

Teorija i primjena ispitivanja zavarenih spojeva metodama bez razaranja

Sabol, Erik

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:122:772127>

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. 386/PS/2022

**Teorija i primjena ispitivanja zavarenih spojeva metodama
bez razaranja**

Erik Sabol, 2824-336

Varaždin, rujan 2022. godine



Sveučilište Sjever

Preddiplomski stručni studij Proizvodno strojarstvo

Završni rad br. 386/PS/2022

Teorija i primjena ispitivanja zavarenih spojeva metodama bez razaranja

Student

Erik Sabol, 2824-336

Mentor

Matija Bušić, prof. 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	Erik Sabol	JMBAG	2824/336
DATUM	29.08.2022.	KOLEGIJ	Tehnologija III
NASLOV RADA	Teorija i primjena ispitivanja zavarenih spojeva metodama bez razaranja		

NASLOV RADA NA ENGL. JEZIKU	Theory and application of non-destructive testing of welds		
-----------------------------	--	--	--

MENTOR	dr. sc. Matija Bušić	ZVANJE	docent
--------	----------------------	--------	--------

ČLANOVI POVJERENSTVA	1.	doc.dr.sc. Jasna Leder Horina, predsjednica 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	386/PS/2022
------	-------------

OPIS	
------	--

U završnom radu potrebno je, na temelju dostupne literature, definirati postupke ispitivanja zavarenih spojeva metodama bez razaranja. Opisati sve metode ispitivanja te im navesti prednosti i nedostatke. Posebno detaljno opisati ispitivanje penetrantima. Ujedno opisati i kada se koja metoda bez razaranja primjenjuje za kontrolu zavarenih spojeva. Opisati važnost kompetencija i stupnjeve izobrazbe koje mora imati osoblje za provođenje ispitivanja zavara metodama bez razaranja. U praktičnom dijelu rada opisati vizualnu kontrolu i ispitivanje penetrantima na gotovim zavarenim konstrukcijama. Prikazati i analizirati rezultate ispitivanja i dokumentaciju 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

31.08.2022.

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, Erik Sabol pod punom moralnom, materijalnom i kaznenom odgovornošću, izjavljujem da sam isključivi autor završnog rada pod naslovom Teorija i primjena ispitivanja zavarenih spojeva metodama bez razaranja, te da u navedenom radu nisu na nedozvoljeni način (bez pravilnog citiranja) korišteni dijelovi tuđih radova.

Student:

(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, Erik Sabol neopozivo izjavljujem da sam suglasan s javnom objavom završnog rada pod naslovom Teorija i primjena ispitivanja zavarenih spojeva metodama bez razaranja, čiji sam autor.

Student:

(vlastoručni potpis)

Predgovor

Ovim putem zahvaljujem svima koji su mi bila podrška tijekom cjelokupnog studiranja, svim prijateljima, obitelji, djevojci, te posebno mentoru dr.sc. Matiji Bušiću na izdvojenom vremenu za mentoriranje. Posebna zahvala ide i firmi Si-mech d.o.o. u sklopu koje su provedena ispitivanja i skupljena potrebna detaljna literatura za pisanje završnog rada.

Sažetak

Cilj ovog rada je pojasniti principe kontrole kvalitete zavara u sklopu metoda bez razaranja, kako prije samog zavarivanja, tako i nakon zavarivanja. U prvom dijelu su opisane općenito sve nerazorne metode ispitivanja zavara (NDT), u kojim situacijama se primjenjuju određene metode, te prednosti i nedostaci svake od njih. U drugom dijelu su pobrojene stavke za osiguranje kompetencija ispitnog osoblja i njihova važnost. U zadnjem dijelu rada je detaljnije pojašnjena metoda ispitivanja penetrantima na različitim površinama, kroz različite utjecaje na penetrantske sustave i provedba ispitivanja u praksi.

Abstract

Goal of this work is to clarify the principles of welding quality control as part of non-destructive methods, both before and after welding. In the first part, all non-destructive welding testing (NDT) methods are described in general, in which situations certain methods are applied, and the advantages and disadvantages of each of them. The second part lists the items for ensuring the competence of the examination staff and their importance. In the last part of the paper, the method of penetrant testing on different surfaces is explained in more detail, through different influences on penetrant systems and the implementation of testing in practice.

Ključne riječi

Nerazorne metode ispitivanja zavara, penetrantski sustavi, ispitivanja u praksi

Keywords

Non-destructive welding testing methods, penetrant systems, tests in practice

Popis korištenih kratica

KBR (NDT) – kontrola bez razaranja (Non-destructive testing)

KSR (DT) – kontrola s razaranjem (Destructive testing)

PT – ispitivanje penetrantima

MT – ispitivanje magnetnim česticama

UT – ispitivanje ultrazvukom

RT – radiografsko ispitivanje

VT – vizualno ispitivanje

IR – termografija/termovizija

GPR – radarsko ispitivanje

ET – ispitivanje vrtložnim strujama

LT – ispitivanje propusnosti

AC/AE – akustičko ispitivanje

DK – dimenzionalna kontrola

XRD – rentgenska difrakcija

XRF – rentgenska fluorescentna spektroskopija

RFEC – vrtložna struja udaljenog polja

ACPD – izmjenična struja-pad potencijala

ACFM – mjerenje polja izmjenične struje

MFL – propuštanje magnetskog toka

PE – tehnike odjeka

TOFD – difrakcije ultrazvučnih valova

IE – akustička emisija

RVI – daljinski video pregled

CCD – charge-coupled device

ZUT – zona utjecaja topline

Sadržaj

1.	Uvod	1
2.	Metode kontrole zavara bez razaranja.....	2
2.1.	<i>Vizualna kontrola (VT)</i>	3
2.1.1.	Faze vizualne kontrole	3
2.1.2.	Alati i uređaji vizualne kontrole.....	5
2.2.	<i>Penetrantska kontrola (PT)</i>	8
2.3.	<i>Magnetska kontrola (PT)</i>	9
2.4.	<i>Ultrazvučna kontrola (UT)</i>	10
2.5.	<i>Radiografska kontrola (RT)</i>	11
3.	Kompetencija ispitnog osoblja	13
4.	Ispitivanje penetrantima i penetrantski sustavi	18
4.1.	<i>Fizikalne osnove</i>	20
4.2.	<i>Faze penetrantskog ispitivanja</i>	22
4.2.1.	Priprema i čišćenje ispitne površine.....	22
4.2.2.	Penetranti i proces penetriranja.....	24
4.2.3.	Odstranjivanje penetranta i sušenje.....	29
4.2.4.	Razvijanje indikacija.....	34
4.2.5.	Promatranje indikacija i protokoliranje.....	36
4.2.6.	Analiza (ocjena) indikacija pri ispitivanju penetrantima.....	39
4.2.7.	Evaluacija	40
4.2.8.	Mjere pri odbacivanju i popravcima	46
4.2.9.	Norma EN 1289.....	46
5.	Provedba ispitivanja na konkretnom primjeru	48
5.1.	<i>Vizualna kontrola</i>	49
5.2.	<i>Ispitivanje penetrantima</i>	51
6.	Zaključak	57
7.	Literatura	58

1. Uvod

Za provesti pouzdano ispitivanje zavara, potrebno je poznavati ne samo jednu, već sve nerazorne metode ispitivanja (NDT), jer je često slučaj potrebe kombinacije metoda kako bi bili sigurni u kvalitetu zavara. Zavari spajaju većinu metalnih konstrukcija koje su u upotrebi svakodnevno, te su izložene raznim vanjskim utjecajima pa je važno osigurati njihovu kvalitetu prema određenim normama jer u protivnom posljedice mogu biti katastrofalne. Stalnim unapređenjem opreme za kontrolu i pojavom inovativnih tehnologija, ne smije se zanemariti važna stavka kompetencije osoblja. Osoblje mora proći određenu obuku kroz jednu vrstu tečaja, kako bi steklo potrebne certifikate za potrebnu razinu kontrole i provesti ispitivanja korištenjem potrebnih alata i uređaja kroz spomenute NDT metode. U današnje vrijeme područje primjene zavarivanja je veliko i unapređuje se svakodnevno. Samim time dolazi i velika odgovornost osoblja za kontrolu kvaliteta zavarenih spojeva i potrebno iskustvo osoblja u evaluaciji grešaka. Najčešći oblik grešaka su tehnološke greške, a posljedica su loše propisane tehnologije zavarivanja ili loše provedene tehnologije zavarivanja. Pojavljuju se u obliku pukotina, deformacija, poroznosti i nedostatka provara. Ispitivanja se provode na svim vrstama zavara, od manjih limova pa sve do kotlova velikih dimenzija, na način da se materijal ne ošteti, kako bi se osigurala i kvaliteta i prihvatljivost troškova. Za osiguranje pouzdanosti rezultata kontrole potrebno je definirati kriterije prihvatljivosti, tehnike kontrole i ispitivanja, potrebnu opremu i na kraju procesa znati interpretirati dobivene rezultate.

2. Metode kontrole zavara bez razaranja

Kvaliteta samog proizvoda je povezana s prisutnošću nedostataka i defekata ugrađenih u proizvod tijekom proizvodnje. Velik broj defekata se javlja i zbog uporabe proizvoda. Pouzdanost proizvoda povećava se poboljšanjem razine kvalitete. Poznavanje defekata i nedostataka i njihovo svođenje na najmanju mjeru je presudno za postizanje prihvatljive razine kvalitete. Zbog tih stavki potrebno je provesti određena ispitivanja koja u osnovi dijelimo na: kontrolu ili ispitivanja s razaranjem (DT) i kontrolu ili ispitivanja bez razaranja (NDT). Od posebne su nam važnosti NDT ispitivanja jer se prilikom njihovog izvođenja ne narušava funkcionalnost materijala koji se ispituje tako da ispitivani materijal ostaje neoštećen. S obzirom na fizikalne principe nerazorna ispitivanja dijelimo na metode nerazornih ispitivanja, a obzirom na specifičnost načina provedbe ispitivanja na tehnike nerazornih ispitivanja (tablica 2.1). [1]

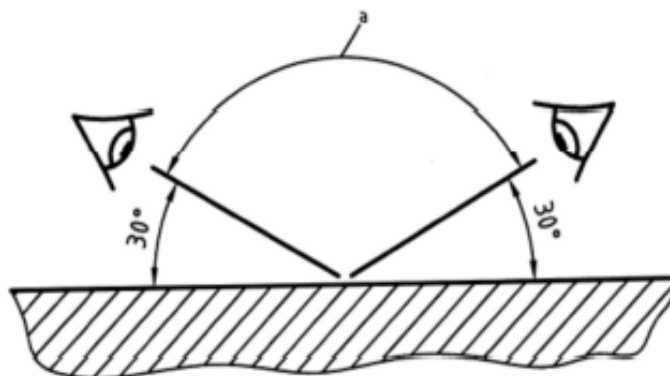
Detekcija nepravilnosti se temelji na određenom odzivu od nepravilnosti. Ovisno o primijenjenom fizikalnom principu i ispitnim parametrima (osjetljivost, razlučivost), može se govoriti i o odzivu materijala (strukture). Stoga se nerazorna ispitivanja provede u svrhu pronalaženja nepravilnosti (pogrešaka) i karakterizacije materijala. Metode mogu biti površinske, u koju spadaju ispitivanja penetrantima (PT) i ispitivanje magnetskim česticama (MT) ili volumske, uz koje vežemo radiografiju (RT) i ispitivanje ultrazvukom (UT). Temelj svih spomenutih metoda čini vizualna metoda, od koje se uvijek prvo kreće sa ispitivanjem.

Tablica 2.1 Podjela ispitivanja kontrole zavara bez razaranja [1]

NAČELO	ispitna struktura	METODA	TEHNIKE
elektromagnetski valovi	X i γ zračenje	RT radiografska (radijacijska)	radiografija, radioskopija, gamagrafija, XRD, XRF
	vidljivi dio spektra	VT vizualna	direktna, RVI
	IR valovi	IR termografska	termovizija, lock-in termografija
	mikrovalovi	GPR radarska	
	niskofrekventna polja	ET (EC, vrtložne struje)	RFEC, ACPD, ACFM, ..
	magnetsko polje	MT magnetska	magnetskim česticama, MFL, Barkhausen
elastični valovi	ultrazvučni valovi	UT ultrazvučna	tehnike odjeka (PE), difrakcije (TOFD), ...
	akustički valovi	AC, AE akustička	akustička emisija, Impact Echo (IE)
kontakt	penetrant (kapilarni efekt)	PT penetrantska	ovisno o vrsti penetranta...
	inertni plin (propusnost)	LT ispitivanje propusnosti	vacuum, helij

2.1. Vizualna kontrola (VT)

Prije bilo koje druge metode kontrole zavara, primjenjuje se vizualna kontrola. 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. Vizualna kontrola zavara se ponajviše oslanja na ljudska osjetila i naziva se još i preventivnom metodom jer se provodi prije, za vrijeme i nakon zavarivanja. Na kvalitetu zavara se može utjecati u svakom od tih intervala, te pravovremeno eliminirati nepravilnosti. Obim ispitivanja mora biti definiran uz primjenu normi ili sporazuma između stranaka. Ispitivač mora biti upoznat s projektnom dokumentacijom i paziti na mogućnost pristupa zavarenom spoju nakon zavarivanja. Površina zavarenog spoja mora biti čista i jačina svjetlosti minimalno 350 lx, a preporučljivo je 500 lx. Direktno ispitivanje se vrši s udaljenosti do 600 mm i pod kutem od minimalno 30°, što je vidljivo na slici 2.1. [4]



Slika 2.1 Direktno vizualno ispitivanje [4]

2.1.1. Faze vizualne kontrole

Vizualno ispitivanje prije zavarivanja

Vizualno ispitivanje prije zavarivanja se sastoji ponajprije od ispitivanja oblika i dimenzije spoja prema specifikaciji zavarivanja. Važna stavka je i čistoća površina žlijeba, te način spajanja (redosljed zavarivanja) i pozicioniranje dijelova pri montaži, ispravnost opreme i uređaja, kvaliteta dodatnog materijala, te podešenost parametara zavarivanja. Potrebno je provjeriti i izvršenost zavarivačkih zahtjeva, kao što su provjera temperature predgrijavanja, protok plina, sušenje elektroda i praška.

Vizualno ispitivanje tijekom zavarivanja

Vizualno ispitivanje tijekom zavarivanja, prvobitno se sastoji od provjere položaja i načina uspostavljanja električnog luka u žlijebu. Treba voditi računa o čišćenju nakon svakog prolaza prije slijedećeg prolaza, a posebna se pažnja posvećuje mjestima između metala zavara i spojnih površina. Ako su primijećene vidljive nepravilosti, pukotine, potrebno je poduzeti aktivnosti za njihovo uklanjanje prije daljnjeg zavarivanja.

Oblik deponiranog metala zavara te položaj prema osnovnom metalu mora biti takav da se kod slijedećeg prolaza omogući kvalitetno protaljivanje. Dubina i oblik žlijebljenja (brušenja) se radi prema uputama u specifikaciji zavarivanja ili uspoređuje s originalnim oblikom pripreme, ako se zahtjeva potpuno uklanjanje metala zavara. Važno je naglasiti da je izvođenje nastavaka mjesto potencijalne nepravilnosti. Za sprečavanje nepravilnosti potrebno je i kontrolirati popunjenost žlijeba između svakog prolaza.

Vizualno ispitivanje nakon zavarivanja

Vizualno ispitivanje nakon zavarivanja se definira prema:

a) Obliku i dimenzijama zavara:

- oblik lica zavara kao i nadvišenja moraju udovoljavati normi
- površina zavara mora biti pravilna, uz prihvatljiv izgled narebranja i zadovoljavajući vizualni izgled
- udaljenost završnog prolaza ili međuslojeva mora se kontrolirati prema zahtjevima iz specifikacije postupka zavarivanja
- širina zavara mora biti jednolika duž cijelog spoja te mora zadovoljavati zahtjeve iz norme ili projektne dokumentacije.

b) Čišćenju i pretaljivanju zavara:

- sva troska mora se ukloniti, ručno ili mehanički, kako bi se spriječilo prikrivanje nepravilnosti
- ne smije biti otisaka alata ili oštećenja od puhanja električnog luka
- kada se zahtjeva pretaljivanje, pregrijavanje materijala je zabranjeno, kao i nejednolika površina i završeci
- kod kutnih i sučeljenih spojeva kod kojih kod pretaljivanja dolazi do slijevanja taline, ne smije doći do naljepljivanja.

c) Korijenu i licu zavara:

- kod jednostranih sučeljenih spojeva potrebno je duž cijelog zavara kontrolirati penetraciju, oblik korijena, protaljivanje i skupljanje
- veličinu ugorina prisutnost nepravilnosti poput pukotina, poroziteta, uz primjenu optičkih pomagala
- svi pomoćni komadi koji služe pri montaži i izradi objekta, ili za njegovu kontrolu, moraju se ukloniti bez oštećivanja objekta. [4]

Vizualna kontrola popravljenih zavara

U slučaju djelomično odstranjenog zavara, mora se provjeriti je li dubina skinutog materijala dovoljna da se odstrane sve nepravilnosti. Također, profil skinutog materijala mora biti takav da je moguće naknadno zavarivanje.

Ako je zavar potpuno odstranjen, mora se provjeriti da ne dolazi do pretjeranog skidanja osnovnog materijala. Ako se umeće novi komad, potrebno je obratiti pažnju da u potpunosti ispunjava zahtjeve iz zavarivačke specifikacije. Važno je naglasiti da se svaki popravljeni zavar mora kontrolirati kao i originalni zavar.

2.1.2. Alati i uređaji vizualne kontrole

a) **Alati**

Kada nije moguće uočiti pogreške golim okom koriste se razni alati koji olakšavaju zamijetiti potrebne detalje na zavaru. Kao pomoć kod direktne vizualne kontrole zavara koristi se lokalno osvjetljenje i povećala koja su prikazana na slici 2.2, dok se kod teško pristupačnih mjesta koriste zrcala i endoskopi sa slike 2.3.

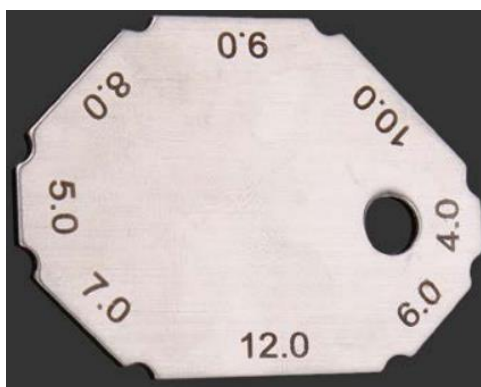


Slika 2.2 Povećalo [12]



Slika 2.3 Zrcalo za vizualnu kontrolu zavara (lijevo) i endoskop (desno) [5]

Za dimenzijsku kontrolu (DK) se koriste mjerila pomoći kojih se mjeri veličina dužine i kut zavara, a prema namjeni mogu biti jednostruka i dvostruka. Kod jednostrukih se može izmjeriti samo jedna od spomenutih veličina (slika 2.4), dok kod višestrukih se mogu izmjeriti obje veličine.



Slika 2.4 Usporedno jednostruko mjerilo za provjeru debljine kutnog zavarenog spoja [11]

b) Uređaji

Koriste se dvije osnovne vrste uređaja, a to su optički i digitalni. Kod optičkih je najčešće u upotrebi boreskop prikazan na slici 2.5. Boreskop je optički uređaj koji se sastoji od krute cijevi s okularom na jednom i objektivom na drugom kraju. Obično je opremljen optičkim vlaknima za osvjetljenje. Koristi se za vizualno ispitivanje nepristupačnih područja.



Slika 2.5 Boreskop s krutom cijevi [4]

Kada govorimo o digitalnim uređajima za vizualnu kontrolu zavara, jedina razlika u odnosu na optičke uređaje je što pomoću raznih osjetila sliku projiciraju na digitalni ekran a svrha ostaje ista.

Tako postoji fiberoskop, sličan boreskopu ali s fleksibilnom cijevi koji se sastoji od vlakna za osvjetljenje, vlakna za sliku, leća objektiva, promjenjivih glava, daljinskih komandi za upravljanje i ekrana za prikaz slike (slika 2.6).

Nešto drugačiji je videoskop koji za razliku od fiberskopa umjesto okulara ima CCD (engl. charge-coupled device) osjetilo promjera 4 do 6 mm. CCD sliku zatim pretvara u električni napon koji se kabelom prenosi do uređaja za registriranje, tj. video monitor. Ima veću razlučivost od fiberskopa, dulji doseg, te je kod ovog uređaja moguća automatizacija kroz automatsko čišćenje optičkog adaptera. Moguće je i pohranjivanje zadnjih 30 minuta inspekcije i snimanje fotografija tijekom video snimanja, a prikazan je na slici 2.7.



Slika 2.6 Fiberoskop [13]

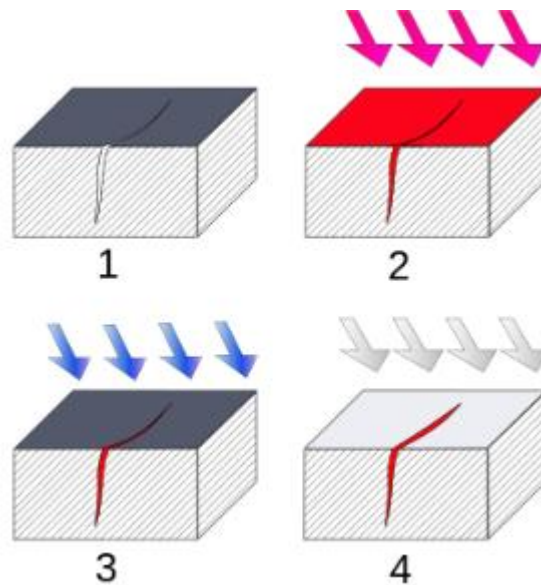


Slika 2.7 Videoskop [13]

2.2. Penetrantska kontrola (PT)

Ispitivanje penetrantima je jedna od prvih metoda ispitivanja bez razaranja koja je bila masovno prihvaćena. Od prvih tehnika koje su koristile naftu i kredu do danas su razvijene mnoge tehnike koje omogućuju vrlo visoku osjetljivost. Ispitivanje penetrantima se bazira na efektu kapilarnosti. Proces se sastoji od više faza a prva od njih i vrlo važna je čišćenje i odmaščivanje

površine materijala koji se ispituje. Nanošenjem penetranta na površinu objekta dolazi do prodiranja penetranta u površinske nepravilnosti. Ponovnim čišćenjem površine ispitivanja i temeljitim uklanjanjem penetranta na odgovarajući način, površina je spremna za nanošenje razvijaača, nakon kojeg dolazi do izvlačenja penetranta iz nepravilnosti i tada indikacije nepravilnosti postaju vidljive. Spomenute osnovne faze procese su prikazane slikom 2.8. Ovom je metodom moguće otkrivanje pukotina, ali ne i dimenzije i ostale karakteristike pukotine. Jednostavnost primjene metode, uz mogućnost rada na terenu osigurava široku primjenu ove metode. Mogućnost primjene na nemetalnim materijalima kao što su keramika, plastika i staklo osiguravaju svjetlu budućnost primjene ove metode.



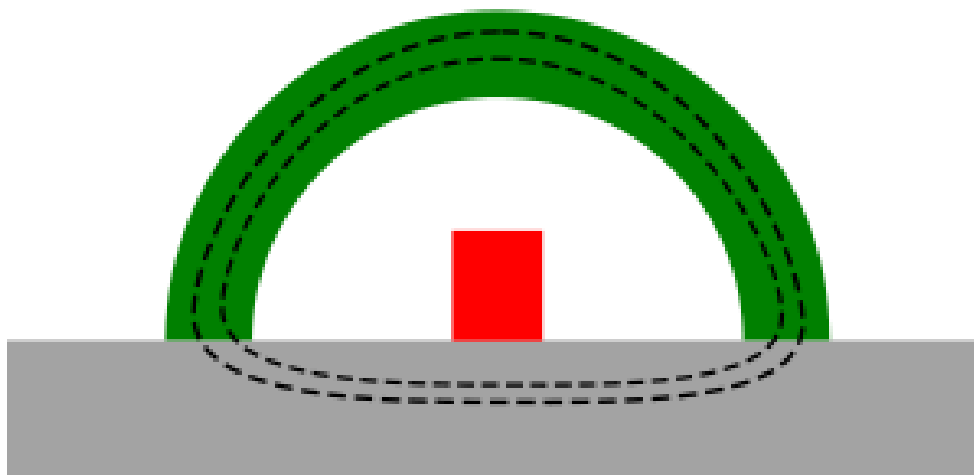
Slika 2.8 Faze penetrantskog ispitivanja: čišćenje (1), nanošenje pentranta (2), uklanjanje pentranta i nanošenje razvijaača (3), razvijanje indikacija (4) [6]

2.3. Magnetska kontrola (MT)

Ispitivanje magnetskim česticama je relativno jednostavna metoda ispitivanja bez razaranja. Metodom magnetskih čestica je moguće pronalaženje grešaka koje se nalaze na površini objekta ispitivanja ili neposredno ispod površine. Materijali koji se mogu ispitivati metodom magnetskih čestica moraju imati magnetska svojstva (feromagnetski materijali). Metoda se sastoji od početnog magnetiziranja objekta. Oko vodiča kroz koji prolazi električna struja (magnetski jaram, magnetske elektrode) stvara se magnetsko polje (istosmjerne ili izmjenične struje), čije silnice prolaze između ostaloga i kroz feromagnetični materijal koji se ispituje, odnosno koji je u dodiru s magnetskim jarmom ili magnetskim elektrodama. Nanošenjem magnetskih čestica je moguća interpretacija indikacija koja nastaju nakupljanjem magnetskih čestica na mjestima povećanog magnetskog otpora za magnetske silnice na mjestu pukotine (zračnog zazora). Na tom mjestu, u

obliku pukotine dolazi do zgušnjavanja magnetskih čestica, a pomak mjerimo uz pomoć induktivnog osjetila. Skica dijelova opreme je prikazana na slici 2.9. [3]

Ova je metoda kontrole kvalitete jeftina i brza, ali ima ograničenje s obzirom na ne feromagnetične materijale, greške duboko ispod površine, te nemogućnost određivanja dubine pukotine koja je otkrivena kod feromagnetičnih materijala.



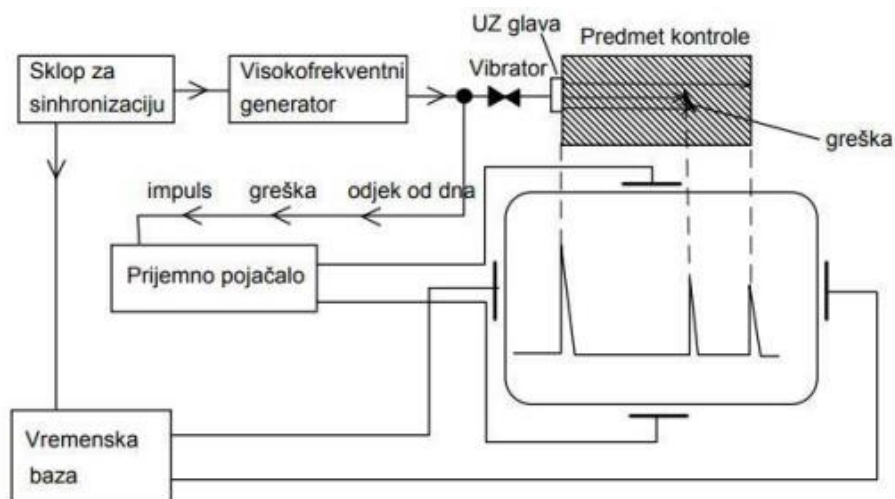
Slika 2.9 Magnetska kontrola s dijelovima opreme: Magnetski jaram (zeleno), uzorak koji se ispituje (sivo), induktivno osjetilo (crveno) [7]

2.4. Ultrazvučna kontrola (UT)

Ispitivanje materijala ultrazvukom se primjenjuje od četrdesetih godina prošlog stoljeća i do danas su razvijene mnoge tehnike primjene. Ispitivanje ultrazvukom se bazira na činjenici da su čvrsti materijali dobri vodiči zvučnih valova. Ultrazvuk je naziv za frekvencije iznad područja čujnosti, a za ovu metodu koriste se frekvencije 0,5 – 10 Mhz. Kroz materijal se šalju zvučni valovi spomenutog spektra frekvencije, koji se odbijaju na granici materijala različitih akustičkih osobina (otpornosti), odnosno od nehomogenosti (grešaka) u materijalu. Od izvora ultrazvuka šire se ultrazvučni valovi kroz materijal koji se kontrolira. Ako u materijalu postoji greška, iza nje će, ovisno o vrsti greške, ultrazvučni valovi oslabiti ili se neće pojaviti (odbiju se od greške). Iako postoje različite tehnike ultrazvučnog ispitivanja, obično se u praksi koristi metoda impuls - odjek (slika 2.10) i metoda prozvučavanja, pri čemu se koriste ravne i/ili kutne ultrazvučne glave.

Odbijanje zvučnih valova se ne javlja samo na vanjskim granicama materijala, već i prilikom nailaska zvučnog vala na unutrašnje nepravilnosti u materijalu. Tako je ova metoda prikladna za otkrivanje grešaka tipa pukotina (ravninske ili planarne greške) ali je moguće detektirati i druge greške (uključke troske, plinske mjehuriće, mjehuriće u nizu). Još neke od prednosti ove metode

su da je dovoljan pristup predmetu kontrole samo s jedne strane, te samo provođenje kontrole je bezopasno i ne zahtijeva zaštitna sredstva. Važno je imati na umu da je akustična impedancija poznata za svaki materijal, ali se znatno razlikuje ovisno o materijalu. Za kvalitetno provođenje potrebno je veliko iskustvo i znanje. [3]

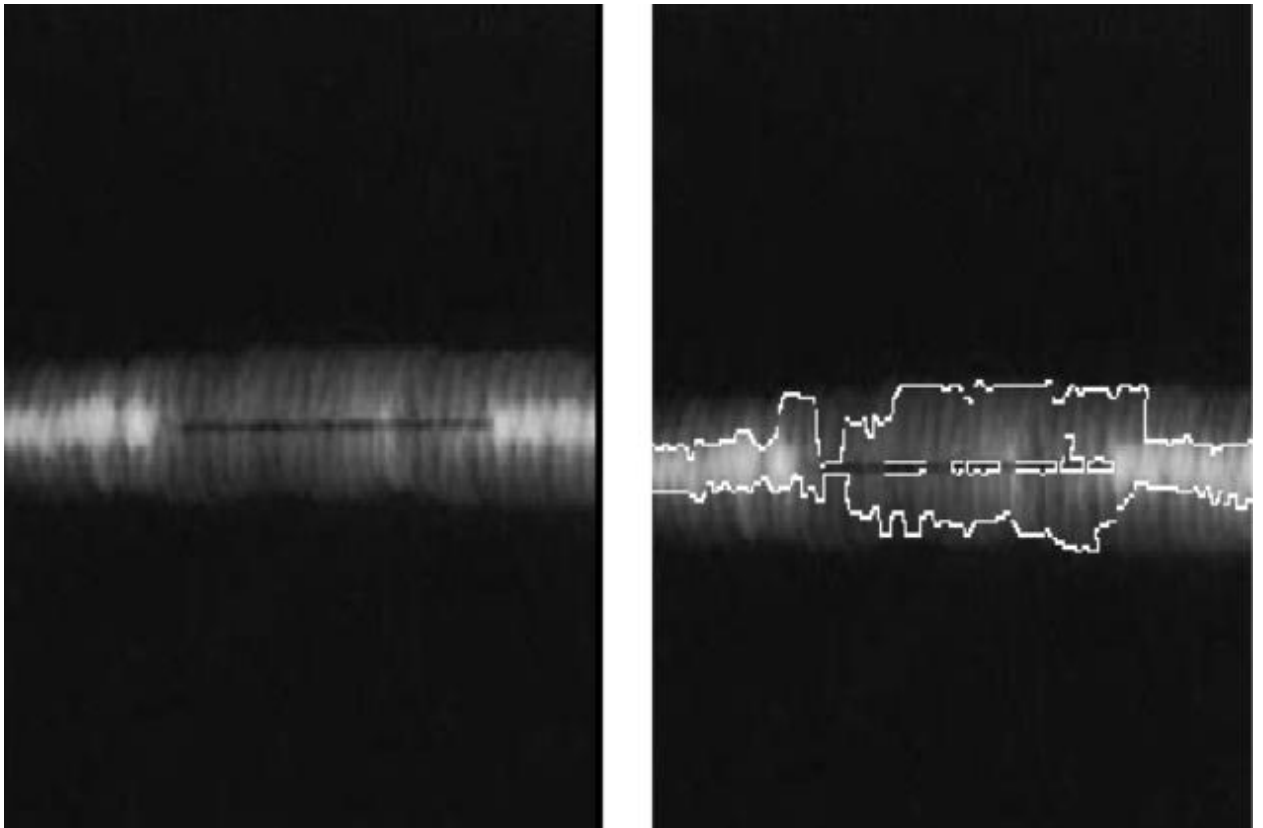


Slika 2.10 Shematski prikaz ultrazvučne metode kontrole zavara [3]

2.5. Radiografska kontrola (RT)

Radiografija je postupak bilježenja unutarnjih i vanjskih grešaka trodimenzionalnih objekata na dvodimenzionalnoj filmskoj ravnini. Radiogram je trajni zapis u obliku slike na filmu. Da bi nastao radiogram potreban je snažan izvor energije, objekt ispitivanja i film na kojem će ostati trajni zapis. Za ostavljanje traga na filmskoj emulziji moguće je koristiti gama ili rendgenske zrake. Oba su zračenja u biti elektromagnetska zračenja. Prodornost gama i rendgenskih zraka je drugačija. Rendgenske zrake u pravilu daju kvalitetnije radiograme, međutim, gama zrake imaju veću prodornost, te se koriste za ispitivanje uzoraka debljine preko 20 mm. Gornja granica debljine ispitnih uzoraka je 40 mm. [2]

Ovom metodom moguće je otkriti površinske i greške unutar materijala ali problematične su plošne pogreške, jer se na ovaj način mogu otkriti samo greške koje su položene u smjeru zračenja. Metoda radiografskog ispitivanja zauzima značajno mjesto među metodama ispitivanja bez razaranja zbog svoje pouzdanosti i trajnosti zapisa. Zbog potencijalne opasnosti po zdravlje i okoliš zahtijeva oprezno provođenje mjera zaštita na radu i visoki stupanj stručnosti ispitivača. Oprema je skupa i složena, te valja voditi računa o transportu i skladištenju iste (radiaktivnost).



Slika 2.11 Snimka radiografske kontrole zavara gdje se vidi pukotina u zavaru u smjeru zračenja [8]

3. Kompetencija ispitnog osoblja

U sklopu Hrvatskog društva za kontrolu bez razaranja, moguće je provesti potrebnu kvalifikaciju i certifikaciju osoblja. Kvalifikacija se definira kao postupak dokazivanja odgovarajuće izobrazbe, stručnoga znanja, vještina i iskustva te fizičke sposobnosti osoblja u odnosu na postavljene zahtjeve, za pravilno obavljanje zadaća u NDT ispitivanjima. Certifikacijom se smatra postupanje kojim se potvrđuje ispunjenost zahtjeva u pogledu kvalificiranosti za određenu metodu, stupanj i područje, koje završava izdavanjem certifikata.

Prema normi Nerazorno ispitivanje -- Kvalifikacija i certifikacija NDT osoblja (ISO 9712:2021; EN ISO 9712:2022) , stupnjeve izobrazbe osoblja za kontrolu zavara dijelimo na:

Stupanj 1 izobrazbe osoblja:

- podešavanje opreme
- provođenje ispitivanja
- zapisivanje i klasificiranje rezultata u skladu s pisanim kriterijima
- izvještavanje o nalazima

Stupanj 2 izobrazbe osoblja:

- izbor tehnike ispitivanja za metodu koja se koristi za ispitivanje
- definiranje ograničenja u primjeni ispitne metode/tehnike
- pripremu i pisanje uputa prema normama i specifikacijama nerazornih ispitivanja
- podešavanje i provjeravanje opreme
- provođenje i nadziranje ispitivanja
- interpretaciju i procjenu rezultata u skladu s normama, propisima ili specifikacijama koje se primjenjuju
- brigu i nadzor svih aktivnosti stupnja 2 i ispod
- uvježbavanje i vođenje osoblja stupnja 1 i 2
- priređivanje i potpisivanje izvještaja o nalazima nerazornih ispitivanja.

Stupanj 3 izobrazbe osoblja:

- preuzima punu odgovornost za ispitni centar i osoblje
- ustanovljava, pregledava i ocjenjuje upute i postupke nerazornih ispitivanja
- tumači norme, propise, specifikacije i postupke
- određuje pojedine metode, tehnike i postupke koji se upotrebljavaju
- izvodi i nadzire sve aktivnosti osoblja stupnja 1 i 2
- vodi osoblje za nerazorna ispitivanja na svim stupnjevima
- provodi i odgovara za procjenu i interpretaciju rezultata u skladu s normama, propisima i specifikacijama
- ima dovoljno praktičnih znanja o primjenjenom materijalu, proizvodnji i proizvodnoj tehnologiji da može odabrati metode i razraditi tehnike nerazornoga ispitivanja, te sudjeluje u razradi kriterija prihvatljivosti, kada oni nisu određeni/dostupni [9]

Za određeni stupanj izobrazbe i metodu potrebni je određeni broj sati obuke (treninga) kako je prikazano u tablici 3.1.

Tablica 3.1 Potreban broj sati treninga za pojedinu metodu i stupanj certifikacije [9]

3. MINIMALNO VRIJEME TRAJANJA TRENINGA			MINIMUM TRAINING REQUIREMENTS		
R.br / No.	Metoda / Method	Stupanj 1 / Level 1 [sati/hours]	Stupanj 2 / Level 2 [sati/hours]	Stupanj 3 / Level 3 [sati/hours]	
1	2	3	4	5	
1	AT	40	64	48	
2	ET	40	48	48	
3	LT	A - osnovno znanje	8 ^(a)	8 ^(a)	8 ^(a)
		B - tehnika pada tlaka	16 ^(a)	24 ^(a)	24 ^(a)
		C - tehnika ispitnog plina	16 ^(a)	32 ^(a)	32 ^(a)
4	MT	16	24	32	
5	PT	16	24	24	
6	RT ^(b)	64 ^(c)	80 ^(d)	40	
7	TT	40	80	40	
8	UT	64 ^(c)	80	40	
9	UT-R ^(e)	32	32	--	
10	VT	16	24	24	

(a) certifikacija za B ili C se sastoji od zbroja satnice (A+B ili A+C) za sve stupnjeve
 (b) sati treninga ne sadrže trening o zaštiti od zračenja
 (c) minimalni zahtjev trajanja treninga je **40 sati**
 (d) za direktan pristup stupnju 2, kad je certifikacija ograničena **samo** na interpretaciju filmova i **samo** za jedno proizvodno područje, trajanje treninga iznosi **56 sati**
 (e) certifikacija s ograničenjem (R): mjerenje debljine i ispitivanje slojivosti

Svaki od polaznika za dobivanje određenog stupnja certifikata mora proći pismeni i praktični dio ispita. Za pristupanje ispitima potrebno je minimalno radno iskustvo. U tablici 3.2 prikazano je zahtijevano minimalno radno iskustvo koje prethodi certifikaciji u industrijskom području zahtijevanoj od kandidata. Kada kandidat zahtjeva certifikaciju u više metoda, tada je radno iskustvo zbroj trajanja radnog iskustva za pojedinu metodu.

Važna stavka za pristup ispitu je i pregled vida. Potreban je za sve stupnjeve certifikacije a sadržava pregled:

- vida na blizinu
- čitanja broja 1 Jaeger tablice ili Times Roman N 4.5 (visina slova 1,6 mm), na udaljenosti ne manjoj od 30 cm, za jedno ili oba oka, korigirano ili nekorigirano
- pregled za razlikovanje boja
- kontrast između boja ili sjena sive boje, koje se upotrebljavaju u metodi nerazornoga ispitivanja koju specificira poslodavac. [9]

Tablica 3.2 Potrebno minimalno radno iskustvo za određeni stupanj certifikacije [9]

4. MINIMALNO RADNO ISKUSTVO		MINIMUM INDUSTRIAL EXPERIENCE		
R.br / No.	Metoda / Method	Radno iskustvo / Working experience [mjeseci / months] ^(a)		
		Stupanj 1 / Level 1	Stupanj 2 / Level 2	Stupanj 3 / Level 3
1	2	3	4	5
1	AT, ET, LT, RT, UT	3	9	18
2	MT, PT, VT	1	3	12

^(a) iskustvo u mjesecima temeljeno je na 40 satnom radnom tjednu ili zakonskom trajanju radnog vremena. Ako osoba radi više od 40 sati tjedno, to se uzima u obzir na temelju ukupnog broja sati, ali mora pružiti dokaz o većem fondu sati.

U praktičnom dijelu ispita svaki ispitni uzorak je jednoznačno označen i posjeduje originalni izvještaj koji uključuje podešavanje ispitne opreme koja je korištena za otkrivanje specifičnih prekidnosti sadržanih u uzorku. Za uzorke koji se upotrebljavaju za ispit, originalni izvještaj sadržava najmanje dva neovisna ispitivanja od ispitivača s certifikatom najmanje stupnjem 2, a potvrđuje ga imatelj certifikata stupnja 3 u predmetnoj metodi.

Tablica 3.3 Način provedbe praktičnog dijela ispita [9]

7. PREDMET I TEŽINSKI DIO ISPITA - PRAKTIČNI DIO		SUBJECT AND WEIGHTING FACTORS FOR GRADING - PRACTICAL EXAMINATION	
R.br / No.	Opis / Description	Težinski faktor / Weighting factor	
1	2	Stupanj 1 / Level 1	Stupanj 2 / Level 2
		3	4
1	Poznavanje opreme, uključujući funkcije i verifikaciju parametara za podešavanje	20%	10%
2	Primjena nerazornih ispitivanja na ispitne uzorke. Sastoji se od slijedećih elemenata: a) za stupanj 2, odabir tehnika i određivanje ispitnih uvjeta, b) priprema (uvjeti za površinu) i vizualni pregled uzorka, c) podešavanje opreme, d) provedba ispitivanja, e) radnje/operacije poslije ispitivanja.	35%	20%
3	Otkrivanje i izvješćivanje o prekidnostima i, za 2. stupanj, njihova karakterizacija (pozicija, orijentacija, dimenzije i tip) i ocjena	45%	55%
4	Samo za stupanj 2 - pisana uputa za stupanj 1	--	15%

Važno je i naglasiti da nad svim certificiranim osobama, se može provoditi nadzor njihovog rada i/ili uvjeta prema kojima je stečena certifikacija. Nadzor se može provesti:

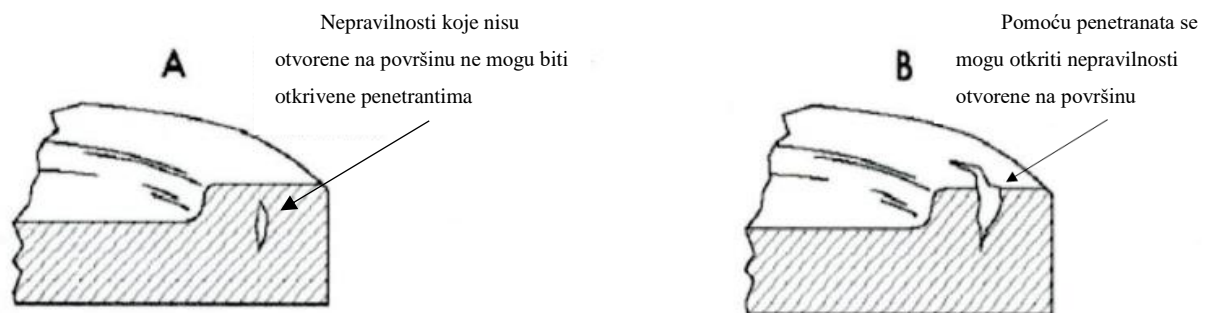
a) slučajnim odabirom certificiranih osoba (npr. pri posjeti tvrtke u kojoj je certificirana osoba zaposlena)

b) po prijavi treće strane certifikacijskom tijelu (npr. u slučaju kršenja etičkog kodeksa, u slučaju provođenja ispitivanja na neodgovarajući način)

4. Ispitivanje penetrantima i penetrantski sustavi

Namjena ispitivanja penetrantima je otkrivanje nepravilnosti otvorenih na površinu kao što su pukotine, poroznosti, naljepljivanja, hladni zavari itd. Ispitivanje se može izvoditi na materijalima kao što su:

- čelici (ugljični i austenitni)
- bakar
- titan
- keramika (osim poroznosti)
- plastika
- aluminij.



Slika 4.1 Oblici nepravilnosti vidljivi penetrantskom metodom [10]

Pod nazivom penetrantski sustav, podrazumijevaju se: penetrant, odstranjivač suviška penetranta (čistač) i razvijač.

Prema obojenosti penetranta (uvjetu promatranja) : obojeni (crveni) i fluorescentni.

Prema odstranjivanju suviška penetranta s površine: vodom perivi penetrant i otapalom odstranjivi penetrant.

Prema osjetljivosti (stupnjevi) : 1, 2, 3.

Sustav jedne klase u odnosu na drugu nema prednosti. Prednost u izboru sustava treba dati onom sustavu čija klasa prekriva upravo onaj raspon grešaka koji se očekuje u ispitnom objektu. [10]

Tablica 4.1 Penetrantski ispitni sustav prema normi EN 571-1 [10]

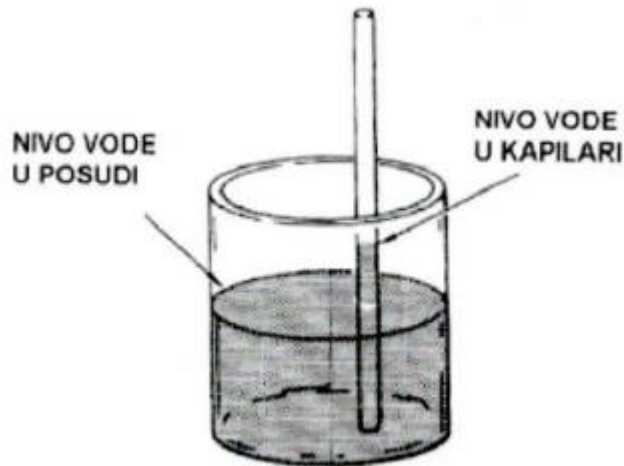
Penetrant		Odstranjivač suviška penetranta		Razvijač	
Vrsta	Naziv	Metoda	Naziv	Stanje	Naziv
I	Fluorescentni penetrant	A	Voda	a	Suhi
II	Obojeni penetrant	B	Lipofilni emulgator	b	Otopljen u vodi
III	Dvonamjenski penetrant (fluorescentni i obojeni)		1.Nanošenje emulgatora na osnovi ulja	c	Raspršen u vodi
			2.Ispiranje vodom	d	Rastvoren u otapalu
		C	Otapalo (tekuće)	e	Razvijač na osnovi vode ili otapala za posebne namjene
		D	Hidrofilni emulgator		Npr. razvijač za odljepljivanje
			1. Opcija: pretpranje vodom		
			2. Nanošenje emulgatora otopljenog u vodi		
			3.Konačno ispiranje vodom		
		E	Voda i otapalo		

Učinkovitost ispitivanja penetrantima ovisi o mnogim čimbenicima, kao što su:

- vrsta penetranta i oprema za ispitivanje
- stanje ispitne površine (uvjeti)
- priprema (odmašćenost i očišćenost)
- temperatura ispitne površine (10° do 50°C)
- hrapavost, geometrija (složenost oblika)
- materijal (površine objekta koji se ispituje)
- značajke prekidnosti koje se očekuju
- vrijeme prodiranja i razvijanja
- uvjeti promatranja. [10]

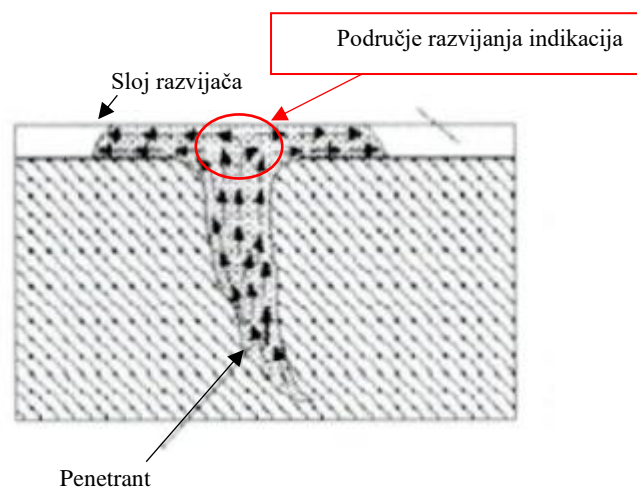
4.1. Fizikalne osnove

Vrlo važna fizikalna pojava u primjeni penetrantskog ispitivanja je kapilarni efekt. Kapilarni efekt je fizikalna pojava podizanja penetranta u tankim cjevčicama. Tekućina se podiže po stjenci i vuče za sobom određen volumen tekućine. Dosegnuta visina je ovisna od promjera kapilare (uža kapilara - viši stupac tekućine)



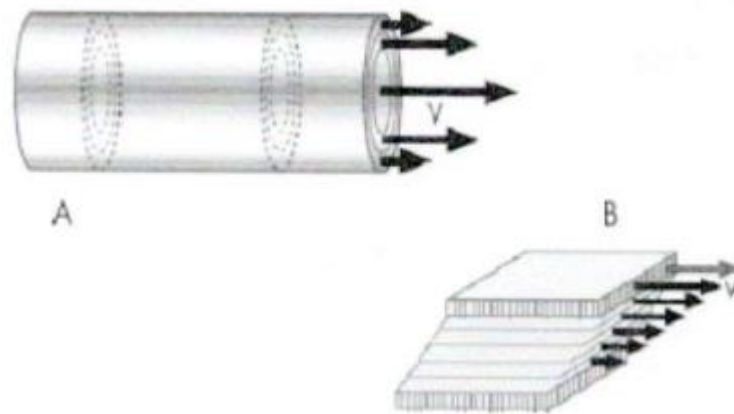
Slika 4.2 Kapilarni efekt [10]

Nepravilnosti na ispitnim komadima su slične kapilarama, a dobar penetrant mora imati sposobnost prodiranja u nepravilnost kako je prikazano na slici 4.3.



Slika 4.3 Prodiranje penetranta u nepravilnost [10]

Vrijeme penetriranja ovisi o drugoj jednako važnoj fizikalnoj pojavi a to je viskoznost. Viskoznost je trenje nastalo pri strujanju fluida (tekućine ili plina) zbog različite brzine gibanja njegovih slojeva (slika 4.4). Uzrok su viskoznosti međumolekulske kohezijske sile u fluidu i adhezijske sile između fluida i krutoga tijela kroz koje se strujanje odvija. Tekućine velike viskoznosti neprikladne su kao penetrantsko sredstvo jer ne teku dovoljno brzo po površini ispitnog objekta i zahtijevaju dulje vrijeme penetracije za ispunu šupljina površinskih pogrešaka. Važno je napomenuti da je viskoznost ovisna od temperature (viša temperatura - niža viskoznost).



Slika 4.4 Profil brzine tekućine ili plina (dužina strelice = brzina v)
 A) kroz cijev B) među dvjema pločama [10]

Adhezija je definirana kao privlačna sila između molekula različitih tvari. Adhezija može biti toliko visoka da dolazi do prekida unutar pojedinog materijala, a zajednička se povezanost zadržava, kao što je to slučaj kod ljepila. Za svrhu penetrantske kontrole potrebno je postići adheziju penetranta i ispitnog objekta. Za snižavanje sila privlačenja između površine i penetranta i za lakše odstranjivanje penetranta se koriste emulgatori. [10]

4.2. Faze penetrantskog ispitivanja

4.2.1. Priprema i čišćenje ispitne površine

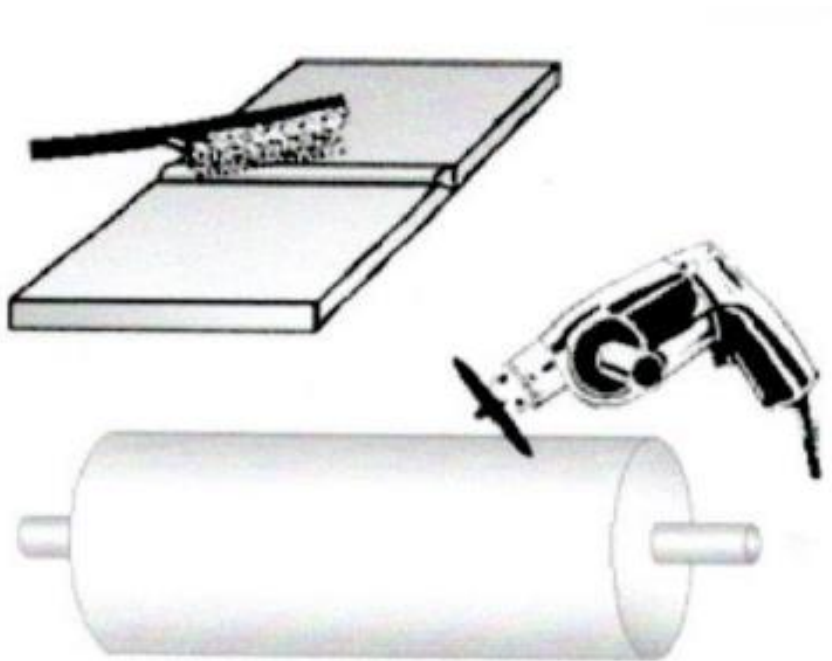
Nepravilnost će biti moguće otkriti pomoću penetranta ako:

- su otvorene na površinu
- nisu zapunjene ili prekrivene bojom, uljem, prljavštinom ili vodom
- na površini nema agresivnih tvari kao što su kiseline, kromati ili boje za označavanje, koje bi uzrokovale kemijske reakcije s penetrantima.

Površine se čiste mehanički i fizikalno-kemijskim procesima.

Mehanički načini pripreme površine:

- četkanje, priprema brusnim papirom, brušenje (ne odstranjuje nečistoće iz nepravilnosti)
- ultrazvučno čišćenje (odstranjuje nečistoće iz nepravilnosti)
- priprava tokarenjem
- pjeskarenje ili sačmarenje (opasnost zatvaranja nepravilnosti).

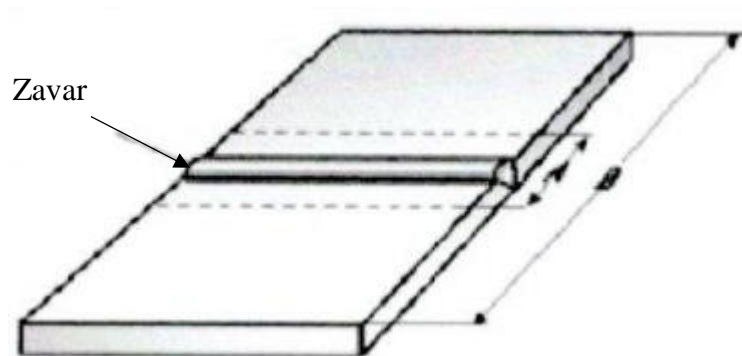


Slika 4.5 Mehaničko čišćenje površina: četkanje (gore) i brušenje (dolje) [10]

Fizikalno-kemijske pripreme površine:

- čistači (otapala) kao što su aceton, alkohol ili tvari na bazi ugljikovodika su odgovorna za odstranjivanje masti, ulja ili boja
- deterdženti se upotrebljavaju pri povišenim temperaturama (40-80 °C) u kombinaciji s inhibitorima zbog sprječavanja korozije
- parno čišćenje s čistom parom ili s otapalom
- odstranjivači boja ili otapala za okujinu su obično kemijske tvari, koje ne smiju reagirati s materijalom ispitnog komada [10]

Područje ispitivanja je otprilike 25 mm sa svake strane u odnosu na zavar, što se vidi na slici 4.6.



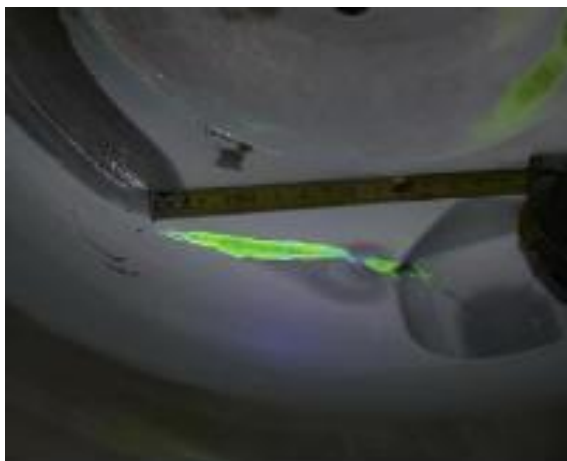
Slika 4.6 Zona utjecaja topline (A) i područje ispitivanja (B) [10]

4.2.2. Penetranti i proces penetriranja

Penetranti se u osnovi dijele na obojene (kontrastne), koji se promatraju pod dnevnim (bijelim) svjetlom i na fluorescentne, koji se promatraju pod UV svjetlom. Obojeni penetrant gledan pod bijelim svjetlom može biti crven, narančast ili tamno crven. Fluorescentni penetrant gledan pod UV svjetlom, fluorescira žuto-zeleno, ili zeleno.

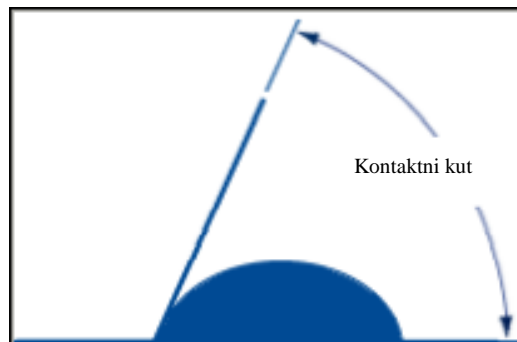


Slika 4.7 Obojeni penetrant pod bijelim svjetlom [10]



Slika 4.8 Fluorescentni penetrant pod UV svjetlom [10]

Kako bi se postigla što bolja adhezija između penetranta i ispitnog objekta, važno je osigurati određeni kontaktni kut. Jedan krak kuta je tangenta na površinu kapljice tekućine, a drugi je pravac u smjeru površine koju tekućina moči. Kontaktni kut ne ovisi o položaju stjenke, što znači da tekućina moči i vertikalne i nadglavne plohe, a ne samo horizontalno i povoljno orijentirane sa stajališta nanošenja tekućina. Potrebno je da kontaktni kut bude između 0 i 90° kako bi se osiguralo dobro moćenje (slika 4.9.). Kontaktni kut se mijenja s obzirom vrstu penetranta i ispitivanu površinu. [10]



Slika 4.9 Prikaz kontaktnog kuta između penetranta i ispitivane površine



Slika 4.10 Sposobnost moćenja penetranta s obzirom na kontaktni kut [10]

Tablica 4.2 Kontaktne kut s obzirom na različite vrste tekućina i ispitnih površina [10]

Voda		Fluorescentni penetrant		Obojeni penetrant	
Podloga	θ°	Podloga	θ°	Podloga	θ°
Čelik	95,5	Čelik	45,5	Čelik	44,3
Aluminij	93,5	Aluminij	55,9	Aluminij	48
Staklo	36,4	Staklo	49,7	Staklo	40,2

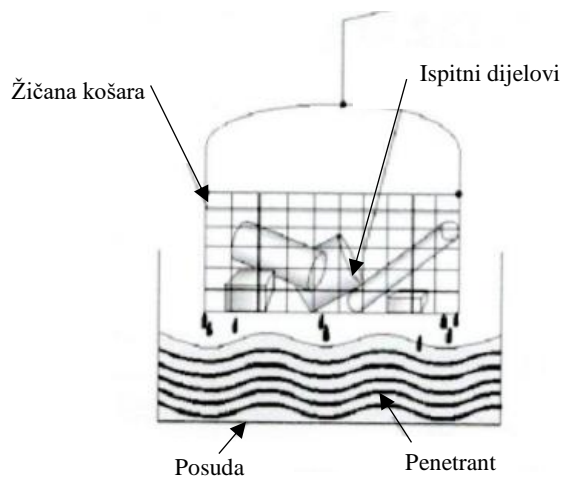
Utjecaj na sposobnost moćenja ima i viskoznost penetranta. Velika viskoznost ima negativan utjecaj na mogućnost moćenja i penetriranja penetranta i emulgatora, te na vrijeme ispitivanja, jer viskozni penetrant sporo napreduje po površini objekta. Kada je viskoznost mala, ispitna površina se vrlo brzo moči, penetrant brzo penetrira u pukotinu i ubrzano se ocjeđuje s površine (na ispitnoj površini nema dovoljno penetranta za penetriranje u pukotine).

Kod ispitivanja obojenim penetrantima potrebno je osigurati dostatnu osvjetljenost ispitivane plohe, prirodnim ili umjetnim izvorom svjetlosti. Osvjetljenost ispitivane plohe mora iznositi najmanje 500 lux. Moraju se izbjeći sjene i refleksije.

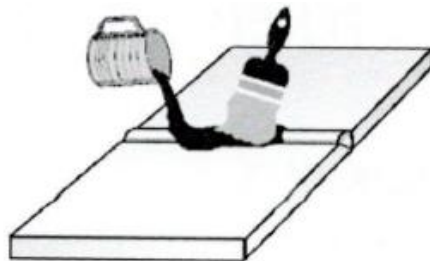
Kod ispitivanja fluorescentnim penetrantima potrebno je osigurati dostatni intenzitet UV zračenja i dovoljno malu osvjetljenost ispitne plohe zbog (bije)le svjetlosti. Površina mora biti pregledavana pod osvjetljenjem UV (crno svjetlo) najmanjeg intenziteta 10 W/m^2 . Osvjetljenost ispitne plohe zbog pozadinske (bije)le svjetlosti mora biti manja od 20 lux. Najmanje 5 minuta prije ispitivanja mora se omogućiti akomodacija oka na uvjete promatranja i najmanje 5 minuta mora se zagrijavati izvor crnog svjetla. [10]

Tehnike nanašanja penetranta su:

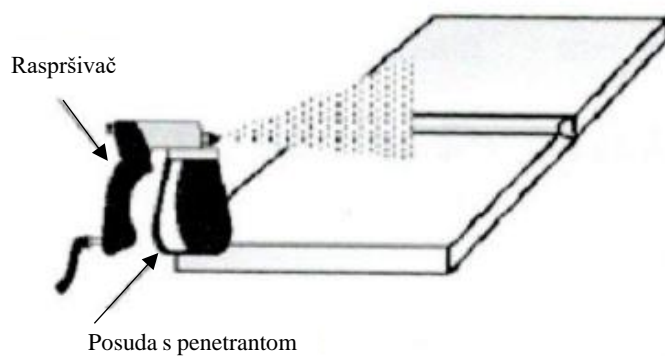
- uranjanje (odgovarajuće za slabo močive površine)
- mazanje kistom (za ograničene površine)
- raspršivanje (konvencionalno ili statičko)



Slika 4.11 Tehnika nanašanja penetranta uranjanjem [10]



Slika 4.12 Tehnika nanašanja penetranta mazanjem kistom [10]



Slika 4.13 Tehnika nanašanja penetranta raspršivanjem [10]

Vremenski interval koji je potreban, da penetrant po nanašanju na ispitnu površinu zapuni nepravilnost je ovisan od:

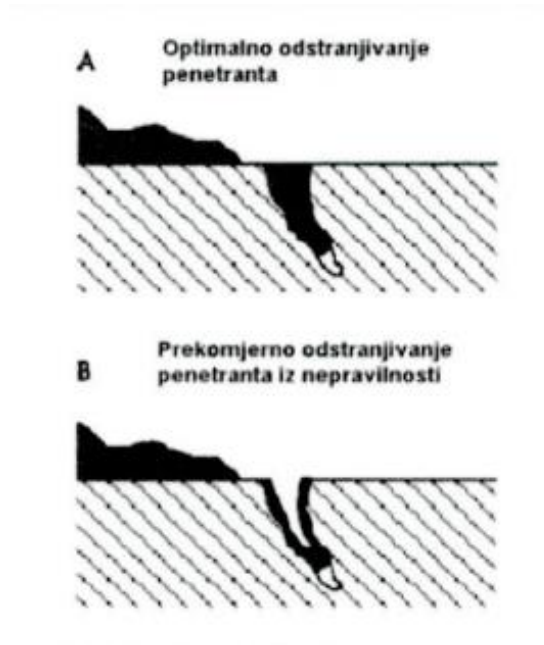
- oblika i materijala ispitnog komada
- vrste nepravilnosti
- vrste penetranta
- ispitne temperature

Tablica 4.3 Preporučena vremena penetriranja [10]

Preporučena vremena penetriranja				
Materijal	Oblik ispit.kom.	Vrsta nepravilnosti	Tip 1	Tip2
Aluminij i magnezij	Odljevak	Poroznost	5-15	5
	Otkivak	Prekrivanje	-	10
	Zavareni spoj	Poroznost	30	5
	Sve	Pukotine	30	10
Željezo	Odljevak	Poroznost	30	5
	Otkivak	Prekrivanje	-	10
	Zavareni spoj	Poroznost	15	10
	Sve	Pukotine	30	20
Austenitna željeza na osnovi nikla, kobalta i titana	Odljevak	Poroznost	10	5
	Otkivak	Prekrivanje	-	10
	Zavareni spoj	Poroznost	60	20
	Sve	Pukotine	30	10
*Tip 1 Obojani kontrastni penetrant, odstranjiv vodom ili otapalom				
**Tip 2 Fluorescentni, naknadno emulgirajući penetranti				

4.2.3. Odstranjivanje penetranta i sušenje

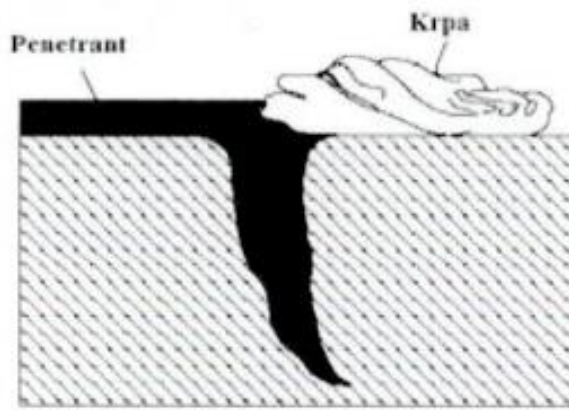
Najveća osjetljivost se dostiže ako se odstrani penetrant samo sa površine, tako da ostane samo u unutrašnjosti nepravilnosti (slika 4.14).



Slika 4.14 Odstranjivanje penetranta s površine [10]

Odstranjivanje penetranta otapalom:

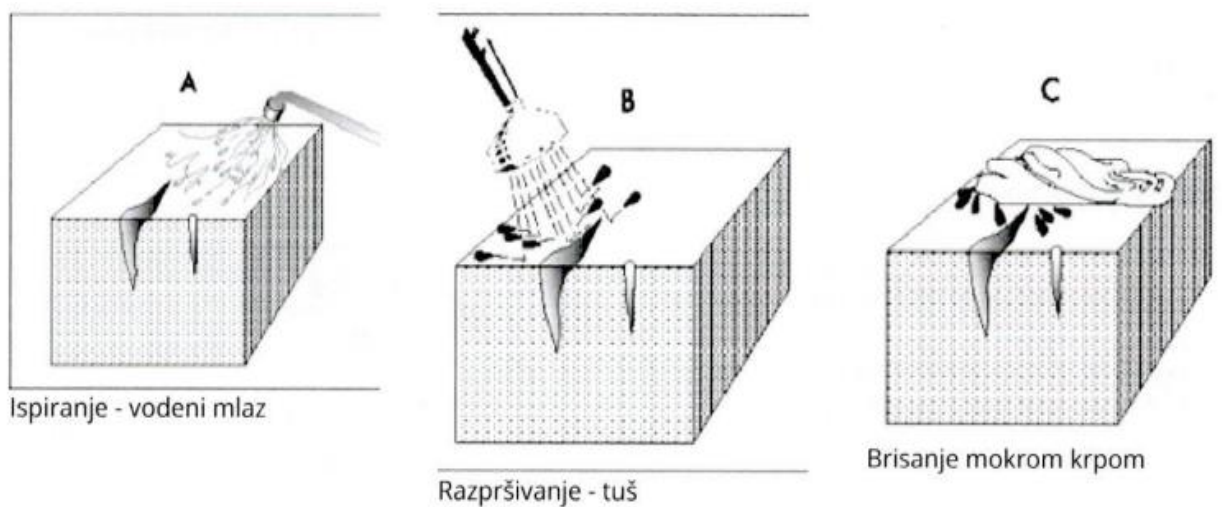
- najprije je s površine potrebno odstraniti penetrant suhom krpom ili papirom potom krpom (navlaženom otapalom) se čisti površina, dok na krpi više nema tragova penetranta
- otapalo može razrijediti penetrant u nepravilnosti
- odgovarajuće za manje glatke ispitne komade i lokalnu upotrebu na većim objektima
- direktna upotreba (nanošenje sprejom ili polijevanjem), obzirom na zahtjeve većine normi, je nedozvoljena



Slika 4.15 Odstranjivanje penetranta otapalom [10]

Odstranjivanje penetranta vodom:

- postupak je odgovarajući kada se upotrebljavaju penetranti s visokom tolerancijom na vodu ili ako je penetrantu na uljnoj osnovi dodan emulgator
- u skladu s normom Nerazorno ispitivanje -- Ispitivanje penetrantima -- 1. dio: Opća načela (EN 571-1:1997)
- temperatura vode ne smije presezati 50 °C
- zbog opasnosti ispiranja penetranta iz nepravilnosti, potrebno je paziti na pritisak vode (norme ga ograničuju)



Slika 4.16 Odstranjivanje penetranta vodom [10]

Odstranjivanje penetranta za naknadno emulgiranje:

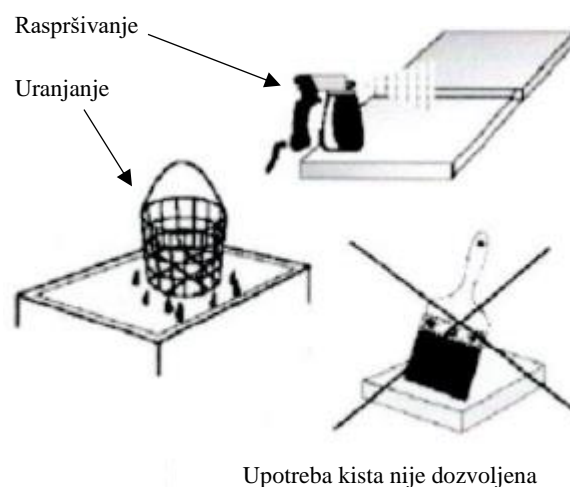
- penetranti za naknadno emulgiranje vrlo dobro moće metale
- penetrante za naknadno emulgiranje nije moguće odstraniti bez emulgatora
- emulgatori omogućavaju snižavanje sila privlačenja među površinom i penetrantom
- dobri za detekciju finih i jako širokih nepravilnosti

Faze postupka:

- djelomično odstranjivanje penetranta jakim vodenim mlazom kao pred-pranje
- nanašanje emulgatora i emulgacija nekoliko minuta
- dodatno pranje emulgiranog penetranta vodom

Vrste emulgatora:

- hidrofilni (topivi su u vodi)
- lipofilni (topivi su u ulju) [10]



Slika 4.17 Odstranjivanje penetranta za naknadno emulgiranje [10]

Kontrola odstranjivanja penetranta je vrlo bitna stavka. Potrebno je provjeriti, ako je odstranjen sav prekomjerni penetrant (ostatci uzrokuju indikaciju pozadine). Pri obojanim kontrastnim penetrantima blago ružičasto pozadina nije kritična. Pri fluorescentnim penetrantima je potrebno brižno ispiranje i kontrola pomoću UVA (ultraljubičastog) izvora (min. 3 W/m²)

Izbor metode čišćenja ovisi o:

- vrsti objekta i njegovoj namjeni
- veličini, obliku i pristupačnosti ispitne površine
- količini ispitanih predmeta
- materijalu koji se ispituje
- kvaliteti obradbe površine
- vrsti nečistoća prisutnih na površini
- cijeni sredstva i raspoloživoj opremi
- zaštiti okoliša
- zaštiti na radu

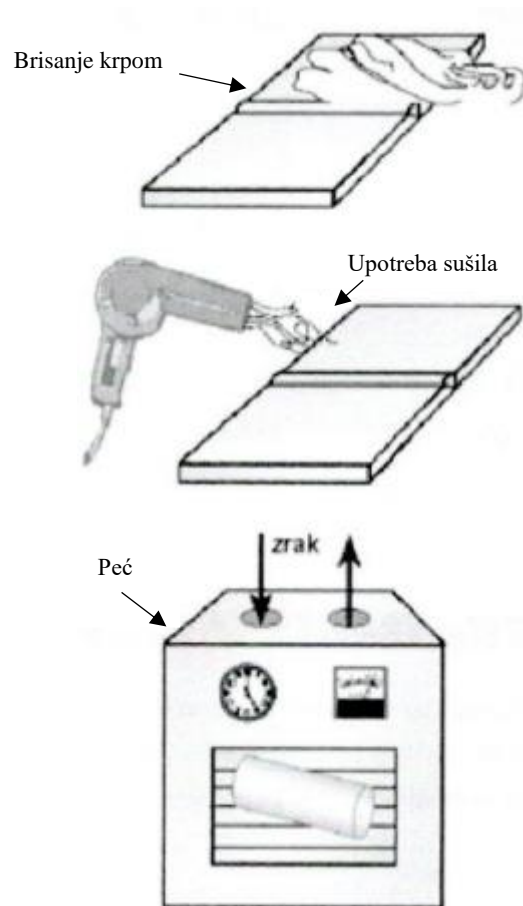
Posljedice nečistoća na ispitnoj površini su:

- smanjenje otvora pukotine, a time količine penetrantskog sredstva u pukotini
- onemogućavanje ulaza penetranta u otvor pukotina
- utjecaj na kapilarni učinak tj. na prodiranje penetranta u pukotinu
- promjene močivosti penetranta
- promjena intenziteta boje, fluorescencije, odnosno kontrasta penetranta
- povećanje vjerojatnosti pojave lažnih grešaka

Sušenje nije nužno potrebno, ako se odstranjivanje izvodi otapalom ili se upotrebljava razvijlač na vodenoj osnovi. Potrebno je, ako se odstranjivanje izvodi vodom i upotrebljava ne-vodni razvijlač.

Načini sušenja:

- brisanje s krpom ili papirom
- prirodno ishlapljivanje (s ili bez struje zraka)
- ishlapljivanje pri povišenoj temperaturi(maks. 50°C) [10]



Slika 4.18 Načini sušenja nakon odstranjivanja penetranta [10]

4.2.4. Razvijanje indikacija

Funkcija razvijaa je da mora pospješiti izlaženje penetranta iz nepravilnosti i ostvariti dobar kontrast između indikacije i površine koja se promatra. Debljina razvijaa mora biti optimalna jer pri nedovoljnom nanosu nema učinka povlačenja penetranta, a pri prekomjernom nanosu pak indikacija neće biti vidljiva.

Vrste razvijaa su:

- suhi
- mokri na osnovi otapala
- mokri na vodenoj osnovi (suspendirani i otopljeni u vodi)

Nanašanje suhog razvijaa je dozvoljeno samo u kombinaciji fluorescentnim penetrantima.

Načini nanašanja su:

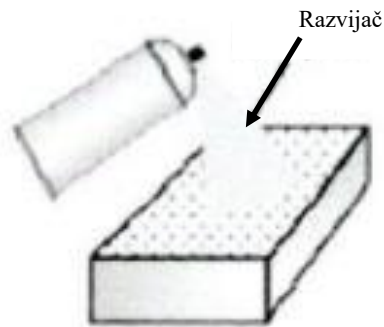
- raspršivanje (pudranje)
- raspršivanje komprimiranim zrakom
- elektrostatičko raspršivanje
- uranjanje u vrtložnu komoru



Slika 4.19 Nanašanje suhog razvijaa [10]

Nanašanje mokrog razvijača na osnovi otapala:

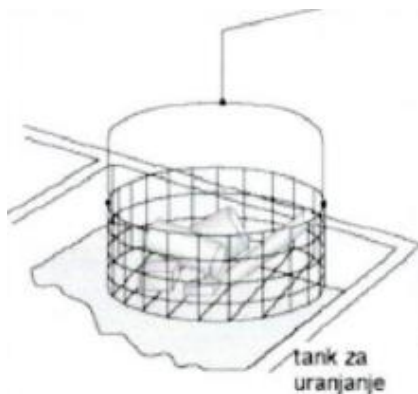
- čestice razvijača suspendirane u otapalu
- pred upotrebom je dozu potrebno protresti
- nanašanje se radi isključivo raspršivanjem
- suši se vrlo brzo (jasne indikacije)
- optimalna debljina je jednakomjerni sloj, kroz koji se još jedva vidi površina ispitnog komada



Slika 4.20 Nanašanje mokrog razvijača na osnovi otapala [10]

Nanašanje mokrog razvijača na vodenoj osnovi:

- može biti suspendiran u vodi i rastopljen u vodi
- nanašanje uranjanjem u tankovima
- potrebno je sušenje, da se odstrani voda
- dobri su stajališta zaštite okoliša [10]



Slika 4.21 Nanašanje mokrog razvijača na vodenoj osnovi [10]

Vrijeme razvijanja predstavlja vremenski interval od početka kapilarnog djelovanja razvijaača do trenutka, kada je indikacija dobila konačnu veličinu i oblik. Za suhi razvijaač početak razvijanja se smatra odmah po nanašanju, a za mokri razvijaač početak razvijanja je po sušenju. Preporučljivo je promatranje za cijelo vrijeme razvijanja. Zbog mogućnosti da ispitno sredstvo ošteti ispitni komad, potrebno je izvesti čišćenje ostataka penetranta i razvijaača. Za osjetljive ispitne komade je potrebno dodatno zaštititi protiv korozije.

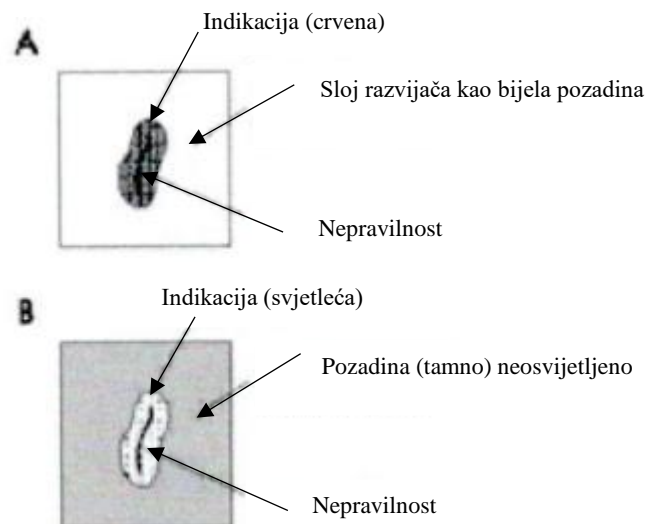
4.2.5. Promatranje indikacija i protokoliranje

Namjena promatranja (pregleda):

- operater (kontrolor) stupnja 1 je odgovoran za korektno izvođenje po uputama
- mora naći indikacije te ih protokolirati (zapisati) na osnovi kriterija zapisivanja
- obično ne odlučuje da li je prihvatljiva ili ne (odbacivanje ili popravak)

Uvjeti za promatranje:

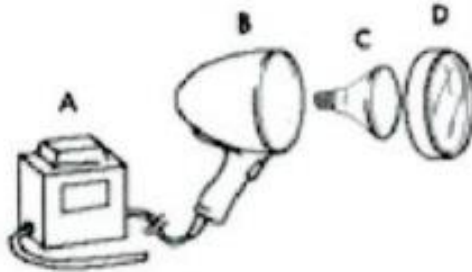
- za obojane penetrante (min. 500 lx, crvena indikacija na bijeloj podlozi)
- za fluorescentne penetrante (max. 20 lx, kontrast između svjetlosti indikacije i pozadine) [10]



Slika 4.22 Uvjeti za promatranje indikacija u slučaju obojanog (A) i fluorescentnog penetranta (B)

Pomoćna sredstva za promatranje:

UV svjetiljka (min. vrijeme čekanja pod uključenju je 5 min)



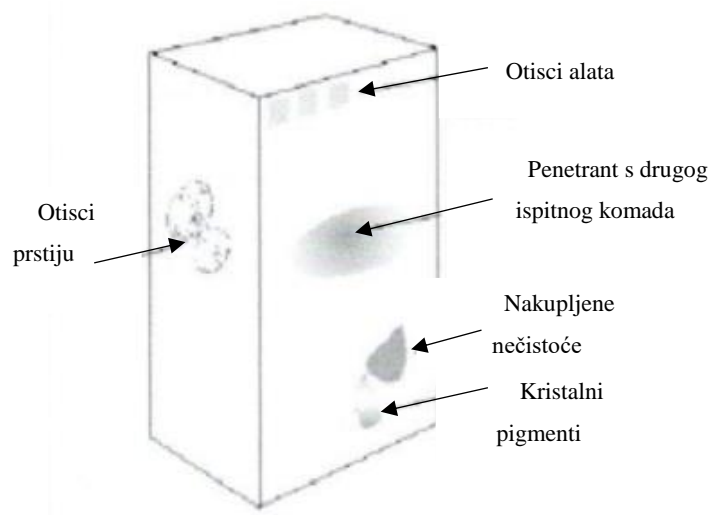
Slika 4.23 Dijelovi UV svjetiljke: pretvornik (A), kućište svjetiljke (B), UV žarulja na živine pare (C), UV filter (D) [10]

Ultraljubičasto svjetlo:

- UV A (neškodljivo za operatera ali može izazvati fluorescenciju oka zbog čega male indikacije neće biti opažene)
- UV B (škodljivo i opasno jer može izazvati oštećenja kože ili očiju)

Ne-relevantne indikacije:

- geometrijske indikacije (uzrokovane konstrukcijom ispitnog komada)
- lažne indikacije



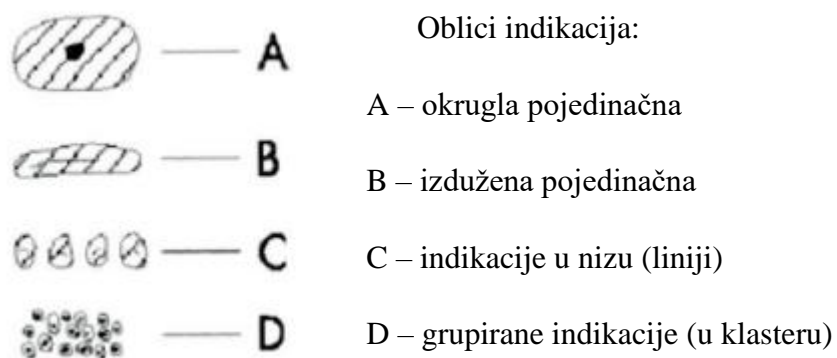
Slika 4.24 Primjeri ne-relevantnih indikacija [10]

Relevantne indikacije dijelimo na dva tipa:

- površinske (linijske) – pukotine – više opasne
- volumetrijske (okrugle) – pore – manje opasne

Pored položaja indikacije na ispitnom komadu, na ocjenu utječe:

- broj indikacija
- da li su indikacije formirane u liniji
- udaljenost među indikacijama (pojedinačne ili grupirane u gnijezda) [10]



Slika 4.25 Oblici indikacija [10]

4.2.6. Analiza (ocjena) indikacija pri ispitivanju penetrantima

a) Dijagram toka analize



Slika 4.26 Dijagram toka analize [10]

Pojmom pregled označujemo samo traženje i otkrivanje indikacija na ispitnoj površini. Taj radni korak protječe na različite načine obzirom na to, kakve izratke i pri kakvim uvjetima se ispitivanje mora izvesti. Ako se na napravama ili konstrukcijama ispituju samo pojedina mjesta, tada postupak izvedbe i vrednovanje indikacije izvodi u jednom radnom koraku samo jedan kontrolor. Podjela na izvedbu i vrednovanje je uglavnom moguća samo u proizvodnji (npr. pri ispitivanju fluorescentnim penetrantima).

Pod pojmom interpretacija pri ispitivanju penetrantima podrazumijevamo razlikovanje među nerelevantnim i relevantnim (nebitnim i bitnim) indikacijama, te određivanje veze među oblicima indikacija i nepravilnostima u materijalu. Faza interpretacije uključuje i određivanje odnosno prepoznavanje lažnih indikacija, pri kojima uzroci za njihovu pojavu nisu nepravilnosti u materijalu.

Klasifikacija indikacija, na drugoj strani obuhvaća i njihovu podjelu, kao pripremu za konačnu ocjenu na okrugle i izdužene oblike, kao i daljnju podjelu na pojedinačne indikacije, indikacije u nizu i grupirane indikacije.

Sama evaluacija (vrednovanje) je usporedba između klasificiranim određivanjem indikacije i zahtjevima propisa. Zbog toga je indikacije potrebno izmjeriti, usporediti ih s dopuštenim vrijednostima u propisima (kriterij prihvatljivosti) ili usporediti s vrijednostima danim u katalozima ili skicama.

4.2.7. Evaluacija

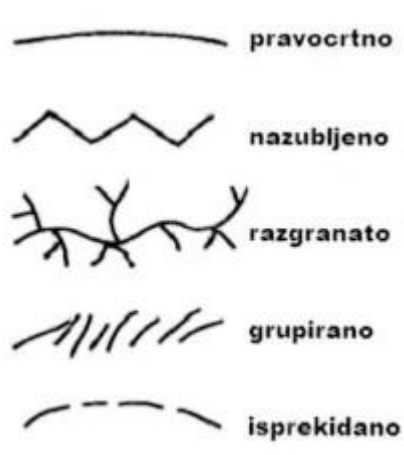
a) Evaluacija s određivanjem veze tip indikacije

Relevantne indikacije se mogu pri ispitivanju penetrantima razdijeliti u tipove kako slijedi:

- linijske indikacije - kontinuirane ili isprekidane linije kao i skupine linija
- točkaste indikacije - izolirane okrugle indikacije ili skupine okruglih indikacija

Linijske indikacije se mogu širiti na slijedeće načine:

- pravocrtno
- nazubljeno
- razgranato
- grupirano
- isprekidano [10]



Slika 4.27 Tipovi linijskih grešaka [10]

Pukotine daju prije svega oštre linijske indikacije, koje se šire pravocrtno ili nazubljeno. Pravocrtan tok pukotina pri istom mehaničkom opterećenju se pojašnjava s krutosti materijala, niskom temperaturom i više osnim napetosnim stanjem u materijalu. Nazubljeno širenje se očekuje pri žilavim materijalima, koji se dobro preoblikuju i pri povišenim temperaturama. Ako je materijal opterećen korozivski (kemijski), pravocrtna linijska indikacija može biti posljedica pukotine, koja protječe interkristalno (preko kristalnih zrna).

Greške spajanja (naljepljivanja) daju relativno pravocrtne, neoštre indikacije. Takva mjesta su hladni zavari u odljevcima, kovački preklopi i prevaljanost. Budući je pri takvim greškama uzrok za nespojenost sloj oksida (okuina), prodor penetranta u takve nepravilnosti može biti djelomično blokiran. Tipičan oblik indikacije u tim slučajevima je isprekidana linija.

Točkaste indikacije se mogu dijeliti na:

- okrugle
- oble (nelinearne)
- niz točkastih
- grupirane (skupine) [10]



Slika 4.28 Tipovi točkastih indikacija [10]

Plošne okrugle ili oble indikacije u odljevcima ili zavarima su prije svega posljedica mjehurića i cjevastih plinskih uključaka, koji su otvoreni na površinu. Duboke pukotine u zaključanim kraterima zavara mogu davati i okrugle indikacije, jer zbog relativno velikog volumena penetrant intenzivno izlazi.

Grupiranja nejednako raspodijeljenih indikacija na većoj površini ili manje okrugle indikacije pri odljevcima i zavarima su uglavnom posljedica poroznosti. Pri ispitivanju penetrantima takve indikacije se pronalaze još po mehaničkoj obradi (na brušenim zavarima ili pri odljevcima na mjestima, gdje je odljevak odrezan). Linijski nizovi okruglih ili oblih indikacija na mehanički obrađenim mjestima (npr. na pjeskareni ili pobrušeni površini) ukazuju na uske, odnosno stisnute pukotine.

b) **Evaluacija penetrantskih indikacija pomoću referentnih slika**

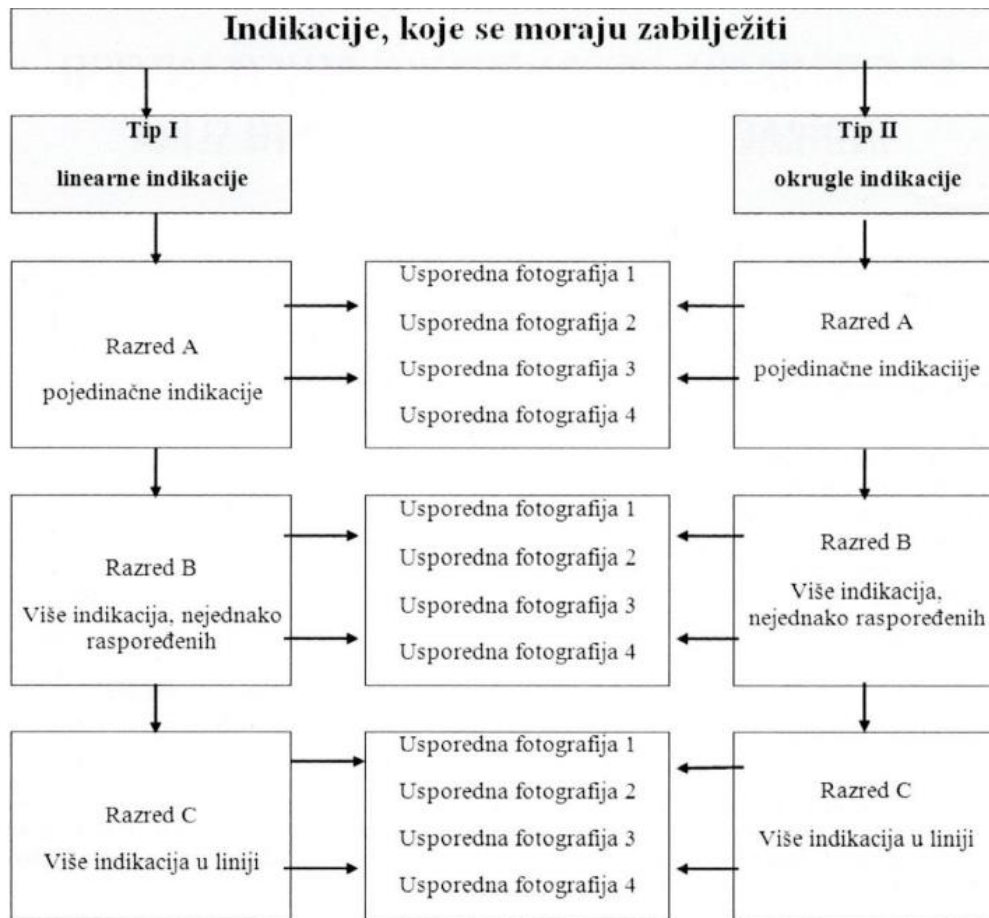
U pojedinim propisima se nalaze slike u obliku skica određenih nepravilnosti u materijalu, koje prikazuju oštrinu (veličinu, koncentraciju) tih indikacija u više stupnjeva.

Američki propisi se pri klasifikaciji penetrantskih indikacija pozivaju na standard ASTM E-433, koji rezultate boduju na osnovi usporednih fotografija. Usporedni atlas čine nizovi fotografija, koji sadrže različite tipove penetrantskih indikacija različitih stupnjeva (razreda).

Postoje dva tipa indikacija: linearne ili izdužene (tip I) i točkaste ili okrugle (tip II). Svaki tip je još dodatno razdijeljen na tri razreda:

- Razred A – pojedinačne indikacije
- Razred B – više indikacija, neuređene
- Razred C – više indikacija u liniji [10]

U prvom koraku se ocjenjuje tip i razred indikacije (ukupno). Svaka skupina ima različit broj usporednih fotografija, koje su označene arapskim brojevima i veći broj podrazumijeva slabiju kvalitetu. Potpuni pregled atlasa se vidi na slici 4.29. Koja od usporednih slika predstavlja još prihvatljivu kvalitetu, mora biti određeno u prilogu narudžbe.



Slika 4.29 Shema evaluacije po ASTM E-433 [10]

o) **Evaluacija na osnovi mjerenja indikacija**

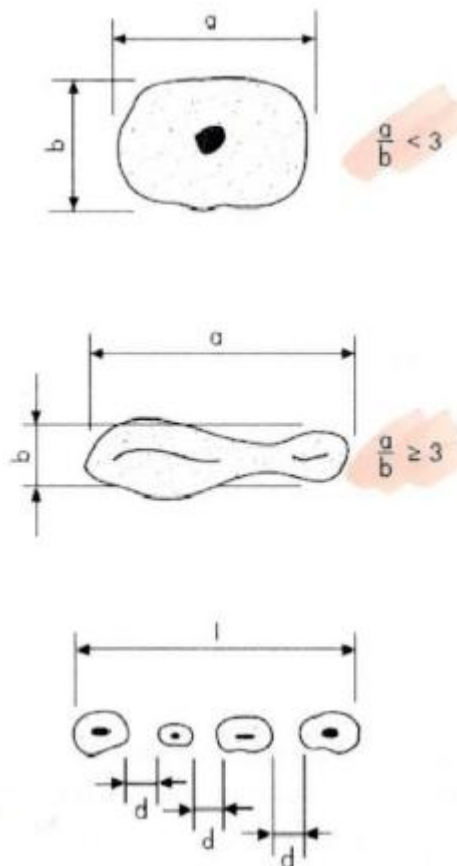
U većini slučajeva; za ocjenu penetrantskih indikacija se upotrebljavaju sljedeće karakteristike:

- oblik
- veličina
- međusobni položaj indikacija
- položaj indikacija prema glavnoj osi opterećenja

Iz oblika indikacije se može zaključiti o vrsti nepravilnosti u materijalu, koja je uzrokovala tu indikaciju. Linearne indikacije se u većini slučajeva mogu pripisati opasnijim greškama, u odnosu

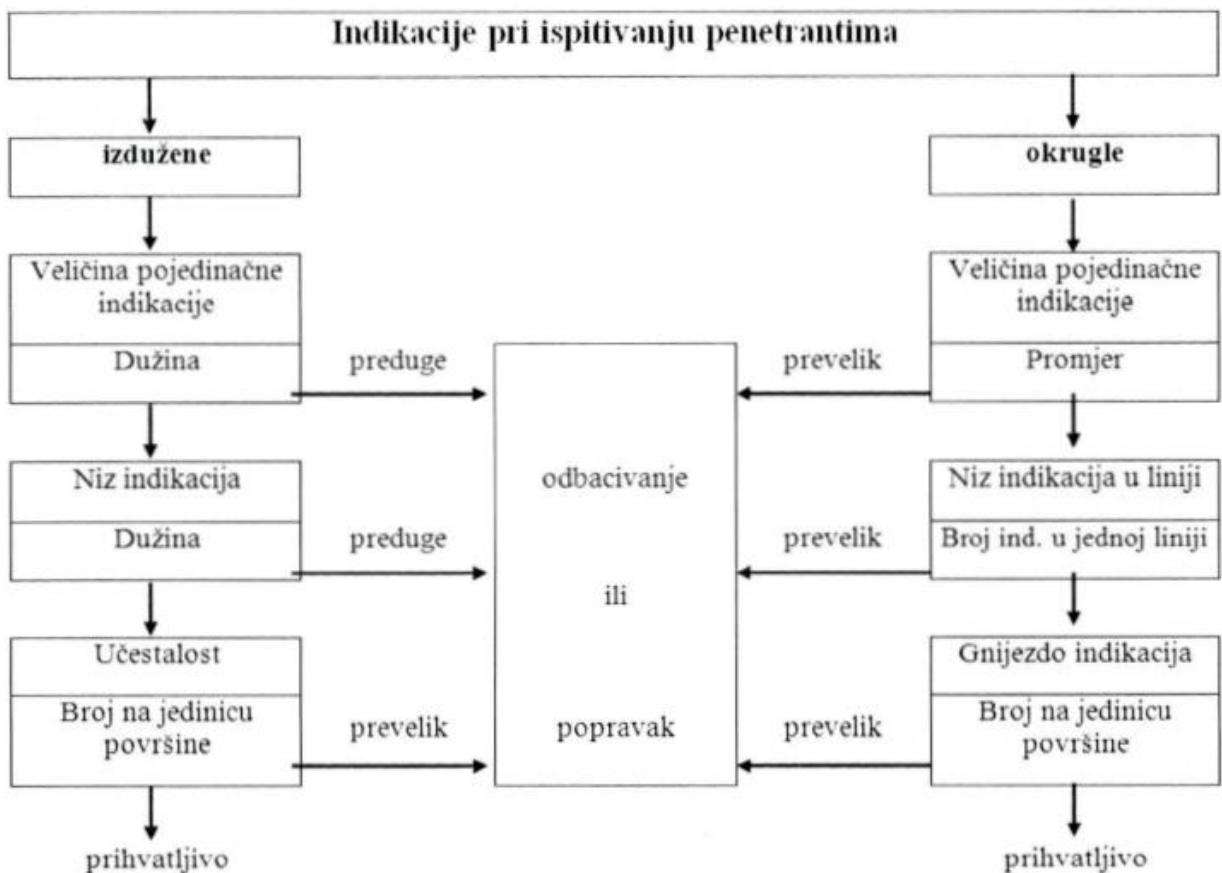
na okrugle i oble. Kao kriterij razlučivanja između linearnih i oblikih indikacija obično služi omjer među dužinom i širinom indikacije. Omjer 3:1 je granična vrijednost za odlučivanje između izduženih okruglih indikacija (slika 5.5). Iznad te granice se smatra, da se radi o pukotinama ili greškama vezanja, te se zato tu postavljaju bitno oštriji kriteriji prihvatljivosti u odnosu na greške ispod te granice gdje se uglavnom zaključuje o porama i drugim manje problematičnim nepravilnostima. Pri nepravilnostima, koje uzrokuju jako izlaženje penetranta, mogu prvo nastati linearne indikacije, a poslije određenog vremena se promijene u nelinearne. Da bi se nepravilnosti sa jakim izlaženjem penetranta mogle pravilno ocijeniti, obriše se razvijlač skupa sa indikacijom te se još jednom nanese samo razvijlač. Indikacija će se ponovno pojaviti, manje izrazita, te će se bolje ukazati pravi oblik nepravilnosti. [10]

Veličina indikacije je uglavnom ovisna od volumena nepravilnosti u materijalu. Veliki volumen daje indikacije velike površine, mali volumen pak indikacije male površine. Prednost posljednjih je u tom, da se može bolje odrediti oblik nepravilnosti, koji daje takva indikacija. Indikacije s velikom površinom izviru iz velikih grešaka, tako da je veličina indikacije smislen kriterij.



Slika 4.30 Podjela indikacija na osnovi mjerenja [10]

Većina propisa određuje međusobni raspored indikacija kao dodatni kriterij za ocjenu. Taj kriterij se može upotrijebiti, da se razluči između indikacija, koje se pojavljuju mjestimično u velikom broju i pojedinačnim, neuobičajeno raspoređenim indikacijama. U oba slučaja indikacije se mogu pripisati opasnijim nepravilnostima u materijalu (gnijezdo pora ili uske pukotine) zbog njihove učestalosti i međusobnog rasporeda, ali ne i veličine. Slijed evaluacije, te ovisno o tome prihvaćanje ili odbacivanje indikacija (u nekim slučajevima moguć popravak) je prikazan na slici 4.31.



Slika 4.31 Dijagram toka pri ocjeni na osnovu ispitivanja [10]

Po nekim propisima indikacije se ocjenjuju različito s obzirom na njihov smjer prema glavnom smjeru opterećenja. Ako se pukotina rasprostire paralelno s opterećenjem, tada se ocjenjuje kao manje opasna, u usporedbi sa slučajem kada bi se rasprostirala poprečno na taj smjer opterećenja.

Slično se ocjenjuje poroznost u zavarima. Ako se zavar prostire u smjeru kao i glavna smjer opterećenja, poroznost u njemu se ocjenjuje strože, u odnosu na slučaj, kada se zavar prostire okomito na smjer opterećenja. Početno vrednovanje te vrste ima smisao samo tada, ako su

otkrivene indikacije potpuno ponovljive. Zbog toga je izrazito važno, da se utjecajne parametre za ispitivanje penetrantima kontrolira. Da bi se indikacije mogle reproducirati pri ponovljenom ispitivanju, moraju se bezuvjetno poštovati vrijeme i temperatura penetriranja. Zbog tolerancija, koje su predviđene propisima, neponovljive ocjene nisu isključene zato se često vrednovanje po propisima ispušta. U takvim slučajevima je najbolje, da se mjesta sa indikacijama pobruse i ponovo preciznije ispituju. [10]

4.2.8. Mjere pri odbacivanju i popravcima

Ako se govori o ispitivanju relativno jeftinih izradaka serijske proizvodnje, kao što su otkivci u kalupu za automobilsku industriju, odljevci za vojnu industriju ili cijevi, u pravilu se odbacuju, ako ne odgovaraju postavljenim kriterijima kvalitete. Skuplji izradci pri individualnoj ili maloserijskoj proizvodnji većinom se popravljaju. Ispitivanje penetrantima ne omogućava točno određivanje dubine nepravilnosti, što je vrlo važno za odlučivanje o funkcionalnosti izratka, te se zato izradak obrađuje najprije sa skidanjem materijala po slojevima. Po svakom prolazu, mjesta s indikacijama se ponovno ispituju da bi se ustanovilo, na kojoj dubini indikacije nestaju. Kada se to stanje dosegne, provjerava se da li preostala debljina izratka još zadovoljava funkcionalnost. Ako zadovoljava, obrađena površina se izravna i izgladi te se izradak prihvati (odobri). U suprotnom, debljina presjeka se mora povećati navarivanjem. Po reparaturnom zavarivanju mora se nanovo dobivenu površinu ponovno ispitati penetrantima.

4.2.9. Norma EN 1289

Norma Nerazorno ispitivanje zavara -- Ispitivanje zavara penetrantima -- Kriteriji prihvatljivosti (EN 1289:1998) je primjenjiva za ispitivanje zavara kako u fazi izrade tako i kasnije upotrebi. U okviru tog standarda indikacije se dijele na linearne i ne-linearne. [10]

EN 1289 definira kao ispitnu širinu, širinu zavara plus 10 mm osnovnog materijala na svakoj strani zavara (ZUT). Granice prihvatljivosti se definiraju preciznije: 1 kao najstrože i 3 kao najmanje strogo. Za linearne i nelinearne indikacije su navedeni različiti kriteriji. Pored toga, indikacije u nizu se mora promatrati kao jednu indikaciju, ako je udaljenost među njima manja od dužine najmanje indikacije u nizu. Granice prihvatljivosti su prikazane u tablici 4.4.

Tablica 4.4 Granice prihvatljivosti s obzirom na tip indikacije [10]

Tip indikacije	Granice prihvatljivosti ¹		
	1	2	3
Linearna (linijska) l-dužina indikacije	$l \leq 2 \text{ mm}$	$l \leq 4 \text{ mm}$	$l \leq 8 \text{ mm}$
Ne-linearna (ne-linijska) d-najveći promjer indikacije	$d \leq 4 \text{ mm}$	$d \leq 6 \text{ mm}$	$d \leq 8 \text{ mm}$
1) Granicama prihvatljivosti 2 i 3 se može dodati simbol „x“, kada se za otkrivene linijske indikacije mora poštivati granica prihvatljivosti 1. U usporedbi sa prvotnim granicama prihvatljivosti, moguće je da se vjerojatnost otkrivanja smanji.			

Nepravilnosti se mogu odstraniti ili pak samo smanjiti lokalnim brušenjem. Ako se pri ponovnom pregledu istim sredstvom i istom tehnikom ne nađu više nedozvoljene indikacije, tada je prvobitno neprihvatljiv izradak sada prihvatljiv.

5. Provedba ispitivanja na konkretnom primjeru

Ispitivanje je provedeno u suradnji s firmom Si-mech d.o.o. i stručnim certificiranim osobljem razine 2. Mjesto kontrole je Šenkovec, u prostorijama firme K-tech d.o.o.. Predmeti kontrole su prethodno pripremljeni dijelovi zaštitne ograde na autocesti koje možete vidjeti na slici 5.1. Potrebno je ispitati kvalitetu spoja svake od zavarenih šipki. Prvo se provodi vizualna kontrola, te nakon toga ispitivanje penetrantima. Broj komada koje je potrebno ispitati dolazi iz radne upute od strane nadležnog ispitivača razine 3.

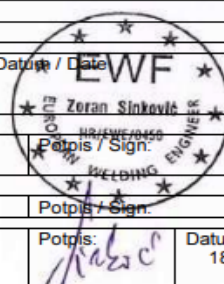
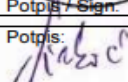


Slika 5.1 Dijelovi zaštitne ograde autoceste

5.1. Vizualna kontrola

Vizualna kontrola započinje s direktnom kontrolom oblika zavara prema specifikaciji načina zavarivanja. Vrlo je važno da je žlijeb zavara prethodno temeljito očišćen kako bi se kvalitetno ispitalo stanje površine. Iskustvo ispitivača u ovoj fazi ima veliku ulogu. Kako je vidljivo iz izvješća o izvršenoj vizualnoj kontroli (slika 5.2), potrebna razina dnevnog svjetla mora biti barem 350 lux, a udaljenost promatrača maksimalno 600 mm prema normi ispitivanja Nerazorno ispitivanje zavara -- Vizualno ispitivanje zavarenih spojeva nastalih taljenjem (ISO 17637:2016; EN ISO 17637:2016).

Nakon toga slijedi dimenzijska kontrola uz pomoć potrebnih mjerila za provjeru debljine zavarenog spoja. Kriterij prihvatljivosti proizlazi iz norme Zavarivanje -- Zavareni spojevi nastali taljenjem u čeliku, niklu, titanu i njihovim legurama (osim zavarivanja elektronskim snopom i laserom) -- Razina kvalitete s obzirom na nepravilnosti (ISO 5817:2014; EN ISO 5817:2014): B–class of weld (klasa zavarivanja), koja ima nešto strože kriterije prihvatljivosti indikacija nego klasa C i puno strože nego klasa D.

1.	Izvođač ispitivanja/ Examiner: -odjeljenje/ Department:	Zoran Sinković, IWE subcontractor		
2.	Objekt ispitivanja: Examination object:	Metall Technik Buchegger GmbH		
	Naziv Id br.: Titl Id. No:	22008 - LSW BIE-LAX		
	Broj nacrt: Drawing No.	TYP 2xHEA160, TYP A, TYP B, TYP BA-850, TYP BA-1020, TYP BI-850, TYP BI-1020, TYP C, TYP D, TYP E, TYP F, TYP G, TYP HEA160, TYP SoSt-1, TYP SoSt-2, TYP SoSt-3		
	Broj plana zavarivanja: Welding plan No.	---		
	Vrsta materijala: Material	S235JR		
	Stanje površine: Surface condition:	After welding brushed and cleaned		
3.	Vizualno ispitivanje: Visual inspection	K-tech_VT_06_1_22		
	Postupak ispitivanja Test Procedure	VT		
	Opseg ispitivanja Scope of examination	100%		
	Referentni dokumenti: Reference documents			
	- norma ispitivanja: standards test	HRN EN ISO 17637:2017		
	- kriterij prihvatljivosti: acceptance criteria	HRN EN ISO 5817: B – class of weld		
	- kvalifikacija osoblja: qualifications of staff	Vizualna kontrola stupanj 2 prema EN ISO 9712:2017 Visual testing level 2 acc. to EN ISO 9712:2017		
4.	Ispitna oprema/proizvođač: Equipment to be used/producer	Self made weld gauge – for fillet welds. Three-scale gauge for welds – for fillet and Butt welds. Weld gauge with vernier – for fillet and Butt welds.		
5.	Rasvjeta / illumination:	- dnevno svjetlo / daylight >350lx		
6.	Udaljenost / distance	- max 600 mm		
7.	Napomena/opis: Remark/description	A - Acceptable, NA - Not Acceptable, R - Repaired		
8.	Rezultati ispitivanja/ Funding of examination: vidi stranicu 2 / see page 2			
9.	Mjesto provođenja ispitivanja: Place of Examination	Mursko Središće	Datum / Date	5.2022.
10.	Ispitivanja prove/o/li: Tests conducted by:	Zoran Sinković		
11.	Odobrio / approved:		Potpis / Sign:	
12.	Odgovorna osoba / Responsible person:	Ime i prezime: Zoran Sinković	Potpis: 	Datum / Date: 18.5.2022.

Slika 5.2 Izvješće o izvršenoj vizualnoj kontroli

Kako je vidljivo iz rezultata vizualnog ispitivanja, sve indikacije zadovoljavaju norme, pa je moguće započeti ispitivanje penetrantima.

TEST RESULTS / PRÜFERGEBNISSE							
Weld No. / Schweiss nähte Nr.	Welds size / Schweissnähtegröße		Typ of indication to acc. Typangabe nach DIN EN ISO 5817	Evaluation / Bewertung	Controlled by:	Date:	Remark/ Bemerkung
	Default/S oll	Measured / Ist					
I-n	-	-	-	OK	Sinković	18.5.2022.	
	-	-	-				

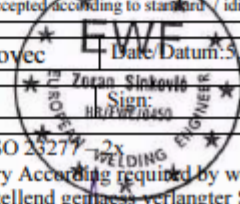
Slika 5.3 Rezultati vizualnog ispitivanja

5.2. Ispitivanje penetrantima

Početak ispitivanja započinje temeljitim čišćenjem i sušenjem površina zavarenog spoja na zraku temperature otprilike 21 °C, barem 20 min(slika 5.4). Upute za ispitivanje su dane radnom uputom od strane nadležnog ispitivača razine 3 normom Nerazorno ispitivanje -- Ispitivanje penetrantima -- 1. dio: Opća načela (ISO 3452-1:2021; EN ISO 3452-1:2021 (slika 5.5).



Slika 5.4 Očišćene i osušene površine zavarenog spoja

1.	Examiner / Prüfer:	ZoranSinković, IWE		
	-Department / Abteilung:	subcontractor		
2.	Examination object / Prüfobjekt:	Metall Technik Buchegger GmbH		
	Title / Benennung): Id.No / Id.Nr.:	22008 - LSW BIE-LAX		
	Drawing No. / Zeichnung Nr.:	TYP 2xHEA160, TYP A, TYP B, TYP BA-850, TYP BA-1020, TYP BI-850, TYP BI-1020, TYP C, TYP D, TYP E, TYP F, TYP G, TYP HEA160, TYP SoSt-1, TYP SoSt-2, TYP SoSt-3		
	Material:	S235JR		
	Surface condition / Oberflächenstand:	Raw surface/Raues Oberfläche		
3.	Penetrant testing / Eindringprüfung:			
	Purpose of test / Prüfzweck:	- detection of surface crack -Enteckung der Oberflächenporen		
	Reference documents / Referenzdokumente:			
	- standards test / Prüfnorm:	DIN EN ISO 3452-1		
	- acceptance criteria / Annahmekriterium:	DIN EN ISO 23277 -2x		
	- qualifications of staff, according to EN ISO 9712:2012 / Personalausbildung nach EN EN ISO 9712:2012	Penetrant testing , level 2 Eindringprüfkontrolle PT 2; Stufe 2		
4.	Penetrant system / Eindringart:	Penetrant red /white / Farbeindringmittel rot /weiss		
	Manufacturer / Hersteller:	TIDE		
	Names of materials / Material:	Penetrant / Farbeindringmittel TIDE PEN PWL-1	Developer / Entwickler TIDE PEN DL-20	Cleaner / Reiniger SPOTCHECK SKC-S
	Charge-No.:	150106	200106	201007
	Certificate No. Prüflos-Nr.:	----	-----	-----
5.	Information on the implementation of the test penetrant/ Eindringvorgang:			
	Cleaning before testing / Vorreinigung:	-Cleaning of welding splashes,rust, grease and place the ignition / mechanische Entfernung von Zuender, Rost, Schweiß und Fettreste,		
	Drying before applying penetrant: Trocknen vor dem penetriemittelanbringung:	-Drying in air 20 min / Luftrocknung 20 min,		
	Test temperatures / Prüftemperatur:	21°C ±2°C		
	Duration of the penetrating /Prüfdauer:	- 15 min		
	The technique of removing excess penetrant: Entfernung des übrigen Endringmittels:	-removal of solvent/ Aufloesung		
	Time to develop / Entwicklungszeits:	- 20 min		
	Deviations from the norm or procedure / Normen oder Verfahrensabeichnung:	-----		
6.	Test results / Prüfergebniss:			
	Reporting on the indications / Indikationbereich:	-Draft-marked errors and photographs / Draft-Fehlermarkiert und Fotografien		
	The area in the object / Objektenbereich:	- Welded connections/Verschweisste Verbindungen		
	Size indication / Indikationsgroesse:	-Indication accepted according to standard / idikacion repaired		
7.	Place of Examination /Prüfort:	Šenkovec EWE Date /Datum: 5. 2022.		
8.	Tests conducted /Prüfdurch:			
9.	Status of test facility in accordance with the acceptance criteria / Objektprüfzustand nach Annmekriterien:	DIN EN ISO 23277 -2x -satisfactory According required by welding class / zufriedenstellend gemäß verlangter Schweissklasse		

Slika 5.5 Izvješće ispitivanja penetrantima

Nakon čišćenja se nanosi crveni penetrant, koji prema radnoj uputi mora penetrirati 15 min.



Slika 5.6 Crveni penetrant

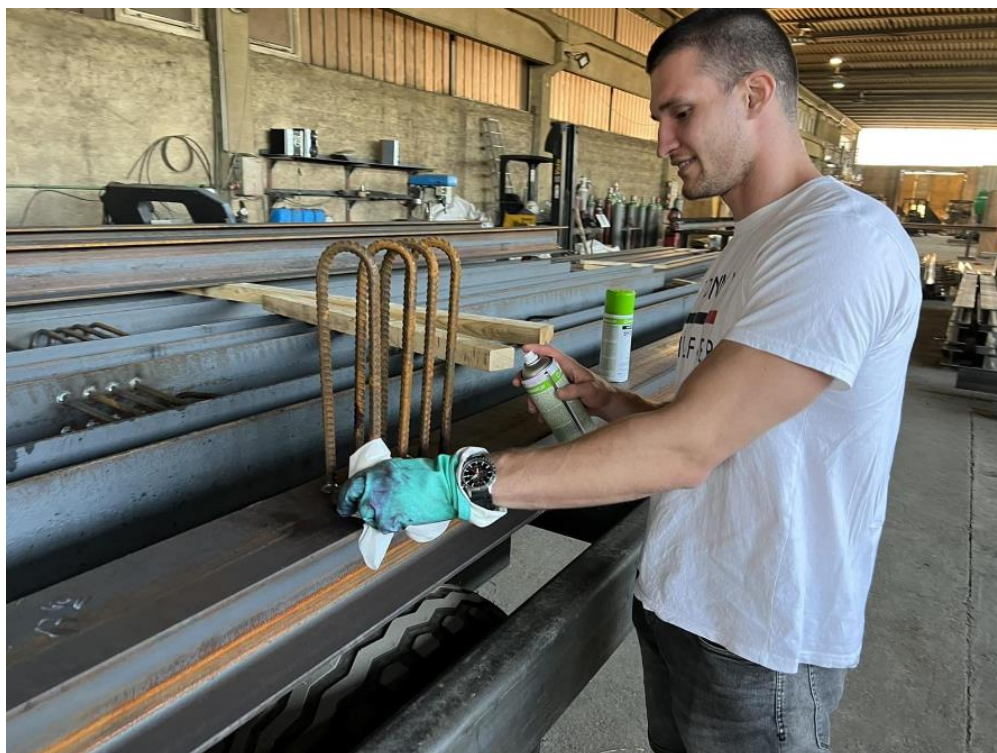


Slika 5.7 Penetriranje penetranta

Višak penetranta se uklanja uz pomoć čistača na bazi alkohola i obične krpe kako je prikazano na slici 5.9.



Slika 5.8 Čistač viška penetranta



Slika 5.9 Uklanjanje viška penetranta uz pomoć krpe i čistača

Kada je površina očišćena od penetranta nanosimo razvijlač i čekamo 20 min do razvijanja indikacija u obliku crveno-ružičastih mrlja vidljivih na slici 5.11.



Slika 5.10 Razvijlač



Slika 5.11 Razvijanje indikacija

Cijeli proces ispitivanja, ispitivač razine 2 je dužan zabilježiti određenim brojem fotografija prema propisu vezanim za izradak koji proizlazi iz norme Izvedba čeličnih i aluminijskih konstrukcija -- 2. dio: Tehnički zahtjevi za čelične konstrukcije (EN 1090-2:2018). U ovom slučaju indikacije zadovoljavaju kriterij prihvatljivosti prema spomenutom propisu, koji je dogovoren pri naručivanju izratka.

6. Zaključak

Eksponencijalnim rastom pojave novih tehnika zavarivanja na različitim materijalima, raste i raznolikost tipova grešaka u zavarenim spojevima. Često se susrećemo sa slučajevima gdje su naizgled nevažne greške dovele do katastrofalnih posljedica u konstrukcijama.

Zbog toga je važno voditi računa o detaljnoj kontroli kvalitete zavarenih spojeva kroz razne metode. Kada je to moguće, koristiti nerazorne metode, koje su sa aspekta troškova, znatno isplativije od razornih metoda. Često je slučaj potrebe kombiniranja raznih metoda kako bi osigurali maksimalnu pouzdanost proizvoda, za što je potrebno kompetentno osoblje kontrole kvalitete.

U ovom završnom radu detaljnije je opisana penetrantska metoda kontrole zavarenog spoja. Ova relativno jednostavna i jeftina metoda, s lako prijenosnom opremom je vrlo pouzdana metoda za otkrivanje površinskih pukotina i nepravilnosti na različitim materijalima. Kako je spomenuto, moguće je otkriti samo nepravilnosti na površini a zahtijeva i visok stupanj čistoće površine, što je jedan od nedostataka. Također, očitavanje indikacija treba provesti u strogo ograničenom vremenu jer nakon toga indikacije postaju nečitljive.

7. Literatura

- [1] <https://www.yumpu.com/xx/document/read/45973371/metode-nerazornih-ispitivanja-fsb>, dostupno 1.8.2022.
- [2] Charles Hellier, Handbook of nondestructive evaluation, 2003.
- [3] I. Banjad Pečur, M. Skazlić, I. Gabrijel, B. Milovanović, Prezentacija s predavanja iz kolegija nerazorna ispitivanja, Građevinski fakultet, Zagreb, 2012.
- [4] Prof.dr.sc. Ivica Garašić, dipl.ing., Vizualno ispitivanje u zavarivanju skripta
- [5] https://hr.wikipedia.org/wiki/Datoteka:Flexibles_Endoskop.jpg, dostupno 1.8.2022.
- [6] https://hr.wikipedia.org/wiki/Datoteka:Ressuage_principe_2.svg, dostupno 1.8.2022.
- [7] https://sh.wikipedia.org/wiki/Datoteka:Barkhausen_sensor.svg, dostupno 1.8.2022.
- [8] https://hr.wikipedia.org/wiki/Datoteka:Weld_radiograph_with_burnthrough_defect.jpg, dostupno 1.8.2022.
- [9] Doc.dr.sc. Morana Mihaljević, Osiguravanje kompetencija ispitnog laboratorija skripta
- [10] Krešimir Gudek, Ispitivanje penetrantima i penetrantski sustavi u sklopu izobrazbe Q-TECHNA skripta
- [11] <https://www.newmantools.com/gauge/weldgaugeindex.htm>, dostupno 1.8.2022.
- [12] <https://docplayer.rs/docs-images/113/206837745/images/40-1.jpg>, dostupno 1.8.2022.
- [13] <https://www.instrumentcompaniet.no/>, dostupno 1.8.2022.
- [14] Nerazorno ispitivanje -- Kvalifikacija i certifikacija NDT osoblja (ISO 9712:2021; EN ISO 9712:2022)
- [15] Nerazorno ispitivanje -- Ispitivanje penetrantima -- 1. dio: Opća načela (EN 571-1:1997)
- [16] Nerazorno ispitivanje zavara -- Ispitivanje zavara penetrantima -- Kriteriji prihvatljivosti (EN 1289:1998)
- [17] Nerazorno ispitivanje zavara -- Vizualno ispitivanje zavarenih spojeva nastalih taljenjem (ISO 17637:2016; EN ISO 17637:2016)
- [18] Zavarivanje -- Zavareni spojevi nastali taljenjem u čeliku, niklu, titanu i njihovim legurama (osim zavarivanja elektronskim snopom i laserom) -- Razina kvalitete s obzirom na nepravilnosti (ISO 5817:2014; EN ISO 5817:2014)
- [19] Nerazorno ispitivanje -- Ispitivanje penetrantima -- 1. dio: Opća načela (ISO 3452-1:2021; EN ISO 3452-1:2021)
- [20] Izvedba čeličnih i aluminijskih konstrukcija -- 2. dio: Tehnički zahtjevi za čelične konstrukcije (EN 1090-2:2018)

Popis slika

Slika 2.1 Direktno vizualno ispitivanje	3
Slika 2.2 Povećalo	6
Slika 2.3 Zrcalo za vizualnu kontrolu zavara (lijevo) i endoskop (desno)	6
Slika 2.4 Usporedno jednostruko mjerilo za provjeru debljine kutnog zavarenog spoja	7
Slika 2.5 Boreskop s krutom cijevi.....	7
Slika 2.6 Fiberoskop	8
Slika 2.7 Videoskop.....	8
Slika 2.8 Faze penetrantskog ispitivanja: čišćenje (1), nanošenje penetranta (2), uklanjanje penetranta i nanošenje razvijaa (3), razvijanje indikacija (4).....	9
Slika 2.9 Magnetska kontrola s dijelovima opreme: Magnetski jaram (zeleno), uzorak koji se ispituje (sivo), induktivno osjetilo (crveno)	10
Slika 2.10 Shematski prikaz ultrazvučne metode kontrole zavara.....	11
Slika 2.11 Snimka radiografske kontrole zavara gdje se vidi pukotina u zavaru u smjeru zračenja	12
Slika 4.1 Oblici nepravilnosti vidljivi penetrantskom metodom.....	18
Slika 4.2 Kapilarni efekt	20
Slika 4.3 Prodiranje penetranta u nepravilnost	20
Slika 4.4 Profil brzine tekućine ili plina (dužina strelice = brzina v) A) kroz cijev B) među dvjema pločama.....	21
Slika 4.5 Mehaničko čišćenje površina: četkanje (gore) i brušenje (dolje).....	22
Slika 4.6 Zona utjecaja topline (A) i područje ispitivanja (B).....	23
Slika 4.7 Obojeni penetrant pod bijelim svjetlom	24
Slika 4.8 Fluorescentni penetrant pod UV svjetlom.....	24
Slika 4.9 Prikaz kontaktnog kuta između penetranta i ispitivane površine	25
Slika 4.10 Sposobnost moćenja penetranta s obzirom na kontaktni kut	25

Slika 4.11 Tehnika nanašanja penetranta uranjanjem	27
Slika 4.12 Tehnika nanašanja penetranta mazanjem kistom	27
Slika 4.13 Tehnika nanašanja penetranta raspršivanjem	27
Slika 4.14 Odstranjivanje penetranta s površine	29
Slika 4.15 Odstranjivanje penetranta otapalom	30
Slika 4.16 Odstranjivanje penetranta vodom.....	30
Slika 4.17 Odstranjivanje penetranta za naknadno emulgiranje.....	31
Slika 4.18 Načini sušenja nakon odstranjivanja penetranta	33
Slika 4.19 Nanašanje suhog razvijaača	34
Slika 4.20 Nanašanje mokrog razvijaača na osnovi otapala	35
Slika 4.21 Nanašanje mokrog razvijaača na vodenoj osnovi	35
Slika 4.22 Uvjeti za promatranje indikacija u slučaju obojanog (A) i fluorescentnog penetranta (B)	36
Slika 4.23 Dijelovi UV svjetiljke: pretvornik (A), kućište svjetiljke (B), UV žarulja na živine pare (C), UV filtar (D).....	37
Slika 4.24 Primjeri ne-relevantnih indikacija	38
Slika 4.25 Oblici indikacija	38
Slika 4.26 Dijagram toka analize.....	39
Slika 4.27 Tipovi linijskih grešaka	40
Slika 4.28 Tipovi točkastih indikacija	41
Slika 4.29 Shema evaluacije po ASTM E-433	43
Slika 4.30 Podjela indikacija na osnovi mjerenja.....	44
Slika 4.31 Dijagram toka pri ocjeni na osnovu ispitivanja.....	45
Slika 5.1 Dijelovi zaštitne ograde autoceste	48
Slika 5.2 Izvješće o izvršenoj vizualnoj kontroli.....	50
Slika 5.3 Rezultati vizualnog ispitivanja	50

Slika 5.4 Očišćene i osušene površine zavarenog spoja	51
Slika 5.5 Izvješće ispitivanja penetrantima	52
Slika 5.6 Crveni penetrant	53
Slika 5.7 Penetriranje penetranta	53
Slika 5.8 Čistač viška penetranta	54
Slika 5.9 Uklanjanje viška penetranta uz pomoć krpe i čistača.....	54
Slika 5.10 Razvijač	55
Slika 5.11 Razvijanje indikacija	55

Popis tablica

Tablica 2.1 Podjela ispitivanja kontrole zavara bez razaranja, Izvor: https://www.yumpu.com/xx/document/read/45973371/metode-nerazornih-ispitivanja-fsb ..2	
Tablica 3.1 Potreban broj sati treninga za pojedinu metodu i stupanj certifikacije.....15	
Tablica 3.2 Potrebno minimalno radno iskustvo za određeni stupanj certifikacije.....16	
Tablica 3.3 Način provedbe praktičnog dijela ispita17	
Tablica 4.1 Penetrantski ispitni sustav prema normi EN 571-119	
Tablica 4.2 Kontaktni kut s obzirom na različite vrste tekućina i ispitnih površina26	
Tablica 4.3 Preporučena vremena penetriranja28	
Tablica 4.4 Granice prihvatljivosti s obzirom na tip indikacije.....47	