

Ispitivanje zavarenih spojeva metodama bez razaranja

Štanjglin, Marinela

Undergraduate thesis / Završni rad

2022

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University North / Sveučilište Sjever**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:122:677593>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-04**



Repository / Repozitorij:

[University North Digital Repository](#)





**Sveučilište
Sjever**

Završni rad br. 384/PS/2022

Ispitivanje zavarenih spojeva metodama bez razaranja

Marinela Štanjglin, 4200/336

Varaždin, rujan 2022. godine



Sveučilište Sjever

Odjel za strojarstvo

Završni rad br. 384/PS/2022

Ispitivanje zavarenih spojeva metodama bez razaranja

Student

Marinela Štanjglin, 4200/336

Mentor

Matija Bušić, doc. dr. sc.

Varaždin, rujan 2022. godine

Prijava završnog rada

Definiranje teme završnog rada i povjerenstva

ODJEL Odjel za strojarstvo

STUDIJ preddiplomski stručni studij Proizvodno strojarstvo

PRISTUPNIK Marinela Štanjglin

JMBAG 4200/336

DATUM 23.08.2022.

KOLEGIJ Tehnologija III

NASLOV RADA Ispitivanje zavarenih spojeva metodama bez razaranja

NASLOV RADA NA ENGL. JEZIKU Non-destructive testing of welds

MENTOR dr. sc. Matija Bušić

ZVANJE docent

ČLANOVI POVJERENSTVA

1. doc.dr.sc. Zlatko Botak, predsjednik povjerenstva
2. doc. dr. sc. Matija Bušić, mentor, član povjerenstva
3. dipl. ing. stroj. Marko Horvat, član povjerenstva
4. doc.dr.sc. Tomislav Veliki, zamjenski član povjerenstva
- 5.

Zadatak završnog rada

BROJ 384/PS/2022

OPIS

U završnom radu potrebno je, na temelju dostupne literature, definirati postupke ispitivanja zavarenih spojeva metodama bez razaranja. Za vizualno, magnetsko i penetrantsko ispitivanje definirati potrebnu opremu, način provođenja, prednosti i nedostatke takvog načina ispitivanja. U eksperimentalnom dijelu rada na dva određena primjera zavarenih konstrukcija potrebno je provesti i opisati minimalno dvije metode ispitivanja bez razaranja. Prikazati i analizirati rezultate ispitivanja i dokumentacija koja se sastavlja radi evidentiranja ispitivanja. Na kraju rada donijeti zaključak o izvršenim ispitivanjima i rezultatima. U radu je potrebno navesti korištenu literaturu te eventualno dobivenu pomoć.

ZADATAK URUČEN

29.08.2022.

POTPIS MENTORA

M. Bušić



IZJAVA O AUTORSTVU
I
SUGLASNOST ZA JAVNU OBJAVU

Završni/diplomski rad isključivo je autorsko djelo studenta koji je isti izradio te student odgovara za istinitost, izvornost i ispravnost teksta rada. U radu se ne smiju koristiti dijelovi tuđih radova (knjiga, članaka, doktorskih disertacija, magistarskih radova, izvora s interneta, i drugih izvora) bez navođenja izvora i autora navedenih radova. Svi dijelovi tuđih radova moraju biti pravilno navedeni i citirani. Dijelovi tuđih radova koji nisu pravilno citirani, smatraju se plagijatom, odnosno nezakonitim prisvajanjem tuđeg znanstvenog ili stručnoga rada. Sukladno navedenom studenti su dužni potpisati izjavu o autorstvu rada.

Ja, Marinela Štanjglin pod punom moralnom, materijalnom i kaznenom odgovornošću, izjavljujem da sam isključivi autorica završnog rada pod naslovom Ispitivanje zavarenih spojeva metodama bez razaranja te da u navedenom radu nisu na nedozvoljeni način (bez pravilnog citiranja) korišteni dijelovi tuđih radova.

Studentica:

Marinela Štanjglin

Štanjglin M.

(vlastoručni potpis)

Sukladno Zakonu o znanstvenoj djelatnosti i visokom obrazovanju završne/diplomske radove sveučilišta su dužna trajno objaviti na javnoj internetskoj bazi sveučilišne knjižnice u sastavu sveučilišta te kopirati u javnu internetsku bazu završnih/diplomskih radova Nacionalne i sveučilišne knjižnice. Završni radovi istovrsnih umjetničkih studija koji se realiziraju kroz umjetnička ostvarenja objavljuju se na odgovarajući način.

Ja, Marinela Štanjglin neopozivo izjavljujem da sam suglasana s javnom objavom završnog rada pod naslovom Ispitivanje zavarenih spojeva metodama bez razaranja čija sam autorica.

Studentica:

Marinela Štanjglin

Štanjglin M.

(vlastoručni potpis)

Predgovor

Veliko hvala mentoru doc. dr. sc. Matiji Bušiću dipl. ing. stroj. koji je nesebično dijelio svoje vrijeme i znanje, ne samo kod pisanja završnog rada već kroz cijeli studij.

Također, hvala tvrtki Elektromehanik Systeme d.o.o na ustupljenoj opremi potrebnoj za uspješno odrađivanje praktičnog dijela zadatka, posebno djelatniku Valentinu Vuku na brojnim stručnim savjetima.

Od srca zahvaljujem svojoj obitelji koja mi je sve ovo omogućila te me hrabrila i vjerovala u mene. Hvala mom suputniku Dejanu i svim prijateljima na neizmjernom strpljenju i podršci.

Sažetak

Zavarivanje je postupak spajanja dva ili više dijelova s ili bez dodatnog materijala u cilju dobivanja nerastavljivog spoja. Svaki zavareni spoj sastoji se od zone taljenja (ZT) i zone utjecaja topline (ZUT). Zavarivanje nije moguće bez unosa energije što uzrokuje promjene u samom zavaru i u zonama oko njega. Izuzetno je bitno da je spoj što jednoličnije kvalitete po svim presjecima (mehanička svojstva, udarna radnja loma, otpornost na trošenje itd.). Veliku ulogu kod zavarivanja ima ljudski faktor. S obzirom na to da ljudi nisu roboti gotovo je nemoguće da se ne pojave nepravilnosti tijekom rada.

Nepravilnosti koje se mogu pojaviti prilikom zavarivanja izvedenog taljenjem prema normi HRN EN ISO 6520-1:2007 su:

- 100 – pukotine
- 200 – šupljine i poroznosti
- 300 – čvrsti uključci
- 400 – naljepljivanje i nedovoljni provar
- 500 – pogreške oblika
- 600 – ostale pogreške. [1]

Svaka nepravilnost u zavarenom spoju je vrlo opasna i može dovesti do velikih nezgoda ako se na vrijeme ne otkrije i sanira. Iste je moguće otkriti razornim ispitivanjima (DT) ili nerazornim ispitivanjima (NDT). U praktičnom dijelu ovog rada opisan je način izrade dvije različite konstrukcije na kojima su primijenje neke od metoda nerazornih ispitivanja (vizualna, penetrantska i magnetska kontrola).

Ključne riječi: nepravilnosti u zavarenim spojevima, DT metode, NDT metode, vizualna kontrola, penetrantska kontrola, magnetska kontrola

Summary

Welding is the process of connecting two or more parts with or without additional material in order to obtain an inseparable joint. Each welded joint consists of a melting zone (ZT) and a heat affected zone (HAZ). Welding is not possible without heat input which causes changes in the weld itself and in the zones around it. It is extremely important that the joint be of uniform quality in all sections (mechanical properties, impact fracture, wear resistance, etc.). The human factor plays a big role in welding. Given that humans are not robots, it is almost impossible not to detect irregularities during work.

Irregularities that may occur during welding performed by melting according to EN ISO 6520:2007 are:

- 100 – cracks
- 200 – cavities
- 300 – solid inclusions
- 400 – lack of fusion and penetration
- 500 – imperfect shape and dimensions
- 600 – miscellaneous imperfections. [1]

Any imperfection in a welded joint is very dangerous and can lead to major accidents if not detected and repaired in time. The same can be detected by destructive test (DT) or non-destructive test (NDT). The practical part of this work describes the way two different products are made on which some of the methods of non-destructive testing (visual, penetrating, and magnetic control) are applied.

Keywords: irregularities in welded compounds, DT methods, NDT methods, visual control, penetrant control, magnetic control

Popis korištenih kratica

ZT	Zona taljenja
ZUT	Zona utjecaja topline
ISO	Međunarдна organizacija za standardizaciju (International Organization for standadization)
DT	Razorne metode (Destructive testing)
NDT	Nerazorne metode (Non- destructive testing)
VT	Vizualna kontrola
MT	Magnetska kontrola
PT	Penetrantska kontrola
UT	Ultrazvučna kontrola
RT	Radiografska kontrola
MIG	Postupak zavarivanja metala u zaštiti inertnog plina (Metal inert gas)
MAG	Postupak zavarivanja metala u zaštiti aktivnog plina (Metal active gas)
TIG	Postupak zavarivanja netaljivom volframovom elektrodom u zaštiti inertnog plina
lx	Mjernja jedinica osvjetljenja
HRN	Hrvatska norma
EN	Europska norma (Eurpean standard)

Sadržaj

1. Uvod	1
2. Opći (teorijski) dio	2
2.1. MIG postupak zavarivanja	2
2.1.1. Načela i potrebna oprema	2
2.1.2. Osnovni parametri kod MIG zavarivanja.....	3
2.1.3. Prednosti i nedostaci	3
2.2. TIG postupak zavarivanja	4
2.2.1. Načela i oprema	4
2.2.2. Osnovni parametri kod TIG zavarivanja.....	5
2.2.3. Prednosti i nedostaci	5
2.3. Podjela nerazornih ispitivanja zavarenih spojeva	6
2.4 Vizualna kontrola	7
2.4.1 Mjerni alati i uređaji za vizualnu kontrolu	9
2.4. Magnetska kontrola	11
2.4.1. Potrebna oprema i sredstva za ispitivanje	12
2.5. Penetrantska kontrola	15
2.5.1. Potrebna oprema za ispitivanje	16
3. Praktični dio	18
3.1. Prva konstrukcija.....	18
3.1.1. Vizualna kontrola prve konstrukcije	18
3.1.2. Penetrantska kontrola prve konstrukcije.....	20
3.2. Druga konstrukcija	23
3.2.1. Vizualna kontrola druge konstrukcije	23
3.2.2. Magnetska kontrola druge konstrukcije	24
4. Analiza rezultata.....	26
5. Zaključak.....	29
6. Literatura	30
7. Popis slika	31
8. Popis tablica	32
9. Prilozi	33

1. Uvod

Normom HRN EN ISO 5817:2014 određene su klase dopustivih pogrešaka u zavarenim spojevima nastalim taljenjem. Primjenjuje se za sve tipove čelika, nikla, titana i njegovih legura za debljine veće od 0,5 mm. Postoje tri klase pogrešaka zavarenih spojeva, a to su: visoka (B), srednja (C) te niska (D) klasa. Prema HRN EN ISO 5817: 2014 postoje dvije osnovne vrste pogrešaka, kratke i duge. Kratke pogreške (nepravilnosti) su jedna ili više nepravilnosti čija je ukupna duljina manja od 25 mm na svakih 100 mm zavarenog spoja ili s najvećom dužinom 25% od ukupne dužine zavara za zavare kraće od 100 mm . Duge pogreške (nepravilnosti) su jedna ili više nepravilnosti čija je ukupna duljina veća od 25 mm za svakih 100 mm zavarenog spoja ili s najmanjom dužinom od 25% od ukupne dužine zavara za zavare kraće od 100 mm. [2]

U većini slučajeva, nepravilnosti u zavarenim spojevima nisu vidljive golim okom iz razloga jer ne nastaju na površini već u materijali ili su toliko sitne da ih nije moguće otkriti bez pomagala. Zahvaljujući rapidnom napredovanju tehnologije, danas se nepravilnosti u zavarenim spojevima mogu vrlo lako otkriti. Postoji velik broj mogućih ispitivanja, no svako ispitivanje ima neke preduvjete koji moraju biti ispunjeni kako bi rezultati bili valjani.

Kod razornih metoda ispitivanje se provodi na uzorcima. Vrlo rijetko postoji mogućnost razaranja zavarenog spoja, odnosno ne postoji mogućnost formiranja uzorka na kojem bi se provele razorne metode ispitivanja. Upravo iz navedenih razloga DT metode se gotovo nikad ne koriste na gotovim proizvodima.

NDT metode (defektoskopija) imaju vrlo široku primjenu zbog toga što ne utječu na funkcionalnost proizvoda i za ispitivanje nije potreban uzorak. Ispitivanja se vrše direktno na poluproizvodu ili proizvodu.

Tablica 1.1 Postupci ispitivanja zavarenih spojeva [3]

DT metode	NDT metode
Korizijska ispitivanja	Vizualna kontrola (VT)
Ispitivanja savijanjem	Magnetska kontrola (MT)
Ispitivanje udarne radnje loma i tvrdoće	Penetrantska kontrola (PT)
Metalografska ispitivanja	Ultrazvučna kontrola (UT)
Statičko vlačno ispitivanje	Radiografska kontrola (RT)

2. Opći (teorijski) dio

2.1. MIG postupak zavarivanja

MIG postupak spada u elektrolučni postupak zavarivanja u kojem se koristi taljiva elektroda u zaštitnoj atmosferi inertnog plina. Naziv MIG dolazi od engleskog izraza *Metal inert gas* (Metal-inertni plin). Kod takve vrste zavarivanja koristi se inertni plin, točnije argon ili helij. Električni luk se održava između kontinuirane taljive elektrode, odnosno žice koja je spojena na pozitivan pol istosmjerne struje. Žica tako ima ulogu elektrode i dodatnog materijala. Rastaljena metalna kupka zaštićena je inertnim plinom. MIG postupak zavarivanja vrlo je sličan MAG postupku, a osnovna razlika je u zaštitnom plinu. MAG postupak karakteriziraju aktivni plinovi (ugljičkov dioksid i njegove mješavine s drugim plinovima).

2.1.1. Načela i potrebna oprema

Električni luk ostvaruje se kratkim spojem - dodiranjem između žice i radnog komada, nakon čega slijedi ravnomjerno dodavanje žice koja je namotana u kolut. Žica se tali i formira zavareni spoj. Prijenos metala može biti na dva načina, a to su: prijenos rastaljene kapljice s vrha elektrode slobodnim letom kroz električni luk na osnovni materijal te fizički dodir kapljice i radnog komada uslijed čega nastane kratki spoj.

Oprema za MIG zavarivanje sastoji se od gorionika, izvora struje, boce sa zaštitnim plinom te nekoliko sustava kao što su sustav za dovod plina, žice i upravljački sustav preko kojega se kontroliraju određeni parametri. Kod zavarivanja pri većim jakostima struje neizbježan je sustav hlađenja gorionika i uređaja tekućinom za hlađenje. Oprema za MIG zavarivanje prikazana je na slici 2.1.



Slika 2.1 Oprema za MIG zavarivanje [4]

2.1.2. Osnovni parametri kod MIG zavarivanja

Osnovni parametri kod MIG zavarivanja su:

- napon zavarivanja
- jakost struje zavarivanja - značajno ovisi o promjeru upotrebene žice za zavarivanje
- brzina zavarivanja - ovisi o tehnici (povlačenje ili njihanje), promjeru žice i parametrima zavarivanja
- napon praznog hoda.

2.1.3. Prednosti i nedostaci

Neke od prednosti MIG zavarivanja su:

- kvalitetan zavar (ovisi o zavarivaču)
- mala količina prskanje prilikom zavarivanja
- mogu se spajati različiti metali
- može biti automatsko ili poluautomatsko
- dobra brzina zavarivanja
- manja cijena opreme za zavarivanje u usporedbi sa TIG opremom
- moguće je zavarivanje u svim položajima
- smanjena iskrivljenja konstrukcije
- može se koristiti za pojedinačnu i masovnu proizvodnju te za reparaturu.

Nedostaci MIG postupka zavarivanja su:

- nije prikladan za zavarivanje na otvorenom
- zahtjeva dobru pripremu metala
- kvaliteta zavara je slabija u odnosu na TIG
- kvaliteta zavara ovisi o zavarivaču
- jako bljeskanje prilikom zavarivanja
- oslobađa se veća količina plinova (potrebna dobra ventilacija prostora).

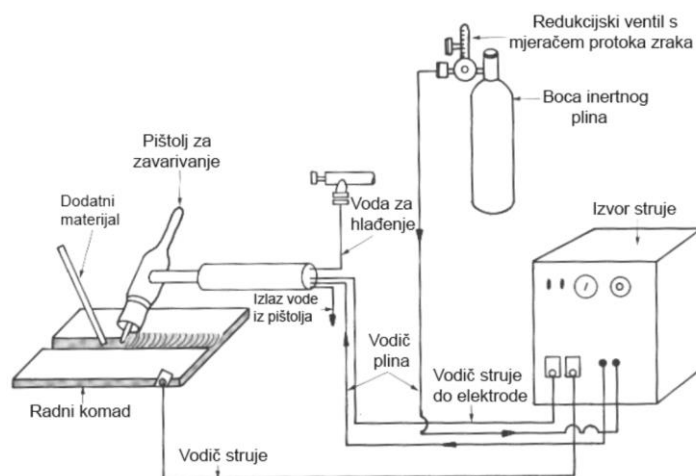
2.2. TIG postupak zavrivanja

TIG postupak zavarivanja je elektrolučni postupak zavarivanja u kojem se koristi netaljiva volframova elektroda u zaštitnoj atmosferi inertnog plina. Spomenuti postupak primjenjuje se kod proizvodnih zavarivanja, navarivanja te reparature aluminijskih legura. Najčešće se koristi za zavarivanje limova i cijevi debljine do 6 mm. Uspostava električnog luka odvija se između netaljive volframove elektrode i osnovnog materijala. Zavarivanje je moguće s ili bez dodatnog materijala. Zavarivanje bez dodatnog materijala naziva se pretaljivanje. Zaštitni plinovi koji se danas vrlo često koriste su helij i argon.

2.2.1. Načela i oprema

Za uspostavu električnog luka služi netaljiva elektroda, a njegove karakteristike ovise o geometriji elektrode. Električni luk uspostavlja se pomoću visokofrekventnog generatora koji se uključuje u jako kratkom vremenu (manje od sekunde), točno pred zavarivanje. Nakon uspostavljanje električnog luka između volframove elektrode i radnog komada, visokofrekventni generator se isključuje. Zatim slijedi taljenje rubova žlijeba i jednoliko ručno dodavanje žice u električni luk koja se zatim tali i formira zavareni spoj. Izvor struje može biti: istosmjerni izvor s minus polom, istosmjerni izvor s plus polom te izmjenični izvor.

Najbitnija oprema kod TIG zavarivanja je netaljiva volframova elektroda, zatim zaštitni plin i sustav za dovođenje istog te izvor struje za zavarivanje kao što prikazuje slika 2.2.



Slika 2.2 Oprema za TIG zavarivanje [5]

2.2.2. Osnovni parametri kod TIG zavarivanja

Osnovni parametri kod TIG zavarivanja su:

- jakost struje – određuje se prema obliku i dimenzijama spoja te vrsti i debljini materijala
- napon zavarivanja - povezan je s jačinom struje
- polaritet elektrode - određuje se prema vrsti materijala koji se zavaruje
- promjer volframove elektrode - bira se prema jačini električne struje.

2.2.3. Prednosti i nedostaci

Neke od prednosti TIG zavarivanja su:

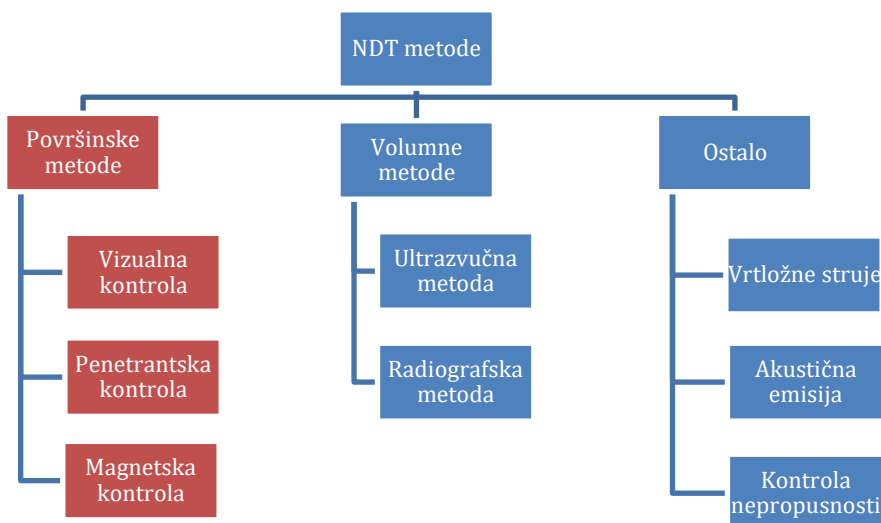
- smanjena ZUT zbog koncentriranosti električnog luka
- bez prskanja i troske
- izrazito mala količina štetnih plinova
- moguće je zavarivanje široke palete metala i njihovih legura
- mogu se spajati raznorodni metali
- moguće je zavarivanja u svim položajima
- zavar izgleda odlično.

Nedostaci su:

- otežano zavarivanja na otvorenim prostorima
- cijena opreme za zavarivanje i plinova je visoka
- neekonomičnost kod zavarivanja pozicija debljine veće od 6 mm
- kvaliteta zavar ovisi o vještini zavarivača
- mala brzina zavarivanja
- mali depozit materijala
- pojačana svjetlost i UV zračenje
- dugi rok učenja zavarivača.

2.3. Podjela nerazornih ispitivanja zavarenih spojeva

Ispitivanje zavarenih spojeva NDT metodom dijeli se u tri osnovne skupine, a to su: površinske metode, volumne metode i ostalo. Kod površinskih metoda nepravilnost je moguće otkriti samo ako se nalazi na površini ili ako je otvorena prema površini. Volumne metode su nešto složenije, a njima se otkrivaju nepravilnosti unutar zavarenog spoja. Osnovnu podjelu NDT metoda prikazuje dijagram 2.1. U daljnjem nastavku završnog rada naglasak je stavljen na površinske metode. Tablica 2.2 prikazuje mogućnost primjene pojedine metode s obzirom na nepravilnost u zavarenom spoju.



Dijagram 2.1 Podjela nerazornih ispitivanja

Tablica 2.2 Područja primjene NDT metoda s obzirom na nepravilnosti [3]

Vrsta nepravilnosti	Metode ispitivanja	Vizualna kontrola	Penetrantska kontrola	Magnetska kontrola
	Pukotine	Manje	(+)	+
Veće		+	+	+
Potpovršinske		-	(+)	+
Poroznost	Površinske	+	-	+
	U zavaru	-	-	-
Čvrsti uključci		-	-	-
Naljepljivanje		-	-	-
Nepotpuna penetracija	Vanjsko	+	+	+
	U zavaru	-	-	(-)
Pogreške oblika		+	-	-
Ostalo		+	(-)	(-)

Objašnjenje: + → dobra mogućnost određivanja

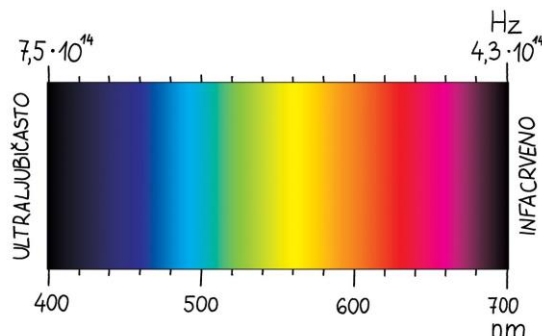
(+) → mogućnost uvjetovana geometrijom i sl.

(-) → vrlo ograničena i nelogična primjena

- → neprimjenjivost metode

2.4 Vizualna kontrola

Vizualna kontrola je najstarija, najjednostavnija i najčešće korištena metoda otkrivanja površinskih nepravilnosti. To je osnovna metoda i ona uvijek prethodi bilo kojoj drugoj metodi. Ovom kontrolom mogu se otkriti razne nepravilnosti kao što su: neprovaren korijen, pukotine, površinske poroznosti te nepravilnost oblika zavara. Nepravilnosti se otkrivaju golim okom ili povećalom (lupom) uz moguću primjenu mjernih alata, šablona i pomoćnog pribora. Najvažniji faktor u ovoj kontroli je ljudsko oko i svjetlost. Svjetlost je vidljivo elektromagnetsko zračenje, ljudskom oku vidljivo u rasponu od 380 do 780 nm kao što prikazuje slika 2.3.

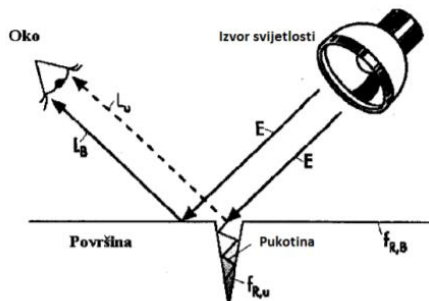


Slika 2.3 Raspon svjetlosti [6]

Faze vizualne kontrole su:

1. Ispitivanje prije zavarivanja - ovdje se provjerava oblik i dimenzije pripreme zavara, čistoća površine i jesu li pozicije fiksirane prema zadanom nacrtu
2. Ispitivanje tijekom zavarivanja - provjerava se jesu li rubovi osnovnog materijala dovoljno rastaljeni, da li je očišćen svaki prolaz prije novog te nema li pukotina ili šupljina
3. Ispitivanje nakon zavarivanja - najbolje ga je provesti 72 sata nakon zavarivanja, kontrolira se oblik i dimenzije zavara te površinske nepravilnosti.

Kako bi se uočile nepravilnosti ispitno mjesto mora biti dobro osvijetljeno i vid kontrolora mora biti zadovoljavajući. Ispitno mjesto ne smije biti udaljeno više od 600 mm od oka kontrolora, a kut gledanja ne smije biti manji od 30° . Ako postoji potreba za osvjetljenjem, svjetiljku (lampu) treba postaviti sa suprotne strane i to pod kutem od 5° do 45° kao što prikazuje slika 2.4. [7]



Slika 2.4 Prikaz pravilne vizualne kontrole [7]

Osvijetljenost ispitne površine mora iznositi minimalno 350 lx, a preporuča se oko 500 lx. Ako postoji nesigurnost vezana uz jačinu svjetlosti, ona se može izmjeriti pomoću luxmetra. Svi ranije navedeni zahtjevi definirani su normom HRN EN ISO 17637:2017, a naziv norme glasi *Nerazorno ispitivanje zavara - Vizualno ispitivanje zavarenih spojeva nastalih taljenjem*. [8] Pomoću sive karte moguće je provjeriti jesu li svi zahtjevi za vizualnu kontrolu ispunjeni. Siva karta je ploha s 18 % neutralno sive boje na kojoj se nalazi crna crta maksimalne širine 0,8 mm. Ako kontrolor vidi crtu s udaljenosti od 600 mm, tada su zahtjevi ispitivanja ispunjeni.

Razlikuju se dvije tehnike vizualne kontrole:

- direktna vizualna kontrola - koristi se na pristupačnim mjestima gdje je moguće direktno usmjeriti pogled
- indirektna vizualna kontrola - potrebna je oprema koja olakšava pristup nepristupačnim mjestima kao što pokazuje slika 2.5.



Slika 2.5 Indirektna vizualna kontrola

2.4.1 Mjerni alati i uređaji za vizualnu kontrolu

Najbitnija stavka vizualne kontrole je dobar vid kontrolora. Ukoliko kontrolor ima dobar vid lako će uočiti nepravilnosti. Ako je riječ o nešto manjim nepravilnostima koje su teže vidljive ljudskim okom, može se upotrijebiti povećalo. Najčešće se koriste povećala s povećanjem od 10 puta.

Na teže pristupačnim i zakrivljenim mjestima gdje je kut gledanja nepovoljan koriste se zrcala. Postoje dvije osnovne vrste zrcala, a to su ravna i zakrivljena. Pomoću ravnih zrcala moguće je odrediti udaljenost i veličinu neke nepravilnosti, dok zakrivljena zrcala umanjuju ili uvećavaju sliku (ovisno o tipu). Zrcala vrlo često sadrže i povećala na kojima je moguće podesiti kut gledanja, a mogu imati i ugrađeno svjetlo.

Endoskopi su optički instrumenti pomoću kojih se kontroliraju nepristupačna mjesta. Koriste se u slučajevima kad je potrebno kontrolirati unutrašnju stranu cjevovoda ili kod kontrole raznih spremnika i posuda pod tlakom. Glavna funkcija endoskopa je da osvijetli nepristupačne prostore. Upravo ta svjetlost se provodi kroz cijev endoskopa i tako se stvara slika. Postoje dvije vrste endoskopa, a to su: kruti (boroskop) i fleksibilni (fibroskop). Danas postoje kamere koje se spajaju na mobilni uređaj te tako mobilni uređaj obavlja funkciju endoskopa. Slika 2.6 prikazuje fibroskop.



Slika 2.6 Endoskop (fibroskop) [9]

Vizualna kontrola zahtijeva kontrolu dimenzija, oblika i kvalitete površine nekog zavarenog spoja. Za mjerenje dimenzija zavara koriste se: mjerila u obliku kapljice vode, šablone za mjerenje visine kutnog zavora, HI-LO mjerne skale, mostna mjerila te V-WAC mjerila. Na slici 2.7 prikazan mjerac nadvišenja kutnih zavarenih spojeva.



Slika 2.7 Mjerac nadvišenja kutnih zavarenih spojeva [10]

Ranije navedeni uređaji i pomagala koriste se za direktno vizualno ispitivanje. Kod indirektnog ispitivanja prekinut je put od predmeta do ispitivačkog oka. Najčešće korišten uređaj kod indirektnog ispitivanja je videoskop. Za razliku od endoskopa ovdje se stvara elektronska slika što znači da postoji ekran koji emitira ono što kamera videoscopa snimi. Postoji još jedna vrsta videoscopa, a ona ne emitira video na ekran odmah, nego se nepristupačno mjesto snimi pa se naknadno pogleda snimka. Slika 2.8 prikazuje videoskop.



Slika 2.8 Videoskop [11]

Prije vizualne kontrole površinu treba dobro očistiti i ona mora biti dovoljno osvijetljena. Ova metoda primjenjuje se gotovo uvijek jer je jeftina i ne oduzima puno vremena, a daje mnogo informacija. Kod metoda bez razaranja, vizualna kontrola ne može biti jedina provedena. Uvijek se uz spomenutu provodi još jedna metoda kako bi se sa sigurnošću moglo potvrditi da proizvod zadovoljava tražene uvijete.

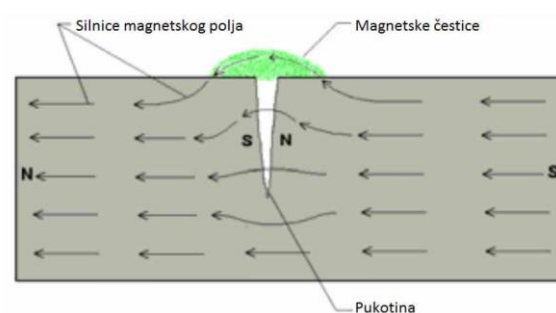
2.4. Magnetska kontrola

Magnetska kontrola također spada u NDT metode. Ovom metodom otkrivaju se površinske i potpovršinske nepravilnosti otvorene prema gore. Takvu kontrolu moguće je provesti jedino na feromagnetskim materijalima, a to su: feromagnetično željezo, kobalt, nikal i njihove legure. Nakon magnetske kontrole, komade je potrebno demagnetizirati jer će njihova magnetiziranost otežati svaku daljnju obradu.

Ovom kontrolom otkrivaju se nepravilnosti poput:

- pukotina
- poroznosti
- metalnih i nemetalnih uključaka
- mjestimične promjene mikrostrukture.

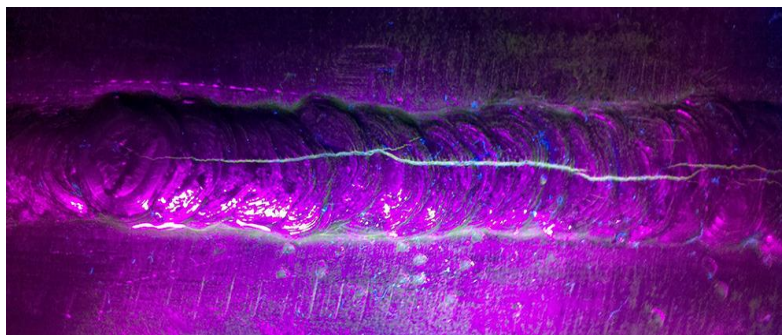
Temeljno načelo ove metode je izlaz magnetskog polja na površinu magnetiziranog materijala. Pod djelovanjem magnetizma, magnetske čestice se nakupljaju na mjestu gdje su otkrivene nepravilnosti. Sve se temelji na magnetskoj indukciji. Magnetsko polje stvara se oko vodiča kroz koji prolazi električna struja. Silnice magnetskog polja kroz materijal prolaze po pravilu desne ruke. Kad silnice dođu do nepravilnosti, one iskaču iz materijala. Na ispitno mjesto nanese se feromagnetske čestice i te čestice se nakupe upravo na onom mjestu gdje je došlo do iskakanja silnica kao što prikazuje slika 2.9.



Slika 2.9 Ispitivanje magnetskim česticama [12]

Sve nepravilnosti koje su okomite na tok magnetskog polja mogu se otkriti, dok one paralelne nije moguće otkriti. Kako bi se otkrile sve nepravilnosti magnetni jaram se zakreće od 45° do 90° stupnjeva na jednom mjestu.

Magnetizacija je moguća s istosmjernom strujom, gdje je dubina prodiranja magnetskih čestica do 10 mm ili izmjeničnom strujom gdje se pojavljuje skin efekt pa se nepravilnosti detektiraju na 2-3 mm ispod površine. Na slici 2.10. prikazane su nepravilnosti otkrivene magnetskom metodom.



Slika 2.10 Pukotine otkrivene magnetskom kontrolom [12]

2.4.1. Potrebna oprema i sredstva za ispitivanje

Već je ranije spomenuto kako je glavni uvjet magnetskog ispitivanja feromagnetnost materijala pa je prema tom kriteriju potrebna posebna oprema. Potrebna oprema za ispitivanje je poprilično skupa i mnogobrojna te je prikazana na slici 2.11. Ispitni komad se prije kontrole svakako mora dobro očistiti. Za uspješnu provedbu magnetske metode potrebni su: uređaj za mjerenje bijelog i UV svjetla, UV lampa, magnetski jaram i magnetske čestice u spreju.



Slika 2.11 Potrebna oprema za magnetsku kontrolu zavarenih spojeva

Feromagnetske čestice su posebni magnetski materijali koji moraju zadovoljavati uvjete vezne uz magnetsku permeabilnost, veličinu, kontrast i oblik. S obzirom na osjetljivost metode, feromagnetske čestice dijele se na obojene i fluorescentne. Jednostavniju primjenu imaju obojene čestice jer se pregled vrši uz bijelo svjetlo, a nedostatak im je slabiji kontrast. Fluorescentne čestice imaju bolji kontrast te se iz tog razloga koriste za ispitivanje proizvoda na mjestu gdje se očekuju nepravilnosti manjih dimenzija. Za kontrolu fluorescentnim česticama potrebno je osigurati posebne uvjete, odnosno treba zamračiti prostor i treba uperiti UV lampu. Jačina bijele svjetlosti ne smije prelaziti 20 lx, a isti slučaj je i kod penetrantske kontrole. U praksi se koriste dva postupka, a to su mokri i suhi postupak. Kod mokrog postupka veličine čestica se kreću u rasponu od 0,1 do 20 μm . Suhim postupkom otkrivaju se veće nepravilnosti (šire pukotine) pa su zrnca veća.

Feromagnetske čestice moraju ispunjavati nekoliko zahtjeva:

- ne smiju sadržavati otrovne supstance i nečistoće
- zadovoljavajući oblik i veličinu
- magnetska svojstva
- dobar kontrast.

Najbitniji zahtjev za čestice je veličina i oblik zrna jer ono mora odgovarati očekivanoj širini nepravilnosti. Curenje magnetskog toka nije moguće odrediti ako je zrno veće od nepravilnosti. Ako pak je zrno manje, dolazi do nejasnih indikacija jer ih nepravilnost upije.

Feromagnetske čestice se na tržištu mogu pronaći u nekoliko oblika, a to su:

- u sprej dozama - one se direktno nanose na površinu bez dodatne pripreme te imaju najveću upotrebu, prikazuje slika 2.12
- u obliku vodenog koncentrata - zahtijeva se miješanje s vodom
- u obliku paste ili praha što zahtijeva miješanje s uljem, prikazuje slika 2.12



Slika 2.12 Feromagnetične čestice u spreju i prahu [13]

Na slici 2.13 prikazana je indikacija nepravilnosti u zavarenom spoju otkrivena fluoerescentnim magnetskim česticama.



Slika 2.13 Indikacija u zavarenom spoju

Prednosti magnetske kontrole su:

- jednostavnost postupka
- lako otkrivanje površinskih nepravilnosti i pukotina otvorenih prema površini.

Nedostaci magnetske kontrole su:

- ovom metodom nije moguće otkrivanje dimenzija nepravilnosti
- s porastom dubine učinkovitost opada
- mogu se ispitivati samo feromagnetski materijali
- nakon ispitivanja potrebna demagnetizacija
- jakost struje regulira se veličinom proizvoda što utječe na cijenu.

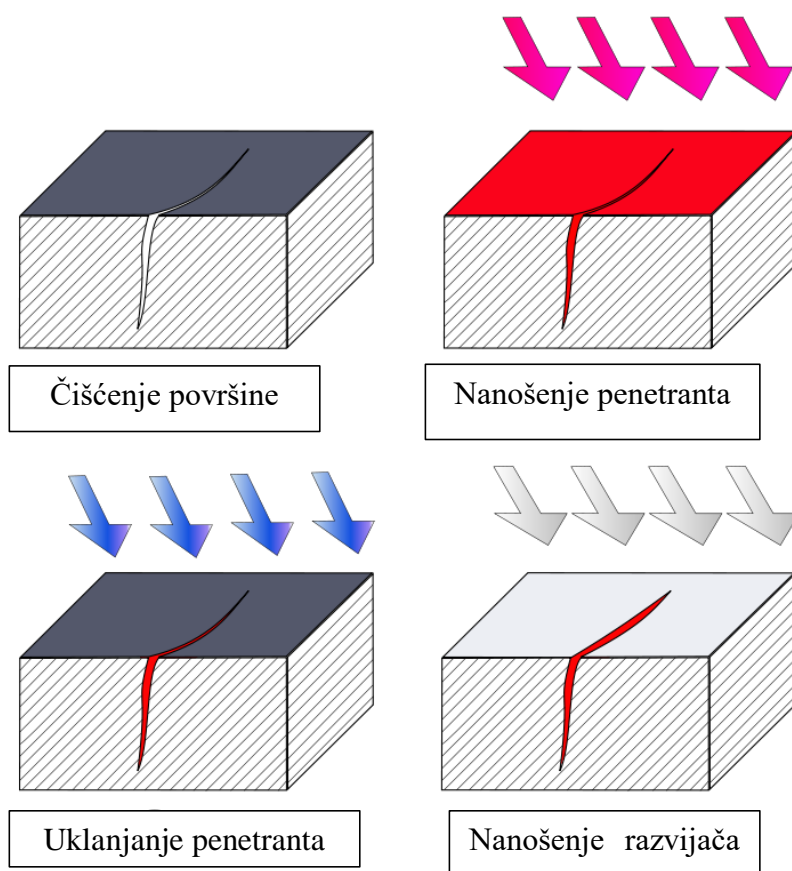
Nakon provedene magnetske kontrole, ispitne komade potrebno je demagnetizirati. Demagnetizacija se provodi vibracijama, udarcima te električnim uređajima puštanjem kroz materijal struje određene frekvencije i impulsa. Demagnetizacija je odstranjivanje zaostalog magnetizma, a provodi se kada:

- ispitni komad svojim magnetizmom može utjecati na instrumente u blizini
- ispitni komad ide na daljnju strojnu obradu (u suprotnom bi došlo do privlačenja strugotine)
- ispitni komad ide na zavarivanje (otklon električnog luka) te kada
- postoji opasnost od oštećenja izratka česticama nastalim trošenjem ili erozijom.

2.5. Penetrantska kontrola

Penetrantska kontrola jedna je od najstarijih NDT metoda. Često se primjenjuje iz razloga jer je oprema relativno jednostavna i jeftina. Učinkovitost ispitivanja ovisi o: vrsti opreme, stanju ispitne površine, vremenu prodiranja i razvijanja te o uvjetima promatranja. Penetrantskom kontrolom otkrivaju se površinske prekinutosti te propusnosti otvorene prema površini.

Prilikom ove metode, površinu je bitno očistiti od nečistoća i masnoća. Na površinu se nanosi penetrant koji je upakiran u obliku spreja. Vrijeme penetriranja je od 5 do 60 min, a točan podatak može se naći na pakiranju penetranta. Nakon penetriranja, s površine je potrebno ukloniti penetrant brisanjem ili blagim mlazom mlake vode. Osim penetranta koristi se i razvijatelj, a on se nanosi na očišćenu površinu nakon penetriranja. Vrijeme razvijanja je između 10 i 30 min. Penetrantske čestice koje su ostale u nepravilnostima tada izlaze na površinu i ukazuju na indikacije u zavarenom spoju. Prodiranje penetranta u površinske nepravilnosti omogućeno je zbog kapilarnog efekta. Postupak penetrantske kontrole prikazan je na slici 2.14.



Slika 2.14. Postupak penetrantske kontrole [14]

2.5.1. Potrebna oprema za ispitivanje

Penetrant je tekućina koja se izravno nanosi na ispitno mjesto. Ima sposobnost zadiranja i zadržavanja u površini. Standardni penetranti izrađeni su od mineralnih ulja ili alkohola u kojima su rastvorene obojene ili fluorescentne tvari. Penetrantski materijali, isto kao i feromagnetske čestice dijele se u dvije osnovne skupine, a to su: obojeni i fluorescentni penetranti. Obojene penetrante karakterizira crvena boja. Prednost obojenih penetranta u odnosu na fluorescentne je ta da se ne zahtijevaju posebni uvjeti ispitivanja, npr. zamračena prostorija i UV lampa. Prema odstranjivanju suviška, penetranti mogu biti vodo perivi te otapalom odstranjivi penetranti. Postoji četiri klase osjetljivosti. Srednja klasa osjetljivosti označena je Levelom 2 i ona se najčešće koristi. Slika 2.15 prikazuje indikaciju obojenog penetranta.



Slika 2.15 Indikacija otkrivena penetrantskom kontrolom

Razvijač pomaže kod "izvlačenja" penetranta iz nepravilnosti. Bez razvijača ne bi bilo moguće uočiti nepravilnosti. Standardni prahovi razvijača sastoje se od silikata ili karbonata koji su rastvoreni u vodi ili otapalu te ih karakterizira bijela boja. Razvijača kao i penetranta ne smije biti ni previše ni premalo na ispitnom komadu. Najčešće su pakirani u sprej bocama kako bi se dozirali poput magle, odnosno bez kapljica. Provjera osjetljivosti vrši se na referentnim etalonima. Etaloni su ploče s crtama različite debljine, detaljno ih opisuje norma HRN EN ISO 3452-3. [15]

Slika 2.16 pokazuje referentni etalon za penetrantsku kontrolu.



Slika 2.16 Referentni etalon [15]

Čišćenje je najosjetljiviji dio penetrantske metode, a može biti grubo ili fino. Kod grubog čišćenja uklanjaju se nečistoće s površine koje bi mogle uzrokovati lažne indikacije. Fino čišćenje podrazumijeva temeljitu čistoću površine te otvaranje svih nepravilnosti otvorenih prema površini. Kako bi se olakšalo uklanjanje nečistoća, ulja i boja postoje sredstva za čišćenje. Isto to sredstvo može se koristiti za odstranjivanje viška penetranta nakon penetracije te završno čišćenje. Nakon provedene kontrole, sve ispitne komade potrebno je vratiti u prvobitno stanje, što znači da se moraju očistiti ostaci razvijača i penetranta.

Ako ispitna površina nije dovoljno dobro očišćena, mogu se pojaviti lažne indikacije, a razlozi nastanka su:

- zaostale kapi penetranta
- indikacije zbog neprimjerenog dizajna, odnosno geometrijskih karakteristika
- zaostali neki drugi materijali ili nečistoće, npr. vlakna od krpe za čišćenje.

Penetrantska kontrola ima mnogo prednosti, a neke od njih su:

- jednostavnost primjene
- osjetljivost na sitne nepravilnosti na površini
- primjenjivo za sve materijale
- može se kontrolirati dio ili pak cijeli komad neovisno o veličini
- indikacije se uočavaju odmah na površini
- sredstva (penetranti i razvijači) su jeftini, lagani i primjereni za terensko ispitivanje
- nepotrebna električna energija za provedbu ispitivanja.

Nedostaci penetrantske kontrole su:

- otkrivaju se samo površinske nepravilnosti
- može se primjeniti samo na neporoznim materijalima
- temeljno čišćenje površine prije ispitivanja
- hrapavost površine može utjecati na rezultat
- obavezno čišćenje nakon ispitivanja
- automatizacija postupka je izrazito loša
- rezultati uvelike ovise o preciznosti i iskustvu kontrolora.

3. Praktični dio

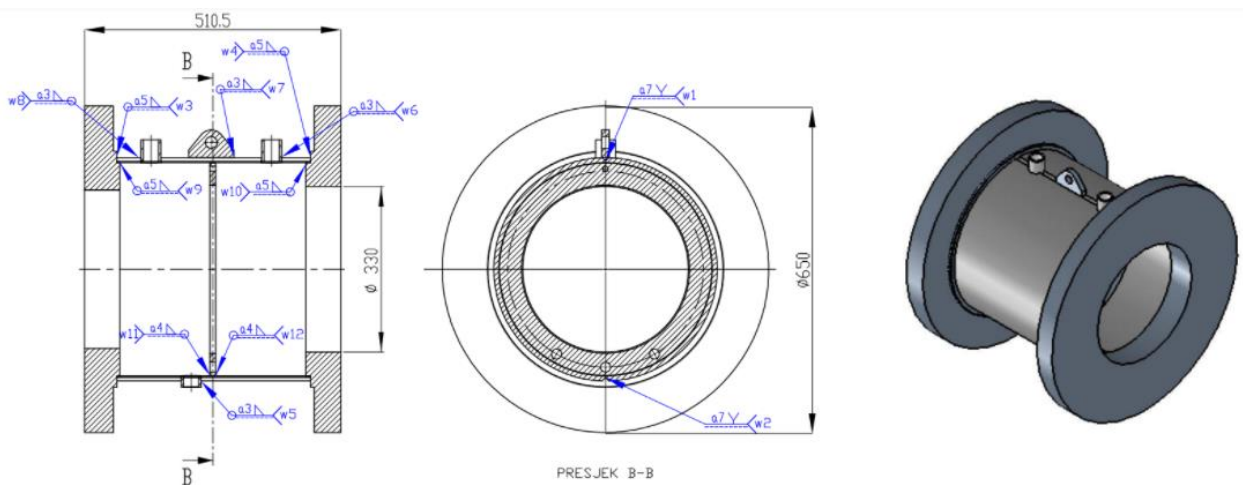
U praktičnom dijelu ovog rada prikazan je postupak vizualne, penetrantske i magnetske metode ispitivanja zavarenih spojeva. Ispitivanja su provedena na dvije različite konstrukcije iz razloga jer se na svakoj konstrukciji korištena drugačija metoda. Vizualna kontrola provedena je na obje konstrukcije i ona se uvijek provodi prva. Ako se na istoj konstrukciji mora provesti ispitivanje magnetima i penetrantima, prvo se rade penetranti. Razlog je taj što u spreju feromagnetičnih čestica postoji "ulje" koje zapuni nepravilnosti pa kasnije kod ispitivanja penetrantima, penetrant ne može ući u nepravilnost. Ovakva ispitivanja mogu provoditi samo osobe koje imaju certifikat.

3.1. Prva konstrukcija

Prva konstrukcija izrađena je od materijala 1.4301 (AISI 304). Sastoji se od ukupno devet pozicija. TIG i MIG postupcima navedene su pozicije zavarene u konstrukciju. Svi zavari veći od a5 napravljeni su MIG postupkom, a zavari manji od a5 napravljeni su TIG postupkom. Spomenuti materijal nije feromagnetičan pa je iz tog razloga na njemu primjenjena penetrantska metoda. Kako bi ispitivanja bila važeća konstrukciju je trebalo dobro očistiti. Površina je prvo bila četkana, a zatim odmašćena.

3.1.1. Vizualna kontrola prve konstrukcije

Prije vizualne kontrole potrebno je detaljno proučiti dokumentaciju te definirati broj i poziciju zavarenih spojeva. Zbog lakše analize zavare je potrebno označiti kako u dokumentaciji tako i na samoj konstrukciji. Slika 3.1 prikazuje nacrt na kojem su označeni zavari.



Slika 3.1 Označavanje zavara na nacrtu

Nakon označavanja zavara na nacrtu, isto je učinjeno na konstrukciji kao što prikazuje slika 3.2.



Slika 3.2 Označavanje zavara na konstrukciji

Prema normi HRN EN ISO 17637:2017 jačina svjetlosti mora biti minimalno 350 lx, a preporuča se 500 lx. [8] Jačina svjetlosti je jako bitan parametar koji se može izmjeriti pomoću luxmetra kao što prikazuje slika 3.3. U ovom slučaju, jačina svjetlosti iznosila je 538,8 lx.



Slika 3.3 Mjerenje jačine svjetlosti

Zavari koji se nalaze sa unutarnje strane komade nisu bili dovoljno osvijetljeni pa je bilo potrebno koristiti baterijsku svjetiljku. U ranije propisanoj normi određeno je kako izvor svjetlosti odnosno svjetiljka mora biti usmjerena suprotno od očiju kontrolora. Na slici 3.4 prikazan je alat za mjerenje nadvišenja zavara. Zavare W1 i W2 je trebalo izbrusiti pa je pomoću ovog alata potvrđeno da nema uzvišenja ni udubljenja.



Slika 3.4 Mjerenje nadvišenja zavra

Pomoću mjernih pločica koje se u pravilu ne koriste, provjerila sam veličinu zavarenih spojeva. Na pločici je otisnuta veličina zavora i ta pločica se mora lagano prisloniti na zavar i mora mu konturno odgovarati kao što prikazuje slika 3.5. Vizualnom kontrolom nisu utvrđene nikakve nepravilnosti.



Slika 3.5 Mjerenje veličine zavora

3.1.2. Penetrantska kontrola prve konstrukcije

Vizualna kontrola ne može biti jedina metoda ispitivanja. S obzirom na to da materijal prve konstrukcije nije feromagnetičan primijenjena je penetrantska, a ne magnetska metoda. Korištena sredstva su: odmaščivač ("cleaner/remover"), crveni penetrant te razvijlač, a prikazana su na slici 3.6.



Slika 3.6 Sredstva za penetrantsko ispitivanje

Svaki sprej na dnu pakiranja ima ispisani broj šarže. Prilikom kupnje sredstva isporučitelj je dužan poslati pripadajuće i važeće atestove. Atest korištenog penetranta nalazi se u prilogu (slika 5.1). Broj šarže penetranta prikazan je na slici 3.7.



Slika 3.7 Broj šarže penetranta

Ispitivanje je potrebno započeti temeljitim čišćenjem konstrukcije kako ne bi došlo do lažnih indikacija. Osim spomenutog čišćenja, konstrukcija je također očišćena pomoću odmašćivača ("cleaner/remover"). Poslije čišćenja slijedi nanošenje penetranta. Sprej bocu sa penetrantom potrebno je dobro protresti. Korišten je crveni penetrant (obojeni), tipa 2. Tip 2 je najčešće korišten penetrant sa prosječnom kvalitetom. Iznimno je bitno nanijeti odgovarajuću količinu penetranta. Penetranta ne smije biti premalo jer se onda neće ispuniti sve nepravilnosti, a ne smije ga biti ni previše zbog neekonomičnosti i teškoće čišćenja istog. Nije dobro penetrirati samo zavareni spoj već i dio oko zavara iz razloga jer nepravilnosti mogu nastati u ZUT- u. Vrijeme penetriranja bilo je 20 minuta. Slika 3.8 prikazuje penetriranu prvu konstrukciju.



Slika 3.8 Penetrirana prva konstrukcija

Nakon 20 minuta penetrant je potrebno u potpunosti ukloniti. Često nije moguće ukloniti sve, ali količina zaostalog penetranta utječe na rezultat ispitivanja pojavom lažnih indikacija. Penetrant se čisti pomoću odmašćivača ("cleaner/remover").

Važno je da se odmaščivač ne prska direktno na površinu jer pod pritiskom izlaska iz spreja može "isprati" penetrant koji je ušao u nepravilnost i kasnije se neće pokazati kao indikacija. Nakon čišćenja slijedi nanošenje razvijača. Razvijač je potrebno jako dobro protresti jer su bijele čestice nataložene na dnu spreja. Razvijač se nanosi direktno na zavarene spojeve u obliku magle. Dovoljna količina razvijača manifestira bijelu boju zavara kao što prikazuje slika 3.9.



Slika 3.9 Nanošenje razvijača na zavare

Vrijeme razvijanja iznosilo je 35 minuta nakon čega je svaka indikacija dobro pregledana. Indikacije se mogu podijeliti u tri skupine: lažne indikacije, nerelevantne indikacije i relevantne indikacije. Ubrzo nakon nanošenja razvijača na dijelovima površine pojaviti će se indikacije svijetlo crvene boja. Takve indikacije su lažne jer je uzrok toga nedovoljno očišćena površina nakon penetriranja. Nerelevantne indikacije su sve one ispod 4 mm duljine/ širine, a to propisuje norma HRN EN ISO 3452. [15] Nerelevantna indikacija prikazana je na slici 3.10.



Slika 3.10 Nerelevantna indikacija

Karakteristika relevantnih indikacija je tamna boja. Ako se otkrije mjesto koje je ispunjeno tamno crvenom bojom penetranta, vjerojatno se radi o relevantnoj indikaciji. Na konstrukciji kojoj je provedeno ispitivanje nije pronađena ni jedna ozbiljnija relevantna indikacija. Otkrivene su jedino nepravilnosti oblika zavarenog spoja što se lako može korigirati. Nepravilan oblik zavarenog spoja prikazan je na slici 3.11.



Slika 3.11 Nepravilnosti oblika zavarenog spoja

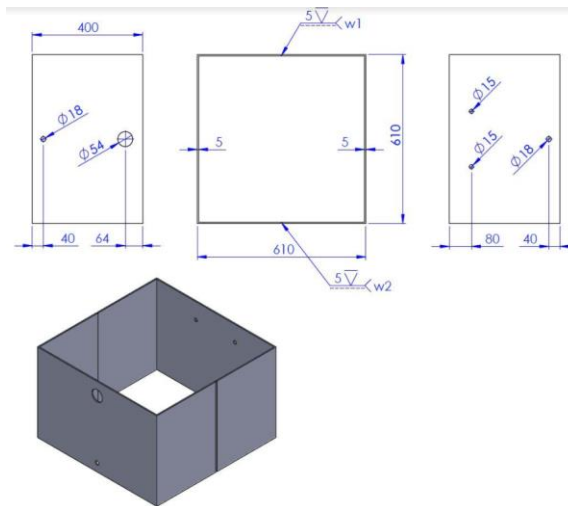
U analizi podataka objašnjeno je stanje svakog zavarenog spoja te su prikazani rezultati ispitivanja prve konstrukcije. Rezultati ispitivanja penetrantima su zadovoljavajući kao što prikazuje izvještaj u analizi.

3.2. Druga konstrukcija

Druga konstrukcija izrađena je od lima materijala S355J2. Lim debljine 4 mm trebalo je savinuti, a zatim zavariti na dva mjesta kako bi se dobila cijev koju nije moguće kupiti na tržištu. Spomenuti lim zavaren je TIG postupkom.

3.2.1. Vizualna kontrola druge konstrukcije

Prije vizualne kontrole bitno je proučiti dokumentaciju i označiti zavare kako u dokumentaciji tako na samom ispitnom komadu. Dokumentacija u ovom slučaju nije toliko komplicirana jer je riječ o samo dva zavara koji su označeni oznakama W1 i W2 kao što prikazuje slika 3.12.



Slika 3.12 Označavanje zavara na nacrtu

Nakon zavarivanja, zavare je trebalo pobrusiti na način da nema nadvišenja. S alatom za mjerenje nadvišenja utvrđeno je da su zavareni spojevi dobro pobrušeni. Na zavarenim spojevima, vizualno nisu otkrivene nikakve nepravilnosti te je nakon toga provedena magnetska kontrola.

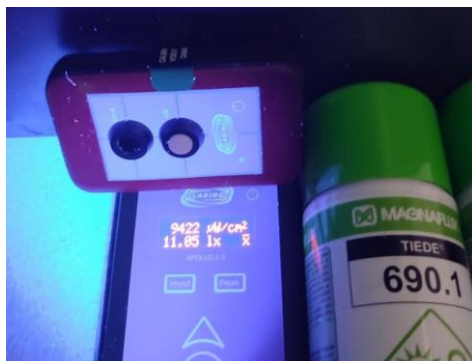
3.2.2. Magnetska kontrola druge konstrukcije

Ispitni komad potrebno je dobro očistiti kako ne bi došlo do lažnih indikacija. Čišćenje je najlakše provesti sa odmašćivačem "clinerom". Očišćeni komad prikazan je na slici 3.13.



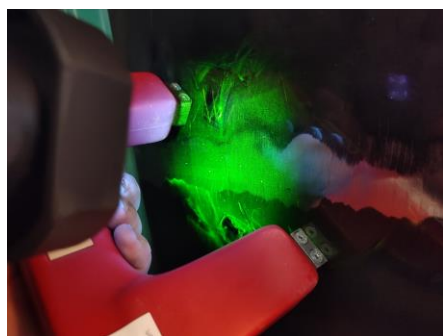
Slika 3.13 Očišćeni ispitni komad

Norma HRN EN ISO 3059:2001 govori o uvjetima promatranja kod penetrantske i magnetske kontrole. [16] U toj normi naveden je podatak da količina bijele svjetlosti kod magnetskog ispitivanja fluoerscentnim česticama ne smije prelaziti 20 lx, a upravo to je prikazano na slici 3.14. Količina bijele svjetlosti iznosila je 11,05 lx.



Slika 3.14 Mjerenje količine bijele i UV svjetlosti

Odmašćivač, odnosno "cleaner" kao i magnetske čestice moraju imati važeće atestove. Atest magnetskih čestica u spreju prikazan je u prilogu 5.2. Magnetske čestice se izravno nanose na ispitni komad, zatim se stavlja magnetni jaram i uperi se UV lampa. Bez UV lampe nije moguće vidjeti nikakve indikacije. Vrlo je bitno nositi naočale kao zaštitnu opremu jer UV zračenje koje proizvodi lampa je štetno za vid. Slika 3.15 prikazuje magnetsku kontrolu druge konstrukcije.



Slika 3.15 Magnetska kontrola

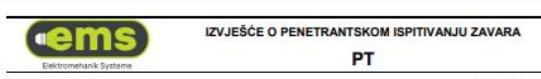
Magnetni jaram treba se zakretati na jednom mjestu od 45° do 90° iz razloga da bi se mogle otkriti nepravilnosti u svim smjerovima. U suprotnom, ako je magnetsko polje paralelno s pogreškom pojaviti će se mala deformacija magnetskog polja, odnosno doći će do manjeg "iskaknja" magnetskih silnica.

Ovom kontrolom nije otkrivena ni jedna relevantna indikacija te je konstrukcija zadovoljila sve kriterije. U analizi rezultata prikazan je izvještaj.

4. Analiza rezultata

Rezultati ispitivanja pojedine konstrukcije dani su u izvještajima. S obzirom na to da vizualnom kontrolom nisu uočene nikakve nepravilnosti nije bilo potrebno raditi izvještaje za vizualnu kontrolu.

Izvještaj prve konstrukcije koja je kontrolirana penetrantskom metodom prikazuje kako je zavar označen oznakom W3 pokazao indikaciju. Indikacija se pojavila na 483 mm od početka komada, a njen promjer iznosio je 2,30 mm. Ova indikacija svrstana je u nerelevantnu iz razloga jer je njen promjer manji od 4 mm. Slike 4.1 i 4.2 prikazuju izvješće o penetrantskom ispitivanju zavara prve konstrukcije.



PT

Podaci o ispitivanju uzorka: **Mantel 2 geschweisat**
 Broj ispitivanja: **PT-22.0127-1**
 Datum: **04.06.2022.**
 Broj nacrt: **EKA-D-P009454-S-01**
 Radna uputa: **PT-22.0001**
 Broj projekta: **2022-014**
 Broj lista: **1**
 Količina uzorka: **1 komad**
 Ukupno listova: **4**

Postupak ispitivanja: **HRN EN ISO 3452-1, B-C-d**
 Kriterij prihvatljivosti: **HRN EN ISO 5817 - klasa C, HRN EN ISO 23277 (2X)**
 Ispitno sredstvo: **HRN EN ISO 9712**
 Vrsta zavrta: **W (zavareni spoj)**

Parametri ispitivanja:
 Materijal: **1.4301 (AISI 304)**
 Dimenzije: **Ø 650 x 510 mm**
 Starost površine: **Čišćeno, Odmaščano**
 Vrsta površine: **Brušeno**
 Povećanje: **BKL-WP2** Šarža: **201205**
 Vrijeme penetriranja: **20 [min]**
 Opaq ispitivanja: **100 [%]**
 Odsavajivač: **SKD-S** Šarža: **211110**
 Odsavajivanje: **15 [min]**
 Tapirana otvora: **/**
 Razvijatelj: **SKD-S2** Šarža: **211106**
 Vrijeme razvijanja: **35 [min]**
 Inkonkret - bijelo: **> 500 [s]**
 Opatifanje (ozn): **/**
 Temperatura površine: **25 [°C]**
 Inkonkret - UV: **- [min]**

Rezultati ispitivanja:

Br.	Oznaka spoja	Parametri nepravilnosti					Napomena		
		x [mm]	y [mm]	z [mm]	Dubina [mm]	Vrsta prema HRN EN ISO 5817-1	NI	NR1	RE
1.	w1	-	-	-	-	-	X		
2.	w2	-	-	-	-	-	X		
3.	w3	483 mm	-	-	Ø 2,3 mm	2017		X	
4.	w4	-	-	-	-	-	X		
5.	w5	-	-	-	-	-	X		
6.	w6	-	-	-	-	-	X		
7.	w7	-	-	-	-	-	X		
8.	w8	-	-	-	-	-	X		
9.	w9	-	-	-	-	-	X		
10.	w10	-	-	-	-	-	X		
11.	w11	-	-	-	-	-	X		
12.	w12	-	-	-	-	-	X		
13.	/	/	/	/	/	/	/	/	/
14.	/	/	/	/	/	/	/	/	/
15.	/	/	/	/	/	/	/	/	/

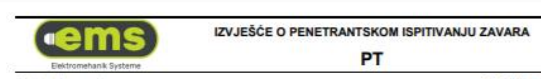
Legenda:
 NI - nema nepravilnosti
 NR1 - prihvatljive nepravilnosti
 RE - neprihvatljive nepravilnosti
 / - nema opisa
 PED - Direktiva o štaznoj opremi 2014/68/EU
 c - odjelovi
 f - odlozi
 w - zavareni spojevi
 wp - valfani spojevi
 t - cijevi

Napomena:

Valentino Vuk, mag.ing.mech., CWC
 Certifikat: 1252/2018-1 (Level 2)

ems
 Elektromehanički sustavi
 d.o.o. Zagreb, ul. Matije Gupca 115, VARAŽDIN
 M.P.

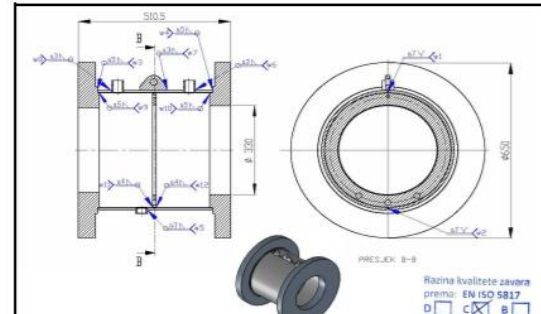
Valentino Vuk, mag.ing.mech., CWC
 Certifikat: 1252/2018-1 (Level 2)





PT

Podaci o ispitivanju uzorka: **Mantel 2 geschweisat**
 Broj ispitivanja: **PT-22.0127-1**
 Datum: **04.06.2022.**
 Broj nacrt: **EKA-D-P009454-S-01**
 Radna uputa: **PT-22.0001**
 Broj projekta: **2022-014**
 Broj lista: **2**
 Količina uzorka: **1 komad**
 Ukupno listova: **4**

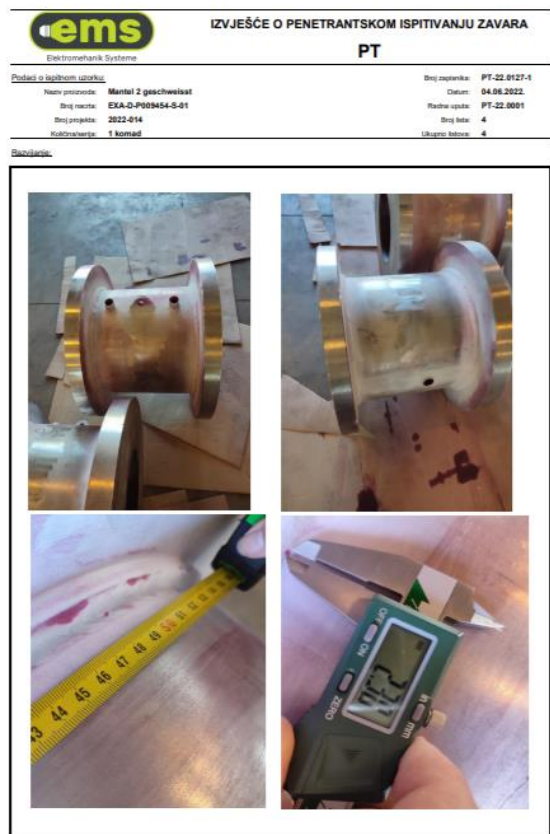
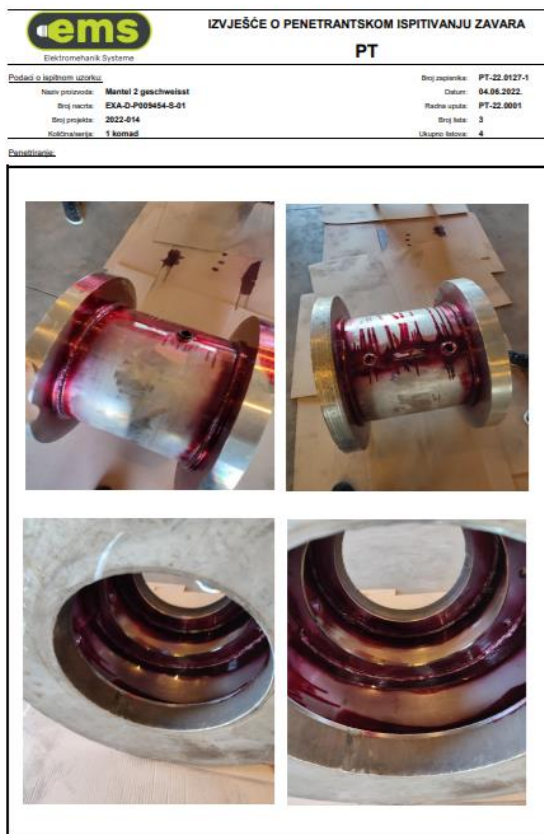
Napad / naprava zavara:



PRESEK B-B
 Razina kvalitete zavara prema: EN ISO 5817
 D C B

Slika 4.1 Izvješće o penetrantskom ispitivanju zavara prve konstrukcije



Slika 4.2 Izvješće o penetrantskom ispitivanju zavara prve konstrukcije

Kod magnetske kontrole bilo je potrebno ispitati dva zavarena spoja. Magnetskim ispitivanjem nisu pronađene indikacije u zavarenim spojevima te druga konstrukcija također zadovoljava kriterije. Izvješće o magnetskom ispitivanju zavara druge konstrukcije prikazana su na slici 4.3 i 4.4.

5. Zaključak

U ovom završnom radu izvršeno je ispitivanje zavarenih spojeva na dvije različite konstrukcije. Primijenje su: vizualna, penetrantska i magnetska metoda. Vizualna kontrola prethodi bilo kojoj drugoj metodi i ona uvijek mora biti prva. Kod vizualne kontrole najčešće se koristi povećalo, a u ovom slučaju korišten je mjerač nadvišenja zavarenog spoja. Vizualnom kontrolom nisu uočene nikakave nepravilnosti na zavarenim spojevima.

Penetrantsku kontrolu relativno je jednostavno primijeniti na svim metalima. Glavi uvjet penetrantske kontrole je čistoća ispitne površine. Ukoliko površina nije dobro očišćena mogu se pojaviti lažne indikacije. Površina se prvo čisti pomoću odmašćivača ("cleaner"), zatim se nanosi penetrant koji je u ovom slučaju bio obojen. Penetrant se potom čisti te se nanosi razvijač koji zaostali penetrant u nepravilnostima izvlači na površinu. Indikacije su obično tamno crvene boje. Tijekom ispitivanja primjećena je samo jedna nerelevantna indikacija. Svi zavareni spojevi na prvoj konstrukciji zadovoljavaju.

Magnetska kontrola primjenjuje se samo na feromagnetskim materijalima te je potrebna demagnetizacija. Ovdje je također bitna čistoća površine jer se mogu pojaviti lažne indikacije. Površina se čisti pomoću odmašćivača ("cleaner"). Na ispitni komad prskaju se feromagnetske čestice te se uperi UV lampa te se pomoću magnetskog jarma otkrivaju nepravilnosti. Magneski jaram potrebno je rotirati od 45° do 90° kako bi se otkrile indikacije u svim smjerovima. Tijekom ispitivanja nije uočena ni jedna indikacija. Svi zavareni spojevi na drugoj konstrukciji zadovoljavaju.

6. Literatura

- [1] Norma DIN EN ISO 6520-1:2007, „Welding and allied processes – Classification of geometric imperfections in metallic materials“, 2007.
- [2] Norma EN ISO 5817: 2014, „Quality levels for imperfections“, 2014
- [3] Ivan Juraga, Kruno Ljubić, Milan Živić: Pogreške u zavarenim spojevima, Hrvatsko društvo za tehniku zavarivanja, Zagreb, 2007. Tablice
- [4] <https://proinstal.hr/kako-odabrati-mig-mag-co2-aparat-za-zavarivanje/> (15.03.2022.)
- [5] <https://tsi.webador.com/tois-2-1-2-tig-postupak> (19.03.2022.)
- [6] https://edutorij.e-skole.hr/share/proxy/alfresco-noauth/edutorij/api/proxy-guest/a743968a-901e-4aa4-9117-d7d5dedac0d5/html/14444_Razlaganje_svietlosti_na_boje.html (21.04.2022.)
- [7] Qtechna d.o.o., Vizualna preiskava (VT 1+2) skripta
- [8] <https://pdfcoffee.com/en-iso-17637-5-pdf-free.html> (28.04.2022.)
- [9] https://hr.wikipedia.org/wiki/Vizualna_kontrola (30.04.2022.)
- [10] <https://probe.hr/proizvod/oprema-za-zavarivanje/potrosni-materijal-i-oprema/sredstva-za-ciscenje-i-zastitu-zavara/mjerac-dimenzije-zavara/> (13.05.2022.)
- [11] <https://cz.farnell.com/flir/vs70/video-borescope-5-7in-640-x-480/dp/2856049> (13.05.2022)
- [12] <https://pondt.hr/magnetska-kontrola/> (17.05.2022)
- [13] <https://csisupport.rs/obojene-magnetne-cestice/> (22.05.2022.)
- [14] https://hr.wikipedia.org/wiki/Penetrantsko_ispitivanje (27.05.2022.)
- [15] <https://www.iso.org/standard/75696.html> (02.06.2022.)
- [16] <https://www.ntcexpert.ru/documents/docs/ISO-3059.pdf> (15.06.2022.)


7. Popis slika

Slika 2.1 Oprema za MIG zavarivanje	2
Slika 2.2 Oprema za TIG zavarivanje.....	4
Slika 2.3 Raspon svjetlosti.....	7
Slika 2.4 Prikaz pravilne vizualne kontrole	8
Slika 2.5 Indirektna vizualna kontrola.....	8
Slika 2.6 Endoskop (fibroskop)	9
Slika 2.7 Mjerač nadvišenja kutnih zavarenih spojeva.....	10
Slika 2.8 Videoskop.....	10
Slika 2.10 Pukotine otkrivene magnetskom kontrolom.....	12
Slika 2.11 Potrebna oprema za magnetsku kontrolu zavarenih spojeva.....	12
Slika 2.12 Feromagnetične čestice u spreju i prahu	13
Slika 2.13 Indikacija u zavarenom spoju	14
Slika 2.14. Postupak penetrantske kontrole	15
Slika 2.15 Indikacija otkrivena penetrantskom kontrolom.....	16
Slika 2.16 Referentni etalon	16
Slika 3.1 Označavanje zavara na nacrtu	18
Slika 3.3 Mjerenje jačine svjetlosti.....	19
Slika 3.4 Mjerenje nadvišenja zavra	20
Slika 3.5 Mjerenje veličine zavara.....	20
Slika 3.6 Sredstva za penetrantsko ispitivanje.....	20
Slika 3.7 Broj šarže penetranta	21
Slika 3.8 Penetrirana prva konstrukcija	21
Slika 3.9 Nanošenje razvijaača na zavare.....	22
Slika 3.10 Nerelevantna indikacija	22
Slika 3.11 Nepravilnosti oblika zavarenog spoja	23
Slika 3.12 Označavanje zavara na nacrtu	24
Slika 3.13 Očišćeni ispitni komad	24
Slika 3.14 Mjerenje količine bijele i UV svjetlosti.....	25
Slika 3.15 Magnetska kontrola	25
Slika 4.1 Izvješće o penetrantskom ispitivanju zavara prve konstrukcije	26
Slika 4.2 Izvješće o penetrantskom ispitivanju zavara prve konstrukcije	27
Slika 4.4 Izvješće o magnetskom ispitivanju zavara druge konstrukcije	28

8. Popis tablica

Tablica 1.1 Postupci ispitivanja zavarenih spojeva	1
Tablica 2.2 Područja primjene NDT metoda s obzirom na nepravilnosti	6

9. Prilozi



Inspection Certificate

SUBJECT: SpotcheckSKL-WP2 Water Washable Red Penetrant Aerosol

BATCH No: 201205 Abnahmeprüfzeugnis DIN EN 10204 3.1
MANUFACTURE DATE: 10/12/2020 Certificat De reception
 Certificado di collaudo
 Keuringrapport

B.B.E.: DEC 2023

We hereby certify that when tested at the time of manufacture, the above material:

- Meets the requirements of and has been tested for sulfur and halogens according to:
 - ASME Boiler and Pressure Vessel Code, 2019 Edition, Section V, Non-destructive Examination.
 - Anion analysis by ASTM D129 decomposition followed by Ion Chromatography method Annex A4.
 - ASTM E-165E-16M-18, Paragraph 7.1.
 - MIL-STD-2132D, 11 February 2003, Paragraph 7.1, 7.1.2, 7.1.3 and Appendix C, Paragraph 40.

Test results obtained were as follows:

Ion	Batch Result
Sulfur:	0.0017 wt % of residue.
Chlorine + Fluorine:	0.0022 wt % of residue.


- Meets the requirements of EN ISO 3452-1, EN ISO 3452-2 (Sensitivity level 2), AMS 2644H and ASTM E 1417/E 1417M-16 Paragraph 5.1 & 6.5.1.

When tested according to paragraph 4.3.2 of AMS 2644H the following results were obtained:

4.2.2.1	Penetrant Tests	Section	Batch Result
	Flashpoint (PMCC)	3.3.3	102.5°C
	Viscosity	3.3.4	8.05 mm ² /s (cSt) @ 38°C
	Fluorescent Brightness	3.3.6.3.2	N/A
	Water tolerance Method A, B, C & D	3.3.8.5	5%
	Penetrant Removability	3.3.8.6	Conforms
	Water Content	3.3.8.7	0.08 %

- We further certify that the material does not contain mercury as a basic element and no mercury bearing equipment was used in its manufacture.

Certification is issued under the auspices of the Quality Assurance Manager.


 (Authorised Employee)


For and on behalf of MAGNAFLUX (A DIVISION OF ITW LTD)

Notes:

- Our batch number appears on the label of bulk containers. Aerosols have batch numbers printed on bottom of the container. Bulk materials have a minimum shelf life of 3 years from date of manufacture. Aerosols have a minimum shelf life of 3 years from date of manufacture.
- Most specifications require test results stated in percent, but some require parts per million (ppm). To convert "percent" figures to "parts per million" move the decimal four places to the right.
- MIL-STD-271, MIL-STD-2132 and ASME Sec V, all require that materials be subject to a procedure to evaporate off volatile solvents before analysis for Sulfur and Halogens. According to these specifications, only those residues higher than 0.005 g/100ml shall be analyzed for Sulfur and Halogens. Lower residues shall be reported.
- The above certification gives the results obtained at the time of manufacture. Age and use may alter the properties of any material.

Magnaflex (A Division of ITW Ltd),
 Faraday Road, South Dorcan Industrial Estate,
 Sandown, Wiltshire, SN3 9HE, UK
 Tel: +44 (0)1793 524566
 Fax: +44 (0)1793 524565

FORMAT MX 101-137 BK MC-08 Rev 17



Inspection Certificate

SUBJECT: SpotcheckSKL-WP2 Water Washable Red Penetrant Aerosol

BATCH No: 201205 Abnahmeprüfzeugnis DIN EN 10204 3.1
MANUFACTURE DATE: 10/12/2020 Certificat De reception
 Certificado di collaudo
 Keuringrapport

B.B.E.: DEC 2023

Specification: EN ISO 3452-2


When tested at the time of manufacture the following results were obtained:

Eigenschaft / Characteristic	Ermittlung nach EN ISO 3452-2 Abschnitt	Anforderungen / Quality requirement	Ergebnis / Batch testing
Appearance	6.1	Equal to Std	Pass
Sensitivity	6.2	Level 2	Pass
Density	6.3	0.839 – 0.927 g/cm ³ @ 20°C	0.884 g/cm ³
Viscosity	6.4	7.16 – 8.76 mm ² /s @ 38°C	8.05 mm ² /s
Flashpoint	6.5	93°C Min for Bulk	Bulk 102.5°C Aerosol -40°C
Washability	6.6	Equal to Std (Water Wash Pen Only)	Pass
Corrosive Properties	6.11	No Corrosion on Magnesium Alloy	Pass
Sulphur Content	6.12	< 200 ppm	17 ppm
Halogen Content	6.12	< 200 ppm	22 ppm
Water Content	6.20	< 5% (Water Wash Pen Only)	0.08 %

Vorstehende Angaben sind die Ergebnisse unserer Qualitätsprüfung. Sie binden den Käufer nicht von einer Eingangsprüfung und haben nicht die Bedeutung, die Eignung des Produktes für einen konkreten Einsatzzweck zu sichern.

The above information is derived from our quality checks. It does not relieve the purchaser from examining the product upon delivery and gives no assurance of any particular purpose.

Certification is issued under the auspices of the Quality Assurance Manager.


 (Authorised Employee)

For and on behalf of MAGNAFLUX (A DIVISION OF ITW LTD)

Magnaflex (A Division of ITW Ltd),
 Faraday Road, South Dorcan Industrial Estate,
 Sandown, Wiltshire, SN3 9HE, UK
 Tel: +44 (0)1793 524566
 Fax: +44 (0)1793 524565

FORMAT MX 101-137 BK MC-08 Rev 17

Slika 5.1 Atest penetranta



Abnahmeprüfzeugnis

Abnahmeprüfzeugnis DIN EN 10204 3.1
Abnahmeprüfzeugnis DIN EN 10204 3.1
Certificat De reception
Certificado di collaudo
Keuringrapport

MANUFACTURE DATUM / DATE: 04/06/2020

BATCH No.: 200607
B.B.E.: JUN 2023

SUBJECT: 690.1 Oil Based Fluorescent MPI Ink Aerosol

We hereby certify that the above Magnetic Particle Inspection Material meets the requirements of Aerospace Material specification AMS-3045F, Magnetic Particles, Fluorescent, Wet method, Oil vehicle.

TEST	PARAGRAPH	LIMIT	RESULT
Contamination	3.3.1	No foreign material, scum or agglomeration	Conforms
Concentration	3.3.2	0.1 - 0.4 ml magnetic particles per 100 ml	Conforms
Sensitivity	3.3.3	7 Hole indications shown	Conforms
Colour	-	Fluorescence : yellow green	Conforms

We further certify that the above Magnetic Particle Inspection Material meets the requirements of the following specifications:

- A. (For Aerosols only) AMS-3046H Paragraphs 3.3.1 to 3.3.7, 3.4.1 & 3.4.2
- B. ASME Boiler and Pressure Vessel Code, 2019 Edition, Section V, Non-destructive Examination.
- C. ASTM E 709-15, Paragraphs 8.1.2, 8.1.3, 8.2, 8.3, 8.5, 8.5.3, 8.5.4.1 & 8.5.5
- D. ASTM E1444/E1444M-16, Paragraphs 5.5.2 and 5.5.3
- E. AMS 2641C Type 1 Oil vehicle. Flash point greater than 93°C.
- F. AMS 3044G (Magnetic particles used in the product)
- G. KTA 3905, Paragraph B 3.2.2.2 (2)

We further certify that this material does not contain mercury as a basic element and no mercury bearing equipment was used in its manufacture.

(Authorised Employee)

Notes:

- Our batch number appears on the label of bulk containers. Aerosols have batch numbers printed on the bottom of the container. Bulk materials have a minimum shelf life of 5 years from date of manufacture. Aerosols have a minimum shelf life of 3 years from date of manufacture.
- The above certification gives the results obtained at the time of manufacture. Age and use may alter the properties of any material.

MX 101.132 (9934-2) 690.1 MC-57 Rev 6

Magnaflux (A Division of ITW Ltd),
Faraday Road, South Dorcan Industrial Estate,
Ganton, Wiltshire, SN3 5HE, UK
Tel: +44 (0)1793 524566 Fax: +44 (0)1793 490459
Email: sales.eu@magnaflux.com
www.eu.magnaflux.com



Abnahmeprüfzeugnis

Abnahmeprüfzeugnis DIN EN 10204 3.1
Abnahmeprüfzeugnis DIN EN 10204 3.1
Certificat De reception
Certificado di collaudo
Keuringrapport

MANUFACTURE DATUM / DATE: 04/06/2020

BATCH No.: 200607
B.B.E.: JUN 2023

SUBJECT: 690.1 Oil Based Fluorescent MPI Ink Aerosol

Specification: EN ISO 9934-2.

When tested at the time of manufacture the following results were obtained.

Einzeleigenschaft / Characteristic	Ermittlung nach DIN EN ISO 9934-2 Abschnitt	Anforderungen / Quality requirement	Ergebnis / Batch testing
Eignung Performance	7.1	Anzeigefähigkeit auf Vergleichskörper 1 Ermittlung der Anzeigelängen auf Vergleichskörper 2 (072814) Indication on reference block 1 Indication length of reference block 2 (072814)	sehr gut Gesamtlänge der beiden Anzeigen: 8.0 cm VERY good Total length of indication: 8.0 cm
Farbe/ Colour	7.2	Hell braune Flüssigkeit Light brown liquid	Farbeidentisch/ Colour identical
Korngröße/ Particle size	7.3	$d_1 = 1,5 \mu\text{m}$ und $d_2 = 40 \mu\text{m}$	Mittlerer Korndurchmesser $5,36 \mu\text{m}$ Average diameter $d_n = 5,36 \mu\text{m}$ $d_1 = 1,42 \mu\text{m}$ $d_2 = 7,06 \mu\text{m}$ Particle size range: 1.5 – 25.0 μm
Fluoreszenzkoefizient/ Fluorescence coefficient	7.5	$\beta = 1.5 \text{ cd/Watt}$	$\beta = 6.27 \text{ cd/Watt}$
Fluoreszenz der Trägerflüssigkeit/ Fluorescence of carrier liquid	7.6	Nichtheiterals Quinine-Sulfat-Lösung/ Not brighter than quinine sulphate solution	Anforderungen erfüllt/ Requirement fulfilled
Flammpunkt Flashpoint	7.7	Report	Bulk: 105°C Aerosol: -40°C
Viskosität Viscosity	7.9	Bei 20°C weniger als 5 mPa s Less than 5 mPa s at 20°C	2.34 mPa s bei 20°C 2.34 mPa s at 20°C
Mechanische Stabilität Kurzzeittest/ Mechanical stability Short term test	7.10	Keine Abnahme der Empfindlichkeit nach dem Test/ No decrease in sensitivity after test	Anforderungen erfüllt/ Requirement fulfilled
Schumverhalten/ Foaming	7.11	Keine signifikante Schaumbildung/ No significant foaming	Anforderungen erfüllt/ Requirement fulfilled
Lagerungsbeständigkeit/ Storage stability	7.13		3 Jahre/ 3 years

Vorstehende Angaben sind die Ergebnisse unserer Qualitätsprüfung. Sie entbinden den Käufer nicht von einer Eingangsprüfung und haben nicht die Bedeutung, die Eignung des Produktes für einen konkreten Einsatz zweckuzusichern.

The above information is derived from our quality checks. It does not relieve the purchaser from examining the product upon delivery and gives no assurance of the product for any particular purpose.

Certification is issued under the auspices of the Quality Assurance Manager.

(Authorised Employee)

MX 101.132 (9934-2) 690.1 MC-57 Rev 6

Magnaflux (A Division of ITW Ltd),
Faraday Road, South Dorcan Industrial Estate,
Ganton, Wiltshire, SN3 5HE, UK
Tel: +44 (0)1793 524566 Fax: +44 (0)1793 490459
Email: sales.eu@magnaflux.com
www.eu.magnaflux.com

Slika 5.2 Atest magnetskih čestica