taljenja(2,7- 7 kg/sat), što ima direktan utjecaj na visoku produktivnost postupka,
- velika penetracija-uvarivanje, i do 30% veće u odnosu na REL,
- velika brzina zavarivanja,
- mali gubici dodatnog materijala za zavarivanje,
- automatsko dodavanje žice,
- dobar pregled rastaljenog metala zavarenog spoja.

2.3.2.4 EPP zavarivanje

Postupak elektrolučnog zavarivanja pod praškom spada u grupu postupaka zavarivanja taljenjem. Električni luk se održava između kontinuirano dovedene taljive žice-trake i radnog komada. Električni luk se u toku procesa ne vidi jer je prekriven slojem praška i troske koja nastaje taljenjem dijela praška. Prašak štiti rastaljeni metal od okolne atmosfere, oblikuje zavar i sprječava naglo hlađenje.

Postupak je mehaniziran i primjenjuje se za zavarivanje duljih i debljih zavarenih spojeva, najčešće za sučeone i kutne spojeve. Općenito EPP zavarivanje je ekonomično za zavarivanje spojeva duljih od 0,5m, te za limove deblje od 10mm. Primjenjuje se za zavarivanje horizontalnom položaju, pa se iz tog razloga za zavarivanje koriste okretaljke i pozicioneri, kako bi se zavar radnog komada doveo u položeni položaj. Za zavarivanje se

koriste žice u kolutima dimenzija od $\varnothing 2$ do $\varnothing 6$ mm ili trake debljine 0,5 mm. Izvori struje zavarivanja su najčešće ispravljači s područjem regulacije jakosti struje zavarivanja 500-1000A.

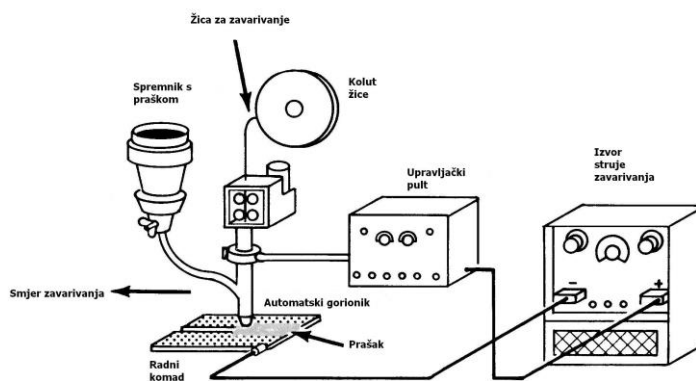
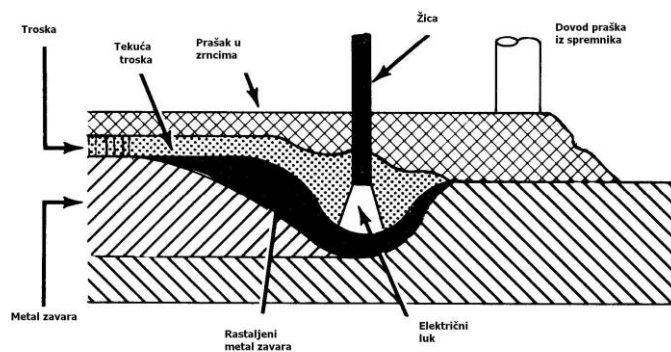
Na slici 5. shematski je prikazan postupak EPP zavarivanja

Prednosti EPP postupka zavarivanja:

- visoka kvaliteta zavarenog spoja,
- mali rizik od zajeda i poroziteta,
- nema rasprskavanja kapljica metala,
- veoma mala opasnost od naljepljivanja,
- do 15 puta veći učinak taljenja zbog veće gustoće struje (kod EPP 40-50A/mm², a kod REL 10-15A/mm²),
- manja potrošnja dodatnog materijala,
- visok stupanj iskorištenja energije-manji utrošak električne energije (zbog sloja praška, manji gubici radijacijom),
- olakšan rad , jer je električni luk pokriven praškom,
- zaštita taline od dušika i kisika iz zraka.

Nedostaci EPP postupka zavarivanja:

- zahtjev za dobrom izradom pripreme zavara- žlijeba,
- zbog velikog unosa topline i sporijeg hlađenja, dobiva se krupnozrnata struktura, što utječe na pad žilavosti,
- nije pogodan za sve položaje zavarivanja, samo za PA i PB,
- nije pogodan za tanje limove i kraće dužine zavara,
- mogućnost za pojavu sustavne greške, jer se ne vidi električni luk,
- potrebni tehnološki dodaci za početak i završetak zavarivanja,
- skupa oprema.



Slika 5. Shematski prikaz EPP zavarivanja [10]

2.3.3 Kontrola i ispitivanje zavarenog spoja

To su obavezni poslovi u svim fazama nastajanja i eksploatacije zavarenog spoja. Sam proces zavarivanja potrebno je pratiti od samog početka zavarivanja pa do kraja, te bi ispitivanje nakon zavarivanja trebalo služiti samo kao potvrda da je zavareni spoj ispravan. Zavareni spojevi mogu se ispitivati metodama s razaranjem i metodama bez razaranja.

Metode s razaranjem služe za ispitivanje mehaničkih svojstava zavarenog spoja, kemijskog sastava, i strukture zavarenih spojeva. Provjera ovih svojstava ima za cilj osiguranje i pouzdanost rada zavarenog spoja.

Razorne metode (DT) ispitivanja zavarenih spojeva:

- Ispitivanje vlačne čvrstoće,
- Ispitivanje udarnog rada loma,
- Mjerenje tvrdoće,
- Različita korozijska ispitivanja,
- Dinamička ispitivanja, itd.

Metode bez razaranja su metode koje svojim djelovanjima ne utječu na funkcionalnost zavarenog spoja. Nedostatak ovih metoda je da se njima određuje i otkriva pogreška koja je nastala prije njenog provođenja., odnosno, ne može poslužiti u izravnom sprječavanju nastajanja pogrešaka.

Nerazorne metode (NDT) ispitivanja zavarenih spojeva:

- Vizualna kontrola,
- Magnetska kontrola,
- Ultrazvučna kontrola,
- Radiografska kontrola,
- Akustična emisija,
- Vakuum kontrola,
- Penetrantska kontrola.

2.4 Podjela nerazornih metoda ispitivanja zavarenih spojeva

2.4.1 Vizualna kontrola (VT)

Vizualna kontrola je prva metoda kontrole bez razaranja koju je čovjek instinktivno primjenjivao odavno. To je najjednostavnija i osnovna metoda, metoda koja uvijek prethodi ostalim metodama bez razaranja.

Vizualna kontrola znatno ovisi o stanju i pripremi površine, te mogućnosti prijenosa informacija s površine, ova metoda povećava svoju učinkovitost ako su poznata očekivana odstupanja ili vrsta i svojstva očekivanih pogrešaka.

Vizualna kontrola ima vrlo širok spektar primjene:

- utvrđivanje pripadnosti i sukladnosti,
- otkrivanje tehnoloških pogrešaka,
- otkrivanje pogrešaka tijekom eksploatacije,
- utvrđivanje stanja objekta vidljivim promjenama na površini,
- provjera dimenzija, itd.

S vremenom vizualna kontrola se zapostavlja zbog razvijanja mnogih drugih metoda, no razvojem suvremenih endoskopskih i boreskopskih metoda, vizualna kontrola itekako dobiva na značaju.

Slika 6. prikazuje vizualnu kontrolu uz pomoć boreskopa[9].



Slika 6. Vizualna kontrola uz pomoć Boreskopa [9]

Na slici 7. dan je prikaz metode vizualne kontrole s pomoću fiberoskopa koji omogućava pregled rezervoara, cisterni i slično.



Slika 7. Moderna vizualna kontrola fiberoskopom [3]

Vizualnom kontrolom se mogu otkriti razne površinske pogreške: veće pukotine, neprovaren korijen, površinske poroznosti, te nepravilnosti oblika lica i korijena zavara.

Slike 8. i 9. prikazuju greške koje su mogu otkriti Vizualnom kontrolom.



Slika 8. Pukotina otkrivena vizualnom kontrolom [11]



Slika 9. Pore otkrivene vizualnom kontrolom [11]

To je jedina od svih metoda nerazorne kontrole koja može uočiti, predvidjeti uzrok i mjesto nastajanja pogreške. Zbog toga vizualnoj kontroli treba pridati prvenstveno značenje među svim nerazornim kontrolama.

Slike 10. i 11. prikazuju primjere zavarenih spojeva pregledanih Vizualnom kontrolom



Slika 10. Pregled zavarenog spoja Vizualnom kontrolom [11]



Slika 11. Pregled zavarenog spoja Vizualnom kontrolom [11]

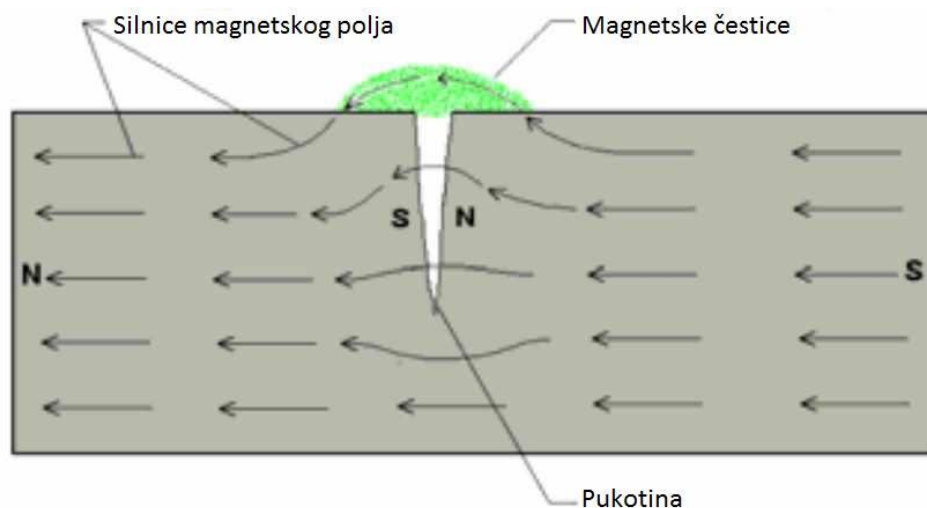
Za vizualnu kontrolu površina treba biti čista, a svjetlost dovoljno jaka. Ta metoda kontrole relativno je jeftina, ne oduzima puno vremena, a može dati vrlo korisne informacije kako o kvaliteti zavarenih spojeva, tako i o potrebi kontrole nekom drugom metodom, iako se u ispitivanju metodama bez razaranja moraju provesti barem 2 metode da bi se dobio nalaz dali je ispitivani proizvod zadovoljio tražene uvjete.

Za pomoć kod vizualne kontrole u skućenim i nepristupačnim dijelovima konstrukcije koriste se različita povećala i lokalna osvjetljenja da bi prijenos informacija s površine ispitivanog objekta bio što kvalitetniji, da bi samo ispitivanje dalo točnije rezultate.

2.4.2 Magnetska kontrola (MT)

Magnetska kontrola primjenjuje se za ispitivanje površinskih i podpovršinskih grešaka u feromagnetskim materijalima. Magnetska kontrola najpreciznije rezultate daje u otkrivanju pogrešaka na površini objekta, a što se više udaljava od površine, mogućnost otkrivanja pogrešaka naglo opada. Greške koje se mogu detektirati magnetskom kontrolom su: pukotine, poroznosti, metalni i nemetalni uključci, mjestimične promjene mikrostrukture, itd.

Ova metoda se zasniva na principu magnetske indukcije. Oko vodiča kroz koji prolazi električna struja stvara se magnetsko polje čije silnice, po pravilu desne ruke, prolaze između ostaloga i kroz feromagnetični materijal koji se ispituje. Pospu li se magnetske čestice po površini ispitivanog materijala, ako postoji pukotina okomito na smjer prolaska silnica magnetskog polja, sitne čestice okupit će se oko pukotine što je prikazano na slici 12.



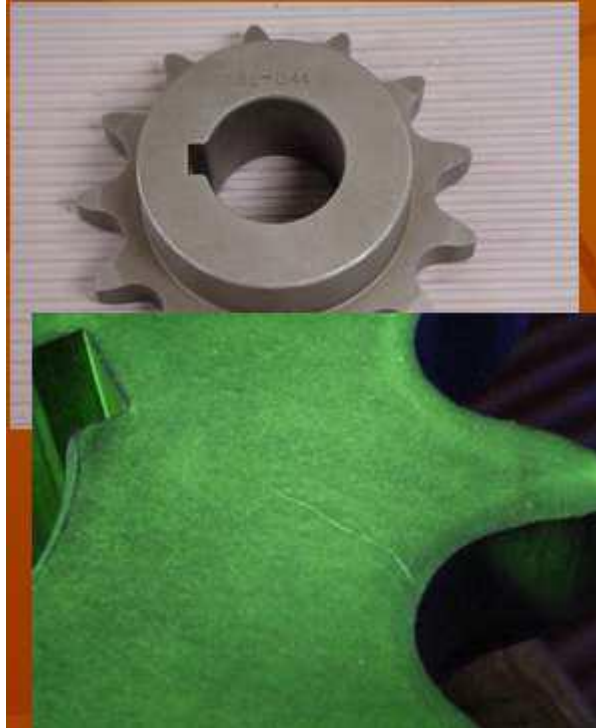
Slika 12. Ispitivanje magnetskim česticama [3]

Prednost magnetske kontrole je to što se površina ispitivanog objekta ne mora posebno pripremati kao što se to mora činiti kod ostalih metoda, ispitivanje je relativno brzo i jednostavno. Nedostatak magnetske kontrole je to što se ispitivanje može provoditi samo na feromagnetnim materijalima.

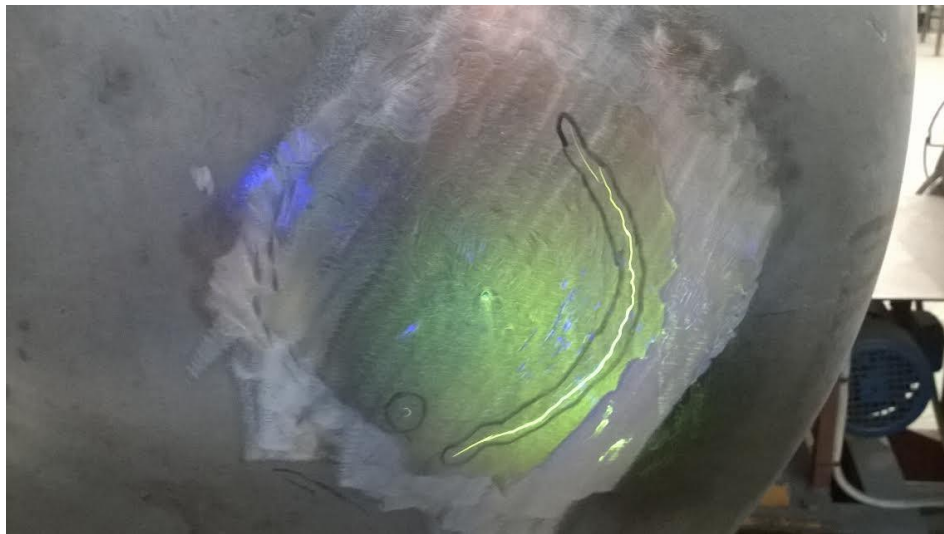
Slike 13., 14. i 15. prikazuju indikacije pukotina primjenom magnetskih čestica



Slika 13. Indikacija pukotine primjenom magnetskih čestica [3]



Slika 14. Indikacija pukotine primjenom magnetskih čestica [3]



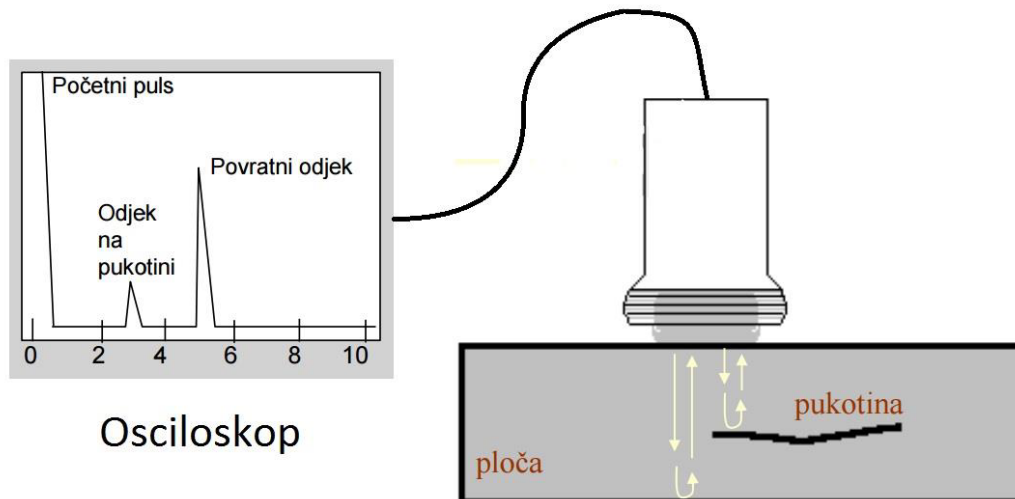
Slika 15. Indikacija pukotine primjenom magnetskih čestica [11]

Oprema za provođenje magnetske kontrole je vrlo raznolika, od malih prijenosnih instrumenata do velikih stacionarnih višenamjenskih uređaja, pošto magnetska kontrola ima široku uporabu u praksi.

2.4.3 Ultrazvučna kontrola (UT)

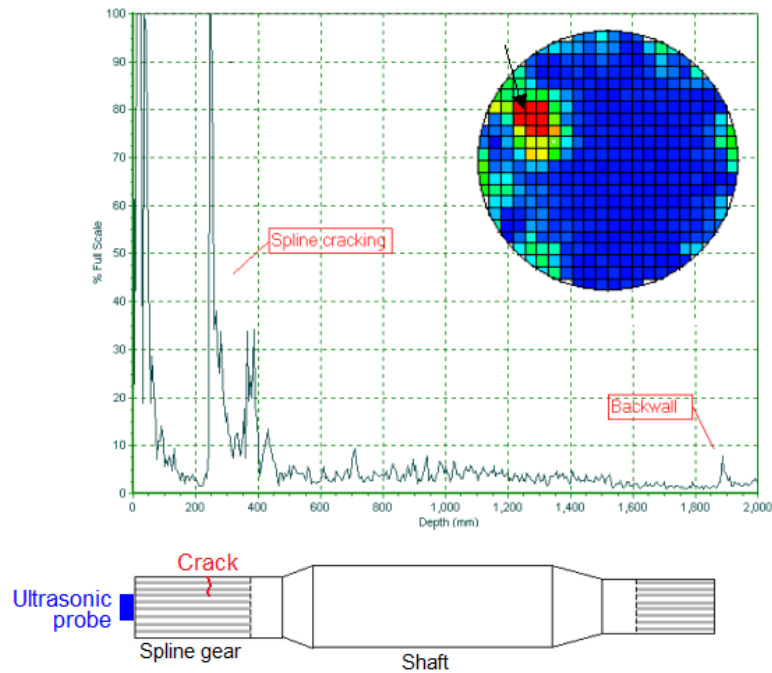
Ispitivanje ultrazvučnom kontrolom zasniva se na tome da većina materijala dobro provodi ultrazvučne valove. Ultrazvučna kontrola temelji se na tome da ultrazvučni valovi nailaze na pogreške u materijalu, te se vraćaju natrag u polaznu točku što detektira grešku.

Slika 16. prikazuje shematski prikaz ultrazvučnog ispitivanja.



Slika 16. Ultrazvučno ispitivanje [3]

Ultrazvučna kontrola zahtjeva da se površina pripremi na prikladan način. Ultrazvučna kontrola zahtjeva akustični kontakt koji znači da se na ispitnoj površini ne smije nalaziti niti najmanji zračni sloj. Akustični kontakt postiže se nanošenjem tekućeg premaza koji uklanja zračni sloj i priprema površinu za ispitivanje. Ultrazvučna kontrola zahtjeva veoma dobro poznavanje materijala ili objekta ispitivanja. Prije početka ispitivanja, bilo bi dobro znati što se otprilike traži, vrsta, veličina ili porijeklo defekata radi lakšeg provođenja ispitivanja. Slika 17. prikazuje ispitivanje vratila ultrazvukom.



Slika 17. Ispitivanje vratila Ultrazvukom [4]

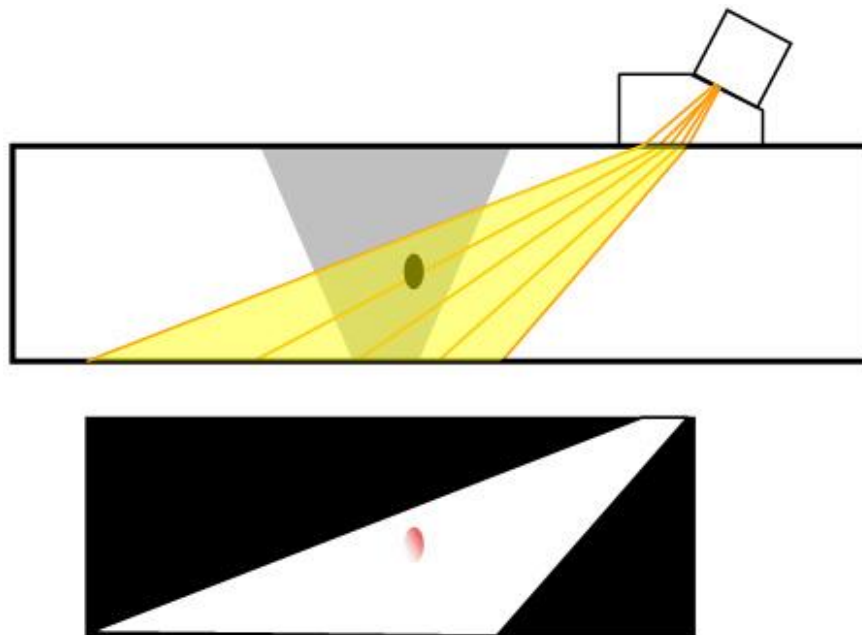
Greške koje je mogu otkriti ultrazvučnom kontrolom su:

- pukotine,
- uključci,
- poroznost,
- stanjenje debljine stjenke, itd.

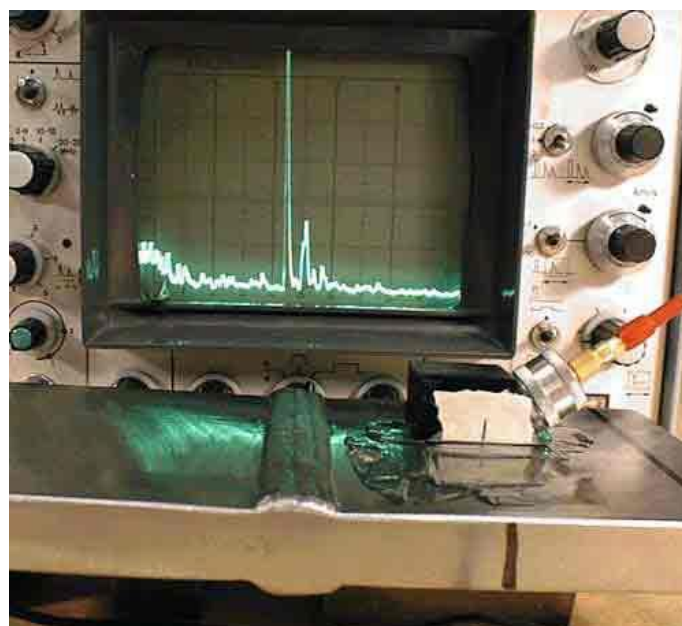
Ultrazvučna kontrola nalazi vrlo široku primjenu u praksi, a najčešće se koristi kod:

- ispitivanje odljevaka,
- ispitivanje otkivaka,
- ispitivanje traka i limova,
- ispitivanja cijevi,
- mjerenja debljine stjenke,
- ispitivanje zavarenih spojeva.

Slike 18. i 19. prikazuju ispitivanja zavarenog spoja ultrazvučnom metodom



Slika 18. Ultrazvučna kontrola zavarenog spoja [4]



Slika 19. Ultrazvučna kontrola zavarenog spoja [2]

Glavne Ultrazvučne metode kontrole su:

- Postupak prozvučavanja,
- Impulsna Echo metoda.

Postupak prozvučavanja

Kod postupka prozvučavanja mjeri se slabljenje ultrazvučnih valova pri prolasku kroz ispitivani objekt. Na mjestima koja nemaju greške, nastaju mnogo manja oslabljenja nego na mjestima koja imaju greške. Ovaj postupak je pogodan za ispitivanje tankih uzoraka. Ovim

postupkom se pronalaze greške, ali on ne kaže na kojoj dubini ispod površine se greška nalazi. [1]

Impulsna Eho metoda

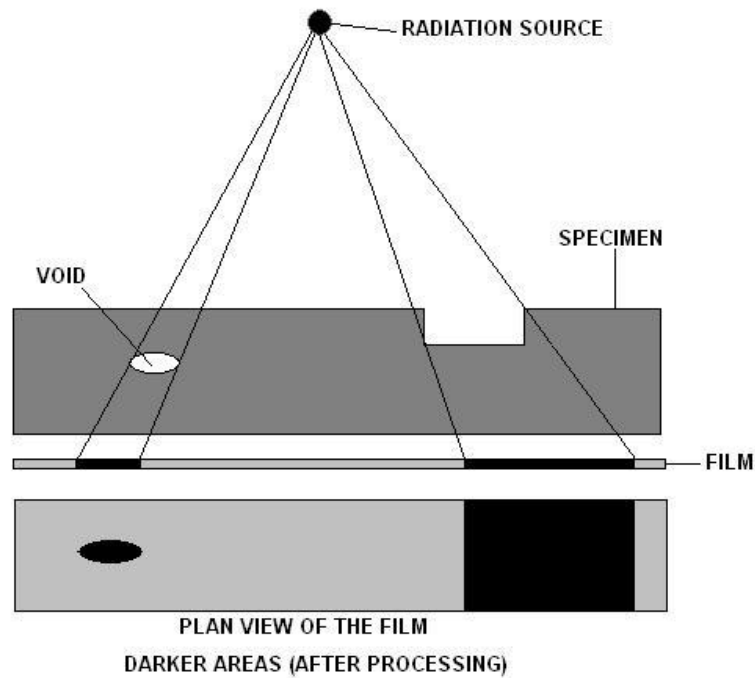
Za razliku od postupka prozvučavanja, impulsna eho metoda odašilje samo nekoliko titraja nakon koji slijedi pauza. Valovi nastali od nekoliko titraja nazivaju se impulsi. Impulsi prolaze kroz ispitivani objekt, odbijaju se s njegove stražnje strane ili s mjesta eventualne pogreške, te se vraćaju kao odjek. Mjeri se ukupno vrijeme od odašiljanja impulsa pa sve do vraćanja odjeka. Na osnovu ukupnog vremena može se zaključiti na kojem mjestu nastaje refleksija, odnosno, mjesto pogreške.

Prednost impulsne eho metode je to što se na osnovu vremena odjeka može relativno precizno odrediti na kojoj se dubini ispod površine nalazi greška. Sljedeća prednost je što ispitivani objekt ne mora biti pristupačan s obje strane, već se ispitivanje može provoditi samo s jedne strane ispitivanog objekta. [1]

2.4.4 Radiografska kontrola (RT)

Radiografska kontrola ili ispitivanje prozračivanjem, metode su radijacijske kontrole koje omogućavaju kvalitativno i kvantitativno praćenje nepravilnosti u strukturi ili kroz presjek ispitnog objekta. Gotovo sve radijacijske metode informacije o ispitnom objektu dobivaju prozračivanjem objekta odgovarajućim ionizirajućim zračenjem. [1]

Ispitivanje RT metodama bazira se na zračenju koje nakon prolaska kroz objekt nosi informacije o objektu zbog međudjelovanja zračenja i materijala objekta. Varijacije intenziteta zračenja mogu se registrirati na više načina, ovisno o učinku djelovanja zračenja materijala. Slika 20. prikazuje princip rada radiografske kontrole.



Slika 20. Princip rada radiografske kontrole [5]

Metode prozračivanja su:

- Radiografija – rendgensko ispitivanje,
- Gamagrafija – ispitivanje radioaktivnim izotopima.

Radiografija

Radiografija je područje primjene rendgenskih zraka za otkrivanje unutarnjih grešaka i nehomogenosti u materijalu. Metoda radiografije je u najširoj primjeni u praksi. Metoda se temelji na registriranju razlike intenziteta ionizirajućeg zračenja koje je prošlo kroz objekt ispitivanja uzrokovane različitom apsorpcijom u pojedinim dijelovima ispitivanog objekta. Zračenje se radi interpretacije rezultata registriira stvaranjem stalne slike, radiograma.

Postupak ispitivanja radiografskom kontrolom svodi se na postavljanje ispitnog objekta između rendgenske cijevi i fluorescentnog filma ili ekrana. Metoda gdje se umjesto filma postavlja fluorescentni ekran naziva se Metoda vizualnog prozračivanja, a metoda prozračivanja na film naziva se fotometoda.[1]

Fotometoda je našla svoju primjenu u industriji zbog toga što se određivanje grešaka sastoji u dobivanju slike prozračenog komada u obliku filma ili fotografije. Svaka nehomogenost u materijalu (pukotine, pore, uključci, itd.) pokazuje se na filmu kao različito zacrnenje kao što je prikazano na slici 21.

Radiografijom se mogu ustanoviti razni izvori grešaka kao što su pogreške u tehnološkim postupcima i pogreške u korištenju proizvoda. Radiografska kontrola se obično koristi za otkrivanje pogrešaka zavarenih spojeva, poroznosti, uključaka, troske, neprovarenog korijena. Teško je otkrivanje plošnih pogrešaka poput pukotina (mogu se otkriti samo pukotine položene u smjeru zračenja). [5]



Slika 21. Rezultat radiografske kontrole zavarenog spoja [5]

Velika prednost radiografije u odnosu na gamagrafiju je u tome što se izvor radijacije može uključiti, isključiti i modificirati u skladu sa različitim potrebama i to na takav način da se omoguće brza i točna ispitivanja.

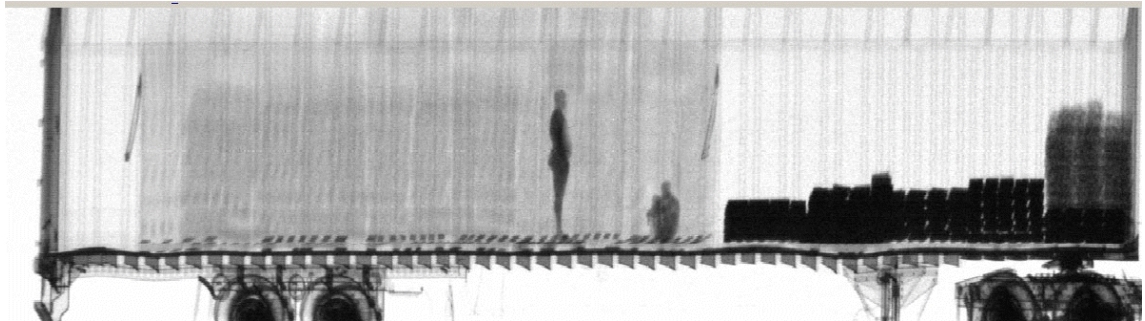
Gamagrafija

Gamagrafija je metoda primjene radioaktivnih izotopa za otkrivanje unutrašnjih grešaka i nehomogenosti u materijalu. Umjetni radioaktivni izotopi danas se mogu proizvesti u različitim standardnim dimenzijama i aktivitetima, sukladno uređajima na kojima se provodi ispitivanje – defektoskopima.

Usljed malih valnih duljina, radioaktivne gama zrake imaju svojstvo da prodiru kroz sve materijale. Prozračivanjem, propuštanje gama zraka kroz različite materijale je različito. Materijali s malom atomskom masom vrlo dobro propuštaju gama zrake, dok ih materijali s velikom atomskom masom znatno upijaju (apsorbiraju). Osjetljivost radiograma određuje se veličinom najmanje greške koja se može otkriti.

Svaka nehomogenost u materijalu pojavljuje se na snimku kao različita gustoća pocrnjenja kao što prikazano na slici 22. Pri izboru gama izvora treba voditi računa o vrsti i

debljini ispitivanog uzorka, vremenu poluraspada radio izotopa, raspoloživim aktivnostima i dimenzijama radioaktivnih izvora[5].

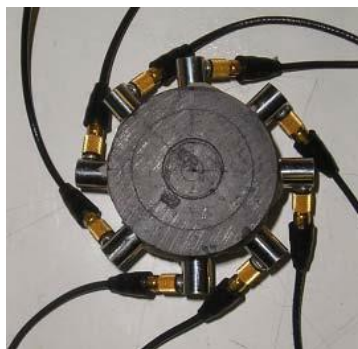


Slika 22. Gamagrafski snimak tereta [5]

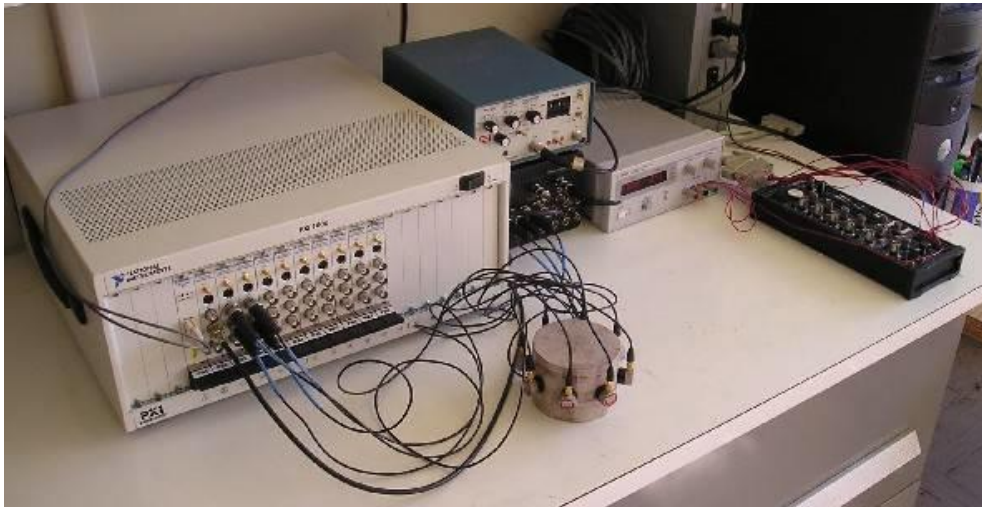
2.4.5 Akustična kontrola (AT)

Kada se čvrsti materijal izloži naprezanju, nesavršenosti unutar materijala emitiraju kratke impulse akustične energije. Kao i kod ultrazvučnog ispitivanja, i te emisije se mogu otkriti specijalnim prijemnicima. Koriste se za otkrivanje izvora energije i lokaciju izvora.

Slike 23. i 24. prikazuju ispitivanja akustičnom kontrolom.



Slika 23. Ispitivanje akustičnom kontrolom [2]



Slika 24. Ispitivanje akustičnom kontrolom [2]

2.4.6 Vakuum kontrola

Vakuum kontrola je kontrola ispitivanja nepropusnosti zavarenih spojeva koja se bazira na promjeni tlaka na području zavarenog spoja koji se kontrolira.

Vakuum kontrola ima vrlo dobre prednosti u ispitivanju zavarenih spojeva, jer precizno locira mjesto propuštanja, također je dobra prednost to što se može lako pristupiti ispitnim objektima te je tehnički jednostavna primjena ove metode.

2.5 Ispitivanje zavarenih spojeva penetrantskom kontrolom

2.5.1 Općenito o penetrantskoj kontroli

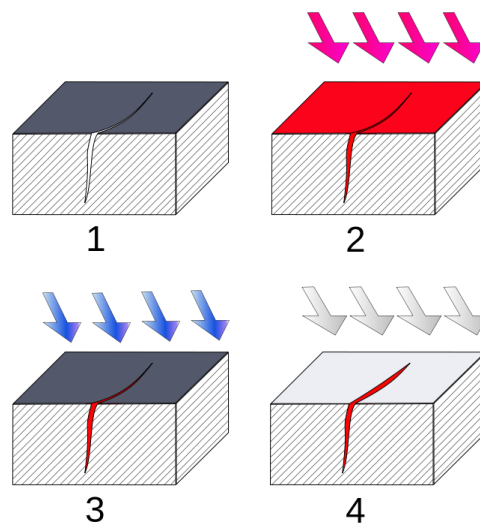
Penetrantska kontrola (PT) ili kontrola tekućim penetrantima jedna je od najrazvijenijih NDT metoda. Zbog široke mogućnosti primjene i relativno niske cijene provođenja ispitivanja, ova metoda ima široku primjenu. Uglavnom se upotrebljava za ispitivanje metala, ali i drugih materijala, uz uvjet da su korozijski otporni prema ispitnim medijima i da nisu previše porozni.

Materijali koji se mogu ispitivati PT:

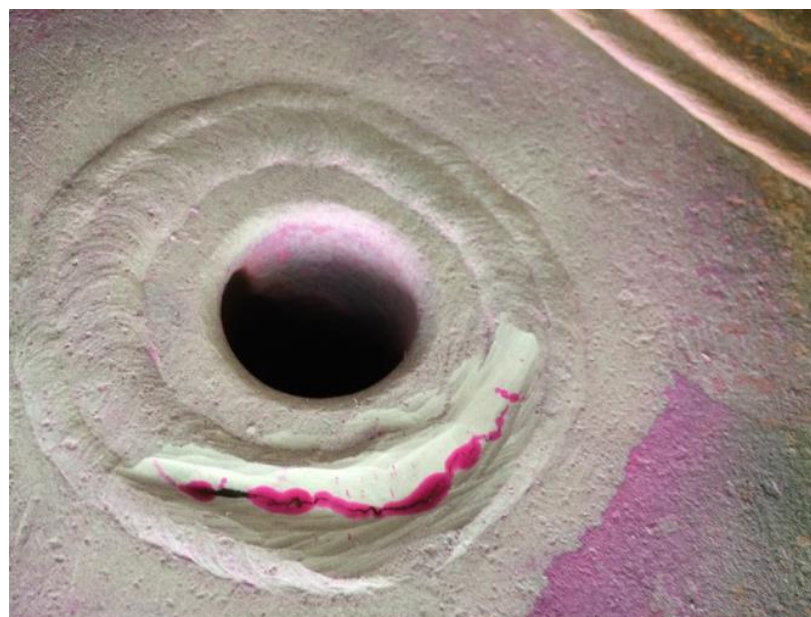
- Metali (aluminij, bakar, čelik, titan, itd.),
- Staklo,
- Keramika,
- Guma,
- Plastika.

Penetrantska metoda (PT) je na neki način nastavak, odnosno poboljšanje vizualne kontrole jer se penetrantima omogućava lakše detektiranje grešaka na površini ispitivanog objekta. PT omogućava otkrivanje površinskih pogrešaka kao što su makro i mikro pukotine, šupljine, poroznosti, propusnosti stijenki, npr. cijevi i posuda, itd.

PT zasniva se na principu kapilarnog učinka. Kapilarni učinak znači da penetrant prodire u prostore pukotina u ispitivanom objektu te nakon nanošenja razvijaača dolazi do izlaženja penetranta iz pukotine što uvelike poboljšava penetrantsku indikaciju kao što je prikazano na slici 25. i 26. [1]



Slika 25. Prikaz PT [7]



Slika 26. Prikaz kapilarnog učinka [11]

Načini na koji PT čini greške lakše uočljivijima:

- PT daje indicaciju pukotine koja je puno veća i uočljivija nego što je stvarna pukotina,
- PT poboljšava otkrivanje pukotine što daje naznaku pukotine veće razine kontrasta između naznake i podloge što pomaže lakšoj vidljivosti indicacije.

Pokazatelji PT:

- Koncentracija crvenih točaka: poroznosti i rupičavost (engl. pitting),
- Naglo crvenjenje, ravno, kontinuirano: velike pukotine,
- Razlomljene crte - male pukotine,
- Niz crvenih točaka koje tvore nepravilnu crtu: posljedice umora materijala [7].

2.5.2 Postupak provođenja penetrantske kontrole

Koraci pri procesu provođenja PT:

1. Priprema površine,
 2. Nanošenje penetranta,
 3. Odstranjivanje viška penetranta,
 4. Nanošenje razvijaača,
 5. Pregled penetrantskih indicacija,
 6. Čišćenje površine.
- **Priprema površine:** površina se priprema čišćenjem, odstranjivanjem nečistoća i eventualnih sadržaja iz pukotina iz kojih se nastoji otkriti pogreška.
 - **Nanošenje penetranta:** penetrant se nanosi na kontaktnu površinu nakon što je ona pripremljena (čista i suha površina). Rezultat je penetriranje penetranta u pukotine. Potrebno je sačekati neko vrijeme da penetrant prodre u sve pukotine ispitivanog objekta.
 - **Odstranjivanje viška penetranta:** odstranjuje se višak penetranta koji nije uspio prodrijeti u ispitivani objekt. Rezultat je čista površina uz penetrant u šupljinama pukotina ispitivanog objekta.
 - **Nanošenje razvijaača:** rezultat nanošenja razvijaača je to da penetrant iz šupljina pojačano izlazi iz pukotina te se stvara penetrantska indicacija.

- **Pregled penetrantskih indikacija:** ako je potrebno, površina ispitnog objekta se izloži rasvjeti radi boljeg uočavanja i interpretacije penetrantskih indikacija. Rezultat pregleda je nalaz koji govori dali je ispitni objekt zadovoljio uvjete.
- **Čišćenje površine:** Površina ispitnog objekta čisti se od zaostalih penetrantskih tekućina koje su izašle na površinu nakon nanošenja razvijaača.

2.5.3 Tipovi penetranata

Penetrantski materijali dijele su u 2 osnovna tipa:

- 1.) Obojeni penetranti,
- 2.) Fluorescentni penetranti.

Obojeni penetranti

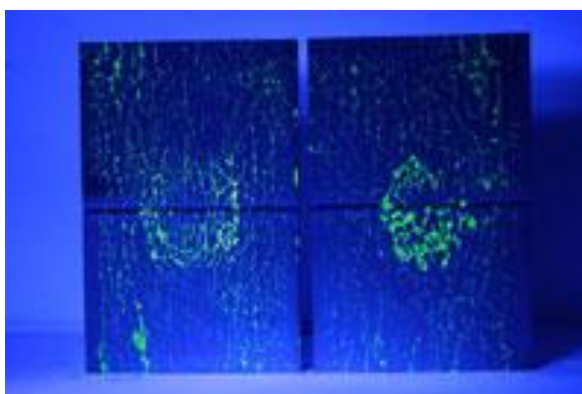
Obojeni penetranti sadrže crvenu boju koja daje visok kontrast u odnosu na podlogu od bijeloga razvijaača kao što je prikazano na slici 27. Obojeni penetranti su manje podloženi onečišćenju od nekih stvari kao što su tekućina za čišćenje, krpica za čišćenje, i slično, dok kod fluorescentnih penetranata automatski dolazi do smanjenja jačine penetrantske indikacije. Prednost obojenih penetranata nad fluorescentnih penetrantima je to što obojeni penetranti ne zahtijevaju posebne uvjete za provođenje ispitivanja kao što su zamračeni prostor i UV svijetlo.



Slika 27. Penetrantska indikacija obojenog penetranta [8]

Fluorescentni penetranti

Fluorescentni penetranti sadrže boju ili nekoliko boja koje koje svijetle fluorescentno kada su izložene UV zračenju kao što je prikazano na slici 28. Sustavi s fluorescentnim penetrantima su osjetljiviji, jer je oko usredotočeno na indikacije pod UV svjetlom. Uporaba fluorescentnih penetranta nije toliko raširena kao uporaba obojenih penetranta baš zbog toga što je ispitivanje potrebno provoditi u posebnim uvjetima kao što su zamračeni prostor, UV svjetlo, itd.



Slika 28. Penetrantska indikacija fluorescentnog penetranta [7]

2.5.4 Prednosti i nedostaci penetrantske kontrole

Kao što svaka metoda kontrole bez razaranja ima svoje prednosti i nedostatke, tako ima i penetrantska kontrola. Penetrantska kontrola ima mnoge prednosti uspoređujući s drugim metodama kontrole bez razaranja a najveća je što je oprema za ispitivanje jeftina i lako prenosiva. Nedostaci ove metode kontrole bez razaranja su ograničenja u ispitivanju i opreznost pri rukovanju s kemikalijama. Više prednosti i nedostataka penetrantske kontrole u nastavku.

Prednosti penetrantske kontrole:

- 1.) Visoka osjetljivost na sićušne površinske diskontinuitete,
- 2.) Strojni elementi velikih masa i volumena mogu se ispitati relativno brzo, jednostavno i jeftino,
- 3.) Penetrantska indikacija pojavljuje se na površini i utjelovljuje vizualni prikaz pogreške,
- 4.) Oprema za provođenje relativno jeftina,
- 5.) Penetrantski materijali lako prenosivi (sprejevi),
- 6.) Moguće brzo i jeftino provođenje rutinskih ispitivanja strojnih dijelova.

Nedostaci penetrantske kontrole:

- 1.) Mogu se otkriti samo površinske i neke podpovršinske greške,
- 2.) Mogu se ispitivati samo materijali koji imaju relativno neporoznu površinu,
- 3.) Potrebna vrlo čista površina jer nečistoće mogu sakriti greške,
- 4.) Potrebno oprezno rukovanje kemikalijama.

3 POSTAVKA ZADATKA

U ovom završnom radu opisana je penetrantska kontrola ispitivanja materijala. Nakon teorijskog dijela, provest će se eksperimentalni dio u kojem će biti provedeno ispitivanje zavarenog spoja penetrantskom kontrolom. Pokus se provodi na zavaru cijevi obojenim penetrantom. Ispitivanje se provodi u prostoru tvrtke Turbomehanika d.o.o Kutina.

Nakon izvršenog ispitivanja slijedi prikaz, analiza i zaključak.

4 EKSPERIMENTALNI DIO

4.1 Priprema za ispitivanje

Ispitni objekt zavaren je REL metodom zavarivanja. Prije početka ispitivanja potrebno je ispitni objekt ohladiti na temperaturi okoliša. Nakon što se ispitni objekt ohladio, potrebno ga je očistiti od zaostalih čestica zavarivanja. Potrebno je pripremiti opremu za provođenje ispitivanja prikazanu na slici 29.

Oprema za ispitivanje:

- Čistač površine TIEDE – PEN RL – 40,
- Penetrant TIEDE PWL -1,
- Razvijač TIEDE – PEN DL – 20,
- Krpe za čišćenje,
- Kist.



Slika 29. Oprema za provođenje ispitivanja

Ispitivanje se provodi prema kriteriju prihvatljivosti EN ISO 23277 : 2015.

ISO 23277:2015 specifikira razine prihvatljivosti za nesavršenosti u metalnim zavarima otkrivene penetrantskom kontrolom. Razine prihvaćanja prvenstveno su namjenjene za uporabu tijekom proizvodnje, ali ako je potrebno, mogu se koristiti i za pregled uz rad.

4.2 Postupak provođenja ispitivanja

4.2.1 Čišćenje površine

Ispitivanje penetrantima zahtijeva čistu kontaktnu površinu, jer bi i najmanja čestica prljavštine mogla smanjiti točnost ispitivanja. Područje zavarenog spoja čisti se čistačem površine TIEDE – PEN RL 40 direktno sprejanjem i briše se krpom.

Slika 30. Prikazuje čistu površinu pripremljenu za nanošenje penetranta.



Slika 30. Čista površina pripremljena za nanošenje penetranta

4.2.2 Nanošenje penetranta

Sljedeći korak u ispitivanju zavarenog spoja je nanošenje penetranta. Nanosi se obojeni penetrant TIEDE PWL -1. Penetrant se nanosi kistom preko cijelog zavara i otprilike 20 mm materijala sa svake strane kao što je prikazano na slici 31. i 32.

Vrijeme penetriranja je 15 minuta pri temperaturi od 16°C.



Slika 31. Prikaz nanešenog penetranta na površinu zavora



Slika 32. Uvećani prikaz nanešenog penetranta na površinu zavora

4.2.3 Uklanjanje viška penetranta i nanošenje razvijača

Višak penetranta se skida krpom lagano navlaženom čistačem RL 40. Nakon što je površina očišćena, nanosi se razvijač TIEDE – PEN DL 20 sprejanjem. Nakon toga slijedi sušenje razvijača i početak stvaranja penetrantske indikacije prikazano na slici 33.



Slika 33. Stvaranje penetrantskih indikacija

4.2.4 Detektiranje penetrantskih indikacija

Nakon 5 minuta od početka stvaranja penetrantskih indikacija, slijedi konačni pregled i mjerenje indikacija prikazanih na slici 34.



Slika 34. Detektiranje penetrantskih indikacija

4.2.5 Čišćenje površine od razvijača

Nakon što je izvršen pregled penetrantskih indikacija, izmjerene penetrantske indikacije, potrebno je površinu očistiti od razvijača. Čišćenje se obavlja običnom krpom.

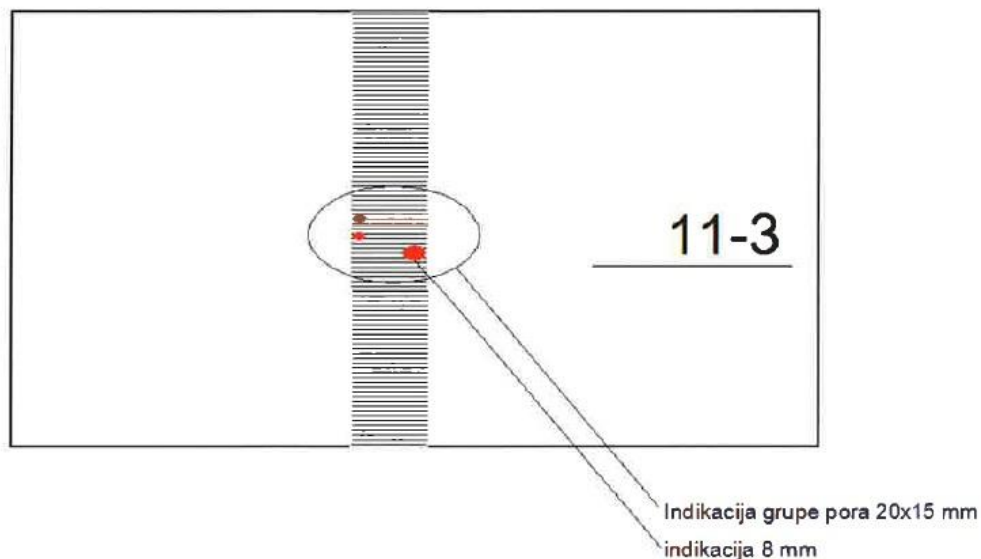
4.3 Rezultati ispitivanja

Nakon što su provedeni svi koraci ispitivanja zavarenog spoja iz prethodnoga poglavlja, slijedi završni pregled i izrada nalaza. Završni pregled obavlja se vizualnom kontrolom. Na slikama ispod crvenom bojom su jasno prikazane greške na ispitivanom objektu.

Prema slikama je vidljivo da su rezultati ovoga ispitivanja negativni, odnosno, zavar ne zadovoljava kriterije norme prema kojoj je izvršeno ispitivanje. Pronađene su greške - grupa pora na površini 20x15 mm prikazano slikama 35. I 36.



Slika 35. Uočene greške – grupa pora



Slika 36. Računalni prikaz grešaka - pora

U ovom slučaju, poroznosti su smještene na vrlo malom razmaku te bi vrlo lako moglo doći do pojava pukotina koje bi u težim uvjetima u eksploataciji mogle izazvati pucanje zavarenog spoja.

Prema kriteriju prihvatljivosti EN ISO 23277:2015, zavar NE ZADOVOLJAVA.

4.4 Analiza rezultata

Ocjenjivanje indikacija kod ispitivanja penetrantskom kontrolom provodi se u sljedećim koracima:

- Nalaženje indikacija,
- Interpretacija (tumačenje) indikacija,
- Klasifikacija indikacija,
- Vrednovanje – ocjena prihvatljivosti.

Indikacije ispitanog zavarenog spoja:

- Ispitan je zavar u 100% opsegu, indikacije na površini,
- Indikacije u veličini 20x15mm,
- Indikacije – pore. Najveća pojedina indikacija iznosi 8mm,

Pronađene greške su pore. Poroznost različito utječe na čvrstoću zavarenog spoja. Ovisi o veličini, broju, obliku i mjestu poroznosti te vrsti i zahtjevima na kvaliteti

konstrukcije. U dinamički opterećenim konstrukcijama poroznost u zavarenom spoju djeluje štetno. S vremenom dolazi do pojave pukotina povezivanjem između pojedinih pora, naročito kad su blizu jedna do druge kao što je u ovome slučaju.

Nalaz: **ZAVAR NE ZADOVOLJAVA**

5 ZAKLJUČAK

U ovom završnom radu izvršeno je ispitivanje penetrantskom kontrolom. Penetrantska kontrola je brza i vrlo jednostavna metoda za primjenu. Vrlo bitan je proces pripreme površine za ispitivanje. Ako površina koju trebamo ispitivati nije pripremljena kako treba (čista, odmašćena), znatno opadaju šanse da se ispitivanje provede točno.

Ispitivanje penetrantskom kontrolom može se primjenjivati gotovo na svim materijalima, metoda je vrlo brza i jednostavna. Bitna karakteristika penetrantske kontrole je to što nema ograničenja u veličini ili obliku ispitivanog objekta. Vrlo je korisna metoda za ispitivanja na terenu, rutinska ispitivanja, ispitivanja novih konstrukcija, i slično. Indikacije se javljaju na površini i lako su uočljive. Navedena svojstva čine penetrantsku kontrolu jednom od najprimjenjivijih metoda kontrole bez razaranja.

Ispitivan je zavareni spoj na koji se nanosio obojeni penetrant s ciljem postizanja penetrantske indikacije. Iz dobivenih rezultata može se uvidjeti da ova vrsta ispitivanja dobro otkriva površinske greške.

Ispitani zavareni spoj ne zadovoljava. Ne zadovoljava jer su pronađene greške – pore na površini 20x15 mm. Pronađene greške – pore mogu vrlo štetno djelovati na zavareni spoj pogotovo ako su grupirane kao u ovom slučaju, vrlo lako bi moglo doći do stvaranja pukotina između pronađenih pora.

Na kraju ispitivanja, zaključak je da je penetrantska kontrola vrlo efikasna, brza, jeftina i jednostavna a daje vrlo točne rezultate u kratkom vremenu.

LITERATURA:

- [1] Tihana Kostadin: Ispitivanje materijala (interna skripta)
- [2] NDE/NDT Resource Center (<https://www.nde-ed.org/AboutNDT/aboutndt.htm>)
- [3] FSB Online: (https://www.grad.unizg.hr/download/repository/1P-NDT_%5BRead-Only%5D.pdf)
- [4] Wikipedija –UT (https://hr.wikipedia.org/wiki/Ultrazvu%C4%8Dna_kontrola#cite_note-4)
- [5] Wikipedija – RT (https://hr.wikipedia.org/wiki/Radiografska_kontrola)
- [6] Zavar d.o.o (<http://www.zavar.hr/hrv/opsirnije/metodebezrazaranjakbr/vakuumkontrola>)
- [7] Wikipedija – PT (https://hr.wikipedia.org/wiki/Penetrantsko_ispitivanje)
- [8] InspectTesting (<http://www.inspectesting.com/liquid-penetrant.html>)
- [9] Wikipedija – VT (https://hr.wikipedia.org/wiki/Vizualna_kontrola)
- [10] Veleučilište u Karlovcu, Tehnologija II – Zavarivanje
- [11] Interna dokumentacija VUKA

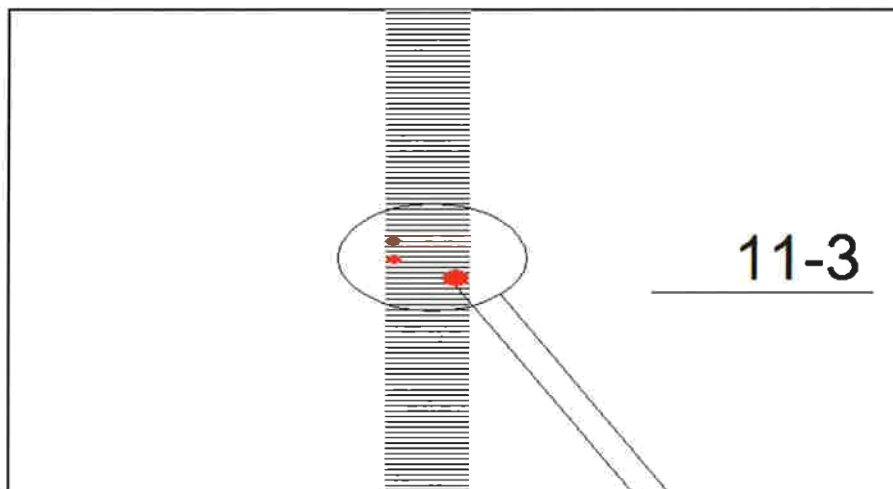
PRILOZI

Turbomehanika d.o.o. Kutina	Izveštaj o ispitivanju penetrantima Liquid penetrant test report	Broj izvještaja / Report no. II-014-O16
Predmet / Case file O16	Objekt / Object Turbomehanika d.o.o. atestiranje zavarivača – vježba	Naručilac / Customer Turbomehanika d.o.o.
List / Sheet 1 od / of 2	Naziv dijela i pozicija / Name of part and position Zavar cijevi 11-3	Materijal / material P235TR2+N cijev $\phi 60,3 \times 7,1$ mm
Postupak ispitivanja / Testing procedure TM.RP.314.0 (EN ISO 3452-1:2013)	Opseg ispitivanja / scope of examination zavar, 100%	Kriterij prihvatljivosti / Acceptance criteria EN ISO 23277:2015 level 2X
Čistač / Cleaner TIEDE PEN RL-40 ch.no. 100604	Faza proizvodnje / Production phase nakon zavarivanja	Komada / Pieces 1
Penetrant / Penetrant TIEDE PEN PWL-1 ch.no. 100607	Priprema površine / Surface condition očišćeno, odmašćeno	Korišteni sustav / System used II – C – d
Razvijatelj / Developer TIEDE PEN DL-20 ch.no. 100707	Trajanje penetriranja / Penetration time 15 min	Razvijanje / Developing time 5 min

odstupanja od postupka / procedure deviations
ne / no

Skica i rezultati / Sketch and results :

Uzorak 11-3. Zavarivanje prema WPS 401.0. Zavarivač TM-02.



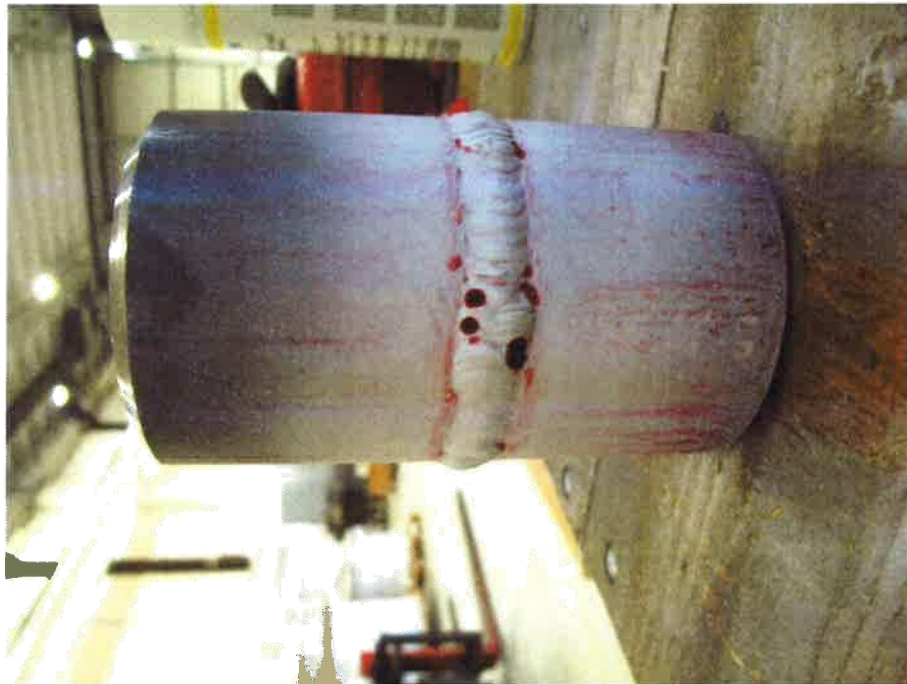
Indikacija grupe pora 20x15 mm
indikacija 8 mm

Ispitan je zavar u 100% opsegu. Uočene su indikacije grupe pora na površini 20x15 mm, najveća pojedina indikacija 8 mm. Zavar NE ZADOVOLJAVA.

Obrazac broj: TM.O.301.0	Mjesto i datum ispitivanja / Place and date of testing: Kutina, 02.12.2016.	Ocjena prihvatljivosti / Acceptance rating: NE ZADOVOLJAVA NOT SATISFACTORY
	Ispitao / Operator: Mladen Simić, PT2	Pregledao / Test Supervisor: Bojan Benčić, PCN PT3

Turbomehanika d.o.o. Kutina	Izveštaj o ispitivanju penetrantima Liquid penetrant test report	Broj izvještaja / Report no. II-014-016
Predmet / Case file O16	Objekt / Object Turbomehanika d.o.o. atestiranje zavarivača – vježba	Naručilj / Customer Turbomehanika d.o.o.
List / Sheet 2 od / of 2	Naziv dijela i pozicija / Name of part and position Zavar cijevi 11-3	Materijal / material P235TR2+N cijev $\phi 60,3 \times 7,1$ mm

Rezultati i skica / Results and sketch :



Slika 1 – ispitivanje penetrantima



Slika 2 – detalj indikacija pora