



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Мастер академске студије

Модул: Машинске конструкције и механизација

Предмет: Заварене и ливене конструкције

Број индекса: 330/2012

Младеновић Д. Војкан

**Методе испитивања заварених спојева без
разарања
мастер рад**

Комисија за преглед и одбрану:

1. Др Ружица Николић, редовни проф. - ментор

2. _____

3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру овог завршног рада кандидат треба да:

- представи методе испитивања без разарања
- објасни принцип рада метода испитивања без разарања
- представи примену ових метода приликом испитивања заварених спојева
- представи практичне примере испитивања методама без разарања.

Препоручена литература:

- [1] Перовић З., Заварене конструкције, Универзитет Црне Горе, Подгорица, 2002.
- [2] Јосифовић, Д., Испитивање машинских конструкција, Машински факултет, Крагујевац, 2000.
- [3] Милосављевић, М., М. Радојковић и Б. Кузмановић, Основи челичних конструкција, Грађевинска књига, Београд, 1986.
- [4] Мајсторовић А. И М. Јовановић, Основи заваривања, лемљења и лепљења, Научна књига, Београд, 1991.
- [5] Јовановић М., В. Лазић Д. Адамовић и Н. Ратковић, Машински материјали, Универзитет у Крагујевцу, Машински факултет у Крагујевцу, Крагујевац, 2003.

Крагујевац, датум

ментор:

Др Ружица Николић, редовни професор

Резиме:

Испитивање без разарања је скуп метода који се заснивају на принципима физике и чији је основни циљ утврђивање својства материјала као и откривање различитих врста грешака у материјалу, а да се притом не утиче на функционалност објекта који се испитује. Методе испитивања без разарања имају веома широку примену у индустрији, помоћу ових метода могуће је открити развој грешке у материјалу машинске конструкције у раној фази и превентивно деловати на даљи развој грешке. На овај начин се могу спречити откази и застоји критичне опреме, за коју би, у случају отказа, било потребно уложити пуно новца, времена и људске радне снаге како би се опрема оспособила за рад.

Пошто је у савременој индустрији смањење трошкова, времена рада и радне снаге (аутоматизација процеса) основни услов за успешно пословање, употреба метода за испитивање без разарања је у сталном порасту.

У овом раду представљена је подела и објашњене су методе испитивања без разарања које се најчешће користе у пракси: визуелно испитивање, испитивање методом течних пенетраната, испитивање магнетном методом, испитивање ултразвучном методом, испитивање радиографском методом и термографија. Такође је описана примена ових метода приликом испитивања заварених спојева кроз практичне примере у цементној индустрији. Као прилог овом раду дат је званични извештај испитивања заварених спојева, методама без разарања, на пећи клинкера.

Кључне речи: методе испитивања без разарања, заварен спој, цементна индустрија.

Abstract:

Non destructive testing is a set of methods that are based on the principles of physics and their main goal is determination of material properties, as well as detection of various types of defects in material, without affecting the functionality of the object during examination. Non destructive testing methods are widely used in industry; by using these methods it is possible to detect the development of defects in material's mechanical structure at an early stage and help to prevent the further development of the defects. In this way, one can prevent failures and downtime of critical equipment. In case of failure of equipment it would be required to invest a lot of money, time and human labor to restore of equipment's operational capacity.

Since in modern industries reducing of costs, time and labor (process automation) is a basic requirement for a successful business, the use of non-destructive testing methods is increasing.

In this thesis, is given the categorization and explanations of methods of non-destructive testing commonly used in practice: visual inspection, liquid penetrants testing method, magnetic method testing, ultrasonic testing, radiographic testing and thermography. Application of these methods in testing of welded joints through practical examples in the cement industry is also presented. As an attachment to the thesis an official report of tests of welded joints by non-destructive methods on the clinker kiln is given.

Key words: non-destructive testing methods, welded joint, cement industry.

Садржај

1.0.	Увод	1
2.0.	Историјски развој испитивања методама без разарања	3
3.0.	Испитивање конструкција методама без разарања	5
3.0.1.	Методе и технике испитивања без разарања	6
3.0.2.	Предности и недостаци испитивања без разарања	7
3.1.	Визуелно испитивање.....	8
3.1.1.	Подела методе визуелног испитивања.....	8
3.1.2.	Опрема за визуелно испитивање	9
3.1.3.	Квалитет и поступак испитивања визуелном методом	12
3.1.4.	Предности и недостаци визуелне методе.....	13
3.2.	Испитивање методом течних пенетраната	14
3.2.1.	Принцип испитивања пенетрантима.....	15
3.2.2.	Поступак испитивања течним пенетрантима.....	17
3.2.3.	Врсте пенетраната.....	19
3.2.4.	Предности и недостаци метода испитивања течним пенетрантима	22
3.3.	Испитивање магнетном методом.....	23
3.3.1.	Дијамагнетни, парамагнетни и феромагнетни материјали	23
3.3.2.	Главне особине линија магнетне силе.....	25
3.3.3.	Магнетно поље добијено завојницом.....	25
3.3.4.	Принцип испитивања магнетном методом	26
3.3.5.	Предности и недостаци испитивања магнетном методом.....	28
3.4.	Испитивања ултразвучном методом.....	29
3.4.1.	Карактеристике ултразвучног таласа.....	30
3.4.2.	Принцип испитивања ултразвучном методом	31
3.4.3.	Предности и недостаци ултразвучне методе испитивања.....	33
3.5.	Испитивање радиографским методама.....	34
3.5.1.	Електромагнетно зрачење кратких таласних дужина – радијација	34
3.5.2.	Подела радиографских метода	35
3.5.3.	Принцип испитивања рентгенским зрацима - рентгенографија	36
3.5.4.	Принцип испитивања гама зрацима – гамаграфија	38
3.5.5.	Предности и недостаци радиографских метода испитивања.....	40

3.6. Термографско испитивање.....	41
3.6.1. Подела термографских испитивања.....	43
3.6.2. Предности и недостаци термографских испитивања	45
4.0. Примена метода без разарања на испитивање заварених спојева	46
4.1. Поступак контроле завареног споја	46
4.2. Испитивање заварених спојева визуелном методом.....	47
4.3. Испитивање заварених спојева методом течних пенетраната	50
4.4. Испитивање заварених спојева магнетном методом.....	52
4.5. Испитивање заварених спојева ултразвучном методом	55
4.6. Испитивање заварених спојева радиографском методом	58
5.0. Закључак	61
6.0. Прилог - Извештај о испитивању плашта пећи клинкера.....	62
7.0. Литература.....	69

1.0. Увод

Висок квалитет заварене машинске конструкције зависи од много фактора, а пре свега зависи од правилног пројектовања, високог квалитета материјала од којег је конструкција направљена, као и од самог поступка производње конструкције, односно поступка заваривања, вештине заваривача, услова у којима је вршено заваривање итд.

Без обзира на уграђени ниво квалитета и сигурности, при експлоатацији машинских конструкција, услед деловања разних поремећаја из окружења, који су најчешће непредвидиви по месту и јачини деловања као и времену трајања, долази до случајне појаве стања неисправности, односно до опадања нивоа поузданости машинске конструкције.

О поузданости конструкције се мора водити рачуна још у процесу пројектовања. *Може се рећи да се у фази пројектовања поузданост утемељује, у фази израде обезбеђује, а у процесу експлоатације се реализује.* Установљени ниво поузданости приликом пројектовања и израде треба да се одржи при експлоатацији тако да се машинска конструкција не мења. [6]

При експлоатацији поузданост машинских конструкција зависи од услова експлоатације, начина одржавања и ремонта, режима рада, итд.

Хронолошка класификација грешака укључује све типове грешака које могу да се јаве на опреми постројења од фазе пројектовања, преко конструисања до експлоатације [9].

Грешке које се јављају могу се поделити по следећим групама [9]:

- *конструкционе* (неодговарајућа конструкција, неправилан избор димензија елемената конструкције),
- *технолошке* (грешке заваривања, одступање у квалитету и стању површине од захтева према стандарду или пројектној документацији),
- *монтажне* (неправилна монтажа елемената конструкције, грешке заваривања на монтажним шавовима),
- *експлоатационе* (заморне прслине, прслине пузања, прслине услед корозионо агресивног дејства радног флуида),
- *ремонтне* (грешке заваривања при ремонту, монтажне грешке током ремонта).

Повећање поузданости машинских конструкција подразумева смањење ових грешака на најмањи могући ниво и има велики економски значај. Стварање трајних и поузданијих конструкција у већини случајева значи и повећање економске добити. Међутим, треба знати да мере за повећање поузданости обично изазивају економски расход и да тај расход треба да буде мањи од добити услед повећања трајности и поузданости. Зато се обично предузимају оптимална решења и стварање најрационалнијих конструкција, тако да се оствари ниво поузданости при коме ће укупни економски ефекат бити најбољи. [6]

Да би се спречиле нежељене појаве, потребно је изучавање и праћење стања машинске конструкције у току њеног радног века у циљу откривања области које су узрок опадања поузданости квалитета читаве конструкције. Познавање дефеката и недостатака и њихово свођење на најмању меру је пресудно за постизање прихватљивог нивоа квалитета, односно поузданости машинске конструкције.

Повећање квалитета машинске конструкције односи се на повећање поузданости, повећање сигурности приликом експлоатације и обезбеђивање економске исплативости машинске конструкције. Да би се обезбедио задовољавајући квалитет неопходно је периодично контролисање квалитета машинске конструкције.

Контрола квалитета се, у зависности од врсте испитивања и метода које се током испитивања користе, дели на:

- Контролу или испитивање са разарањем (Destructive Testing - DT)
- Контролу или испитивање без разарања (Non Destructive Testing - NDT)

Основна намена испитивања са разарањем је утврђивање својства материјала као што су чврстоћа, динамичка издржљивост, хемијски састав итд. Провера механичких и антикорозивних својства има за циљ осигурање поузданости завареног споја конструкције, односно осигурање поузданости читаве машинске конструкције. Испитивање се врши на унапред одређеним узорцима који се после испитивања не могу користити.

Најчешће коришћене методе контроле са разарањем су [7]:

- кидање епрувере затезањем,
- мерење тврдоће,
- испитивање ударне жилавости,
- корозијска испитивања,
- динамичка испитивања,
- испитивања на притисак.

Главне предности контроле са разарањем су [8]:

- методе су дуго у употреби па су тиме у великој мери познате и стандардизоване,
- већина метода даје квантитативни резултат,
- већина резултата је директне природе.

Главни недостаци контроле са разарањем су [8]:

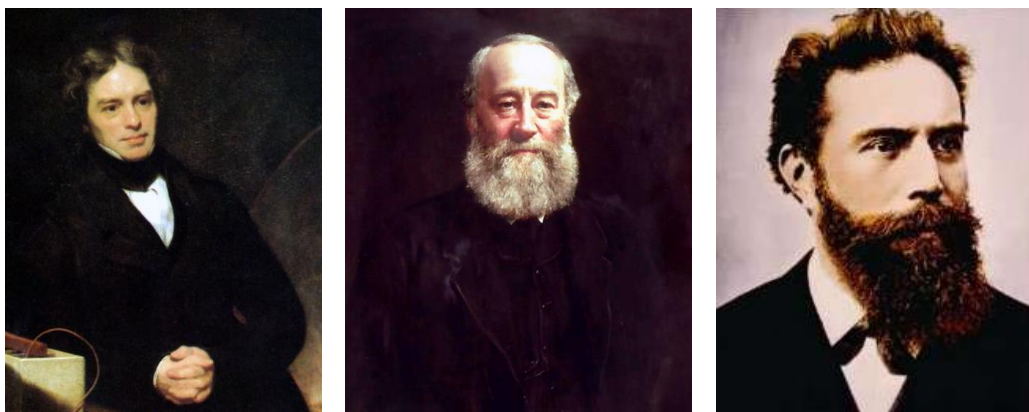
- захтевају припрему узорка па тиме и поскупљују конструкцију,
- испитивање се спроводи на узорку па је изражен проблем репрезентативности узорка,
- ретко се могу применити при испитивању у експлоатацији.

2.0. Историјски развој испитивања методама без разарања

Испитивање методама без разарања, односно испитивање недеструктивним методама се практично користи деценијама. Немогуће је одредити тачно када је ова наука настала, међутим, познато је да се она развија вековима уназад. На пример, ковачи су користили звучну технику (слушање одјека различитих метала) како би на основу искуства лакше обликовали тај метал.

Кључни период у историји и развоју испитивања без разарања био је током и после Другог светског рата. Пре рата примарни циљ испитивања био је откривање грешака у материјалу, само врло одговорних конструкција. Рат је допринео наглом развоју технике која је омогућила бројнију и економичну производњу посебно у машинској и грађевинској индустрији па је самим тим повећана употреба испитивања без разарања.

Међу проналазачима који су допринели постојању основа испитивања без разарања били су Michael Faraday (Слика 1 лево), који је 1831. године открио принцип електромагнетне индукције на основу које је касније развијена метода испитивања вртложним струјама, James Precott Joule (Слика 1 у средини) који је заслужан за проналажење принципа ултразвучног испитивања и Wilhelm Conrad Röntgen (Слика 1 десно) који је 1895. године открио Х-зраке који представљају основу рентгенографског испитивања.



Слика 1. Michael Faraday (лево), James Precott Joule (у средини), Wilhelm Conrad Röntgen (десно)

Неопходност испитивања без разарања најбоље се види на примеру несреће која је као последице имала смртне случајеве. У марту 1854. године у Хартфорду, главном граду америчке државе Конектикат, у фабрици „Fales and Gray Car Works“ после ручка радници су се вратили на своје радне обавезе. Око 14 часова експлодирао је котло и уништио велики део зграде, 20 особа је погинуло, а око 50 је било тешко повређено. Све ово било је јако потресно и забрињавајуће, јер се ово догодило у фабрици са веома великом репутацијом у то време, са великим бројем искусних мајстора који нису могли да учине ништа како би спречили експлозију због превеликог притиска паре. [8]

Због тога је 1857. године 12 особа у Конектикату основало Политехнички клуб који је заседао у циљу проучавања проблема повезаних са отказивањем котлова. [8]

Године 1864. у Конектикату је изгласан први закон о прегледу котлова који је понудио смернице за преглед и стављао ван употребе котлове који нису задовољили на прегледу.

На основу искустава предложено је:

- сертификација запослених,
- контрола сигурности,
- изолирање локације,
- израда прописа о минималној сигурности.

Још једна од великих несрећа познатих човечанству везује се за примену и развој испитивања без разарања. Прва пријава патента на принципу ултразвучног испитивања предложена је 1912. године, недељу дана после потонућа Титаника. Принцип детекције помоћу ултразвука је имао јако велику примену и значај током првог светског рата у циљу откривања подморница. [11]

Ови догађаји су били неки од првих корака и разлога за покретање поступака испитивања без разарања. У целом том поступку развијене су многе методе и технике које служе за осигурање многих радних машина (котлова, цевовода, зупчаника и др.), уз испитивање истих без разарања. Почетком касних 1950-их до данас, испитивање методама без разарања доживело је драстичан напредак. Еволуција оваквог испитивања се директно односи на безбедност, развој нових материјала, као и на потражњу за већу поузданост производа. Промене које су се догодиле у грађевинарству, авио и нуклеарној индустрији не би биле могуће без примене испитивања без разарања.

3.0. Испитивање конструкција методама без разарања

Испитивање без разарања (Non Destructive Testing) је интердисциплинарна техника за проверу која даје одговор на питање, да ли производи и системи врше своју функцију на поуздан и економичан начин? Испитивање се спроводи са циљем лоцирања и карактеризације стања материјала и евентуалних грешака. Други назив за испитивање без разарања је дефектоскопија (грч. дефект – грешка, скопео – гледам).

Ова испитивања се спровode тако да не промене функционалност објекта који се испитује и да при томе не буду оштећени. На овај начин се осигурава равнотежа између контроле квалитета и контроле трошкова.

Методe испитивања без разарања имају веома широку примену у индустрији; помоћу ових метода могуће је открити развој дефекта у материјалу машинске конструкције у раној фази и превентивно деловати на даљи развој дефекта (Слика 2) Ако се те грешке не открију, могу довести до опасних појава као што су: пуцање резервоара, цурење хемикалија у околину, експлозије.



Слика 2. Могућности примене испитивања методама без разарања

3.0.1. Методе и технике испитивања без разарања

Метод испитивања без разарања се дефинишу узимајући у обзир физичке принципе на којима се оне заснивају, а **технике испитивања** без разарања дефинишемо према специфичности начина спровођења испитивања. (Табела 1).

Табела 1. Методе и технике испитивања без разарања

Принцип	Начин испитивања	Метода	Технике
електромагнетни таласи	х и γ зрачење	РТ радиографска	радиографија, гамаграфија
	видљиви део спектра	ВТ визуелна	директна, индиректна
	ИЦ таласи	ИЦ термографска	термографија, термовизија
	микроталаси	ГПР радарска	
	нискофреквентна поља	ЕТ (вртложне струје)	RFEC, ACPD, ACFM, ..
	магнетно поље	МТ магнетска	магнетним честицама
еластични таласи	ултразвучни таласи	УТ ултразвучна	технике одјека, дифракције
	акустични таласи	АЦ, АЕ акустична	акустична емисија
контакт	пенетрант	ПТ пенетранска	у зависности од врсте пенетраната
	инертни плин (пропустљивост)	ЛТ испитивање пропусности	вакуум, хелијум

Откривање неправилности засновано је на одређеном одзиву од неправилности, а у зависности од примењеног физичког принципа и испитаним параметрима (нпр. осетљивост, резолуција) може се утврдити и одзив материјала (структуре), па се испитивања без разарања примењују у циљу:

- проналажења неправилности (грешака) и
- одређивања карактеристика материјала.

Блок шема на слици 3 приказује методе испитивања без разарања које се најчешће користе у пракси приликом откривања неправилности на површини материјала и у самом материјалу.



Слика 3. Подела метода испитивања без разарања

3.0.2. Предности и недостаци испитивања без разарања

Предности испитивања без разарања:

- испитивања се могу изводити директно на конструкцији,
- могуће је спроводити 100% контролу,
- објекат је могуће испитати са више метода и више пута (поновљивост, обновљивост),
- могуће је спроводити контролу објекта у експлоатацији,
- контрола се може често спровести и без заустављања производње,
- опрема је у већини метода преносна па је олакшан рад на терену.

Недостаци испитивања без разарања:

- својства објекта и квалитета се у већини метода мере индиректно. Квалитет се дефинише на основу непостојања грешака или одступања одређене физичке величине ван граница задатих критеријумом квалитета,
- поједине методе контроле захтевају појачану заштиту на раду,
- интерпретација резултата често је сложена па захтева добро обучене раднике.

3.1. Визуелно испитивање

Визуелно испитивање или оптичко испитивање је метода испитивања без разарања, за откривање низа површинских грешака, као што су: корозија, контаминација, завршна обрада површине, површинске грешке спојева (завара, заптивки, лепљивих трака и слично). Визуелно испитивање може бити са или без помоћних уређаја и опреме. Осим испитивања голим оком, користе се флексибилни или крути ендоскопи за заклоњене или неприступачне површине, сензори слике за фотографисање или снимање видео записа, системи за повећање слике.

Пре било које друге методе испитивања завара или неког другог својства материјала, примењује се визуелна контрола. Ова метода испитивања је релативно јефтина, не одузима много времена, а може дати врло корисне информације како о квалитету заварених спојева или испитиване површине, тако и о потреби контроле неком другом методом испитивања. За помоћ код визуелне контроле у скученим и неприступачним деловима конструкције користе се различита оптичка помагала. [12]

3.1.1. Подела методе визуелног испитивања

Визуелно испитивање се може вршити у току различитих фаза производње као и у току експлоатације компонента или елеманата. [20]

Испитивање визуелном методом може се остварити:

- директним или
- индиректним методама.

Директно визуелно испитивање може се дефинисати као испитивање код којег има довољно простора да се око приближи на 60 cm од површине која се испитује и под углом од 30° у односу на површину.

Индиректно визуелно испитивање се примењује када нису испуњени услови потребни за директно испитивање и за овакав вид испитивања неопходна су одговарајућа оптичка помагала као што су: ендоскопи, бороскопи, фиберскопи, видео ендоскопи, микроскопи, разни типови профилних пројектора, итд.



Слика 4. Подела визуелних испитивања

3.1.2. Опрема за визуелно испитивање

Ендоскоп омогућује, оптички увид у унутрашњост машина и постројења. То је оптички уређај који се састоји од круте или флексибилне цеви са окуларом на једном крају и објективом на другом.

Употребом одређених ендоскопских инструмената могуће је правовремено открити грешку, измерити њену величину и лоцирати је иако се налази на неприступачном месту. Новији системи (поготово турбине) имају специјално предвиђене прикључке за ендоскопију и то на местима на којима су већ биле запажене одређене аномалије или на местима на којима се могу очекивати пукотине.

Ендоскоп може бити крут и флексибилан, (Слика 5). Крут ендоскоп се примењује у случајевима када је олакшан приступ мерном месту, док се флексибилни ендоскоп примењује у случају када је отежан приступ испитиваном месту. Ендоскопи се према конструкцији деле на: **бороскопе, фиберскопе и видео ендоскопе**, [21].



Слика 5. Крути (лево) и флексибилан ендоскоп (десно)

Бороскопи представљају класичан систем оптичких сочива уграђених у круту цев кроз коју се истовремено доводи осветљење и гледа у унутрашњост. Мерни бороскопи садрже покретни курсор који омогућава мерење у оптичкој равни објекта. Интензитет светла зависи од пречника влакна за осветљење, већи пречник значи боље осветљење, (Слика 6).

Пречници бороскопа су обично 6 и 8 mm. Постоје и специјални типови бороскопа који могу проћи кроз отвор од 2 mm. Нове конструкције бороскопа омогућавају повезивање специјалних дигиталних мини камера на окулар бороскопа и тиме његово повезивање у сложени систем са видео анализатором, чиме му се значајно проширују могућности ендоскопске дијагностике.



Слика 6. Бороскоп

Фиберскопи су модернији представници савитљивих ендоскопа који се састоје од снопа танких стаклених влакана уграђених у савитљиву цев кроз коју се истовремено доводи осветљење и гледа у унутрашњост, (Слика 7). Састоје се од веома флексибилне металне цеви на чијим се крајевима налази по један окулар, један преноси слику до контролора, а други служи за осветљавање.



Слика 7. Фиберскоп

Видео ендоскопи су камере малог пречника од неколико милиметара који се доводе на различите начине на место испитивања.

Процес се одвија тако да камера снима испитивано место и истовремено је повезана са рачунаром тако да се на екрану може пратити снимање и одабрати параметри снимања те добити информација о постојању грешке, њеној величини, пореклу и утицају на даљу експлоатацију. Слика се може обрађивати на рачунару, увећати и добити велика прецизност у мерењу.

Најчешће се употребљавају савитљиви видео ендоскопи пречника 6 mm. Видео ендоскоп се састоји од:

- главе камере,
- командне јединице и
- монитора.

Мали **ТВ системи ендоскопа** не само да знатно проширују досадашње могућности примене техничких ендоскопа, већ могу да замене круте и флексибилне ендоскопе са сондама пречника преко 12 mm (Слика 8).



Слика 8. Видео ендоскоп

Мерења помоћу **микроскопа** (Слика 9), као и сва оптичка мерења, базирају се на бесконтактном принципу, а резултати мерења се добијају у поларним или правоуглим координатама. Основу микроскопа чини одговарајући оптички систем састављен од мањег или већег броја елемената.

Основни делови микроскопа су:

- извор светлости,
- објектив,
- окулар и
- додатна апаратура.

Принцип рада оптичког микроскопа састоји се у томе, да се од извора светлости емитују светлосни зраци до посматраног предмета. Оптички микроскопи се поред употребе код металографског испитивања микроструктуре, користе код визуелне контроле с повећањем од 5 до 500 пута, за референтно мерење геометрије. Алатни микроскоп има повећања од 10 до 200 пута.



Слика 9. Микроскоп

Профилни пројектор пројектује увећану слику производа на пројекциону плочу и упоређује са увећаним цртежом на транспарентном папиру (паус папир), (Слика 10). Повећање се креће од 10 до 100 пута.



Слика 10. Профилни пројектор

3.1.3. Квалитет и поступак испитивања визуелном методом

Визуелним испитивањем могу се прикупити важне информације о претходном стању конструкције као и информације за дефинисање накнадног програма испитивања.

Визуелно испитивање је вероватно најважније од свих неразорних испитивања јер увежбаном оку често пружа вредне информације о стању објекта. Посебно је важно да особа која спроводи визуелно испитивање може разликовати различите знакове оштећења на које наилази. Визуелни преглед не треба ограничити само на испитивану конструкцију, већ би требало да садржи и суседне конструкције, околину и климатске услове.

Важност и корисност визуелног прегледа се не сме подценити. Често, испуштање наизглед неважног доказа може довести до погрешног закључка о стању конструкције.

Квалитет визуелног испитивања је примарно одређен:

- квалитетом детектора (ока или камере),
- условима осветљења,
- способношћу обраде визуелних података,
- приступом испитивању и
- посматрањем детаља.

Како би се обезбедили сви наведени услови који гарантују што већу тачност визуелног испитивања и безбедност радника који врше инспекцију, неопходно је дефинисати план поступка испитивања.

1. Први корак

Пре почетка било каквог испитивања неопходно је обезбетити и проверити основну опрему за личну заштиту која укључује шлем, радно одело, заштитне наочаре, радне ципеле са ојачањем и рукавице. Поред основне опреме користи се и додатна заштитна опрема у зависности од врсте послова (појас за рад на висини, респиратор, кецеља за завариваче итд).

2. Други корак

Други корак обухвата посматрање објекта испитивања (голим оком).

3. Трећи корак

Проучити сву важну пројектну документацију, техничке спецификације, постојеће извештаје о испитивањима, податке о производњи, податке о коришћеним материјалима, методама и времену производње.

4. Четврти корак

Планирање целокупног визуелног испитивања и припрема потребне опреме за испитивање: потребна опрему за приступ (мердевине, скеле, корпа за дизање...), алат за означавање (фломастере, спрејеве, креде...), алат за мерење (метри, помична мерила, шаблони,...), оптичка помагала (ендоскопи, бороскопи, микроскопи...), алати за вођење документације (оловка, папир, фото апарат...)

5. Пети корак

Извршење визуелног испитивања



Слика 11. Прслина уочена визуелним испитивањем (лево), зазор на сателиту пећи клинкера (десно)

3.1.4. Предности и недостаци визуелне методе

Предности визуелног испитивања су:

- могућност примене код скоро свих врста материјала и конструкција,
- релативно једноставна примена,
- ниска цена (у зависности од врсте примене),
- брзо добијање резултата,
- резултати се могу трајно забележити и
- испитивање се може аутоматизовати.

Недостаци визуелног испитивања су:

- директни преглед је ограничен само на површину,
- дефекти у унутрашњости се не могу приметити,
- нема квантитативних информација о својствима материјала,
- индиректно испитивање захтева знање и искуство особе које спроводи испитивање,
- испитивање зависи од особе која спроводи испитивање и
- неопходан је добар вид особе која спроводи испитивање.

3.2. Испитивање методом течних пенетраната

Испитивање пенетрантима је једна од првих метода испитивања без разарања која је била масовно прихваћена. Од првих техника, које су користиле нафту и креду, до данас су развијене многе технике које омогућају врло високу осетљивост. Испитивање пенетрантима се базира на ефекту капиларности. Наношењем пенетранта на површину објекта долази до продирања пенетранта у површинске неправилности. Чишћењем површине испитивања и наношењем развијача долази до извлачења пенетранта из неправилности и тада индикације неправилности постају видљиве, [13].

Област примене испитивања пенетрантима обухвата испитивања:

- резервоара, посуда, реактора, цеви, пумпи,...
- делова возила: осовина, точкова, зупчаника, пропелера,...
- заварених спојева,
- опреме у процесној индустрији и
- ливених и кованих производа.



Слика 12. Делови испитани пенетрантима

3.2.1. Принцип испитивања пенетрантима

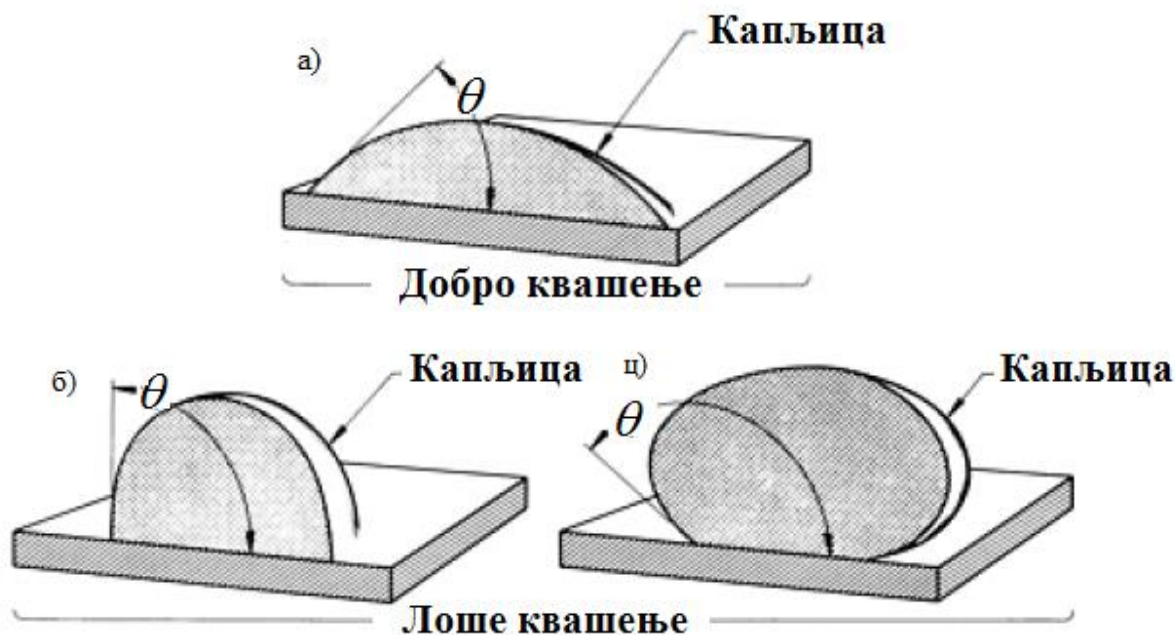
Најважнија особина пенетранта је способност квашења површине. Површину која се испитује пенетрант треба да прекрије једнолико и континуално, после чега улази у пукотине.

Добро приањање течности на површину превасходно зависи од:

- чистоће површине,
- конфигурације пукотине,
- чистоће пукотине,
- величине отвора пукотине,
- површинског напона течности,
- способности течности да кваси површину и
- контактнoг угла течности.

Приликом наношења пенетраната на површину, силе кохезије између молекула течности изазивају површински напон. Капљица због тог напона тежи да формира сферни облик, док се површинском напону супротставља хидростатички притисак течности. Силама кохезије се супротстављају и силе адхезије са површином у контакту. Те силе одређују контактни угао θ .

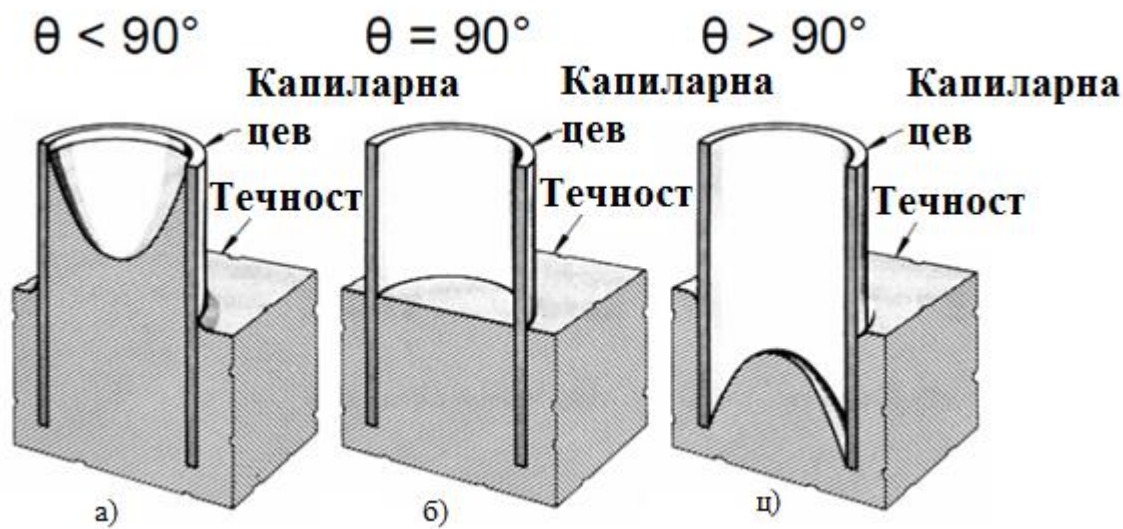
Примери доброг и лошег квашења испитиване површине пенетрантима представљени су сликом 13.



Слика 13. Пример доброг квашења $\theta < 90^\circ$ (а) и лошег квашења површине $\theta \geq 90^\circ$ (б,ц)

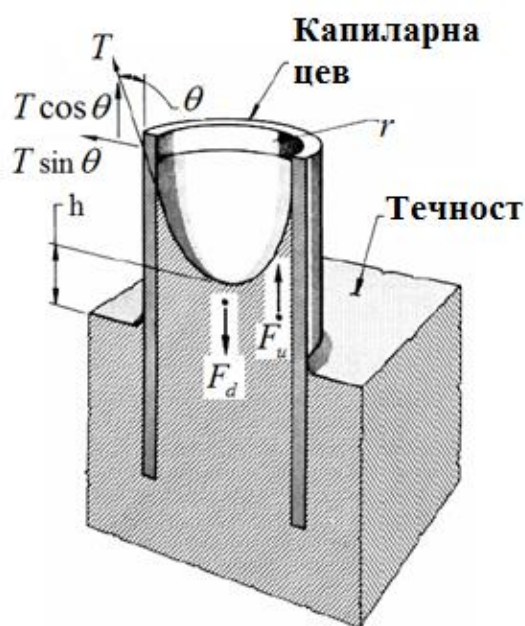
Способност квашења пенетраната се најбоље може објаснити на примеру капиларне цеви, јер се течност према зидовима пукотине понаша слично као према зиду капилара, (Слика 14).

- Ако је контактни угао $\theta < 90^\circ$, течност квази зид капилара – конкавна површина течности, течност расте,
- ако је контактни угао $\theta = 90^\circ$, нема капиларног ефекта,
- ако је контактни угао $\theta > 90^\circ$, течност не квази зид капилара – конвексна површина течности, течност се спушта низ капилар.



Слика 14. Принцип квашења капиларне цеви

Сила која делује према доле једнака је тежини стуба течности: $F_d = 2\pi r^2 h g \rho$. Сила која делује према горе је производ површинског напона и обима: $F_u = (T \cos \theta) 2\pi r$ Слика 15.



Слика 15. Деловање сила у капиларној цеви

3.2.2. Поступак испитивања течним пенетрантима

Тестирање течним пенетрантима је метода која се користи да би се открили површински недостаци обојеним или флуоресцентним пенетрантима који се задржавају у пукотинама, огреботинама и осталим површинским дефектима. Техника се темељи на способности течности да буде увучена капиларним деловањем у површинске дефекте које су на чистим површинама.

После неког времена, вишак површинског пенетранта се уклања и примењује се развијач. Развијач извлачи пенетрант из дефекта и тако открива његову присутност. Обојени (контрастни) пенетранти захтевају добре изворе беле светлости, док се флуоресцентни пенетранти користе у замраченим условима са ултраљубичастим изворима светлости [13].

Основни поступак за испитивање течним пенетрантима се одвија у следећим корацима:

1. Припрема површине

Један од најкритичнијих корака при тестирању течним пенетрантима је припрема површине. Површина мора бити чиста, без уља, масти, воде или других "загађивача" који могу спречити пенетрант да уђе у површинске дефекте. Узорак може захтевати додатну припрему ако су на њему извршене механичке операције као што су обрада, брушење, пескарење или слично. Ове и друге механичке операције могу прекрити отворе дефекта и спречити улазак пенетранта.

2. Примена пенетранта

Пошто је површина темељно очишћена и осушена, пенетрантни материјал се наноси прскањем, четкањем или урањањем узорка у пенетрантну купку.

3. Деловање пенетранта

Пенетрант се оставља на површини онолико дуго колико је потребно да што већа количина пенетранта уђе у површинске дефекте (Слика 16). Време деловања пенетранта је укупно време које пенетрант проводи у контакту са површином узорка. Време деловања је обично препоручено од произвођача или зависи од захтевности испитивања.

Времена употребе зависи од примене, пенетранта, материјала који се испитује, облику материјала који се прегледа и врсти дефекта на који се испитује. Минимално време деловања пенетранта је обично у распону од 5 до 60 минута. Међутим, нема штете уколико се пенетрант остави дуже време да делује, битно је само да се не осуши. Идеално време се често одређује експериментисањем и може бити врло специфично за одређену примену.



Слика 16. Примена и деловање пенетранта

4. Уклањање вишка пенетранта

Ово је најделикатнији део инспекцијског поступка, вишак пенетранта мора бити уклоњен са површине испитиваног узорка, при том се мора пазити да се што мање пенетранта уклони са дефекта. У зависности од пенетранта, овај корак може укључивати чишћење водом или третирање емулгатором па онда чишћење водом. (Слика 17)



Слика 17. Уклањање вишка пенетранта

5. Примена развијача

После чишћења наноси се танки слој развијача који извлачи пенетрант из дефекта на површину где постаје видљив, (Слика 18). Развијачи долазе у различитим облицима који се могу применити прашењем (суви пудер), урањањем или прскањем (влажни развијачи).



Слика 18. Примена развијача

6. Индикације развијања

Развијач се треба да се остави довољно дуго на испитиваној површини тако да може да извуче што више заробљеног пенетранта на површину. Време развијања је минимално 10 минута. Потребно је дуже време развијања за уже пукотине.

7. Инспекција

Инспекција се спроводи под одговарајућим осветљењем да би се открили сви могући дефекти.

8. Чишћење узорка

Завршна фаза у процесу испитивања пенетрантима је детаљно чишћење испитиваног узорка.

3.2.3. Врсте пенетраната

Флуоресцентни пенетранти

Постоје два типа флуоресцентних пенетраната и то [13]:

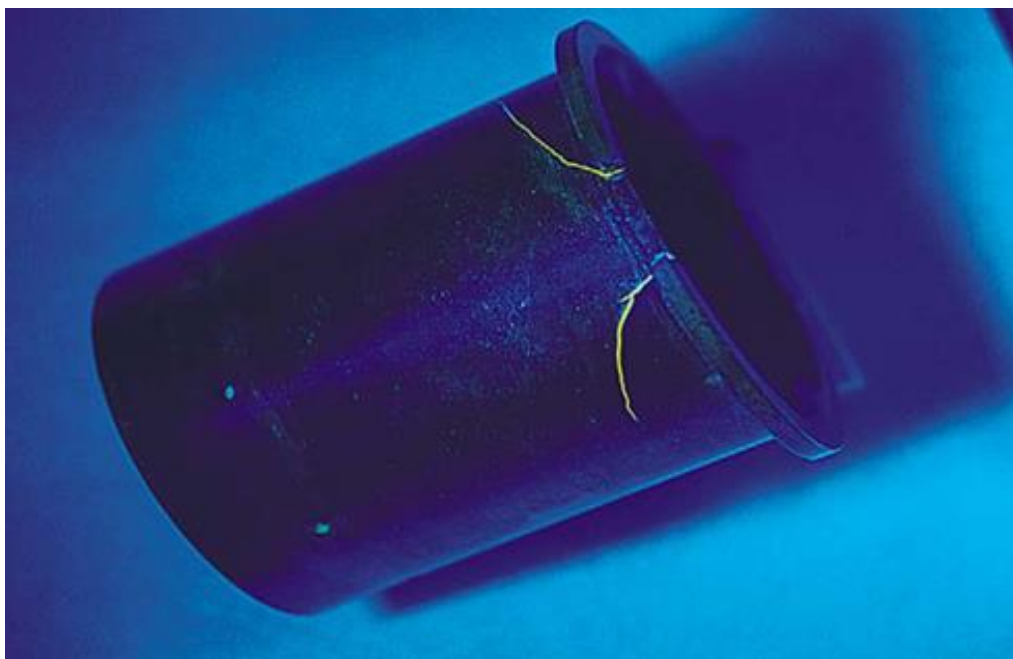
1. Водом периви флуоресцентни пенетрант високе осетљивости (пенетрант, одстрањивач, развијач-вода)

Према употреби, делови се после чишћења и одмашћивања загревају у специјалним пећима непосредно пре испитивања. Наведеним пенетрантом испитују се роторске и статорске лопатице компресора и турбина, дискови гасотурбинских мотора, зупчаници за пренос снаге и сл.

2. Емулгатором одстрањиви флуоресцентни пенетрант високе осетљивости (пенетрант, одстрањивач, развијач)

Овим пенетрантом испитују се дискови, кућишта, цевни водови гасотурбинских мотора и сл.

Користе се јако светле боје (најчешће зелене) под УВ светлом таласне дужине 200 до 300 [nm] [13].



Слика 19. Цилиндар испитан флуоресцентним пенетрантом

Обојени пенетранти

Обојени пенетрант одстрањив је растварачем високе осетљивости. Примену налази при испитивању вратила, дискова, цевни водови гасотурбинских мотора, зупчаника и слично. Овај пенетрант се такође користи и за локална испитивања делова већих габарита и испитивање заварених спојева. Према потреби могу се користити и средства другог нивоа осетљивости у складу са захтевима технологије испитивања и у складу са одговарајућим стандардима.

Провере се изводе према упутствима за контролу процеса испитивања према одговарајућим стандардима и подразумевају контроле [13]:

- интензитета флуоресценције пенетранта,
- емулгатора,
- развијача,
- интензитета УВ лампе,
- амбијентне светлости и
- еталонирање свих мерних инструмената на линији за испитивање.

Код обојених пенетраната најчешће се користе црвени пенетранти ради контраста с подлогом. Карактерише их и веома ниска осетљивост [13].



Слика 20. Испитивање ременице дробилице клинкера обојеним пенетрантима

У табели 2 дата је препорука за коришћење флуоресцентних или обојених пенетраната у зависности од услова испитивања.

Табела 2. Избор методе код флуоресцентних и обојених пенетраната

	Водени флуоресцентни	Постемулзифилни флуоресцентни	Водени видљиви	Постемулзифилни видљиви
Висока осетљивост		x	x	
Висока видљивост	x	x		
Велика брзина сушења	x	x		
Поновљивост		x		x
Портабилност			x	x
Сложени делови	x			
Плитки дефекти		x		
Велики делови			x	x
Контаминирани делови			x	
Потребна УВ лампа	x	x		
Лоша поновљивост	x			
Велики захтеви за особље			x	x
Потребно испирање		x	x	
Мала брзина сушења			x	x
Лоши резултати код плитких дефеката	x		x	x
Лоши резултати код грубе површине		x	x	x

3.2.4. Предности и недостаци метода испитивања течним пенетрантима

Предности испитивања течним пенетрантима су:

- релативно једноставне методе за примену,
- јефтина опрема за испитивање,
- врло поуздане методе за откривање површинских прелина и неправилности,
- врло једноставан рад на терену - лако преносна опрема,
- пружају могућност релативне процене дубине неправилности.

Недостаци испитивања течним пенетрантима:

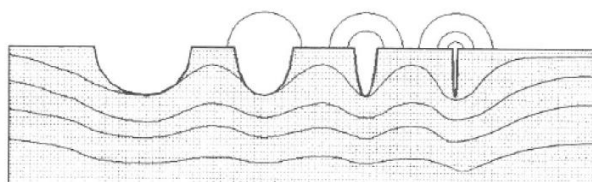
- "површинске" методе - откривају само неправилности на површини,
- захтевају висок степен чистоће површине,
- примена метода захтева одређено време,
- читавање индикација треба спровести у строго ограниченом времену, после тога индикације постају нечитљиве,
- нису примењиве за порозне (упијајуће) материјале.

3.3. Испитивање магнетном методом

Испитивање магнетном методом подразумева испитивање без разарања која се користе за детекцију неправилности материјала који се испитује. Ова метода је брза и релативно једноставна за примењивање, а стање површине за испитивање не захтева посебне услове као код других метода без разарања, [14].

Магнетним испитивањима утврђују се грешке на површини или непосредно испод површине предмета, то је метода за лоцирање површинских и унутрашњих дисконтинуитета у феромагнетним материјалима (поре, пукотине, страна тела и др.). Могу се испитивати само феромагнетни материјали, као што су: гвожђе, никл, кобалт, угљенични, нисколегирани и неки легирани челици. При магнетним испитивањима, предмети се прво намагнетишу (код предмета једне димензије само један део), намагнетисање предмета може се изводити пре или у току испитивања, [15].

Пре испитивања не намагнетишу се они предмети код којих је заостали магнетизам довољан да омогући испитивање. У току испитивања намагнетишу се предмети код којих је заостали магнетизам недовољан да се изведе испитивање и предмети великих димензија и сложеног облика. Ако у предмету постоји прелина, зарез или оштар прелаз, а кроз предмет пролази магнетски ток, у зависности од величине и положаја грешке у пресеку, испод ње ће доћи до скретања и концентрације магнетних токова. Различита концентрација магнетних токова утиче на промене магнетског поља на површини предмета, (Слика 21).



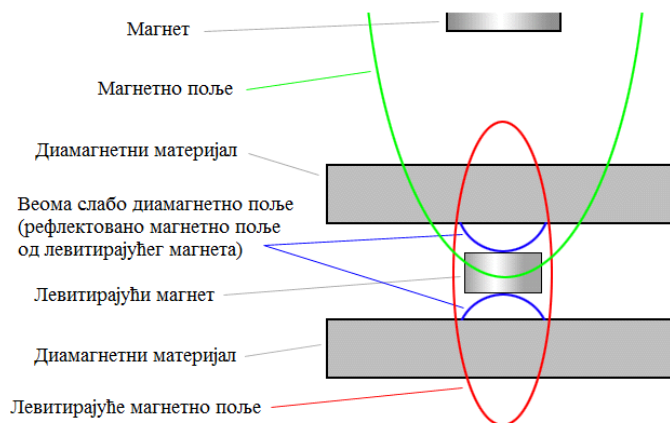
Слика 21. Промена магнетног поља у зависности од дефекта

3.3.1. Диамагнетни, парамагнетни и феромагнетни материјали

Када се материјал постави у магнетно поље, оно ће деловати на силе електрона тог материјала. Овај ефект је познат као Фарадејев закон магнетне индукције. Различити материјали различито реагују на присуство спољног магнетног поља. Ова реакција зависи од више фактора, као што је атомска и молекуларна структура материјала и магнетна мрежа повезаности између атома. Што се тиче самог атома, постоји више кретања као што су кретање електрона, промена кретања узрокована спољним магнетним пољем и ротација електрона. [14]

У већини атома, електрони се појављују у паровима. Електрони у паровима ротирају у супротном смеру тако да поништавају магнетно поље један другом. Дакле, не постоји магнетна мрежа повезаности атома. Супротно томе, материјали са неким неупареним електронима ће имати магнетну мрежу повезаности и више ће реаговати на спољно магнетно поље.

Диамагнетни материјали имају слабу, негативну осетљивост на магнетна поља. (Слика 22). Ови материјали су благо одбојни према магнетном пољу и материјал не задржава магнетне особине када се спољно магнетно поље uklони. У диамагнетним материјалима сви електрони су упарени па у њима не постоји трајни магнетни момент по атому. Многи елементи периодног система, укључујући бакар, сребро и злато су диамагнетни материјали.



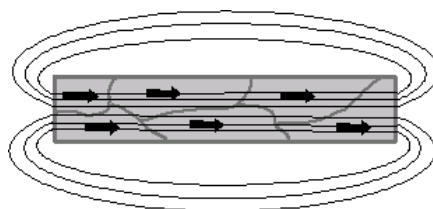
Слика 22. Ефекат левитације магнета услед диамагнетног поља.

Парамагнетни материјали имају малу позитивну осетљивост на магнетна поља. Ови материјали су благо привучени према магнетном пољу и материјал не задржава магнетне особине када се спољно поље uklони. Парамагнетне особине су присутне због присуства неких неупарених електрона и од прерасподеле електронских путања узрокованих спољним магнетним пољем. Парамагнетни материјали укључују магнезијум, молибден, литијум.

Феромагнетни материјали имају велику, позитивну осетљивост на спољно магнетно поље. Они су подвргнути великој привлачности на магнетно поље и могу задржати њихове магнетне особине када се спољно магнетно поље uklони. Феромагнетни материјали имају неупарене електроне па њихови атоми имају магнетну повезаност. Када је феромагнетни материјал ненамагнетисан, моменти његових атома су насумично поређани тако да се глобално поништавају (Слика 23). Када се примени магнетна сила, ови моменти се поређају једнолико па заједно чине јако магнетно поље. Јачина тог поља зависи од једноликости смера магнетног поља појединих зрна. Када су сва зрна исто магнетно оријентисана, тада се за материјал каже да је магнетно засићен и додавањем јачег магнетног поља материјал се не може више намагнетисати, (Слика 24). Гвожђе, никл и кобалт су примери феромагнетних материјала. Компоненте од ових материјала се често испитују методом магнетних честица.



Слика 23. Ненамагнетисан феромагнетни материјал

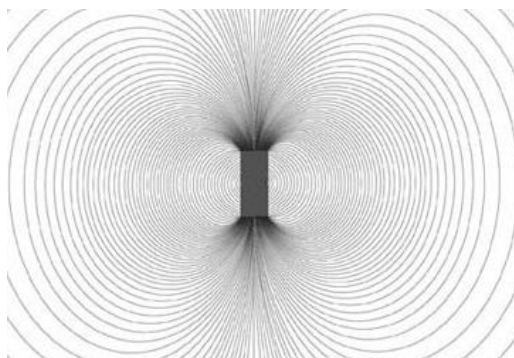


Слика 24. Намагнетисан магнетни материјал

3.3.2. Главне особине линија магнетне силе

Линије магнетне силе имају више битних особина које укључују следеће [14]:

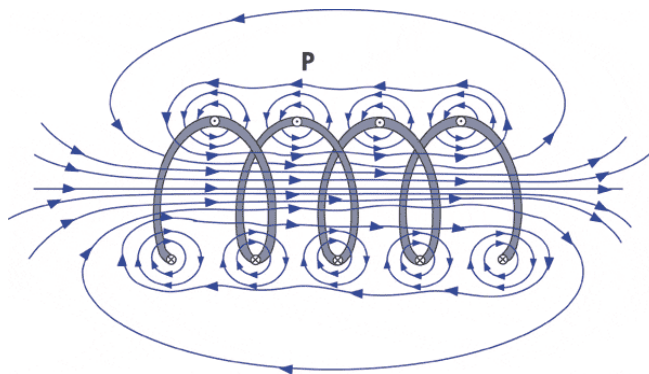
- оне прате пут најмањег отпора између супротних полова. Код јединичног призматичног магнета оне теже да формирају затворене кругове од пола до пола као на слици 25,
- никада се не секу,
- све имају исту јачину,
- њихова густина се смањује када се крећу из подручја више пермеабилности у подручје ниже пермеабилности,
- густина им се смањује удаљавањем од полова,
- сматра се да теку између полова иако не поседују никакво кретање и
- теку од јужног према северном полу унутар магнета и од северног према јужном полу у простору око магнета.



Слика 25. Линије магнетног поља

3.3.3. Магнетно поље добијено завојницом

Када се проводник кроз који тече струја формира у круг или више кругова у облику завојнице, магнетно поље се формира и тече кроз центар завојнице у смеру лонгитудиналне осе и кружи назад спољним делом завојнице. Магнетно поље које се формира од сваког круга се суперпонира са магнетним пољем другог круга да би било концентрисано као јако поље читаве завојнице. Слабо намотана завојница је приказана на слици 26 да би се илустровала интеракција магнетног поља. Магнетно поље је униформније по дужини завојнице када је завојница густо намотана. [14]

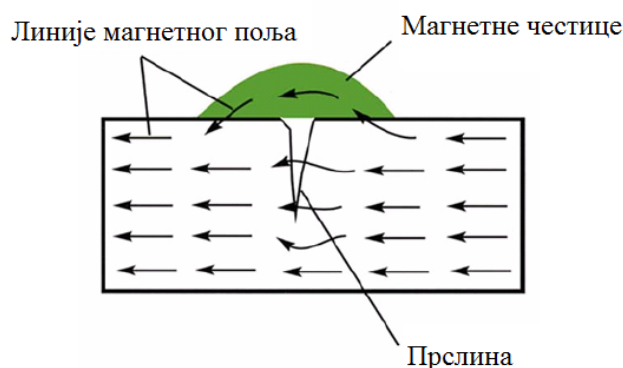


Слика 26. Магнетно поље у калему

Јачина магнетног поља завојнице расте, не само порастом јачине струје, него и са повећањем броја кругова у завојници. Дуга, права завојница од жице се назива калем или соленоид и може се користити да се формира скоро униформно магнетно поље слично као код призматичног магнета. Концентрисано магнетно поље унутар калема је веома корисно код намагнетисавања феромагнетних материјала за испитивање које се врши помоћу магнетних честица. Треба напоменути да је поље ван калема слабо и оно се не може користити за намагнетисавање феромагнетних материјала

3.3.4. Принцип испитивања магнетном методом

Магнетна испитивања заснована су на расипању магнетног поља изнад грешке у предмету. Кад се објекат испитивања изложи дејству магнетног поља, на местима магнетних дисконтинуитета формирају се дефекти поља. У хомогеном предмету магнетни токови су праве линије. Кад токови наиђу на неку грешку савијају се око њега и образују магнетно поље расипања (Слика 27).



Слика 27. Расипање магнетног поља услед прслине у материјалу

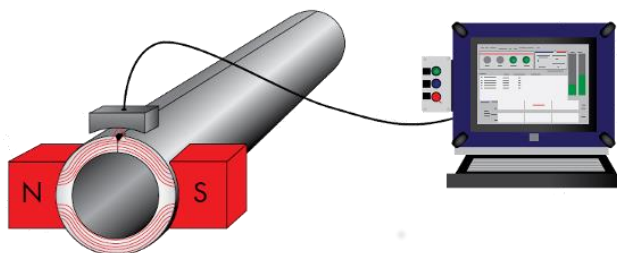
Величина расипања и скретања токова зависи од димензија и дубине грешке, као и од правца простирања грешке у односу на магнетне токове, (Слика 28). Највеће одступање настаје кад грешка стоји нормално на правац магнетних токова. Да би се правилно одредила величина грешке, у пракси се испитивање изводи у два међусобно нормална правца, [15].



Слика 28. Нормалан правац грешке у материјалу (грешка лево), грешка у правцу магнетних токова (грешка десно)

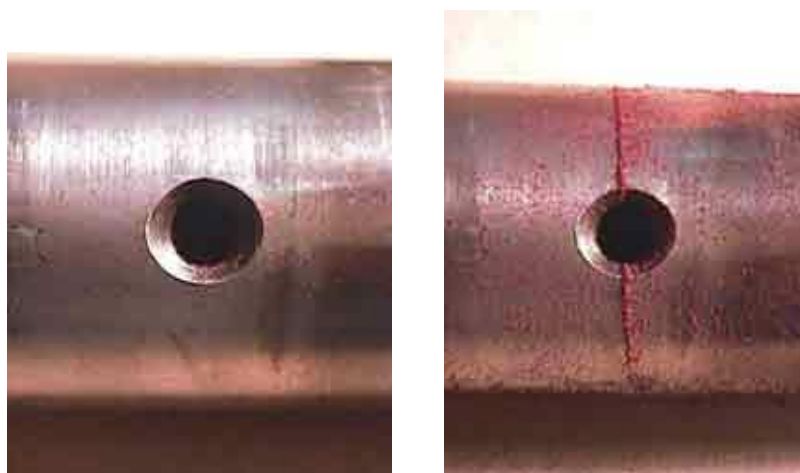
Принцип методе састоји се у томе да кроз предмет испитивања морају проћи магнетни токови, који ће се деформисати око грешке у материјалу. То се показује на два начина.

Први начин је помоћу разлике у напону који се шаље у појачивач и сигнал се приказује на галванометру, (Слика 29). Овај принцип се примењује код испитивања варова, челичних ужади, цеви и сл. Ова метода се може употребити за мерење: дебљине слојева, варијација у структури, величине зрна, тврдоће и др.



Слика 29. Схема испитивања завареног споја цеви помоћу магнетне методе

Други начин је да се магнетне честице наносе на испитивану површину у сувом стању, или у суспензији (вода или уље). Индикатор дефекта је накопљање феромагнетних честица које су нанесене на испитивану површину. С обзиром да су магнетни токови невидљиви, а да би грешка била уочљива, површина предмета се посипа феромагнетним прахом помешаним са трансформаторским уљем или петролејем. Магнетни прах је црни магнетит Fe_2O_3 ($1 \mu\text{m}$). У извесним случајевима узимају се обојене суспензије и флуоресцентне магнетне суспензије, чије светлеће честице олакшавају контролу на тешко приступачним местима, (Слика 30).



Слика 30. Цилиндрични део са отвором пре испитивања (лево), откривање прелине методом магнетних честица на цилиндричном делу (десно)

Апарати којима се врше магнетна испитивања називају се ферофлукс или магнетофлукс апарати. После завршеног испитивања намагнетисани делови се морају размагнетисати. Размагнетисање предмета врши се у посебним апаратима или је у ферофлукс апарату уграђен посебан уређај за демагнетизацију.

3.3.5. Предности и недостаци испитивања магнетном методом

Предности испитивања магнетном методом:

- велико подручје примене ове методе код испитивања полупроизвода: металне шипке и гредице, лимови, откивци и ливени комади,
- ова метода се може користи код превентивног одржавања: вратила, рамова, носача, замајаца, кука, лопатица турбина и слично,
- добро открива мале и плитке површинске прслине, али и грешке испод површине које нису на великој дубини. Ако је грешка фина, оштра и близу површине (неметални укључак), ова метода ће је открити,
- код испитивања магнетним честицама индикације се јављају директно на испитиваној површини и рефлектују се као слике стварног облика грешке,
- практично нема ограничења у величини или облику испитиваних објеката.
- није потребно претходно чишћење,
- могуће је открити чак и прслине које су испуњене другим материјалом.

Недостаци испитивања магнетном методом:

- може се користити само на феромагнетним материјалима,
- ако је грешка на већој дубини, индикација ће бити мање уочљива,
- магнетно поље мора бити у смеру који сече главну раван грешке,
- често је потребна накнадна демагнетизација,
- потребно је чишћење ради уклањања магнетних честица,
- за велике производе су потребне јаке струје,
- треба водити рачуна о локалном загревању или спаљивању готових производа или површина на тачкама електричног контакта,
- потребно је искуство за интерпретацију индикација,
- немогућност одређивања димензија грешака.

3.4. Испитивања ултразвучном методом

Испитивања ултразвуком заснивају се на проналажењу и одређивању локације дефекта у материјалу, који се налазе на дубини од 1 до 2000 mm код металних и неметалних материјала, помоћу пропуштања ултразвучних таласа кроз материјал.

Ултразвук је материјално треперење средине чија је учестаност већа од 20000 Hz, па омогућује његово продирање у материјал. Простирање ултразвука кроз материјал праћено је извесним расипањем, због чега настаје разлика између количине улазних и излазних ултразвучних таласа, што се прати на одговарајућем осцилоскопу уређаја.

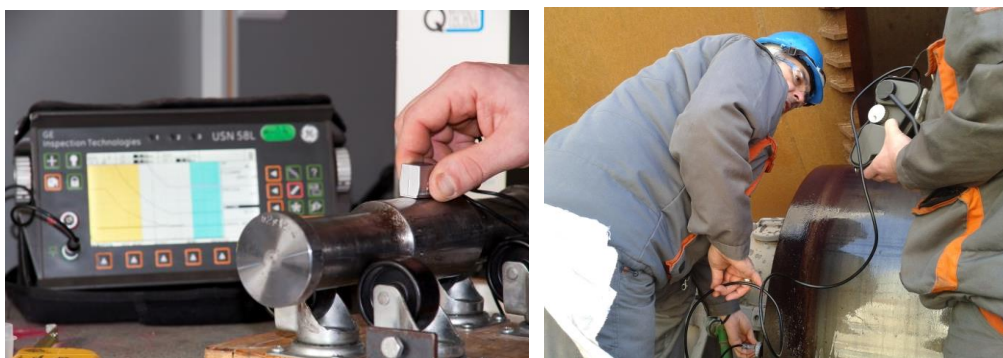
Код ултразвучних дефектоскопа за добијање ултразвучних таласа, највише се користи пиезоелектрични ефекат. При томе се коришћењем пиезокристала врши претварање електричне енергије у механичку учестаност од 500-1000 MHz. За испитивање материјала користе се углавном фреквенције 1-6 MHz.

За стварање ултразвучних таласа користе се ултразвучне главе (сонде) у којима пиезокристал усмерава таласе у испитивани материјал. Према облику испитиваног материјала сонде су обликоване, тако да стварају уздужне, попречне и површинске таласе.

Осим ултразвучне главе, односно сонде за емитовање ултразвучних таласа, основну опрему за ултразвучно испитивање чине:

- електронски генератор сигнала
- флуид за пренос енергије из/у сонду
- сонда за прихватање рефлектованих таласа
- појачавач
- уређај за приказ сигнала (рачунар, осцилоскоп) и
- електронски референтни сат.

Начин откривања грешака у материјалу заснива се на тонским, импулсним-ехо и резонантним методама, које на одговарајући начин региструју улазне и излазне таласе - "сигнале". Проласком кроз хомогени материјал, као што је код тонских метода, висина тона звука је уједначена, а при наиласку на грешку долази до њене промене, [16].



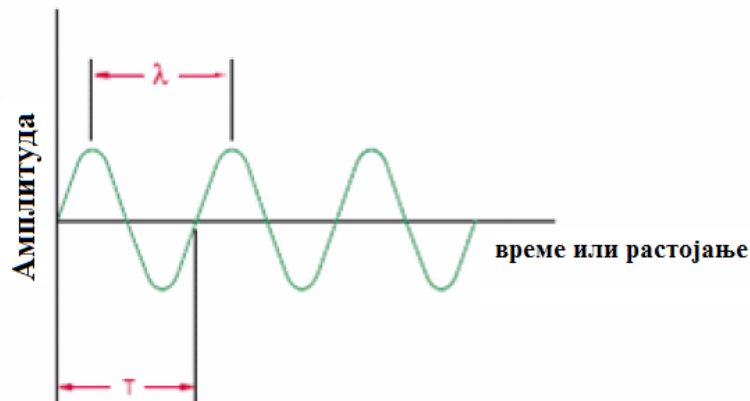
Слика 31. Испитивање мањих машинских делова ултразвучном методом (лево), испитивање носећих ролни пећи клинкера ултразвучном методом (десно).

3.4.1. Карактеристике ултразвучног таласа

Ултразвучне вибрације се простиру у облику таласа, на сличан начин као што се простира светлост. Међутим, за разлику од светлосних таласа, који се могу протирати у вакууму (празан простор), ултразвук захтева медијум: **чврсто тело или течност**, [17].

Основни параметри континуираног таласа су (Слика 32):

- таласна дужина (λ) и
- период (T).



Слика 32. Параметри континуалног таласа

Број циклуса у једној секунди се назива **фреквенција** (f) и мери се у **Hertz** (Hz):

- 1 циклус / секунди = 1 Hz
- 1000 циклуса / секунди = 1 kHz
- 1000000 циклуса / секунди = 1 MHz

Време потребно за завршетак циклуса је (T).

Однос фреквенције и периода при континуалном таласу је:

$$1 f = 1 / T \quad (3.4.1)$$

Брзина ултразвука (C) у савршено еластичном материјалу, на датој температури и притиску је константна.

Веза између параметара C , f , l и T дата је једначинама (3.4.2) и (3.4.3):

$$2 l = c / f ; \quad (3.4.2)$$

$$3 l = c T ; \quad (3.4.3)$$

где је:

- l – таласна дужина,
- c – брзина звука кроз материјал,
- f – фреквенција,
- T – време (период).

Код кретања ултразвука кроз материјал веома је важна акустична импеданција. Она је за сваки материјал позната, али се знатно разликује од једног до другог материјала. (Табела 3), [17].

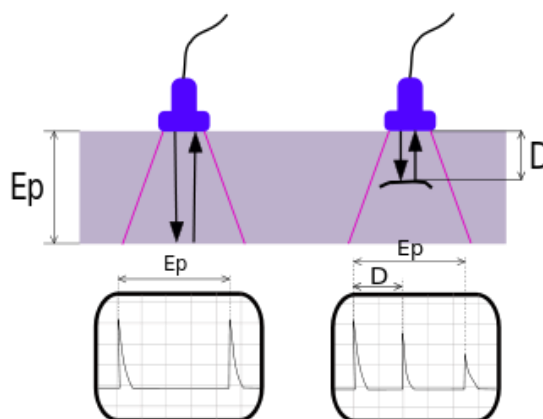
Табела 3. Акустичне особине материјала

Материјал	Лонгитудинална (уздужна) брзина таласа		Смичућа брзина таласа		Акустична импеданса [$\text{kg/m}^2 \times 10^6$]
	[in/ μs]	[m/s]	[in/ μs]	[m/s]	
Алуминијум	0.249	6320	0.123	3130	17.05
Берилијум	0.508	12900	0.350	8880	23.5
Месинг	0.174	4430	0.083	2120	37.30
Кадмијум	0.109	2780	0.059	1500	24.02
Колумбијум	0.194	4920	0.083	2100	42.16
Бакар	0.183	4660	0.089	2260	41.61
Глисерин	0.076	1920	-	-	2.42
Злато	0.128	3240	0.047	1200	62.60
Гвожђе	0.232	5900	0.127	3230	45.43
Гвожђе, одливак (споро)	0.138	3500	0.087	2200	25.00
Гвожђе, одливак (брзо)	0.220	5600	0.126	3220	40.00
Олово	0.065	2160	0.028	700	24.49
Манган	0.183	4660	0.093	2350	34.44
Жива	0.057	1450	-	-	19.66
Молибден	0.246	6250	0.132	3350	63.75
Моторно уље (SAE 20, 30)	0.069	1740	-	-	1.51
Челик 1020	0.232	5890	0.128	3240	45.63
Челик 4340	0.230	5850	0.128	3240	45.63
Челик 302, аустенитни нерђајући	0.223	5660	0.123	3120	45.45
Челик 347, аустенитни нерђајући	0.226	5740	0.122	3090	45.40
Калај	0.131	3320	0.066	1670	24.20
Титанијум	0.240	6100	0.123	3120	27.69
Тунгстен	0.204	5180	0.113	2870	99.72
Уранијум	0.133	3370	0.078	1960	63.02
Вода	0.058	1490	-	-	1.48
Цинк	0.164	4170	0.095	2410	29.61
Цирконијум	0.183	4650	0.089	2250	30.13

3.4.2. Принцип испитивања ултразвучном методом

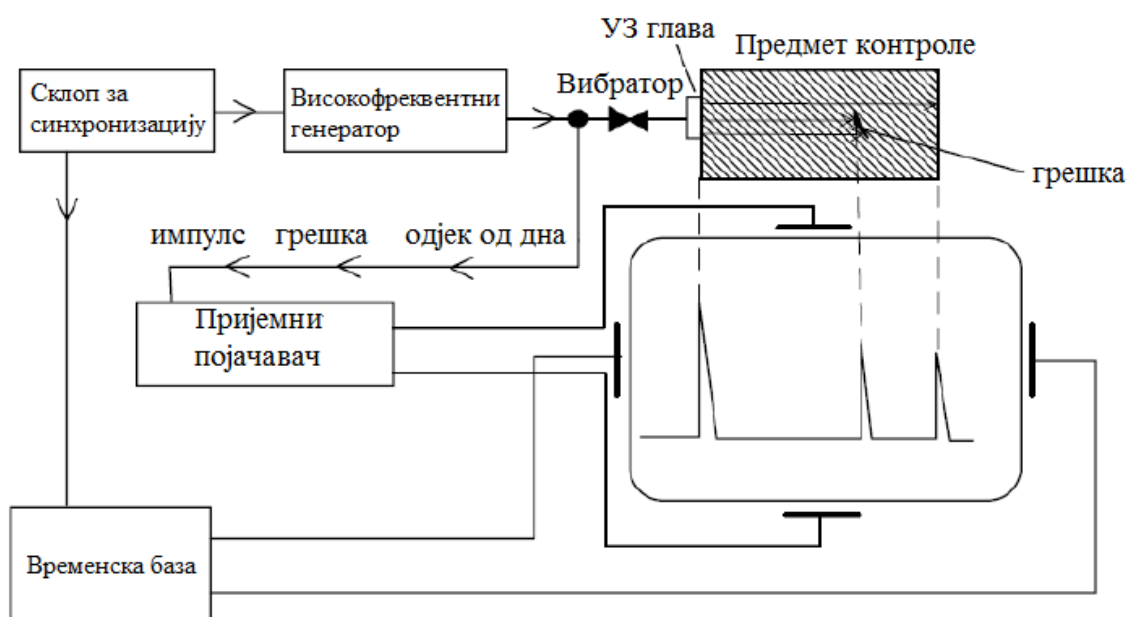
За ултразвучно тестирање користе се високе фреквенције звука у циљу спровођења теста и мерења. Ултразвучна метода има широку примену. Користи се за детекцију прслина унутар материјала, испитивање завареног споја, мерење димензија, карактеризацију материјала.

Ултразвучна метода испитивања заснива се на својству ултразвука да се шири кроз хомогене материјале и да се одбија на граници материјала различитих акустичких особина (отпорности), односно од нехомогености (грешака) у материјалу. Од извора ултразвука шире се ултразвучни таласи кроз материјал који се испитује. Ако у материјалу постоји грешка, иза ње ће, зависно од врсте грешке, ултразвучни таласи ослабити или се неће појавити (одбију се од грешке) (Слика 33).



Слика 33. Испитивање материјала без грешке (лево), испитивање материјала са грешком (десно)

Постоје различите технике ултразвучног испитивања, али се у пракси најчешће користе методе **импулс – одјек**, **метода прозвучавања** и **метода резонанце**, при чему се користе равне и/или угаоне ултразвучне главе (сонде). На слици 34 је приказан схематски принцип ултразвучног испитивања. [17]

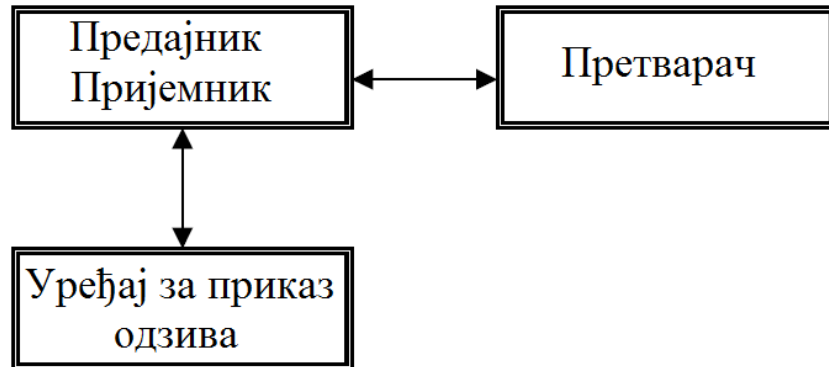


Слика 34. Схематски приказ ултразвучног испитивања

Принцип рада ултразвучне методе може се објаснити на једноставном примеру ултразвучног испитивања на принципу импулса и одјека. За ту методу потребан је уређај који генерише импулсе (ултразвучне таласе) и прима рефлектујуће импулсе, претварач и уређај за приказ одзива. Погођен пулсером (давач импулса), претварач генерише ултразвучну енергију високе фреквенције, енергија звука се уноси и шири кроз материјал у облику таласа и када сигнал допре до неке врсте дисконтинуитета (на пример прслине, или границе материјала различитих акустичких импеданција), део енергије сигнала ће се рефлектовати од површине (прслине или другог материјала). Рефлектујући ултразвучни сигнал се затим претвара у електрични сигнал и шаље на обраду и на уређај за приказ одзива. За ултразвучне претвараче користе се материјали који имају пиезоелектрична својства.

На слици 35 приказана је блок шема уређаја за ултразвучно испитивање на принципу импулс / одјек.

Код ултразвучне методе важно је одржавати континуални контакт између сонде и испитиваног узорка. [18]



Слика 35. Једноставна блок шема уређаја за ултразвучно испитивање на принципу импулс / одјек

3.4.3. Предности и недостаци ултразвучне методе испитивања

Предности ултразвучне методе су :

- велика прецизност у одређивању локације објекта рефлексije и процени величине објекта,
- велика прецизност откривања оријентације и облика дисконтинуитета,
- детаљност приказа,
- релативно лака обрада сигнала добијених од пријемника,
- електронска опрема пружа тренутно добијање резултата испитивања и
- преносивост опреме за испитивање.

Недостаци ултразвучне методе су:

- осетљивост на нечистоће,
- тешкоће при испитивању материјала који имају грубу и неприступачну површину,
- тешкоће при испитивању материјала који су врло танки, мали и неправилног облика,
- тешкоће при испитивању нехомогених материјала,
- потребан је флуид за пренос енергије звука у узорак испитивања,
- потреба за еталонима и референтним узорцима при калибрацији ултразвучне опреме и провере карактеристика опреме и
- потенцијални проблеми приликом испитивања на ниским температурама.

3.5. Испитивање радиографским методама

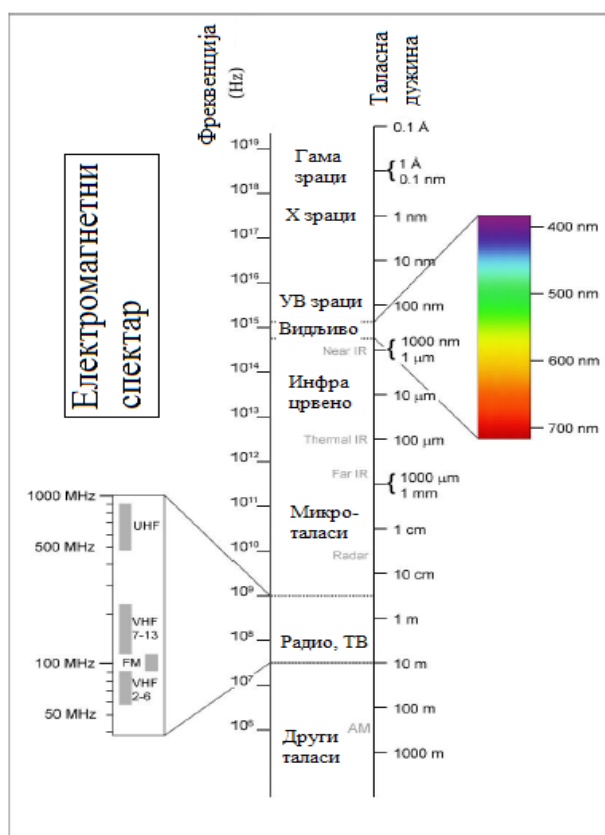
Радиографија је једна од најпознатијих и најосетљивијих метода испитивања у испитивању без разарања. Радиографија се може користити за добијање трајне слике површинских и подповршинских (уграђених) дисконтинуитета. Исти дисконтинуитети се могу радиографисати поновно, после неког времена експлоатације, а радиографски снимци се могу упоређивати са старим како би се виделе промене у величини и облику дисконтинуитета.

Постоје бројне примене радиографије у индустрији. Радиографија се користи се за откривање површинских и дубинских дисконтинуитета (грешака) у завареним елементима, одливцима и откивцима, за мерење дебљине, мапирање корозије, откривање зачепљења у затвореној опреми, откривање арматуре у бетонским плочама, мерење густине материјала, мерење порозности у бетону и слично. [19]

3.5.1. Електромагнетно зрачење кратких таласних дужина – радијација

Под појмом зрачења односно радијације мисли се на пренос енергије електромагнетним таласима. Проласком кроз материју фреквенција таласа остаје иста, али се због промене таласне дужине мења брзина ширења електромагнетних таласа.

Електромагнетно зрачење су таласи енергије електричних и магнетних својстава, који настају вибрацијом и убрзањем електричних набоја. [18]. Спектар електромагнетног зрачења од најниже до највише фреквенције приказан је на слици 36.



Слика 36. Спектар електромагнетног зрачења

Х-зраци (рентгенски зраци) и γ -зраци припадају широком електромагнетном спектру фреквенција као што се види са слике 36. То су зраци врло малих таласних дужина и људска чула их не могу регистровати. Х и γ зраци су електрично неутрални и не утичу својим деловањем на магнетно или електрично поље. Шире се као праволинијски таласи и карактерише их њихова фреквенција (f), таласна дужина (λ) и брзина ширења таласа (c).

Х-зраци и γ -зраци су носиоци високог нивоа енергије и могу прекидати хемијске везе унутар материјала у који продиру, опасне су и по људско здравље. Мале дозе јонизујућег зрачења нису опасне, а све преко препорученог минимума узрокује тешке последице по организам, у зависности од времена излагања.

Величине које карактеришу електромагнетни спектар су:

- таласна дужина:

$$\lambda = \frac{h \cdot c}{E}; \quad (3.5.1)$$

- фреквенција:

$$f = \frac{E}{h}; \quad (3.5.2)$$

где је:

E – енергија фотона [eV],

h – Planck-ова константа ($\approx 6,626069 \cdot 10^{-34}$ Js $\approx 4,13567$ μ eV / GHz),

c – брзина светлости [299,792,458 m/s].

3.5.2. Подела радиографских метода

Радиографске методе раде на принципу прозрачивања испитиваног објекта, на основу чега се добијају жељене информације о испитиваном материјалу. Информације добијене испитивањем приказују се преко радиографског снимка (слике) или мерењем интензитета зрачења. [18]

У индустријској пракси најчешћа је примена методе радиографије. Метода радиографије заснива се на поступку добијања информације о разлици интензитета јонизујућег зрачења које је прошло кроз испитивани објекат. Пошто се метода темељи на чињеници да различити материјали имају различит коефицијент апсорпције зрачења, тако ће се на слици (радиограму) видети све неправилности (дисконтинуитети) унутар материјала.

Две врсте јонизујућег зрачења које се најчешће користе у испитивању материјала су *рентгенско зрачење* (х-зраци) и *гама зрачење* (γ -зраци).

Методе засноване на јонизујућем зрачењу можемо поделити с обзиром на извор јонизујућег зрачења на:

- **рентгенско зрачење**
 - рентгенографија,
 - рентгеноскопија,
 - дигитална радиографија,
 - семирадиографија,
 - високонапонска радиографија.

- **гама зрачење**
 - гамаграфија
 - ауторадиографија

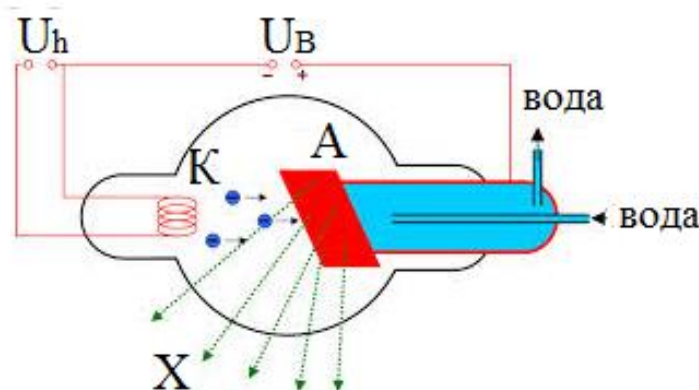
Зрачење се може регистровати на следеће начине:

- мерењем интензитета зрачења,
- формирањем трајне слике (радиограм) - користи се у радиографији. Добија се деловањем зрачења на фото емулзију која се налази на радиографском филму или папиру,
- формирањем слике ограниченог трајања – користи се у радиоскопији. Слика се формира на флуоресцентној подлози, а нестаје чим престане деловање зрачења на подлогу,
- графичко праћење писачем.

3.5.3. Принцип испитивања рентгенским зрацима - рентгенографија

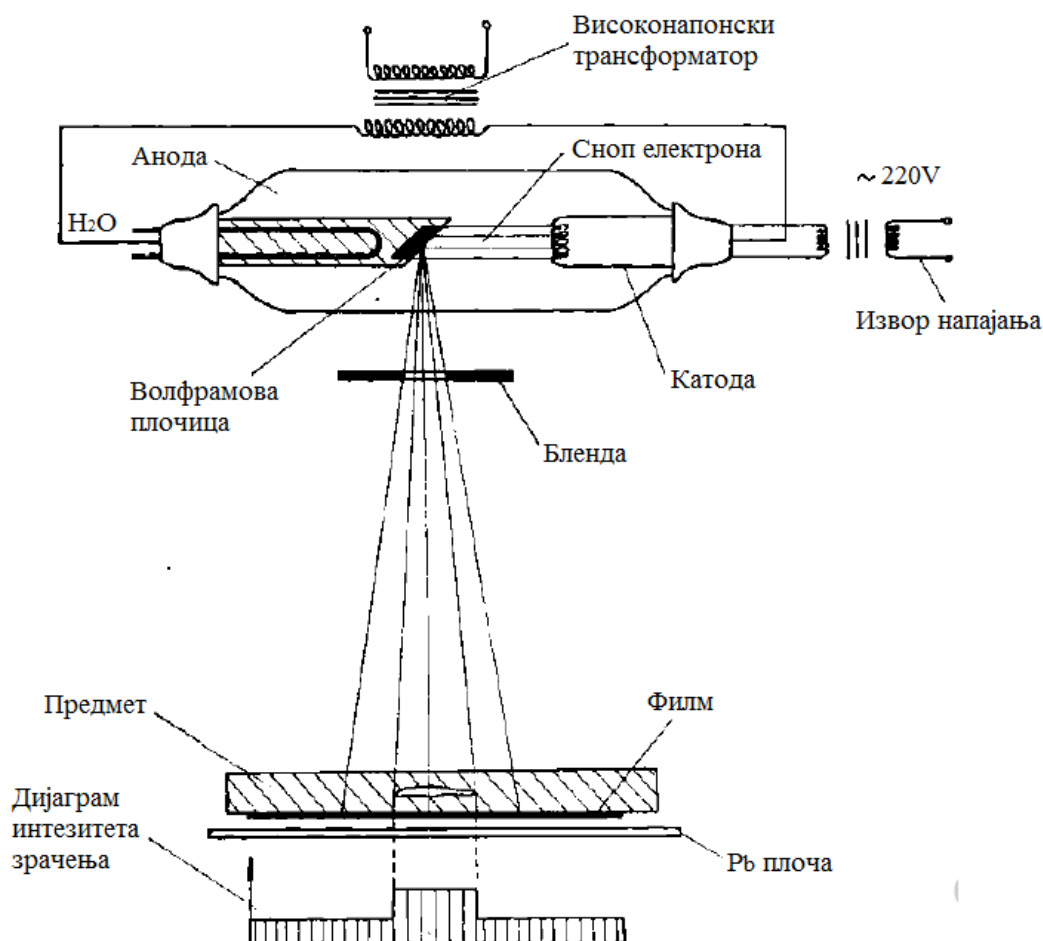
Рентгенски зраци настају у рентгенској цеви заустављањем електрона који се убрзавају у јаком електричном пољу на аноди која је направљена од метала. Рентгенска цев је под високим напоном, који може износити од 50 kV до 400 kV у уређајима за индустријску примену. Рентгенска цев налази се под високим вакуумом, што омогућава несметано струјање електрона према аноди. Електрони настају емисијом из ужарене нити која је уграђена у секундарном електричном кругу у катоди. Између аноде и катодe налази се јако електрично поље које настаје проласком струје у примарном електричном кругу. Електрично поље, које је успостављено у рентгенској цеви између аноде и катодe убрзава електроне који добијају велику количину кинетичке енергије. Електрони који ударају у аноду ступају у интеракцију с атомима који се налазе у површинском делу аноде и енергију преносе на аноду, при чему се анода загрева. Због губитка енергије при интеракцији са анодом, електрони се заустављавају и долазе у интеракцију са електронима атома аноде или с језграма атома аноде. Схематски приказ рентгенске цеви приказан је на слици 37.

Горе описаним процесом само мали део кинетичке енергије се претвара у електромагнетну енергију (рентгенско зрачење). Отприлике 99% кинетичке енергије електрона претвара се у топлотну енергију, а само око 1 % у електромагнетну енергију (рентгенско зрачење). Напоном на рентгенској цеви регулише се емисија фотона, а променом јачине струје на катоди подешава се интензитет зрачења. [18]



Слика 37. Схема принципа рада рентгенске цеви

Рентгенографијом се откривају унутрашње грешке помоћу озрачивања делова рентгенским тј. Х-зрацима, уз регистровање јачине прозрачивања. Пролажењем рентгенских зрака кроз материјал и грешку, због различите апсорпције, долази до различите јачине озрачивања филмске емулзије фото филма који се налази иза озраченог комада-грешке. У циљу добијања фото снимка - "радиограма" ставља се испитивани комад између рентгенске цеви и касете са филмом на што мањем одстојању, [16]. На слици 38 приказана је шема рентгенског испитивања са позицијама основних елемената потребних за испитивање овом методом.

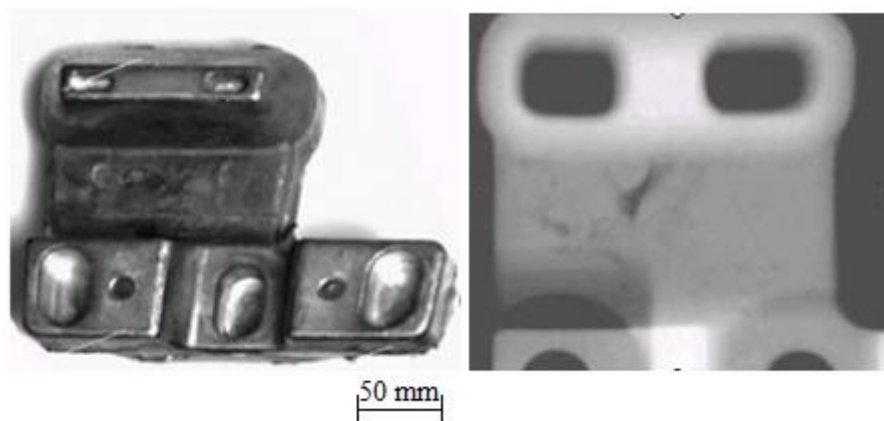


Слика 38. Схематски приказ рентгенографског испитивања

У извесним случајевима се контрола комада врши визуелно посматрањем преко флуоросцентног екрана и огледала на коме се пројектује слика испитиваног комада (рентгеноскопија).

Захваљујући малој таласној дужини, односно високој енергији кванта, рентгенски зраци имају својство да пролазе кроз непровидне предмете, да дејствују на фото плочу (фото ефекат), да изазивају луминисценцију неких хемијских једињења, да јонизују гасове, као и да делују на живи организам и да зависно од дозе зрачења буду штетни или корисни, [16].

Имајући у виду да материјали имају различиту густину и њихова способност пропуштања зрачења је различита, тако да мање пропуштају зраке уколико је њихова атомска тежина већа. Ово својство користи се при испитивању. Тако ће по пролазу X - зрака кроз материјал бити више апсорбовани они зраци који пролазе кроз хомогени - здрави део, а мање ће бити апсорбован онај део зрака који пролазе кроз нехомогени део због чега ће на филму бити јаче "зацрњење". Стога ће све грешке, шупљине, поре, прслине и слични дефекти, бити јасно уочљиви на филму који је једновремено трајни документ квалитета добијен без разарања комада. (Слика 39), [16].



Слика 39. Фотографија испитиваног дела (лево), рентгенски филм (десно)

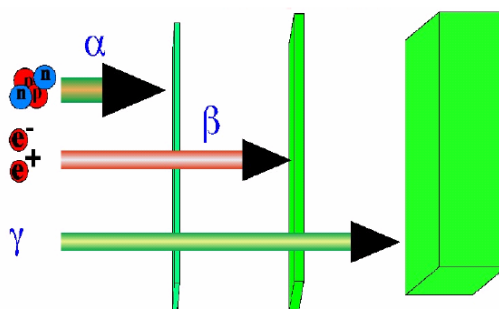
У пракси рентгенске контроле, у зависности од испитиваног материјала, користе се рентгенски апарати за меко зрачење, при напону од 120-130 kV за лаке легуре и челике малих дебљина, јако зрачење од 200-300 kV за челике дебљине до 120 mm и веома јако зрачење од 200-2000 kV за челике дебљине и до 500 mm, [16].

3.5.4. Принцип испитивања гама зрацима – гамаграфија

Ова испитивања, као и радиографија, заснивају се на озрачивању комада који се испитују и регистровању промене зрачења на нехомогеним местима помоћу фото методе.

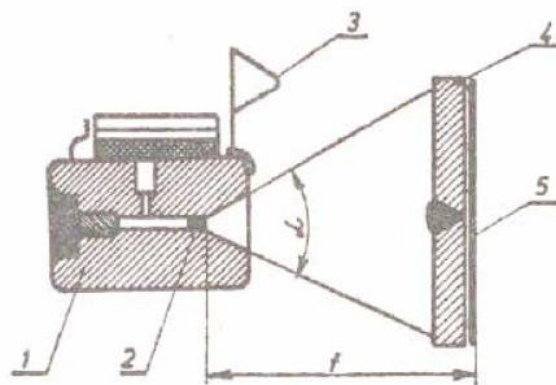
Гама зрачење, супротно од рентгенског, настаје спонтаном радијационом емисијом посебних материјала: природних (радијум, радон, мезоторијум) или вештачких (вештачки радиоелементи). Ови елементи емитују гама зраке одређене и сталне таласне дужине, који су карактеристични за сваки радиоелеменат, [16].

Захваљујући малој таласној дужини (0,01 до 0,4 nm и учестаности $0,25 \cdot 10^{18}$ до $0,60 \cdot 10^{18}$ Hz) радиоактивни - зраци имају својство да продиру кроз све материјале у знатно већој мери од рентгенских зрака (Слика 40).



Слика 40. Поређење продорности зрака

На слици 41 је приказана схема испитивања помоћу гама зрака. Радиоактивни елемент (2) смештен је у комору (1) и кроз коничан отвор емитије гама зраке, који падају на површину предмета (4). Пролазећи кроз предмет зраци пролазе и кроз филм (5). Зависно од густине предмета настаће веће или мање зацрњење слике. Иза филма постављена је оловна плоча, која апсорбује зраке који пролазе кроз предмет и кроз филм, да би се избегла секундарна зрачења помоћу гама зрака, [17].



Слика 41. Схема испитивања гама зрацима

У прво време индустријске примене коришћен је природни радиоактиван елемент - радијум, који је касније замењен вештачким радио изотопима због њихове ниске цене која омогућује масовну примену у радиографији. За добру и безбедну контролу изотопа неопходна је примена специјалних уређаја такозваних дефектоскопа од којих зависи квалитет, врста и начин испитивања.

Документ квалитета је радиограм (фото снимак) на коме се могу лако уочити грешке производа без њиховог разарања исто као и у рентгенографији.

Да би се направио радиограм потребно је да се иза предмета који се испитује постави гумена касета са фото филмом (индустријски рентген филм). Иза гуме касете са филмом, ради бољег контраста на филму, поставља се оловни подметац у циљу спречавања секундарног зрачења које би настало растурањем гама зрака од околних металних предмета. Захваљујући зрачењу изотопа на све стране у простору могуће је обавити осим појединачних снимања и "панорамско" снимање (снимање више објеката истовремено).

Зацрњење негатива при снимању зависи од апсорбције метала, што значи да ће свака грешка у производу односно нехомогеност у материјалу бити показана на филму различитим зрачењем. При томе квалитет снимка је бољи утолико уколико је озрачен филм контрастнији и већа је разлика између појединих граница контура, [16].

Осетљивост радиограма, се оцењује величином најмање грешке која је утврђена на негатив помоћу контролника такозваних пенетратора, односно индикатора. Индикатори су контролници за оцену квалитета фото снимка - радиограма и рентгенограма. Могу бити израђени од жица различитих пречника или као степенести индикатори са рупама. Индикатори од жице су израђени од жице различитих пречника дужине око 50 mm поређаних паралелно једна поред друге у пластичној фолији на растојању од 5 mm. Постављају се на једном или оба краја испитиваног појаса на површини предмета, тако да најмањи пречник жице лежи на оном делу филма где зраци продиру кроз највећу дебљину материјала. Материјал жице има апсорбцију блиску оној коју има материјал који се испитује. Квалитет снимка се одредјује или према броју видљивих жица или према пречнику најмање још видљиве жице.

Због штетног јонизујућег дејства γ - зрака мора се вршити потребна заштита радног особља. За разлику од рентгенског зрачења (где је опасност само у раду) код γ - дефектоскопа ова опасност је непрекидна, како у раду тако и ван рада, због сталног зрачења изотопа. Стога се обавезно поштују прописи о раду са изотопима, дозвољеним дозама озрачења особља, као и њиховом складиштењу.

Опрема за дефектоскопију састоји се од дефектоскопа са одговарајућим извором, изотопом и његовим носачем и суда за чување изотопа - контејнера, који су означени одговарајућом међународном ознаком за радијацију.

Помоћну опрему за рад, чине кљешта за преношење изотопа, магнети за придржавање гумене касете са филмом за површину производа који се снима, контролника за утврђивање дубине грешке, монитора, бројача γ - зрачења, цепни дозиметар за контролу дозе озрачивања, табле за упозорење на опасност су неопходни за безбедни рад.

3.5.5. Предности и недостаци радиографских метода испитивања

Предности радиографске методе су:

- откривање унутрашњих грешака,
- откривање разлика у саставу,
- добијање трајног снимка испитивања и
- осетљивост, јер се може открити дисконтинуитет чија се апсорпција зрачења разликује за 1% од апсорпције околног материјала.

Недостаци радиографске методе су:

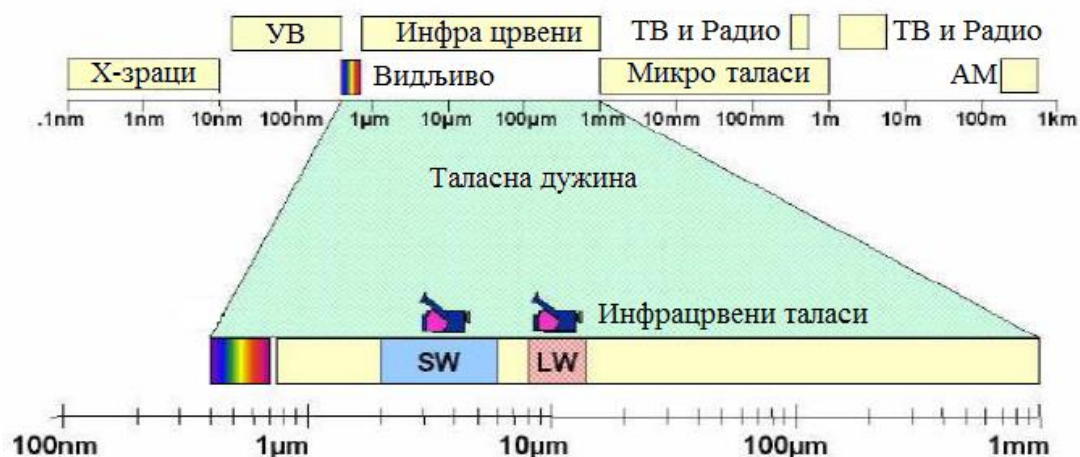
- немогућност испитивања одређених врста материјала (радиографија се не може користити код материјала јако мале или јако велике густине - неутронска радиографија),
- мора се водити рачуна о димензијама и облику производа,
- висока цена опреме и
- потреба за заштитом од јонизујућег зрачења.

3.6. Термографско испитивање

Термографија је технологија код које се користе уређаји (инфра црвене камере) за добијање инфра црвених снимака на којима се детектује емитовање термалне енергије сваког сниманог објекта. [22]

Заснива се на мерењу интензитета инфра црвеног зрачења посматране површине и даје увид само у температуру површине сниманог тела (објекта).

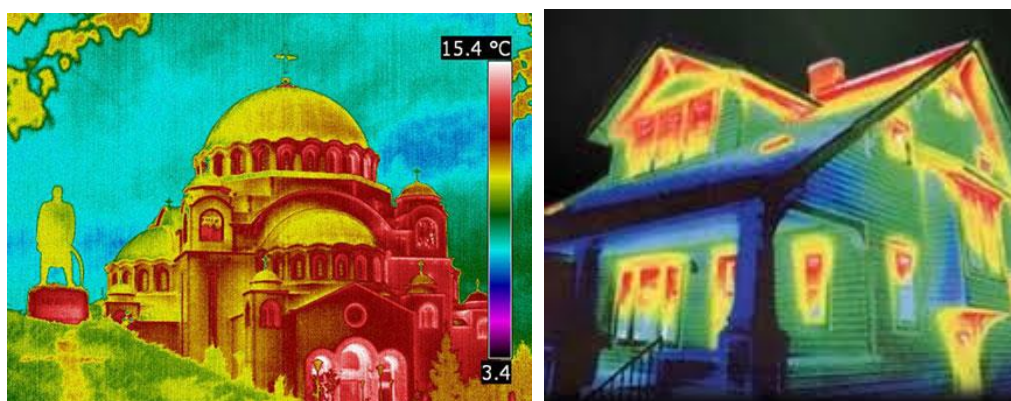
Термална или инфра црвена енергија је део електромагнетног спектра невидљивог за људско око, који се везује за извор, (Слика 42). За разлику од видљиве светлости у подручју инфра црвеног зрачења, сваки објекат са температуром изнад апсолутне нуле емитује енергију.



Слика 42. Спектар електромагнетног зрачења

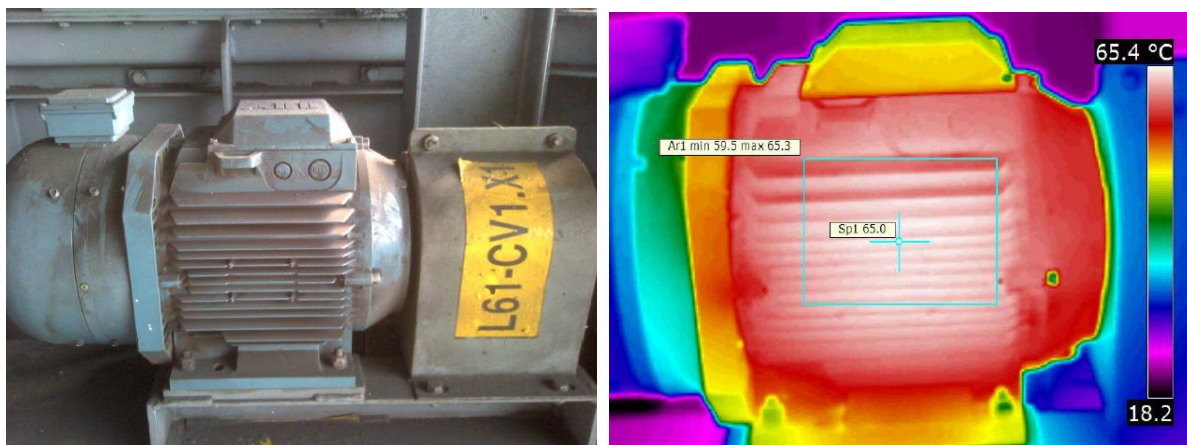
Део спектра који је видљив људском оку заузима уско подручје од 0.4 до 0.7 μm . Подручје инфра црвеног дела спектра налази се одмах иза видљивог дела спектра SW (Shortwave - подручје кратких таласа од 3 до 5 μm) и LW (Longwave- подручје дугих таласа од 8 до 14 μm).

Инфра црвена термографија као метода испитивања без разарања обезбеђује велики број инжењерских података о конструкционим детаљима грађевинских објеката и значајним карактеристикама објеката везаних за енергетска стања и губитке енергије у зависности од спољних услова. (Слика 43).



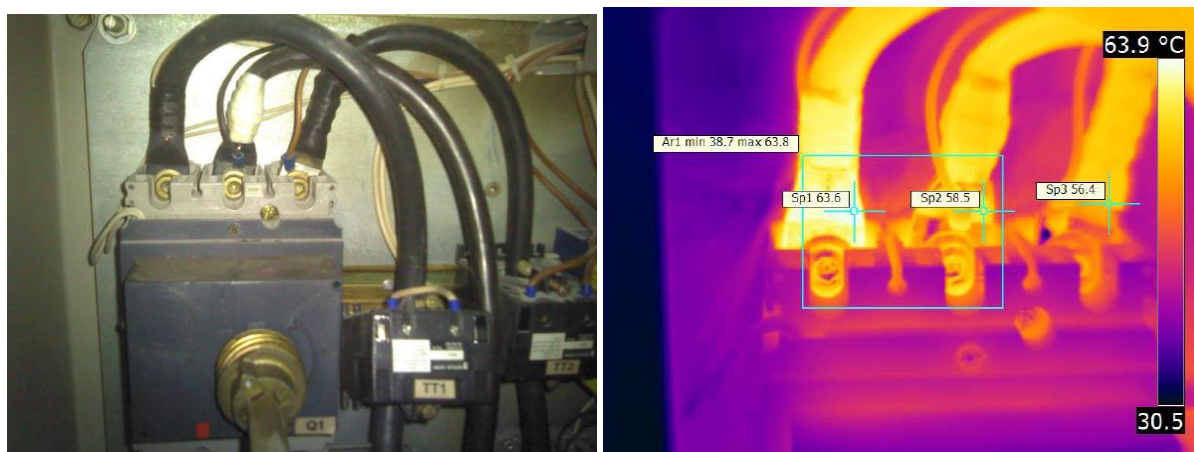
Слика 43. Примена термографије у грађевинарству

У машинству, односно у раду машинских ситема, термографија се користи код система грејања (лоша способност грејања огревних тела, лоша изолација, непроходни цевоводи и вентили), код мотора и електромотора (систем за хлађење мотора и уља) (Слика 44), код турбина (високе температуре уља и лежајева, пропуштање осовинских заптивка, код компресора и пумпи (прегрејавање лежајева и преноса), код резервоара течности и гасова (одређивање нивоа течне фазе, лоша изолација), код прегледа процесних и производних процеса, код прегледа електромеханичких механизма).



Слика 44. Грејање статора мотора-фотографија мотора (лево), термографски снимак (десно)

Термографија се веома често примењује и у електро енергетским системима за одређивање загревања појединих компоненти постројења и дистрибуционог система, неуједначених оптерећења и великих отпора спојних места, лоших прикључака на акумулаторима, хелија у кратком споју, ниског нивоа уља за хлађење у трансформаторима. [23]



Слика 45. Загревање спојних места у електро ормарићу

3.6.1. Подела термографских испитивања

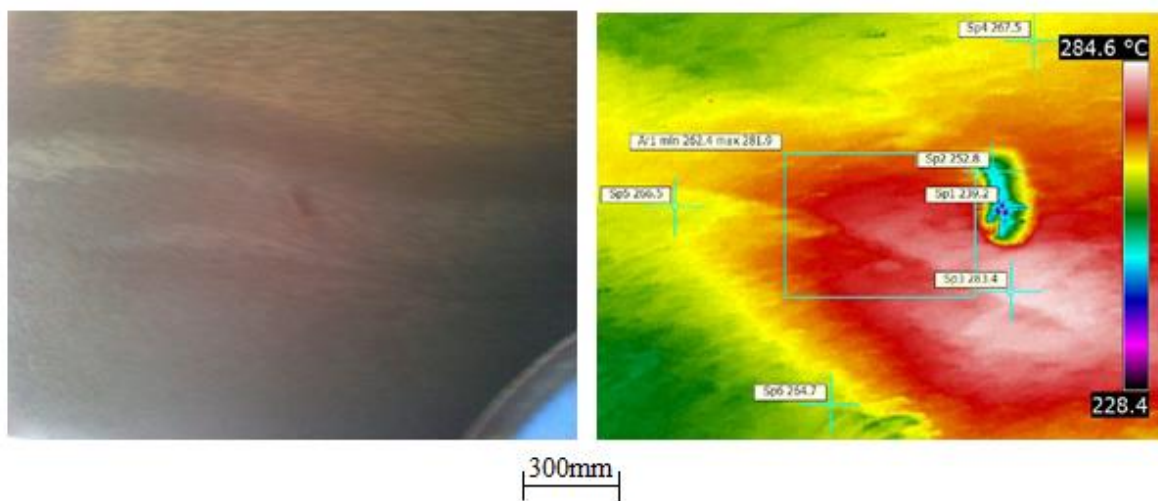
С обзиром на приступ мерењу и обраде података термографија се дели на квалитативну и квантитативну, ко и на пасивну и активну. [23]

Код квалитативне термографије се разматра температурна слика (термограм), само у смислу поређења температурних нивоа, (Слика 46).



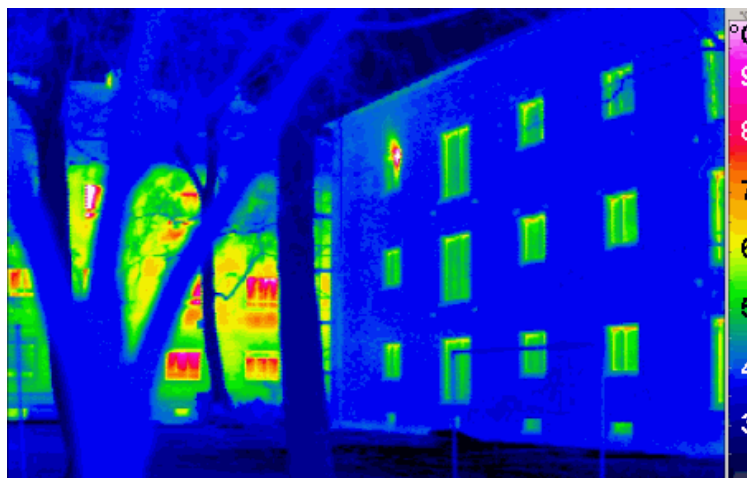
Слика 46. Одређивање нивоа клинкера у силосу применом термографије

Квантитативна термографија као резултат даје стварну температуру на површини посматраног објекта, а служи у сврху истраживања, развоја и слично, (Слика 47).



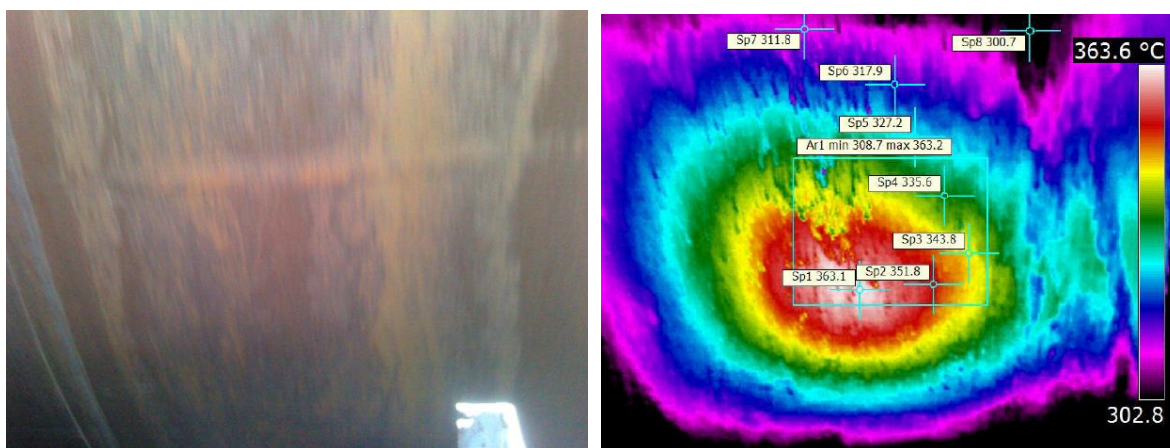
Слика 47. Фотографија плашта пећи клинкера (лево), термографски снимак пећи (десно)

Пасивном термографијом разматрају се објекти у стационарном стању на температурама различитим од температуре околине, (Слика 48).



Слика 48. Пример пасивне термографије

Активна термографија заснива се на разматрању динамичког понашања површине објекта који је изложен деловању топлотне енергије, (Слика 49).



Слика 49. Повећана температура (исијавање) флеке код прстена пећи клинкера, фотографија флеке (лево), термографски снимак флеке (десно)

3.6.2. Предности и недостаци термографских испитивања

Предности термографских испитивања:

- приказују видљиву слику тако да се могу упоредити температуре на великој површини,
- способност снимања мете у кретању у реалном времену,
- могу се користити за мерења неприступачних и опасних места,
- могу се користити да се нађу дефекти у металним деловима и
- могу се користити за бољи вид у мрачним подручјима.

Недостаци термографских испитивања:

- термалне камере су скупе,
- снимци се тешко интерпретирају кад се ради о објектима са нехомогеним температурама,
- прецизна мерења омета неуједначена емисија и рефлексија од других површина,
- већина камера има $\pm 2\%$ прецизности или горе и нису прецизне као контактне методе и
- могу директно опажати само површинску температуру.

4.0. Примена метода без разарања на испитивање заварених спојева

Методe испитивања без разарања и контрола завареног споја се могу примењивати у свим фазама настајања (само бесконтактне методe без разарања) и експлоатације завареног споја, а посебна пажња се обраћа приликом израде одговорних конструкција и делова.

Основни задатак контроле заварених спојева је да се створе услови за несметано извођење завареног споја, а не откривање или отклањање грешака насталих у завареном споју.

Испитивање заварених спојева без разарања спада у последњу фазу контроле завареног споја и задатак ових испитивања је управо откривање грешака насталих у завареном споју услед лошег извођења заваривања, или услед услова приликом експлоатације завареног споја.

У свим фазама где се води рачуна о квалитету заваривања, треба да буде спроведен поступак контроле завареног споја у процесу његовог настајања, јер заварени спојеви као елементи морају да поседују одговарајући степен поузданости.

4.1. Поступак контроле завареног споја

Постоје три карактеристичне фазе у којима се изводи контрола квалитета заварених спојева [7]:

- пре почетка заваривања,
- у току извођења заваривања и
- после завршеног заваривања.

Контрола пре заваривања

Ова контрола захтева нарочиту опрезност, иако се у пракси овом кораку некад не придаје велики значај. Контрола пре заваривања обухвата контроле: основног и додатног материјала, технолошког редоследа заваривања, поступка заваривања, заваривача, машина и уређаја, извођења и температуре предгрејавања и друго.

Контрола током заваривања

У току заваривања пажњу треба обратити на савесно извршавање поступка, јер ће од тога у највећем делу зависити квалитет извршеног заваривања. Због таквог рада међуфазна испитивања без разарања су само нужна потврда да је заваривање извршено беспрекорно. Треба само напоменути да се прескакање и изостављање операција контроле може вратити на најнеугоднији начин, у облику грешке у завареном споју.

Контрола после заваривања

Ако су савесно и доследно спроведени радови из претходних фаза, поступци контроле после заваривања требало би да буду прописани само за доказивање квалитета изведеног посла. Контрола квалитета завареног споја после заваривања може се поделити на контролу квалитета методама без разарања и контролу квалитета методама са разарањем.

4.2. Испитивање заварених спојева визуелном методом

Испитивањем заварених спојева визуелном методом могу се открити разне површинске грешке, веће прслине, непроварен корен, неправилности облика лица и корена зава, (Слика 50).



Слика 50. Грешка на вару завареног споја уочена визуелном методом испитивања

Све ове грешке могу се свести на минимум или се у потпуности избећи уколико се поштују наведени кораци контроле у току заваривања, али је такође неопходно искуство и вештина заваривача. На слици 51 приказани су један исправан и два неисправна пробна вара чији квалитет такође зависи и од брзине заваривања.



Слика 51. Квалитет вара у зависности од брзине заваривања

Ако се изузме сам чин заваривања визуелна контрола је најважнији и најбитнији фактор у настајању завареног споја. То је једина од свих метода без разарања којом се може уочити, предвидети узрок и место настајања грешке. Због тога визуелној контроли треба придати првенствено значење међу свим методама испитивања без разарања. [7]

За визуелну контролу површина треба да буде чиста, а светлост довољно јака. Ова метода испитивања релативно је јефтина, не одузима много времена, а може дати врло корисне информације како о квалитету заварених спојева, тако и о потреби контроле неком другом методом испитивања. За помоћ код визуелне контроле у скученим и неприступачним деловима конструкције користе се различита помагала (која су детаљно описана у глави 3.1. овог рада), а као локална осветљења користе се стробоскопи и рефлектори.

Испитивање заварених спојева визуелном методом је неизоставан део превентивног одржавања. Визуелни преглед је обавезан за сваки застој критичне опреме у циљу дефинисања места која захтевају корективно одржавање.

На слици 52 приказана је пећ клинкера са сателитима за хлађење, која представља кључну опрему сваке фабрике цемента и без које је немогуће произвести цемент, па се самим тим сврстава у најкритичнију опрему када су у питању фабрике цемента.



Слика 52. Пећ клинкера са планетарним хладњаком

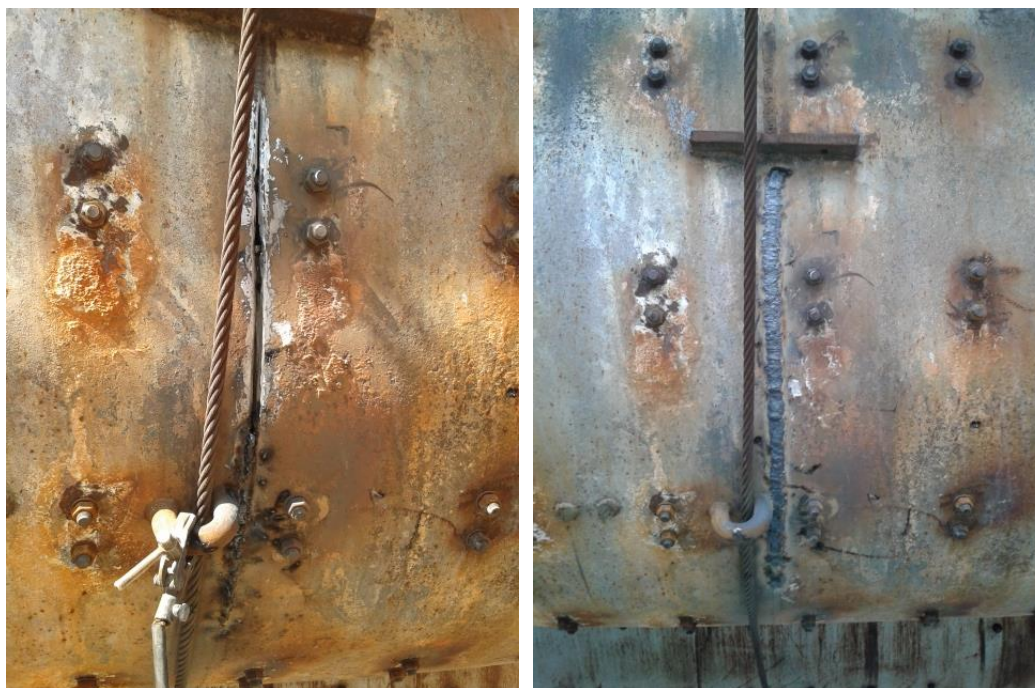
На сликама 53 и 54 приказане су прслине откривене у току испитивања визуелном методом на сателитима за хлађење пећи клинкера.

На слици 53 (лево) приказана је прслина у зони утицаја топлоте на већ постојаћем вару на компензатору сателита, која је настала услед дејства високе температуре и замора материјала. Прслина је успешно санирана и извршено је поновно заваривање специјалном ватроотпорном електродом, што је и приказано на слици 53 (десно).



Слика 53. Прслина у зони утицаја топлоте вара на компензатору сателита (лево), заварен компензатор ватроотпорном електродом (десно)

На слици 54 (лево) приказана је прслина настала на вару плашта сателита, која је већ обрушена и спремна за санирање. Прслина је настала на месту спајања сегмената сателита, такође у зони утицаја топлоте већ постојећег вара. Слика 54 (десно) приказује нови изглед завареног споја.



Слика 54. Обрушена прслина припремљена за санирање (лево), нови изглед завареног споја на плашту сателита (десно)

4.3. Испитивање заварених спојева методом течних пенетраната

Основна карактеристика методе течних пенетраната је примена течности које су на бази лаких уља и називају се пенетратима. Њихов задатак је да продиру у шупљине и испуне их. После тога се извлаче из шупљине на одговарајући начин и ако га успиемо учинити видљивим, стварају се услови за пенетрантску методу контроле. Ова контрола се често користи код испитивања заварених спојева на конструкцијама. [7]

Пенетранти, с обзиром на наношење и уклањање с површине, се могу поделити на водоиспариве, (могу се уклонити сунђером који је натопљен водом или туширањем) и пенетранте са накнадним емулгирањем. За њихово уклањање користе се посебне течности.

Поступак њиховог кориштења састоји се у следећем:

- на претходно очишћену и одмашћену површину наноси се пенетрант (обично црвене боје),
- после пенетрирања у евентуалну прслину (10 до 15 минута),
- он се одстрањује одговарајућом методом (водом, сувом крпом),
- код пенетраната који се одстрањују водом треба бити пажљив и млаз воде усмерити паралелно са површином лима, да не би истиснуо пенетрант из прслине,
- после сушења површине лима (сувом крпом) наноси се развијач (обично је беле боје),
- он извлачи пенетрант из прслине, па је на белој површини лима лако уочљива црвена линија.

На сликама 55 и 56, приказано је испитивање течним пенетрантима по фазама. Испитивање је извршено у циљу утврђивања постојања прслина на завареним спојевима ножева такозваног “шредера”. Ова машина служи за уситњавање алтернативног горива које се цевоводом спроводи до пећи клинкера.



Слика 55. Одмашћена и очишћена површина која се испитује (лево), извршено наношење пенетранта на испитивану површину (десно).



Слика 56. Извршено наношење развијача на испитивану површину (лево), извлачење пенетранта и могуће уочавање прслине на испитаној површини

На сликама 57 и 58, приказано је испитивање места на коме се сумња да постоји прлина на плашту пећи клинкера. После испитивања утврђено да прслине на плашту пећи не постоје.



Слика 57. Испитивано место пре испитивања (лево) и после испитивања (десно)



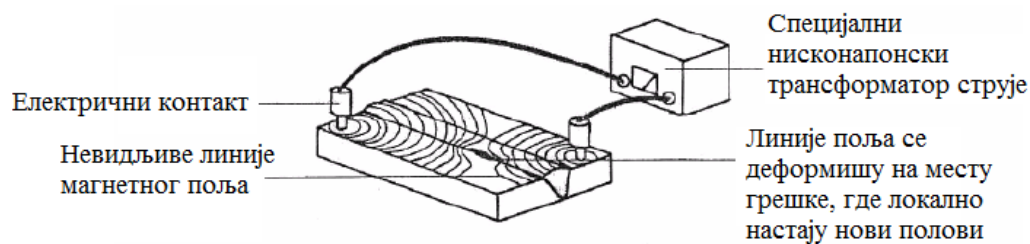
Слика 58. Наношење развијача са унутрашње стране плашта пећи клинкера.

4.4. Испитивање заварених спојева магнетном методом

Површинске прслине на материјалима који се могу намагнетисати добро се откривају наношењем магнетних честица. Откривање прслина се заснива на повећаном магнетном отпору за линије магнетног поља на месту прслине.

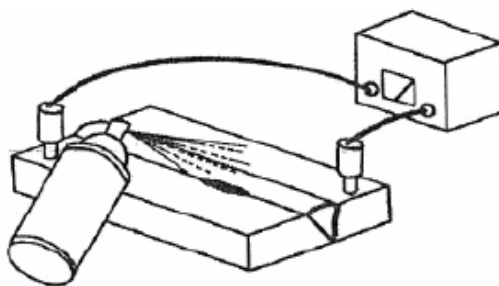
Ова метода испитивања је најраспрострањенија у практичној употреби, јер има релативно ниску цену и једноставан поступак. Помоћу ове методе се лако откривају грешке типа прслина, зареза и већих укључака, нарочито оних уз или близу површине прегледа. Највећи недостатак ове методе је што не одређује све димензије грешке и то што не може деловати дубоко.

Испитивање заварених спојева магнетном методом користи се за откривање површинских и подповршинских грешака (приближно до дубине 6 mm) код феро магнетних материјала, заснива се на принципу магнетске индукције. Око инструмента који се користи за испитивање пролази електрична струја и формира се магнетно поље (једносмерне или наизменичне струје), чије магнетне линије силе пролазе између осталог и кроз феромагнетни материјал који се испитује, (Слика 59).



Слика 59. Поступак испитивања завареног споја магнетним честичама

Да би се открила прслина потребно је да смер линија магнетног поља буде што више усмерен на прслину. Наношењем магнетних честица (суве ситне честице или честице помешане са водом) по површини испитиваног материјала, честице се, ако постоји прслина, усмере ка смеру кретања линија магнетног поља и ситне честице се окупе око прслине, (Слика 60).



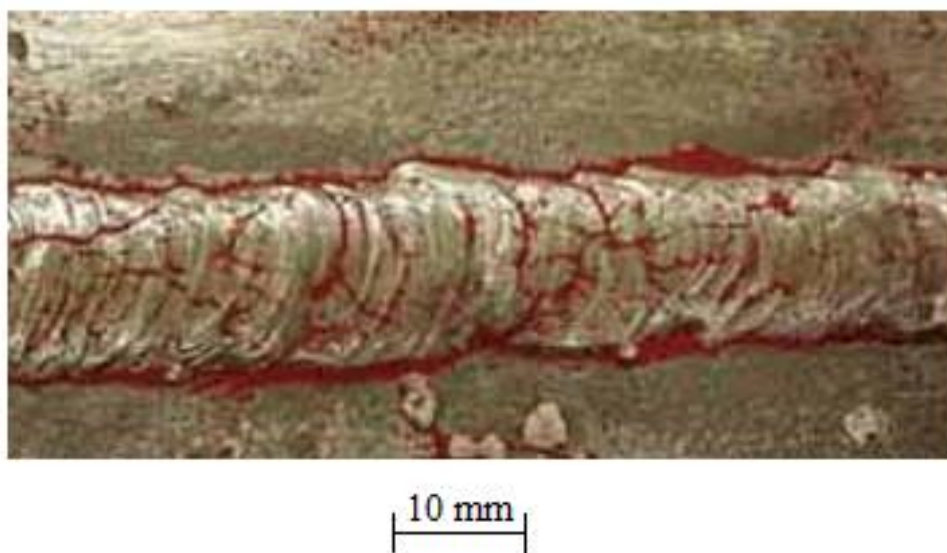
Слика 60. Наношење магнетних честица на испитивани заварени спој

На слици 61 приказан је схематски принцип испитивања методом магнетним честицама и индикација површинске прслине.



Слика 61. Схематски приказ принципа испитивања магнетним честицама

Индикације се јављају директно на испитиваној површини и рефлектују се као слике стварног облика грешке. Практично нема ограничења у величини или облику испитиваних објеката. Није потребно претходно чишћење. Могуће је открити чак и прслине које су испуњене другим материјалом. На слици 62 приказана је фотографија прслина на испитаном завареном споју.



Слика 62. Прслине на завареном споју уочене применом магнетне методе

Ова метода се углавном користи код превентивног одржавања као део редовне провере и одржавања опреме у циљу испитивања заварених спојева одговорних конструкција или делова. На сликама 63 и 64, приказана је практична примена испитивања заварених спојева магнетном методом.



Слика 63. Превентивно испитивање завареног споја магнетном методом



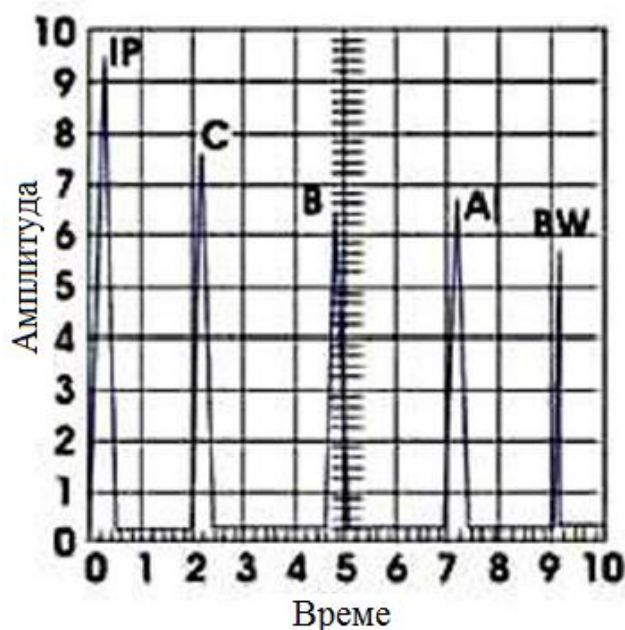
Слика 64. Испитивање заварених спојева цевовода магнетном методом

4.5. Испитивање заварених спојева ултразвучном методом

Испитивање заварених спојева ултразвучном методом заснива се на принципу слања звучних таласа одређеног спектра фреквенције кроз шав завареног споја који се испитује. Ту се подразумева тражење грешака у шаву завареног споја помоћу ултразвука или другим речима, помоћу ултразвучне дефектоскопије. Од извора ултразвука шире се ултразвучни таласи кроз материјал који се испитује. Ако у материјалу постоји грешка, од ње ће се ултразвучни таласи одбити и указати на њено постојање.

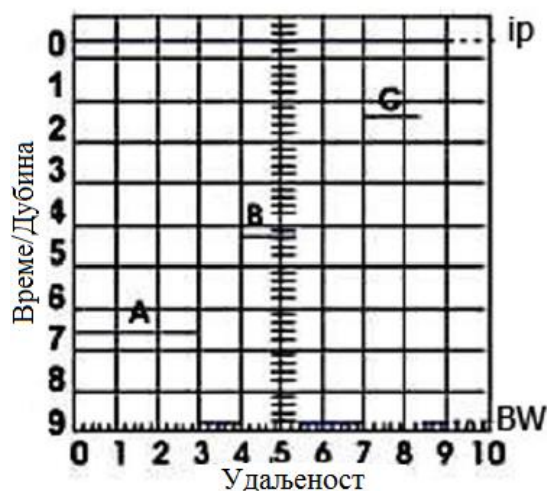
Приликом испитивања заварених спојева ултразвучном методом добијени резултати могу се приказати на неколико начина у зависности од информација које желимо да прикупимо приликом испитивања. [18]

А - приказ је графички приказ који се заснива се на анализи амплитуде примљеног сигнала. Код А - приказа амплитуда рефлектованог сигнала је функција дубине и разлике у импендансама, (Слика 65). А – приказ се може користити на пример за испитивање заварених спојева феритних и неферитних материјала на цевоводима, резервоарима, мостовима.



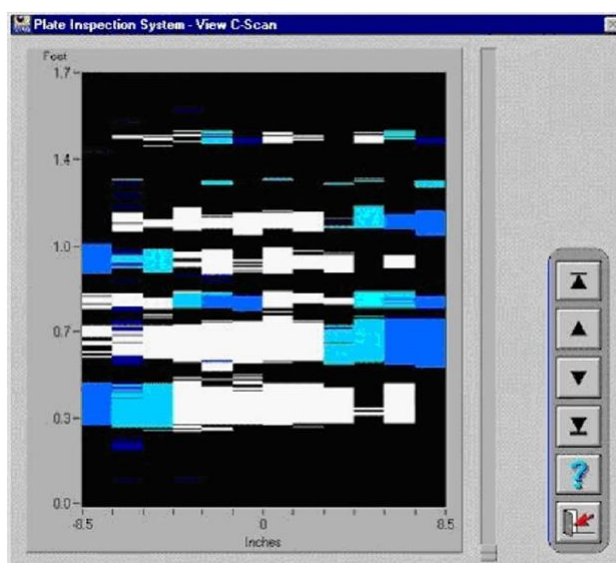
Слика 65. А - приказ, IP-иницијални импулс, А, В, С-сигнал грешке у вару, BW-сигнал краја испитиваног вара

Б - приказ је дводимензионални графички приказ у правоугаоном координатном сиситему, где је време путовања ултразвучних импулса приказано дуж једне осе (х-осе), а сигнал сонде је приказан дуж друге осе (у-осе). Б - приказом добије се дубина на којој се налази грешка, и њене приближне димензије у смеру испитивања. Б - сликом се приказује попречни пресек испитиваног завареног споја. Рефлектовани таласи представљени су као тачке различитог интензитета, а функције су амплитуде, (Слика 66).



Слика 66. Б - приказ, IP - иницијални импулс, А, В, С - сигнал од грешке који се налази на удаљености g од почетка скенирања, дужине l , на дубини d у времену t , BW - сигнал краја испитиваног вара

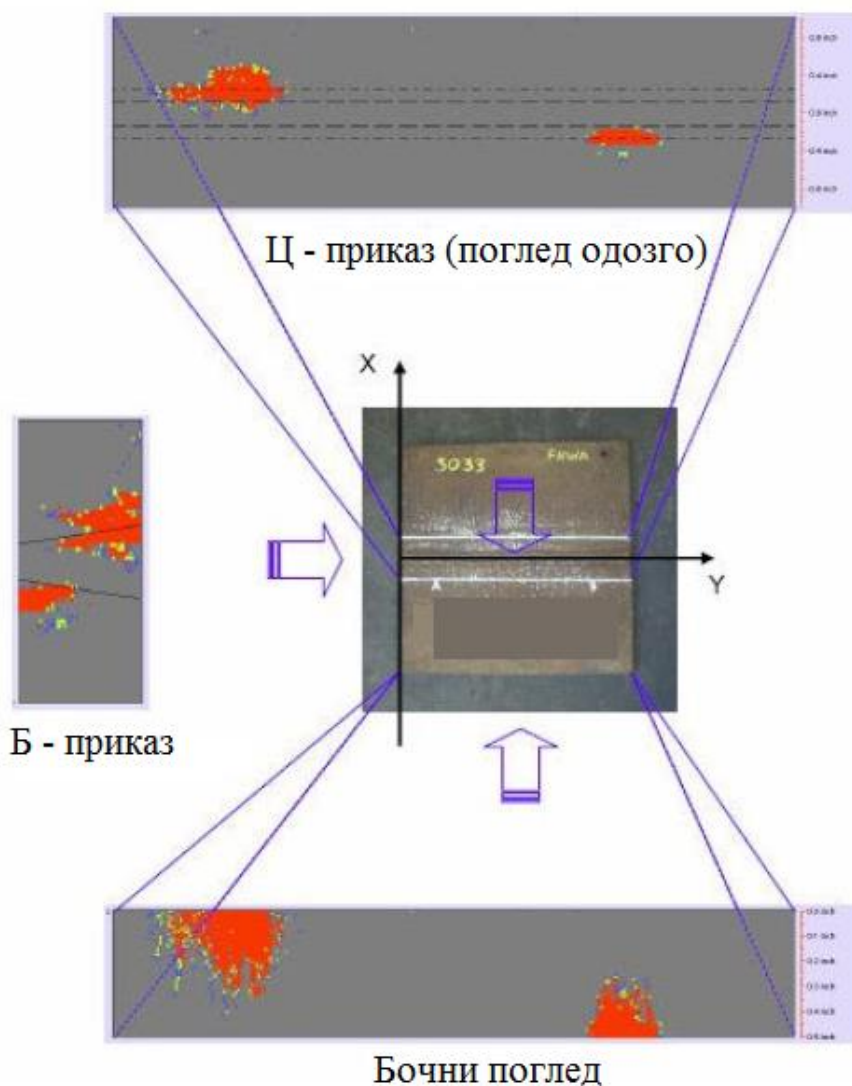
Ц - приказ је дводимензионални графички приказ, у којем су дисконтинуитети у завареном споју приказани у погледу одоздго. Ц - приказ се добија пројекцијом геометрије дисконтинуитета у вару на хоризонталну раван завареног споја. Ц - приказ даје информацију о положају и величини индикације дисконтинуитета. Ц - приказ је сличан стандардном радиографском снимку. Испитивање са Ц - приказом користи се најчешће за откривање грешака насталих у производњи, при експлоатацији производа и откривање грешака у основном материјалу.



Слика 67. Ц - приказ испитиване плочице

Д - приказ је дводимензионални графички приказ сличан Ц - приказу, али даје и информацију о дубини на којој се налази дисконтинуитет. Да би се добила та информација потребна је информација о протеклом времену приликом слања ултразвучног таласа (почетног импулса) са предајника и примљеног рефлектованог ултразвучног таласа (еха) од стране пријемника.

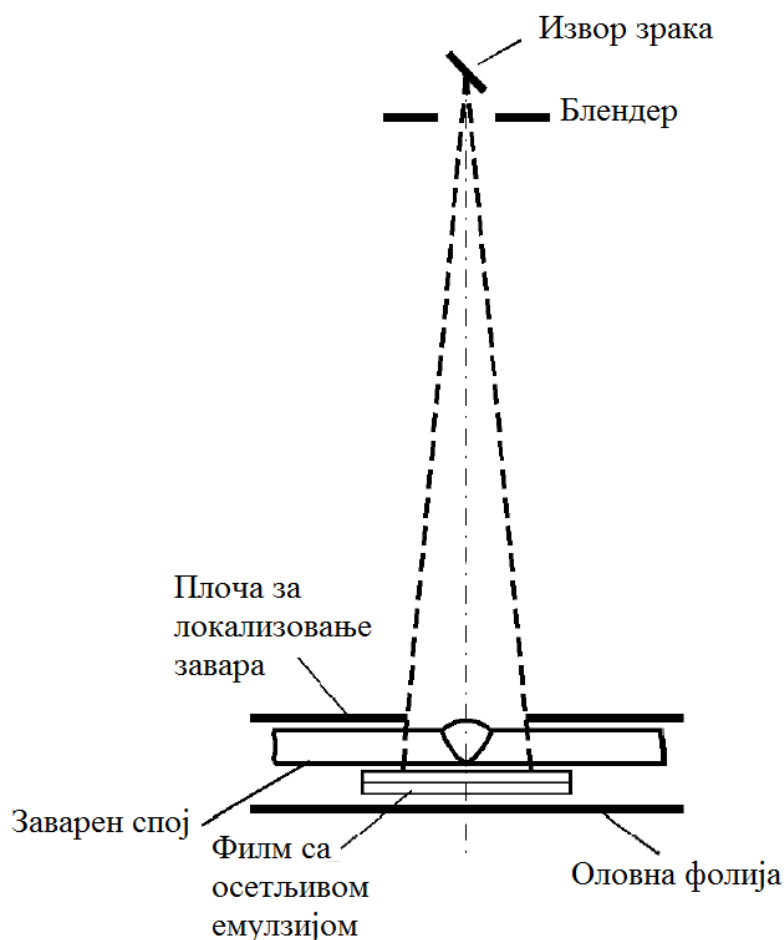
П - приказ приказује геометрију дисконтинуитета у материјалу у три димензије. П - приказ је пројекција резултата Б - приказа која је изведена у погледу одозго на заварени спој, на било коју страну завареног споја. Употребљава се за тродимензионалну визуелизацију грешака или корозије. На слици 68 приказан је П-приказ који се састоји од три пројекције : Ц-приказа (поглед одозго), Б приказа (поглед од позади) и бочног погледа.



Слика 68. П - приказ завареног споја са три пројекције

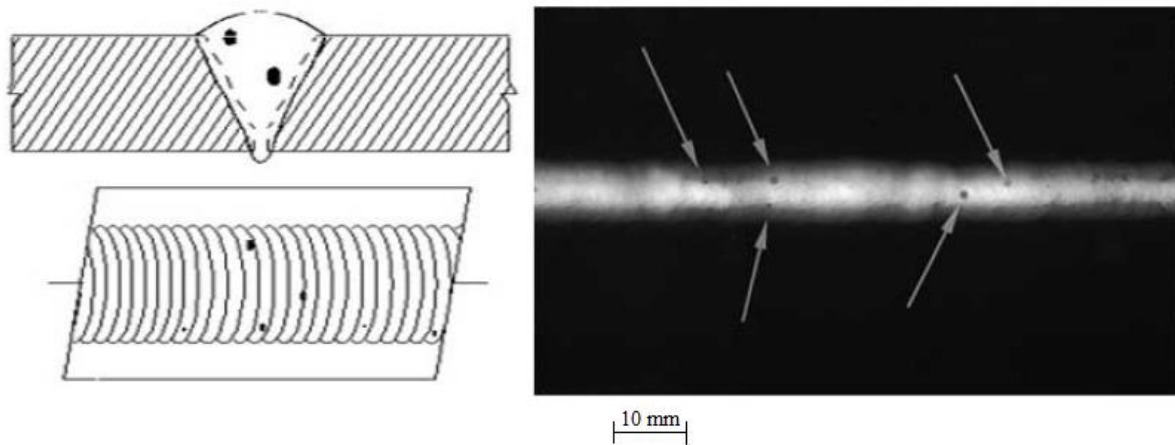
4.6. Испитивање заварених спојева радиографском методом

Материјали у зависности од густине и дебљине апсорбују различиту вредност рентгенских или гама зрака које пролазе кроз испитивани заварени спој. Ако узорак завареног споја који се испитује није хомоген односно садржи неку врсту дисконтинуитета, зраци ће кроз такве промене у материјалу лакше или теже пролазити што ће се видети на радиограму као светлија или тамнија подручја. На пример, прслине у материјалу на радиограму се виде као тамнија подручја у односу на остатак радиограма. На слици 69 схематски је приказан принцип испитивања завареног споја радиографском методом са позицијама које представљају главне компоненте ове методе испитивања.

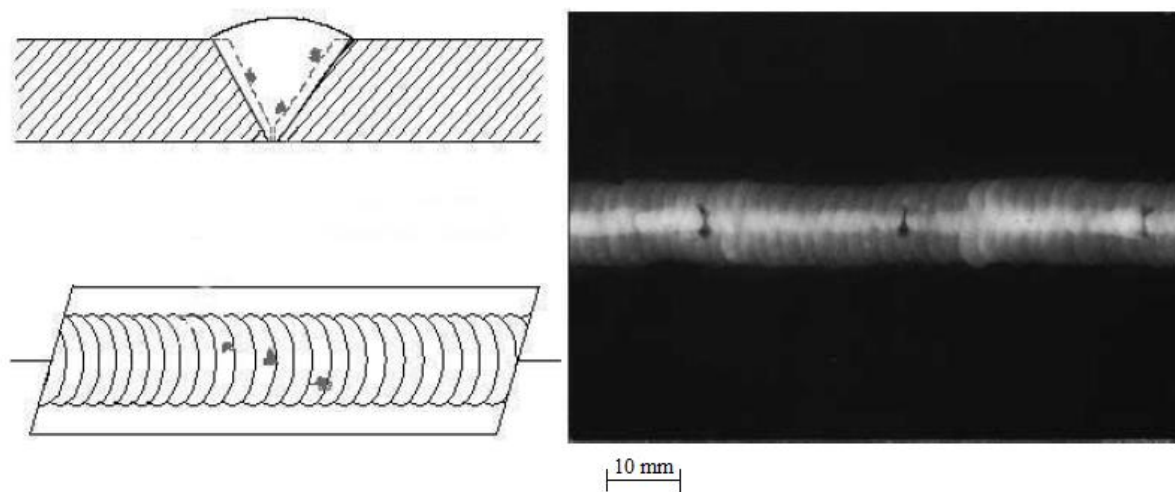


Слика 69. Схематски приказ испитивања завареног споја радиографском методом

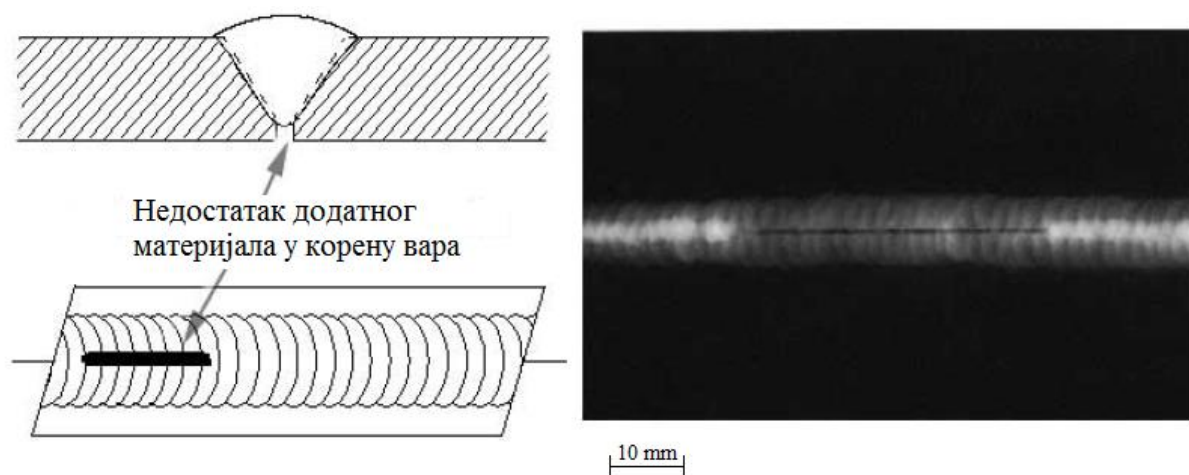
На сликама 70 до 72, упоредо су приказани цртежи и радиографи карактеристичних грешака у завареним спојевима.



Слика 70. Пример порозности у завареном споју

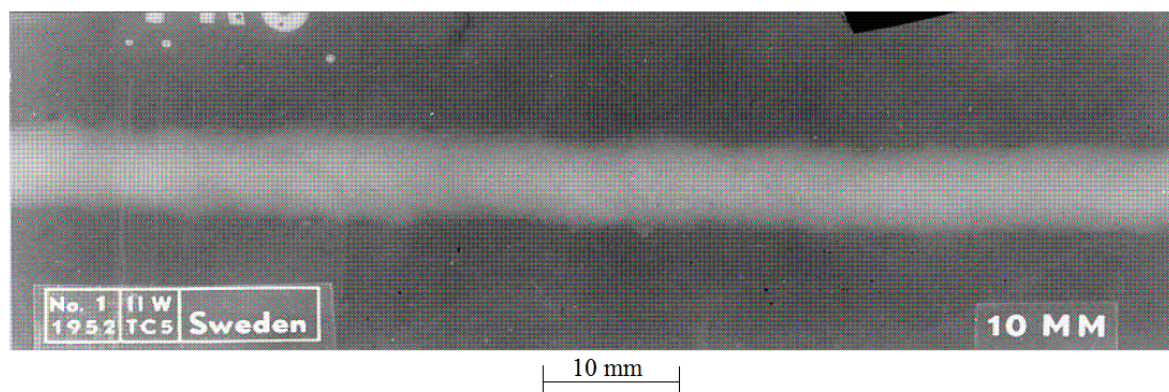


Слика 71. Укључци троске у завареном споју

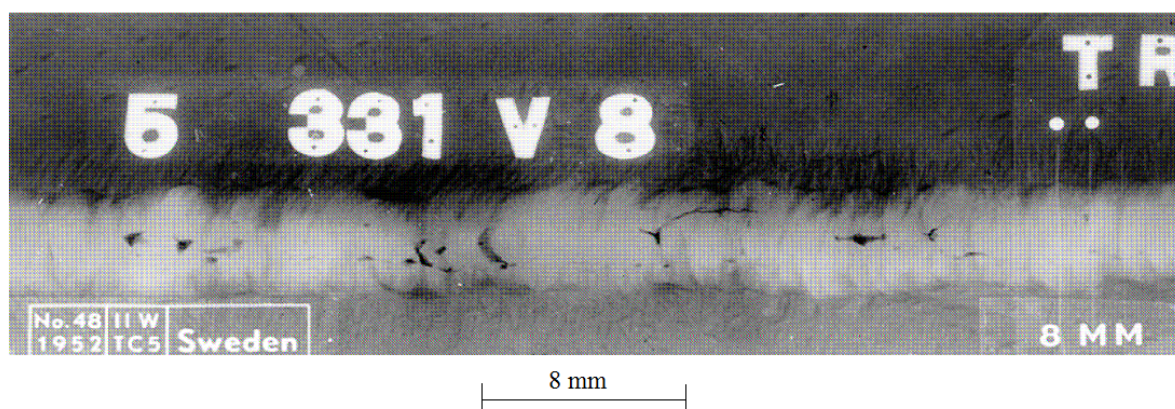


Слика 72. Непроварен корен вара завареног споја

Слике 73 до 75, приказују три радиограма завареног споја на којима је различито изражено место вара. Варови су изведени различитим поступцима заваривања. Радиографи су начињени у сврху откривања прслина и неправилности унутар вара, које се и виде на слици у облику црних неправилних облика у вару, док је вар светлије боје у односу на остатак материјала. [18]



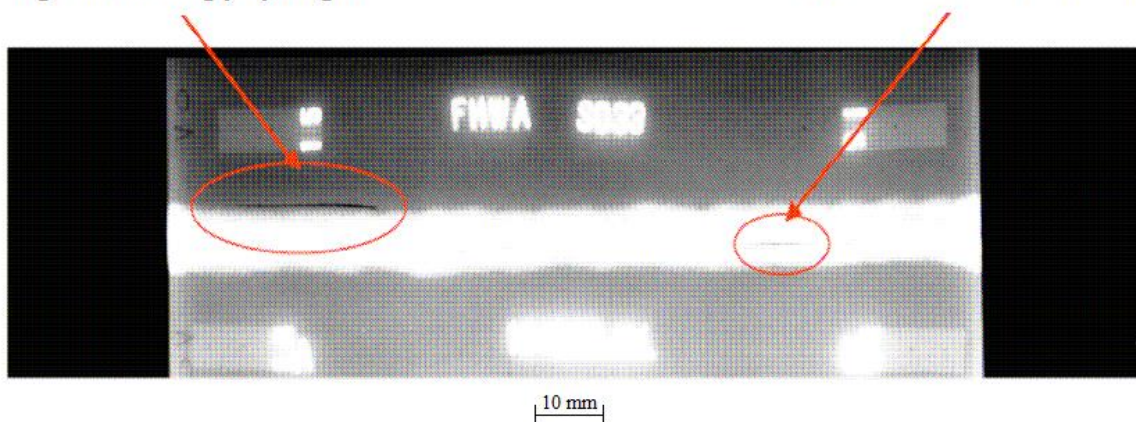
Слика 73. Исправно изведен вар завареног споја



Слика 74. Заварен спој са грешкама у вару

Прслина на рубу вара

Прслина у корену вара



Слика 75. Вар са грешком на рубу и у корену вара

5.0. Закључак

Чињеница је да савремену индустрију није могуће замислити без примене метода испитивања без разарања. У савременој индустрији се све више улаже и води рачуна о развијању превентивног одржавања. Основна сврха постојања превентивног одржавања је да превентивно делује и да обезбеди максималну функционалност и економичну исплативост опреме. То не значи да је задатак превентивног одржавања да само што дуже одржи орему у раду, већ и да благовремено предвиди могући отказ опреме, или читавог система, и да припреми план корективног деловања на ту орему у случају отказа.

За овакво праћење стања опреме примена методе испитивања без разарања су неопходне. У раду су објашњени принципи рада најчешће коришћених метода испитивања и представљене су карактеристичне предности и недостаци ових метода. Такође је на практичним примерима објашњена употреба метода испитивања које се користе у фабрици цемента.

Испитивање заварених спојева методама без разарања се врло често користи за испитивање старих заварених спојева који су дуго времена у фази експлоатације, али се исто тако испитују и заварени спојеви на новим деловима или конструкцијама у циљу потврђивања квалитета завареног споја. Испитивање заварених спојева који нису били у фази експлоатације врши се уколико се због нечега сумња да је заварен спој лоше изведен, на пример, због лошег искуства везаног за специфичну орему или због промене добављача опреме који је нов на тржишту.

Извештај испитивања заварених спојева без разарања који је издао Институт за испитивање материјала у Београду (ИМС), представљен је као прилог у овом раду. Испитивање је вршено на четири заварена споја плашта пећи најпре визуелном методом, а затим електромагнетном и ултразвучном методом. Резултати испитивања указују да нису утврђене грешке у хомогености материјала испитиваних заварених спојева.

6.0. Прилог – Извештај о испитивању плашта пећи клинкера



INSTITUT IMS AD
BEOGRAD

Institut za ispitivanje materijala a.d. Beograd

Centar za metale i energetiku

Institute for testing materials, Belgrade

Center for metals and energetics

IZVEŠTAJ O KONTROLI I ISPITIVANJU

Control and Test Report

Br. / No: VT 005/ 11, MT 015/ 11, UT 012/ 11

Grupa gradnje
Group of construction

Peć

Predmet ispitivanja:
Test object:

Plasť

Naručilac:
Purchaser:

Holcim (Srbija) d.o.o.
35254 Popovac- Srbija

Zahtev/Ponuda/Ugovor:
Request/Contract N°:

Zahtev br. 42- 1543 od 16.02.2011.g.

Naš br. 42- 1543/ 11089 od 17.02.2011.g.

Ponuda br. 42- 20/ 42- 1653 od 21.02.2011.g.

Sadržaj:
Content:

Ukupno 6 strana

Total 6 pages

Izveštaj odobrio:
Approved by:

Direktor centra za metale i energetiku:



Mladen Mladenović, dipl.ing.

Beograd, mart 2011. godine



**INSTITUT IMS AD
BEOGRAD**

INSTITUT ZA ISPITIVANJE MATERIJALA A.D. BEOGRAD
Beograd, Bulevar vojvode Mišića 43
tel: (011) 2650 322 fax: (011) 3692 772, 3692 782
e-mail: office@institutims.co.rs, www.institutims.co.rs

SADRŽAJ

CONTENT

- 1. Izveštaj o vizuelnom ispitivanju**
Visual testing report
- 2. Izveštaj o ispitivanju na površinske greške**
Surface Crack Examination Record
- 3. Izveštaj o ispitivanju ultrazvukom**
Ultrasonic Examination Record

Prilog izveštaju: /

Appendix:



INSTITUT IMS AD
BEOGRAD

INSTITUT ZA ISPITIVANJE MATERIJALA A.D. BEOGRAD
Beograd, Bulevar vojvode Mišića 43
tel: (011) 2650 322 fax: (011) 3692 772, 3692 782
e-mail: office@institutims.co.rs, www.institutims.co.rs

Naručilac Purchaser		Holcim (Srbija) d.o.o. 35254 Popovac- Srbija		IZVEŠTAJ O VIZUELNOM ISPITIVANJU <i>Visual testing report</i>		Izveštaj Broj Record No.		VT 005/ 11	
Proizv. Pogon Plant		Holcim- Popovac		Fabrički Broj naloga Manufacturer's Order No:		Strana Page		3 od of 6	
Komponenta Component		Peć		Crtež Broj Drawing No		M ☐ P ☐ ²⁾ Rev.		Grupa gradnje Group Nr.	
Polu / Finalni proizvod / Deo ¹⁾ Semi-Finished Product / Subject ¹⁾		Količina Quantity		Proizv./Ser./Ident. Br ²⁾ Manuf. Serial./Ident No. ²⁾		Specifikacija Specification		Rev.	
Proizvođač Manufacturer		Holcim (Srbija) d.o.o.		Materijal Material		Procesna spec. Process Spec.		Rev.	
Pozicija / Nalog Broj Order No / Item No.		Zavareni spojevi plašta Weld joints of mantle		Termička obrada Heat treatment		Da Yes ¹⁾		Ne No ¹⁾	
Stanje površine Surface condition		obrušeno sanded		Suprotna strana Opposite Surface		Procedura ispitivanja Examination Procedure		Rev.	
						SRPS EN 970: 2003			
						Kriterijum prihvatljivosti Acceptance level		Rev.	
						EN ISO 5817: 2003			
Tip uređaja / Proizvođač Prüfgerätetyp/Hersteller									
Rezultati ispitivanja / Test result									
Nisu uočena mehanička oštećenja, deformacije, inicijalne prsline. Uočena su koroziona oštećenja . Nadvišenja zavarenih spojeva su u granicama predviđenih standardom. <i>There are no signs of mechanical damage, deformations, initial cracks. Corrosion damage are determinated.</i> <i>Excess weld metal is in accordance with standard.</i>									
Napomena / Remarks:						☒ Prihvatljivo / Acceptable ☐ NEprihvatljivo / Not Acceptable ☐			
Ispitivanje izvršio: Operators:				Overa Institut – IMS Approved by Institute - IMS				Za Investitora	
Potpis Signature				Potpis Signature				Potpis Signature	
Mesto Place				Mesto Place				Mesto Place	
Datum Date				Datum Date				Datum Date	
Z. Blagojević, tehn.				M. Mladenović, dipl.ing.					
Popovac				Beograd					
17- mart- 2011.g.				17- mart- 2011.g.					
Legenda: 1) Delete where not applicable; 2) Please tick where appropriate M = Manufacturer; P = Purchaser									



INSTITUT IMS AD
BEOGRAD

INSTITUT ZA ISPITIVANJE MATERIJALA A.D. BEOGRAD
Beograd, Bulevar vojvode Mišića 43
tel: (011) 2650 322 fax: (011) 3692 772, 3692 782
e-mail: office@institutims.co.rs, www.institutims.co.rs

Naručilac Purchaser		Holcim (Srbija) d.o.o. 35254 Popovac- Srbija		IZVEŠTAJ O ISPITIVANJU NA POVRŠINSKE GREŠKE Surface Crack Examination Record		Izveštaj Broj Record No.		MT 015/ 11					
Proizv. Pogon Plant		Holcim- Popovac		Fabrički Broj naloga Manufacturer's Order No:		/		Interna oznaka Internal mark.		/			
Komponenta Component		Peć		Crtež Broj Drawing No		/		Rev.		Grupa gradnje Group Nr.		Plast peći	
Polu / Finalni proizvod / Deo ¹⁾ Semi-Finished Product / Subject ¹⁾		Količina Quantity		Proizv./Ser./Ident. Br ²⁾ Manuf. Serial./Ident No. ²⁾		/		Specifikacija Specification		/		Rev.	
Proizvođač Manufacturer		Holcim (Srbija) d.o.o.		Materijal Material		/		Procesna spec. Process Spec.		/		Rev.	
Pozicija / Nalog Broj Order / Item No.		Zavareni spojevi plašta Weld joints of mantle		Termička obrada Heat treatment		Da Yes ¹⁾		Ne No ¹⁾		Procedura ispitivanja Examination Procedure		Rev.	
Stanje površine Surface condition		obrušeno sanded		Temperatura površine Surface temperature		T < 5 5 < T < 50 T > 50		☐ ¹⁾ ☒ ☐		Kriterijum prihvatljivosti Acceptance level		Rev.	
MT		Metoda magnetisanja Method of magnetisation (DIN 54130) ³⁾		Elektromagnetna		Tip uređaja / Proizvođač Type of Equipment and Manufacturer		TIEDE TWM 220					
Prah Magnetic Particle Powder Trade Name and Manufacturer		/		Suspenzija Carrier Fluid and Additives		CGM							
Kontrasno sredstvo Contrast Medium		MR - 72		UV lampa / Proizvođač UV-Lamp Trade Name and Manufacturer:		TIEDE							
Rastojanje između polova Prod Spacing/Pole Spacing for SS/JE ³⁾		170 mm		Broj zavojnica Number of Wrappings ³⁾		/		Struja ³⁾ / Current for LK/SS ³⁾ Napon ³⁾ / Voltage for LK/SS ³⁾		Naizmenična AC 220 V			
Jačina polja / Tangent. Field Strength (kA/m) Uređaj / Measuring Tool		> 2kA/m /		Demagnetizacija Demagnetisation		Da / Yes ☐ ⁴⁾ Ne / No ☒		Prod Tip Material for SS ³⁾		/			
PT		Penetrantski sistem Examination System (DIN EN 571, Part 1) ³⁾		/		UV lampa / Proizvođač UV Lamp Trade Name and Manufacturer		/					
Penetrant i Proizvođač Penetrant and Manufacturer:		/		Odstranjivač i Proizvođač Surface Penetrant Remover and Manufacturer/		/		Razvijatelj i Proizvođač Developer and Manufacturer		/			
Priprema površine za ispitivanje Preliminary		/		Sušenje posle pripreme Drying after Preliminary		/		Vreme penetriranja(min.) Penetrant Application Dwell Time (min.)		/			
Odstranjivanje viška penetranta Surface penetrant Removal		/		Sušenje posle nanošenja Drying after Preliminary		/		Razvijatelj – Tip nanošenja Developer Application		sprej			
Vreme razvijanja (min) Evaluation Time (min)		/		5		10		15		20			
Glavne promene Major changes		Da / Yes ☐ Ne / No ☐		x		x		x		/			
Ocena Evaluation		☒ Prihvatljivo / Bez indikacija 3) Evaluation Acceptable / No indications 3) ☐ Prihvatljivo / Indikacija za registraciju Acceptable / Unacceptable indications ☐ Neprihvatljivo / Neprihvatljive indikacije su date u Prilogu Not Acceptable / Unacceptable Indications as given in Appendix /										Ponoviti ispitivanje / Reexamination required	
Opseg ispitivanja Extent of Examination		100 %		Napomene Remarks									
Ispitivanje izvršio: Operators:		Overa Institut – IMS Approved by IMS:		Za Investitora Approved by Investor:									
Potpis Signature		Z. Čiča, tehn.		Potpis Signature		M. Mladenović, dipl. ing.		Potpis Signature					
Mesto Place		Popovac		Mesto Place		Beograd		Mesto Place					
Datum Date		17. mart 2011.g.		Datum Date		18. mart 2011.g.		Datum Date					

1) Delete where not applicable; 2) Not necessary to enter heat or coupon No. etc. of PP enclosed; 3) Designation as per DIN 54130 or as per DIN EN 571 Part 1; 4) Please tick where appropriate, H = Manufacturer, B = Purchaser



INSTITUT IMS RD
BEOGRAD

INSTITUT ZA ISPITIVANJE MATERIJALA A.D. BEOGRAD
Beograd, Bulevar vojvode Mišića 43
tel: (011) 2650 322 fax: (011) 3692 772, 3692 782
e-mail: office@institutims.co.rs, www.institutims.co.rs

Naručilac Purchaser		Holcim (Srbija) d.o.o. 35254 Popovac- Srbija		IZVEŠTAJ O ISPITIVANJU ULTRAZVUKOM Ultrasonic Examination Record				Izveštaj Broj Record No.		UT 012/ 11																	
Proizv. Pogon Plant		Holcim- Popovac		Fabrički Broj naloga Manufacturer's Order No:		/		Interna oznaka Internal mark.		/																	
Komponenta Component		Peć		Crtič Broj Drawing No		/		Rev.		Grupa gradnje Group Nr.																	
Polu / Finalni proizvod / Deo ¹⁾ Semi-Finished Product / Subject ¹⁾		Količina Quantity		Proizv./Ser./Ident. Br. ²⁾ Manuf. Serial./Ident No. ²⁾		/		Specifikacija Specification		/																	
Proizvođač Manufacturer		Holcim (Srbija) d.o.o.		Materijal Material		/		Procesna spec. Process Spec.		/																	
Pozicija / Nalog Broj Order No / Item No.		Zavareni spojevi plašta Weld joints of mantle		Termička obrada Heat treatment		Da Yes ¹⁾		Ne No ¹⁾		Procedura ispitivanja Examination Procedure																	
Stanje površine Surface condition		obrušeno sanded		Suprotna strana Opposite Surface		/		Kriterijum prihvatljivosti Acceptance level		/																	
Tip uređaja / Proizvođač Type of Equipment and Manufacturer		USK 7 Krautkramer		Kontaktno sredstvo Couplant		ulje		Nivo kvaliteta Quality Level		2																	
Broj Spoja / Dela Weld or Part No.		Pravac pretraživanja Scanning Direction		Tip ispitne sonde Type of Search Unit/Designation		Kalibracija na opseg prostir. Calibration of Sweep Range		Podešavanje osetljivosti Calibration of Sensitivity		Dodatak pojačanja za registraciju na max. zvučnom putu Smax Increase in Gain for Recording at max. Beam Path Smax.		Prigušenje / Opadanje zadnjeg zida Sound attenuation/ Back attenuation															
MWB 70 4		200		BP		DGS		K2		DP		200		Ø1.5		180		40		+2±0.5		2		42		/	
MWB 60 4		125		BP		DGS		K2		DP		125		Ø1.5		120		34		±0.5		2		36		/	
Napomena Remarks:		Izvršeno je ispitivanje homogenosti materijala montažnih zavarenih spojeva interno obeležnih brojevima 1,2,3 i 4.		☒ Prihvatljivo / Bez indikacija za registraciju Acceptable / No Recordable Indications ☐ Prihvatljivo / Indikacije za registraciju Acceptable / Recordable Indications ☐ Neprihvatljivo / Not Acceptable																							
Ispitivanje izvršio: Operators:		Overa Institut – IMS Approved by Institute - IMS		Za Investitora Approved by Investor																							
Potpis Signature		Z. Blagojević, tehn.		Potpis Signature		M. Mladenović, dipl.ing.		Potpis Signature																			
Mesto Place		Popovac		Mesto Place		Beograd		Mesto Place																			
Datum Date		17- mart- 2011.g.		Datum Date		18- mart- 2011.g.		Datum Date																			
Legenda: 1) Delete where not applicable; 2) Not necessary to enter heat or coupon No. etc. if PP enclosed; 3) coupling and Acoustic Differences for Smax 4) Please tick where appropriate; M = Manufacturer; P = Purchaser																											



INSTITUT IMS AD
BEOGRAD

INSTITUT ZA ISPITIVANJE MATERIJALA A.D. BEOGRAD
Beograd, Bulevar vojvode Mišića 43
tel: (011) 2650 322 fax: (011) 3692 772, 3692 782
e-mail: office@institutims.co.rs, www.institutims.co.rs

Naručilac Purchaser		Holcim (Srbija) d.o.o. 35254 Popovac- Srbija		IZVEŠTAJ O ISPITIVANJU ULTRAZVUKOM Ultrasonic Examination Record						Izveštaj Broj Record No.		UT 012/ 11			
Proizv. Pogon Plant		Holcim- Popovac		Komponenta Component	Peć		Grupa gradnje Group Nr.		Plast peći		Pozicija / Nalog Broj Order No / Item No.		Zavareni spojevi plašta Weld joints of manife		
Broj Spoja / Dela Weld or Part No. / Quality Group	Indikacija Br. Indication No.	Pravac pretraživanja Scanning Direction	Tip ispitne sonde Search Unit Type / Segnation	Lokacija i orijentacija indikacije Location and Orientation of Indication						Rezultat Result		Ocena Evaluation		Napomena Remarks	
				Zvučni put Beam Path, PD, SPD mm	Rastojanje od referentne tačke Distance from Reference Point		Dubina sa: Depth from		Paralelna Parallel 2)	Poprečna Transverse 2)	dB iznad nivoa zapisa dB above Recording Threshold mm	Vrednost dužine / površine Recording Length or Area mm / mm2	Prihvatljivo Acceptable		Neprihvatljivo Not Acceptable
X mm	Y mm	Unutrašnje strane Inside mm	Spoljašnje strane Outside mm												
1,2,3 i 4	/	1,2	MWB 70 4	/	/	/	/	/	/	/	/	/	☒	/	/
1,2,3 i 4	/	1,2	MWB 60 4	/	/	/	/	/	/	/	/	/	☒	/	/
/															

NAPOMENA:

Izvršena ispitivanja:

1. Ultrazvučno ispitivanje homogenosti materijala montažnih zavarenih spojeva interno obeležnih brojevima 1,2,3 i 4.

Rezultati ispitivanja:

1. Nisu utvrđene greške u homogenosti materijala montažnih zavarenih spojeva interno obeležnih brojevima 1,2,3 i 4.

Ispitivanje izvršio Operator		Overa superkondole Institut – IMS Approved by Institute - IMS		Za Investitora Approved by Investor	
Potpis Signature	Z. Blagojević, teh.	Potpis Signature	M. Blagojević, dipl. ing.	Potpis Signature	
Mesto Place	Popovac	Mesto Place	Beograd	Mesto Place	
Datum Date	17. mart. 2011.g.	Datum Date	18. mart. 2011.g.	Datum Date	

Legenda: 1) Delete where not applicable; 2) For Welds only; M = Manufacturer; P = Purch

7.0. Литература

- [1] Перовић З., Заварене конструкције, Универзитет Црне Горе, Подгорица, 2002.
- [2] Јосифовић, Д., Испитивање машинских конструкција, Машински факултет, Крагујевац, 2000.
- [3] Милосављевић, М., М. Радојковић и Б. Кузмановић, Основи челичних конструкција, Грађевинска књига, Београд, 1986.
- [4] Мајсторовић А. и М. Јовановић, Основи заваривања, лемљењем и лепљења, Научна књига, Београд, 1991.
- [5] Јовановић М., В. Лазић Д. Адамовић и Н. Ратковић, Машински материјали, Универзитет у Крагујевцу, Машински факултет у Крагујевцу, Крагујевац, 2003.
- [6] Јовичић С., Основи поузданости машинских конструкција, Научна књига, Београд 1990.
- [7] Контрола и испитивање завареног споја,
http://www.sfsb.unios.hr/kth/zavar/na_dipl4/5.pdf (05.04.2014.)
- [8] Презентација са Грађевинског факултета у Загребу,
http://info.grad.hr/lres/odbf/files/1901/1-p-ni-kontrola_bez_razaranja.pdf (05.04.2014.)
- [9] Презентација са Машинског факултета Београд, Машински материјали 2,
<http://afrodita.rcub.bg.ac.rs/~rzan/NDT%20ZA%20VEZBU%203.pdf> (05.04.2014.)
- [10] Историјски развој метода без разарања,
<http://www.zuukinspection.com/ndtnde/history-of-non-destructive-testing/> (06.04.2014.)
- [11] Историја ултразвучног испитивања,
http://www.ob-ultrasound.net/ultrasonics_history.html (06.04.2014.)
- [12] Методе неразорних испитивања, презентација,
http://www.fsb.unizg.hr/ndt/download/teh3_2003-04pred.pdf (20.04.2014.)
- [13] Ђухера А. Испитивање пенетрантима, Семинарски рад, Машински факултет у Зеници, 2011.
www.am.unze.ba/ip/seminarski2011/Djuheric.pptx (20.04.2014.)
- [14] Дурмић А., Испитивање методом магнетних честица, семинарски рад,
http://www.am.unze.ba/ip/seminarski2011/Durmic_Amir.doc (20.04.2014.)
- [15] Поступци магнетног испитивања,
<http://www.rgf.bg.ac.rs/predmet/RO/VI%20semestar/Tehnicka%20dijagnostika/Predavanja/13.TehDi.pdf> (20.04.2014.)

- [16] Испитивање материјала без разарања, вежба 11,
<http://www.blmasinac.com/files/Vezba%2011%20-%20Ispitivanje%20materijala%20bez%20razaranja.pdf> (20.04.2014.)
- [17] Ултразвучна и радиографска испитивања
<http://www.rgf.bg.ac.rs/predmet/RO/VI%20semestar/Tehnicka%20dijagnostika/Predavanja/14.TehDi.pdf> (20.04.2014.)
- [18] Михљевић В., Детекција заваза у металним шавним цевима, Дипломски рад, Факултет машинства и бродоградње у Загребу, 2007.
<http://bib.irb.hr/datoteka/334676.Diplomski.pdf> (25.04.2014.)
- [19] Званична интернет страница, "ZAVAR" d.o.o., Ријека,
<http://www.zavar.hr/hrv/opsirnije/metodebezrazaranjakbr/radiografija/#.U5az69IW15B> (10.05.2014.)
- [20] Визуелни преглед, Неразорна испитивања, презентација,
<http://info.grad.hr/lres/odbfiles/1901/3-p-2-vizualni-pregled.pdf> (20.04.2014.)
- [21] Амина Р., Визуелно и оптичко испитивање, презентација,
<https://www.google.rs/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0CCIQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.unze.ba%2Fam%2Fip%2Fseminarski%25202012%2FPresentation%2520Razic%2520Amina.pptx&ei=ubWWU7KKFI6sOpbHgcAF&usg=AFQjCNGP3qdGNIN1We0N7nf-WE4LLGj7uw&bvm=bv.68445247,d.ZWU> (10.05.2014.)
- [22] Нинков Т., Булатовић В., Савремене методологије детекције енергетских губитака објекта урбаних средина, Факултет техничких наука, Нови Сад, 2011/2012.
<http://aliquantum.rs/wp-content/uploads/2011/12/II-DEO-Termalno-snimanje.pdf> (10.05.2014.)
- [23] Инфрацрвена термографија, презентација, Загреб, 2010,
<http://energonova-zagreb.eu/wp-content/uploads/prezentacije/Termografija%202010-04-30.pdf> (10.05.2014.)