

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу

Немања М. Стевановић

**Оцена квалитета заварених спојева
применом метода испитивања без
разарања
мастер рад**

Крагујевац, 2017.

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Војноиндустријско инжењерство

Ниво студија: Мастер академске студије

Модул: Пројектили и упаљачи

Предмет: Техничка дијагностика

Број индекса: 356/2016

Немања М. Стевановић

**Оцена квалитета заварених спојева
применом метода испитивања без
разарања
мастер рад**

Комисија за преглед и одбрану:

1. проф. др Петар Тодоровић, дипл. инж., ментор

2. _____

3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру овог мастер рада кандидат треба да преглед метода испитивања без разарања које се користе за оцену квалитета заварених спојева. Дати опис изабраних метода, навести њихове предности и недостатке.

Уколико постоји могућност дати приказ заварених спојева који су прошли захтеве квалитета по оцени неке од метода испитивања, као и заварених спојева који нису прошли захтеве квалитета.

Препоручена литература:

[1] Петар Тодоровић, Бранислав Јеремић, Иван Мачужић, Техничка дијагностика, 2009.

Крагујевац, октобар 2017.

Ментор:

Име, презиме и звање ментора

проф. др Петар Тодоровић, дипл. инж.

Изјава о самосталној изради рада

Изјављујем да сам овај мастер рад урадио самостално, служећи се стеченим знањем и искуством, као и наведеном литературом.

Немања Стевановић 356/2016

Садржај

1. УВОД	2
2. КОНТРОЛА ЗАВАРЕНИХ СПОЈЕВА	4
2.1. Обезбеђивање квалитета.....	4
2.2. Поступци контроле заварених спојева	4
2.2.1. Контрола пре заваривања.....	5
2.2.2. Контрола током заваривања	5
2.2.3. Контрола након заваривања.....	5
3. МЕТОДЕ ИСПИТИВАЊА ЗАВАРЕНИХ СПОЈЕВА.....	6
3.1. Методе испитивања са разарањем	6
3.2. Методе испитивања без разарања	6
3.2.1. Визуелно испитивање.....	8
3.2.2. Димензионо испитивање (контрола).....	12
3.2.3. Магнетно испитивање	13
3.2.4. Испитивање пенетрантима (ПТ).....	17
3.2.5. Ултразвучно испитивање	22
3.2.6. Радиографска испитивања	27
3.2.7. Метода вртложних струја	37
3.2.8. Испитивање пропусности	39
4. ГРЕШКЕ У ЗАВАРЕНИМ СПОЈЕВИМА	41
4.1. Врсте грешака у завареним спојевима	41
4.2. Критеријуми прихватања грешака.....	44
5. ЗАШТИТА НА РАДУ ПРИ ВРШЕЊУ ИСПИТИВАЊА	45
5.1. Заштита од зрачења	45
5.1.1. Удаљеност	45
5.1.2. Време.....	45
5.1.3. Апсорбери.....	46

6. ЗАКЉУЧАК.....	47
7. ЛИТЕРАТУРА.....	48
8. ПРИЛОГ	49

SUMMARY

This paper deals with the application non-destructive testing methods for determination of the quality of welded joints. Knowledge and application of these methods have great significance in various branches of industry, where these methods can be used on welded joints and even on the entire construction on that way so that the work on them can be done without interruption. Besides these methods there is a standard upon which the welded joints are being adecvatly rated.

Key words:

Welded joints, non-destructive testing, standards

РЕЗИМЕ

Овај рад се бави применом метода испитивања без разарања ради оцењивања квалитета заварених спојева. Познавање и примена ових метода испитивања су од великог значаја за примену у различитим гранама индустрије где се поред заварених спојева могу испитивати и читаве конструкције тако да се њихов рад обавља неометано. Поред ових метода описан је и стандард на основу којих се заварени спојеви оцењују и на адекватан начин валидирају.

Кључне речи:

Заварени спојеви, методе испитивања без разарања, стандарди

1. УВОД

Техничка дијагностика представља научно-техничку дисциплину којој припадају теорија, методе и средства за распознавање стања техничких система у условима ограничених информацијама. Основни циљ техничке дијагностике је да се открије и спречи потенцијални отказ. То се постиже мерењем карактеристичних (дијагностичких) параметара и на основу одређених критеријума доноси закључак о томе да ли се они налазе у дозвољеним границама или не. Најбоље је за оцену стања неког техничког система узети у разматрање више дијагностичких параметара.

У садашњим условима, конкурентност на светском тржишту обезбеђује се повољним односом цена-квалитет и испоруком производа на време. Квалитет и цена производа су у директној вези са стањем производне опреме, односно нивоом њеног одржавања. Ако се анализирају светски трендови у области одржавања, може се извести закључак да се глобална стратегија мења и прилагођава оној која је везана за рад опреме без отказа. То значи да у сваком тренутку треба пратити карактеристичне параметре стања опреме и постављати дијагнозу на основу које се одређују даље активности одржавања. Све ово указује на велику улогу техничке дијагностике која последњих година доживљава експанзију развојем нових метода дијагностике (примена ласера, ултразвука, инфрацрвеног зрачења, савремених метода анализа вибрација и сл.).

Техничка дијагностика налази широку примену и при пројектовању нових производа, када се карактеристике прототипова снимају на пробном столу. Уколико постоји одступање између прорачунатих и измерених вредности параметара, даје се предлог за модификацију постојећег решења.

Физичке величине присутне у процесу обављања функције циља техничког система могу послужити као карактеристични (дијагностички) параметри за праћење промене стања техничког система. Како би се неки параметар применио као дијагностички мора да испуни основне захтеве који се односе на:

- Једнозначност промене
- Довољну осетљивост промене
- Приступачност и лакоћу мерења

Према томе дијагностички параметри се могу поделити на:

- **директне** (параметри везани за обављање функције циља техничког система) и
- **индиректне** (параметри везани за квалитет обављања функције циља)

Добрим познавањем функционисања техничког система, омогућен је главни предуслов за праћење стања система адекватним избором параметра који описују стање техничког система. Праћење стања система се може вршити помоћу више метода техничке дијагностике, и комбинацијом тих метода се поуздано могу утврдити узроци отказа система, на основу којих се касније прописује адекватан начин одржавања система.

Код постојећих техничких система најзаступљеније методе техничке дијагностике које се примењују су:

- **мерење и анализе вибрација**
- **праћење термичког стања**
- **анализа продуката хабања у уљу за подмазивање**

У употреби се данас све чешће користе и методе засноване на :

- **праћењу процесних параметара** (притисак, проток, сила, обртни момент, влажност, итд.)
- **методама испитивања без разарања** (ултразвучне методе, електромагнетна и магнетна испитивања, визуелна испитивања, радиографија итд.).

У оквиру овог рада биће описане методе испитивања без разарања у циљу оцењивања квалитета заварених спојева.

2. КОНТРОЛА ЗАВАРЕНИХ СПОЈЕВА

Ово су неодложни послови у свим фазама формирања и експлоатације заварених спојева. Њихов основни задатак је стварање услова за непрекидно извођење заварених спојева, уместо откривања или отклањања грешака насталих у завареном споју. У свим фазама где се узима у обзир квалитет заваривања, контрола заваривања мора бити уврштена као део процеса заваривања, јер заварени спојеви као елементи морају обезбедити довољан ниво поузданости.

2.1. Обезбеђивање квалитета

Под обезбеђивањем квалитета се подразумевају све планиране и систематске активности потребне за пружање адекватне гаранције да ће производ или услуга задовољити постављене захтеве за квалитетом.

С обзиром на то да је заваривање један од најважнијих алата производње, заварене конструкције су увек биле предмет велике пажње у питању квалитета заваривања. Ипак, нагласак на заваривању, као и код других производних процеса, сада је окренут на спречавању проблема, уместо на откривању истих. Према томе управљање квалитетом је постао основни део процеса менаџмента производње, како би се обезбедио производ чији ће квалитет бити конкурентан на тржишту.

2.2. Поступци контроле заварених спојева

С обзиром на то да је заваривање сложен процес производње, који се састоји из више фаза, тако и контрола заваривања мора испратити на адекватан начин целокупни процес заваривања, како би се смањила могућност појаве грешака које би умањиле квалитет производа. Постоје три карактеристичне фазе у којима се контрола квалитете заварених спојева изводи:

- пре почетка заваривања;
- током извођења заваривања;
- након завршеног заваривања.

Све врсте контрола треба спроводити организовано и доследно, како би квалитет завареног споја био на одговарајућем нивоу.

2.2.1. Контрола пре заваривања

Овај део контроле захтева велику пажњу јер уколико дође до пропуста у овом делу процеса, читав спој може бити лоше урађен, а самим тим и читава конструкција губи своју функционалност и не може се употребити. Ту спадају контроле: основног и додатног материјала, технолошког редоследа заваривања, поступка заваривања, заваривача, машина и уређаја, извођења и температуре предгревања и др. При контроли основног и додатног материјала мора се водити рачуна о пореклу материјала који се заварује (морају се поседовати адекватни атести и шарже материјала које доказују састав материјала и гарантују да се тај материјал може заваривати). Технолошки редослед заваривања, је важан како би се читав процес прописао и адекватно контролисао. Заваривачи који изводе тај процес морају имати важеће сертификате и здравствена уверења неопходна за овај процес, овом приликом се врши и провера заштитне опреме коју поседују и користе заваривачи како би се утврдило да се читав процес изводи безбедно и сигурно по све учеснике. Машине и уређаји који се користе морају бити редовно контролисане и атестиране за тај поступак заваривања, како би се гарантовало да је процес исправан а и безбедно изведен.

2.2.2. Контрола током заваривања

Током заваривања пажњу треба обратити на савесно извршавање поступка јер ће од њих у највећем делу зависити квалитет извршеног заваривања. Због специфичности самог процеса контрола се изводи само визуелном инспекцијом. Потребно је напоменути да се прескакање било које операције или промене редоследа поступка заваривања, може одразити на појаву грешака у завареном споју који се услед тога мора поново изводити или одбацити читав део.

Контроле које се ту извршавају су: припајања, поступка заваривања, редоследа параметара и осталих услова заваривања те контрола заваривања посебних делова споја.

2.2.3. Контрола након заваривања

Ако су савесно и доследно спроведени радови из претходних фаза поступци контроле након заваривања требали би бити само прописани за доказивање квалитета изведеног посла.

Ту се врше контроле: визуалне, површинске обраде завареног споја, контрола методама без разарања, мерење укупне деформације, узорак разарањем итд.

Контрола квалитета након заваривања може се поделити на контролу квалитета методама без разарања и контролу квалитета методама са разарањем. У наставку рада ће бити описане методе испитивања заварених спојева са посебним освртом на методе испитивања без разарања.

3.МЕТОДЕ ИСПИТИВАЊА ЗАВАРЕНИХ СПОЈЕВА

Код заварених спојева контрола се контрола може изводити двома главним методама, које су данас најзаступљеније у процесу контроле квалитета и то су:

- испитивање заварених спојева методама са разарањем и
- испитивање заварених спојева методама без разарања

3.1.Методe испитивања са разарањем

Методe испитивања са разарањем се користе код испитивања тврдоће, хемијског састава, и структуре заварених спојева. Провера механичких и анти корозивних својстава има за циљ осигурање поузданог рада завареног споја.

Методe испитивања са разарањем су:

- затезно кидање епрувете (најчешће се траже заостали напони, затезна чврстоћа, прекидна чврстоћа, контракција и издужење, али се могу тражити и нека друга својства),
- мерења тврдоће;
- испитивање ударне жилавости;
- различита корозијска испитивања;
- различита динамичка испитивања;
- различите радионичке пробе и пробе заварљивости;
- испитивања садржаја хемијских елемената (хемијска метода испитивања струготине метала) итд.

3.2. Методe испитивања без разарања

Испитивање без разарања (енгл. Non destructive testing-NDT) је заједнички назив за групу метода испитивања материјала и елемената техничких система без њиховог оштећења или разарања. Ове методe имају велики значај у фази конструкције и израде техничког система, при чему се врши контрола квалитета виталних уграђених компоненти, али такође и у фази одржавања, при чему је циљ спровођења испитивања утврђивање потенцијалних оштећења и преостале експлоатационе способности елемената система.

Под испитивањем без разарања најчешће се подразумева шира група метода од којих је свака заснована на посебном научном принципу и феномену. У оквиру сваке методе постоји већи или мањи број техника, поступка и инструмената развијених за посебне услове примене и захтеве испитивања. Избор одговарајуће методе и технике испитивања, према конкретним захтевима, представља веома значајну активност од које директно зависи и успех читавог дијагностичког програма.

Предности метода испитивања без разарања:

- могућ је рад на терену
- преносива опрема која омогућава лакше извођење испитивања
- испитивање се изводи на самом производу
- процес је могуће изводити више пута на истом производу

Недостаци метода испитивања без разарања:

- поједине методе захтевају повећану заштиту на раду
- посебно образовање и обука особља због сложености процеса

Фактори који утичу на избор методе испитивања без разарања:

- Величина и облик објекта који се контролише
- Врсте грешака које треба открити
- Карактеристика материјала
- Очекивани положај грешака

Данас су ове методе испитивања широко заступљене у индустрији, и њихова примена је од великог значаја. Методе испитивања без разарања су следеће:

- Визуелно испитивање
- Димензионо испитивања (контрола)
- Магнетна испитивања
- Испитивање пенетрантима
- Ултразвучна испитивања
- Радиографска испитивања
- Метода вртложних струја
- Испитивање пропусности

3.2.1. Визуелно испитивање

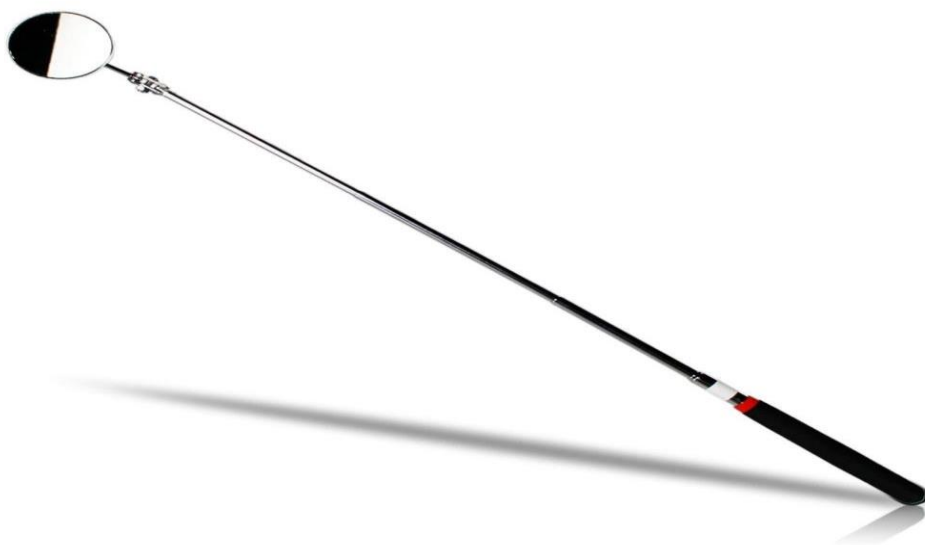
Визуелно испитивање је једна од најчешћих метода испитивања без разарања, а као радно средство користи електромагнетне таласе светлости у видном подручју. Ова метода захтева адекватно осветљење испитне површине и добар вид контролора. Визуелним испитивањем откривају се разне површинске грешке: корозија, нечистоће, завршна обрада, непроварен корен зава, површинска порозност и пукотине већих димензија. Визуелно испитивање може бити:

- Директно
- Даљинско

Директно испитивање се може обављати голим оком или коришћењем оптичких уређаја (лупе, огледала, разни извори светлости, итд.). На сликама 1. и 2. су приказани неки од инструмената који се користе за визуелно испитивање.



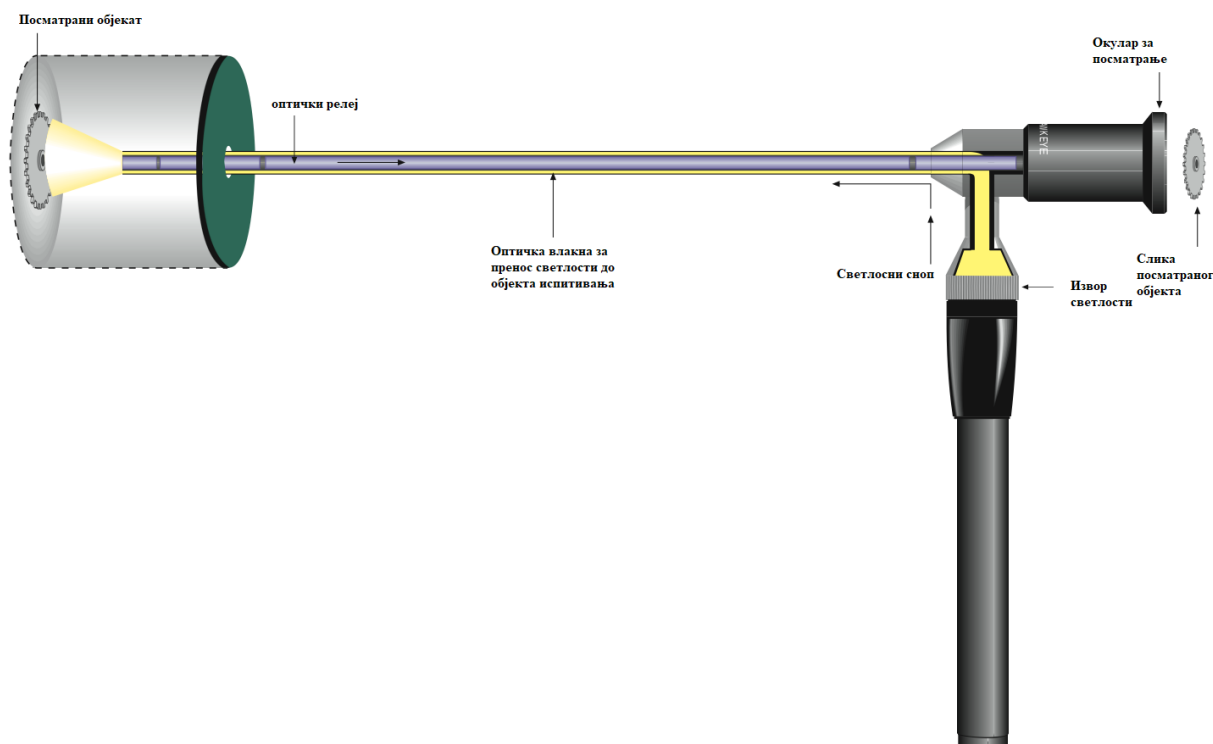
Слика 1. Лупа са осветљењем



Слика 2. Телескопско огледало за визуелно испитивање

За даљинско визуелно испитивање користе инструменти којима се лакше допире до неприступачних делова, неки од њих могу и снимати инспекцију и омогућити касније прегледање дела. Ти уређаји су: бороскопи, фибероскопи, видеоскопи и оптички микроскопи. Већина ових уређаја је лако преносива и једноставна за коришћење.

Бороскоп је оптички уређај који се састоји од круте или флексибилне цеви са окуларом на једном и објективом на другом крају. Обично је опремљен оптичким влакнима за осветљење. Бороскоп се користи за визуелну контролу неприступачних места, нпр. испитивање цевовода на цурење, унутрашњости зидова, резервоара и других неосветљених простора. Постоје бороскопи с извором светлости, као и мерни бороскопи. На наредној слици је приказана шема бороскопа са крутом цеви.



Слика 3. Шема бороскопа са крутом цевљу

Фиберскопи су модернији представници савитљивих бороскопа. Састоји се од снопа танких стаклених влакана, уграђених у савитљиву цев, кроз коју се истовремено доводи осветљење и гледа у унутрашњост. Свако стаклено влакно преноси по један део слике (пиксел) тако да се слика формира у облику саћа. Квалитет слике зависи од броја и пречника оптичких влакана. На слици 4. је приказан фиберскоп.



Слика 4. Фиберскоп

Видеоскопи, приказан на слици 5., су најсавременији систем за визуелни преглед стања унутрашњих и скривених површина. На врху савитљиве цеви видеоскопа је уграђена минијатурна камера око које се налази извор светлости. Фотографије или видео-записи са камере се могу ускладиштити на меморији уређаја и потом лако пренети на меморију рачунара. Посебне команде на видеоскопу омогућавају оператеру да помера врх видеоскопа у жељеном правцу.



Слика 5. Видеоскоп

Предности визуелног испитивања:

- висока продуктивност;
- јефтина метода;
- једноставно извођење испитивања;
- широка примена

Недостаци визуелног испитивања:

- површинска метода
- мала осетљивост параметара

3.2.2. Димензионо испитивање (контрола)

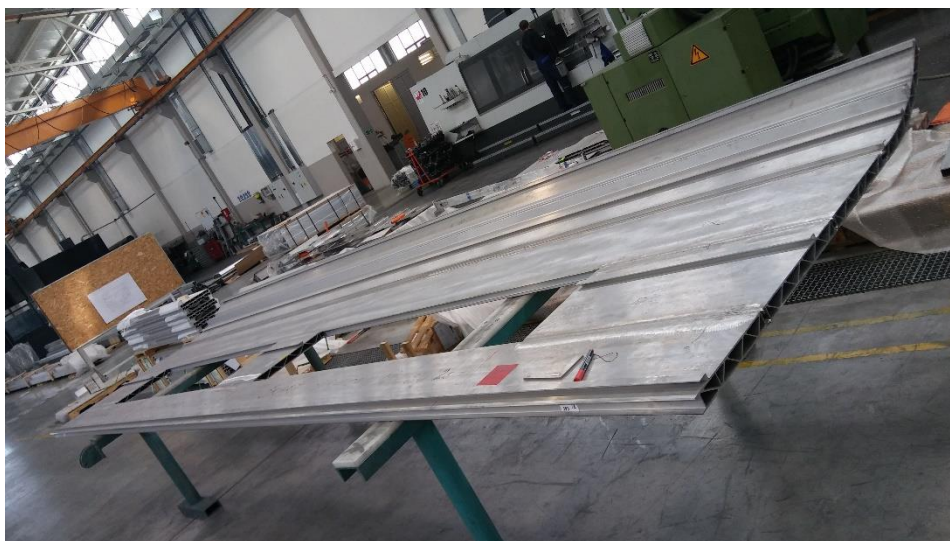
Овакав начин контроле је изразито распрострањен и врши се помоћу направа за контролу димензија као што су:

- Помична мерила
- Микрометри
- Мерни уређаји и шаблони
- 3D мерни уређаји
- Угломери
- Дубиномери
- Мерни уређаји за заваре (висина, надвишење завара)
- Толеранцијска мерила

Димензионом контролом проверава се и утврђује прихватљивост облика и димензија завареног споја:

- Угаоне деформације
- Висине и надвишења завара
- Дебљине угаоних завара
- Димензије припремљеног жлеба пре заваривања
- Друге величине

Овај начин испитивања је релативно брз и не захтева посебну припрему површине, углавном се спроводи за време заваривања и након заваривања како би се избегле будуће грешке на завареним спојевима. На слици 6. је приказана страница вагона код које услед термичких напона дошло до смањења ширине за 2 mm.

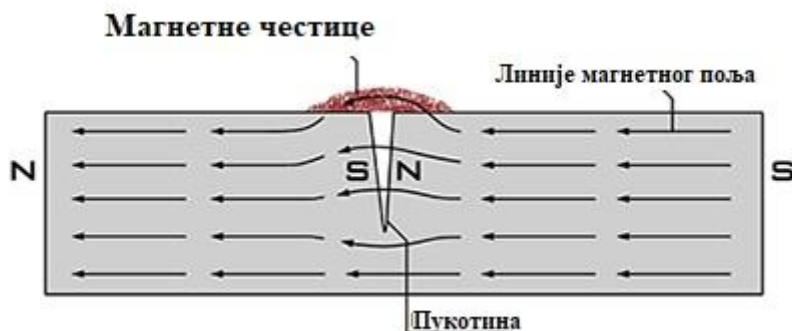


Слика 6. Страница вагона

3.2.3. Магнетно испитивање

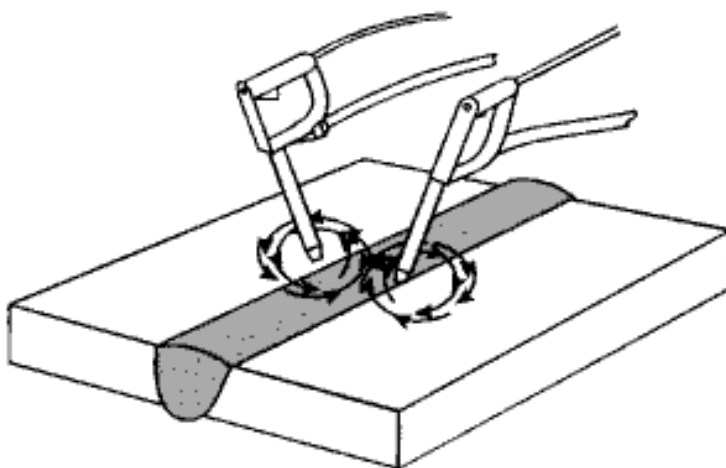
Ова група метода контроле квалитета без разарања се одликује тачношћу, једноставношћу и брзином испитивања па се широко примењују у контроли масовне производње, контроли цеви и контроли заварених спојева. Помоћу ових испитивања најбоље се откривају површинске грешке и грешке које се налазе непосредно испод површине феромагнетних материјала. У групу феромагнетних материјала се убрајају легуре гвожђа, легуре никла и легуре кобалта. Принцип методе је заснован на особини феромагнетних материјала да се по уношењу у магнетно поље намагнетишу, с тим да сваки постојећи дисконтинуитет који се налази на површини материјала или непосредно испод ње постаје перманентни магнет. Грешка која је постављена нормално на правац магнетних линија сила представља препреку за њихово пружање па оне скрећу око грешке. Ако се на површини испитиваног материјала нанесе одређена количина фино распршеног магнетног праха, онда ће магнетне честице, пратећи линије сила, да заобилазе грешку и на тај начин јој дају облик, локацију и величину. Пошто је распоред и облик грешака непознат, контрола квалитета се обично врши у два међусобно управна правца. При примени магнетних метода не може да се одреди природа грешке зато што све врсте грешака, прелине, поре, укључци, шупљине дају исти налаз када се нађу у магнетном пољу- скретање магнетних линија сила због локалног стварања перманентних магнета. Веома битан утицај, при примени магнетних метода, имају положај и оријентација дисконтинуитета због усвајања критеријума у избору типа магнетизације а у циљу добијања поузданих резултата. Метода се састоји од неколико фаза које чине почетна демагнетизација, одмашћивање, магнетизација, употреба магнетног праха, инспекција и завршна демагнетизација. Почетна демагнетизација се изводи у циљу отклањања евентуално локално акумулисаног магнетизма у некој од фаза производње или израде конструкцијског дела која би могла да произведе исти ефекат као права грешке што би довело до добијања непоузданог резултата. Одмашћивање се такође изводи у циљу добијања поузданих резултата, јер замашћена површина онемогућава кретање и скупљање магнетног праха око грешке. Магнетизација је најважнија фаза методе и у основи постоје две врсте магнетизације, лонгитудинална и трансверзална, које се могу употребљавати појединачно, наизменично или комбиновано. Магнетисање феромагнетних материјала се данас углавном изводи пропуштањем електричне струје кроз испитивани део, при чему се користи и једносмерна и наизменична струја. Познати начин магнетизације, поред пропуштања електричне струје, су и постављање испитиваног предмета између полова сталног магнета или у поље соленоида. Магнетне линије сила на месту грешке наилазе на отпор услед чега мењају свој ток. Да би се присуство грешке у површинским и подповршинским слојевима могло уочити, наноси се магнетни прах који прати линије магнетних сила на месту грешке чинећи је на тај начин видљивим. Магнетни прах може да се наноси за време магнетизације или после ње. Магнетни прах се употребљава у сувом стању или растворен у води или уљу и могу бити флуоресцентне или обојене, не би ли се лакше уочиле уз помоћ UV светлости или

јаког контраста. Честице које се користе за испирање морају да имају високу магнетну постојаност, тако да могу одмах да се намагнетишу. На слици 7. је приказано како изгледа дејство ове методе. Постоји више метода које се користе у пракси и оне ће бити описане у наставку.



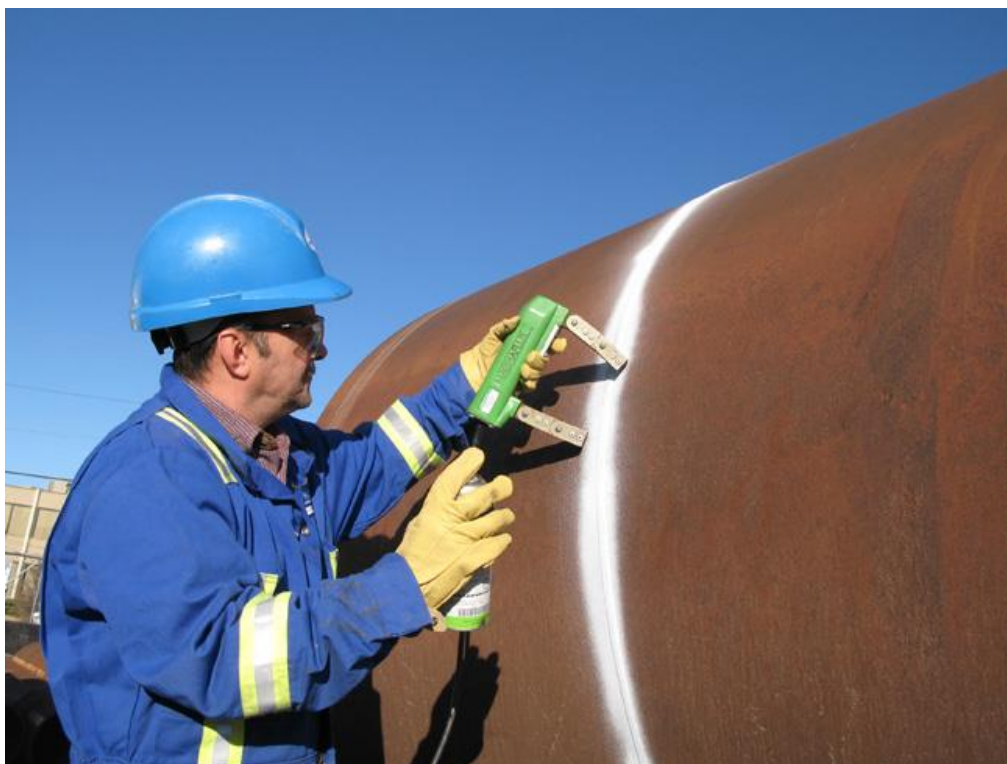
Слика 7. Шема примене магнетног испитивања

Магнетисање покретним контактима, најчешће се користи за испитивање заварених спојева, великих одливака и откивака. Остварено циркуларно поље може да се постави у жељеном правцу што омогућава и откривање грешака произвољне орјентације. Најбоље се откривају површинске грешке а у одређеним условима у зависности од примењене струје могу се открити и подповршинске грешке. Недостатак овог начина магнетисања је могућност оштећења површине на местима контакта што се избегава конструктивним решењем контакта и избором материјала за контакте (лако топиви). Могуће је једновременно испитивање само ограничене површине. Растојање контаката зависи од карактеристика струје. На слици 8. је приказана ова метода.



Слика 8. Магнетисање покретним контактима

Магнетисање потковичастим електромагнетом, погодно је за испитивање већих површина равних или закривљених, уколико су контакти за то прилагођени. Углавном се испитују локализоване зоне. Остварено поље је лонгитудинално између полова магнета. Могућност откривања грешака је велика, јер се уређај може поставити у жељеном правцу обзиром на преносивост опреме. Нема електричног контакта тако да нема оштећења материјала при испитивању. Уколико се испитују велике површине уређај се мора често померати што мало отежава примену. Делове сложене геометрије је теже испитати само потковичастим електромагнетом. Потребно је остварити веома добре контакте полова са материјалом који се испитује, морају се користити обавезно додатни зглобни наставци. Мора се тачно знати оптималан распон полова и дефинисати област испитивања, сагласно постојећим стандардима. Слика 9. приказује практичну примену ове методе.



Слика 9. коришћење потковичастог магнета за откривање пукотина

Магнетисање перманентним магнетом, при магнетисању перманентним магнетом остварује се подужно магнетно поље између полова магнета. Овај начин магнетисања је повољан за равне површине плоча зидова и сл. , посебно за испитивање мањих делова у локализованим зонама. Како су линије поља усмерене између полова магнета погодан је за откривање површинских грешака чији је правац простирања управан на правац поља. Углавном се откривају површинске грешке а у изузетним случајевима могу и

подповршинске. Перманентни магнет је погодан због своје преносивости и могућности да се магнетисање врши у различитим правцима, тако да се могу открити грешке и произвољних праваца. Предност овог поступка је што нема електричног контакта са материјалом, тако да се материјал приликом испитивања не оштећује. Са друге стране, недостаци су што је потребна веома равна површина која се испитује, није погодан за сложене геометријске облике и има малу осетљивост на подповршинске грешке. После констатовања налаза изводи се завршна демагнетизација. Ова фаза се са посебном пажњом изводи у свим случајевима где би заостало магнетно поље од испитивања могло да утиче на рад инструмената (ваздухопловство, војна техника, све области где се користе високо аутоматизовани уређаји и инструменти). Успешно размагнетисање се изводи пољем чија јачина континуално опада. На почетку јачина поља треба да буде блиска јачини поља магнетисања. Опадање јачине поља се остварује или смањењем струје демагнетисања или провлачењем предмета кроз магнетно поље завојнице кроз коју протиче струја одређене јачине. При томе магнетно поље опада пропорционално удаљењу од завојнице. Трајање зависи од димензије делова који се размагнетишу. Минимално време је 14-15 секунди. После завршеног испитивања врши се чишћење површина. То подразумева уклањање остатака испитног средства и других нечистоћа, које могу негативно да утичу на даљу употребу испитног дела.

Највећи недостатак магнетних метода је то што површина испитиваног материјала мора да се обруси или на неки други начин изравна и очисти од свих нечистоћа како не би дошло до лепљења испитног праха као и то што није могуће откривање дубинских и унутрашњих грешака већ само површинских и, у изузетним ситуацијама, подповршинских. Но и поред тога предност је у преносивости уређаја, ниској цени њихове производње и експлоатације и не великој захтевности у погледу специјалних знања испитивача. Још једна мана ове методе је управо у томе што се њоме могу испитивати само феромагнетни материјали, дакле не могу се испитивати алуминијум, бакар и други неферомагнетни материјали. На слици 10. је приказана примена перманентног магнета за испитивање завареног споја.



Слика 10. Коришћење перманентног магнета за испитивање завареног споја

3.2.4. Испитивање пенетрантима (ПТ)

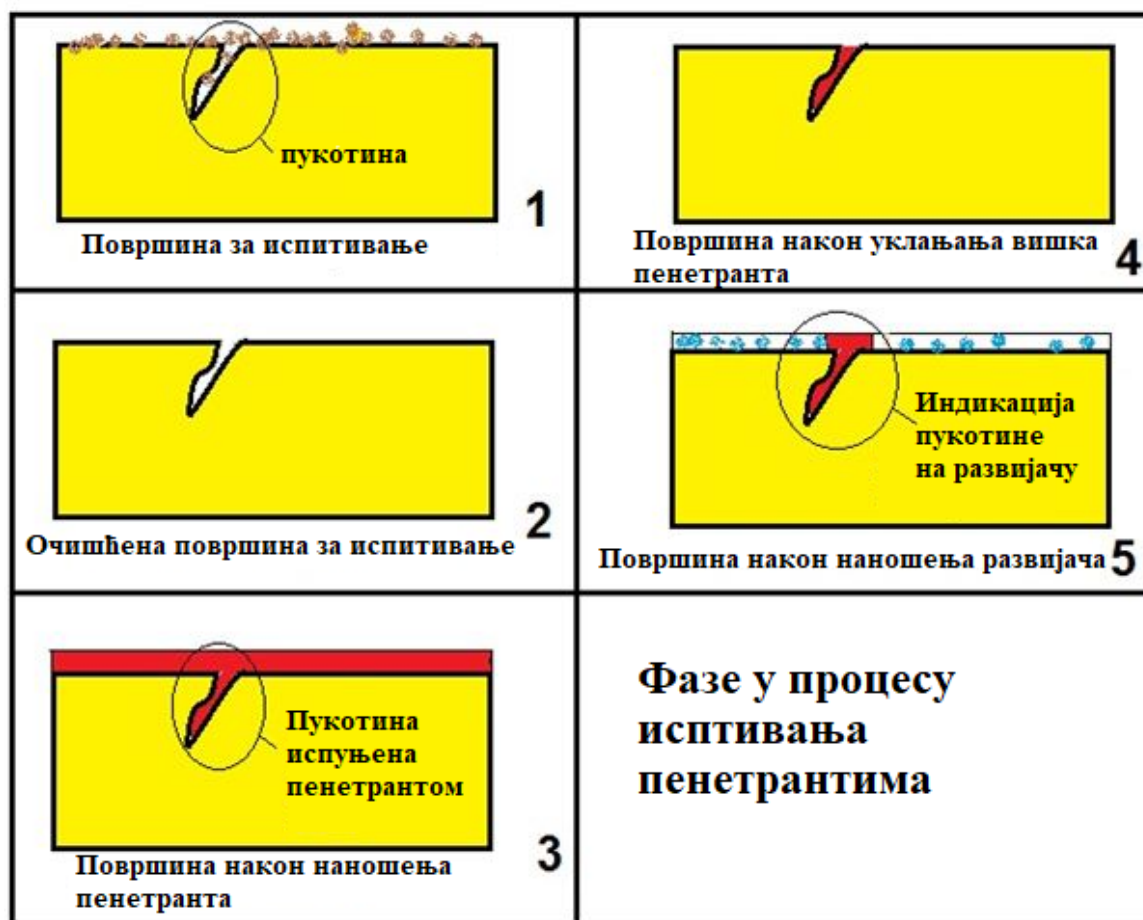
Пенетрантском контролом се откривају површинске грешке. Техника се базира на способности течности да се увуче у „чисту“ површинску грешку капиларним деловањем. Након неког времена уклања се вишак пенетранта и примењује се развијач. Развијач вуче пенетранта из грешке, откривајући њено постојање. Обојени пенетранти захтевају чисто бело светло, док се флуоресцентни пенетранти требају користити у замраченим условима са UV „црним светлом“. Предност коју нуди контрола пенетрантом у односу на непотпомогнуту визуалну контролу је та да контролор лакше уочава грешке. Постоје два начина на која пенетрантска контрола чини грешке лакше уочљивима. Прво, ПТ даје индикацију пукотине која је пуно већа и уочљивија голоме оку, него што је стварна пукотина. Многе пукотине су тако мале и уске да их је немогуће открити голим оком. Други начин на који ПТ побољшава откривање пукотине је тај што даје назнаку пукотине веће разине контраста између назнаке и подлоге, помажући тиме индикацију лакше видљивом. Кад се изводи испитивање пенетрантом у боји, материјали пенетранта се формулишу користећи светлу црвену боју која пружа високу разину контраста између белог развијача. Другим речима, развијач служи као подлога високог контраста као и извлакач како би повукао пенетрант из пукотине. Кад се изводи испитивање флуоресцентним пенетрантом, тада се материјали пенетранта формулишу за бистар сјај и да би дали светлост на таласној дужини на којој је око најосетљивије на услове слабог осветљења. На слици 11. су приказана средства за ову методу испитивања.

Кораци у процесу контроле пенетрантима (слика 12.):

1. Припрема површине
2. Наношење пенетранта
3. Задржавање пенетранта
4. Уклањање вишка пенетранта
5. Наношење развијача
6. Развој индикације
7. Контрола
8. Чишћење површине



Слика 11. Средства за испитивање пенетрантима



Слика12. Шема процеса испитивања пенетрантима

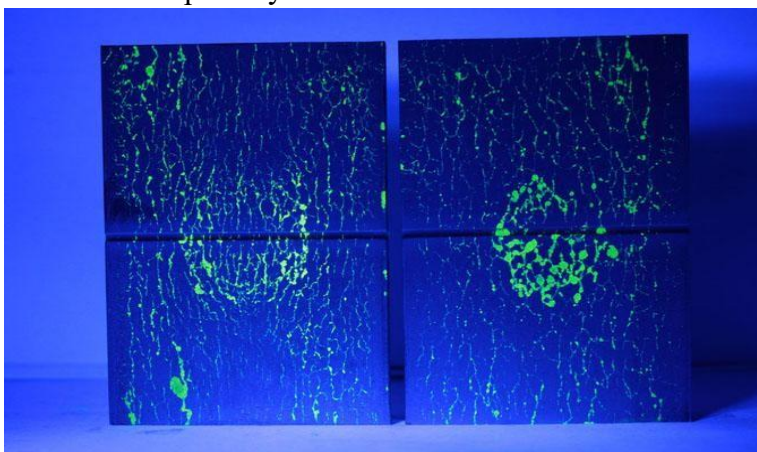
Како би деловао добро, пенетрант мора поседовати следеће карактеристике:

- Мора се лако ширити по површини материјала који се испитује како би пружио потпуну и уједначену покривеност
- мора бити увучен у површинску пукотину капиларним деловањем мора остати у пукотини, али се мора лако уклонити с површине дела
- мора остати у течном стању како би се могао повући натраг на површину дела корацима сушења и развијања
- мора бити врло видљив или флуоресцентан како би дао лако видљиве индикације
- не сме бити штетан по материјал који се испитује или по испитивача

Пенетранти се деле у два основна типа:

- Тип 1 – флуоресцентни пенетранти (слика 13.)
- Тип 2 – обојени пенетранти (слика 14.)

Флуоресцентни пенетранти садрже боју или неколико боја које светле флуоресцентним сјајем када су изложени UV зрачењу.



Слика 13. *Флуоресцентни пенетрант под дејством UV светлости*

Обојени пенетранти садрже црвену боју која даје висок контраст у односу на подлогу од белог развијача. Састави флуоресцентних пенетраната су осетљивији од обојених пенетранта, јер је око усмерено на флуоресцентну индикацију. Ипак, обојени пенетранти не захтевају замрачено подручје и UV светлост за извођење испитивања. Такође, обојени пенетранти су мање подложни нечишћењу од ствари као што су течности за чишћење, која може значајно смањити јачину флуоресцентне индикације.



Слика 14. *Пенетрант у боји на завареном споју (јасно се види површинска прслина; завар није добар)*

Подела пенетраната по методама којима се уклањају:

- Водопериви пенетранти
- Липофилни пенетранти (растварају се у уљима)
- Отопиви (солвентни) пенетранти
- Хидрофилни пенетранти (растварају се у емулзијама и помоћу детерџента)

Улога развијача је повлачење пенетранта из пукотине и ширење на површину дела како би био видљив испитивачу. Фине честице развијача рефлектују и преламају упадно UV светлост, омогућајући тиме да је што више светлости у интеракцији с пенетрантом, узрокујући ефикаснију флуоресцентност. Развијач омогућаје емитовање веће количине светлости кроз исти механизам. Зато су индикације под UV светлом светлије од самог пенетранта. Друга функција коју врше неки пенетранти је стварање беле подлоге па је већи контраст између подлоге и окружења. Развијачи могу бити у разним облицима, као прах, раствор и емулзија или у неком другом облику. Овом методом се могу испитивати метали, стакло, пластика, гума и други материјали.

Предности ове методе испитивања су:

- висока осетљивост на мале површинске дисконтинуитете
- нема ограничења што се тиче материјала
- велике површине делова/материјала могу се испитати веома брзо и по ниској цени
- рутинско испитивање делова сложених геометријских облика
- показатељи се јављају директно на површини дела и дају визуелни приказ грешке
- пенетранти су лако преносиви (лименке спреја)
- пенетранти и припадајућа опрема су релативно јефтини

Недостаци ове методе су:

- могу се открити само површинске грешке
- могу се испитивати само материјали релативно непорозне површине
- предчишћење је важно, пошто нечистоће могу сакрити грешке
- потребно извођење и контролисање вишеструких операција процеса
- потребно је чишћење прихватљивих делова или материјала након испитивања
- потребно је опрезно руковање и одстрањивање хемикалија

3.2.5. Ултразвучно испитивање

Ултразвучне методе испитивања без разарања засноване су на анализи параметара ултразвучних осцилација и таласа побуђених или генерисаних у објекту који се испитује. Код ултразвучних метода користе се различити типови акустичких таласа, широки дијапазон радних фреквенција ултразвучних таласа, непрекидни и импулсни режим рада.

Звук је механичка енергија која се од извора, нпр. мембране која вибрира (звучник) , шири по одређеном медијуму до пријемника (нпр. ухо). Број вибрација у времену одређује да ли ће пријемник регистровати те вибрације. Људско ухо региструје те вибрације у распону од 16 Hz (1 Hz је једна осцилација-вибрација у секунди) до 16000 Hz и то подручје се назива подручје чујног звука док се границе називају прагови чујности. Звук фреквенције испод 16 Hz назива се инфразвук и у природи га производе земљотреси (сеизмички таласи). Звук фреквенције изнад 16 kHz назива се ултразвук и могу га регистровати неке животиње (шишмиши, рибе, делфини,...). Само испитивање употребом ултразвука назива се дефектоскопија, а практичну примену има звук у фреквенцијском распону од 0.5 MHz до 20 MHz. Ултразвук има способност да се кроз чврста тела простире у виду лонгитудиналних или трансверзалних таласа у зависности од правца простирања вибрација које га изазивају. Брзина ширења ултразвука зависи од особина материјала (густине, еластичности, крутости,...) који се испитује и креће се од 5920 m/s за челик до 3200 m/s за злато у случају лонгитудиналних таласа, односно 3230 m/s и 1200 m/s у случају трансверзалних таласа. При простирању ултразвучних таласа кроз хомогену, непрекидну средину неког материјала долази, услед преламања, одбијања, дифракције и апсорпције, до смањења интензитета ултразвука који је изражен коефицијентом смањења μ који је такође карактеристика материјала и различит је за различите материјале. У кристалним материјалима (сви метали и неке пластике) највећи део губитака енергије настаје услед одбијања и расипања звучног таласа на границама кристала. У аморфним материјалима (пластика, гума) где нема кристалне структуре, највећи део губитака настаје због трења, јер се кинетичка енергија вибрирајућих честица претвара у топлотну енергију. У случају да материјал није хомоген већ у њему постоји грешка, која се по својим особинама разликује од особина основног материјала, долази до различитог одбијања и апсорпције ултразвука на месту грешке што се манифестује у локалној промени ултразвучног сигнала. Ова промена је нарочито изражена при преласку ултразвука из гушће у ређу средину а нарочито при преласку из метала у ваздух.

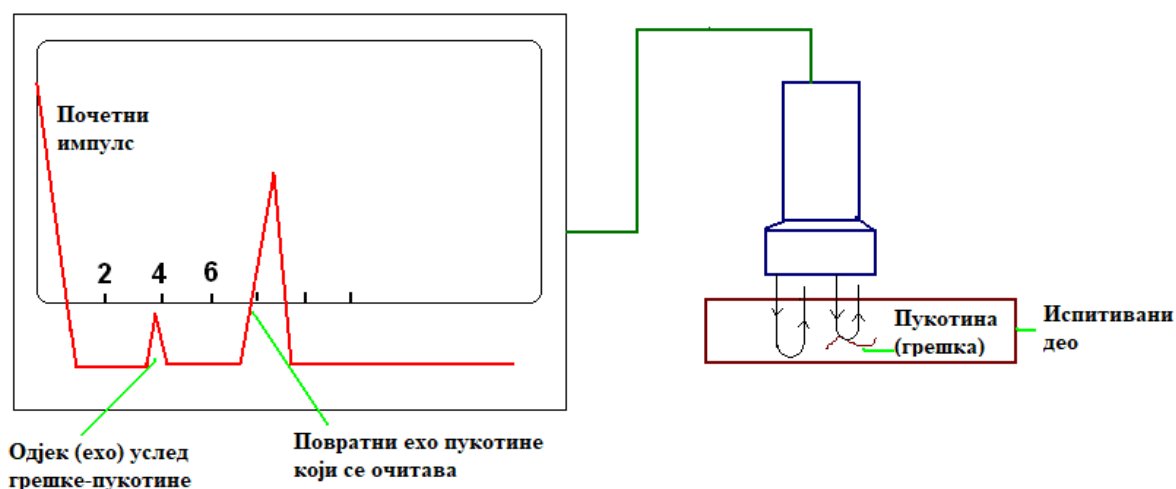
Због својих особина, ултразвук се може користити, поред тражења грешака, и за мерење дебљине неког конструкцијског дела или дебљине неког слоја у случају вишеслојних материјала. Оптимални опсег дебљина материјала који може да се измери применом ултразвучних метода креће се од 0.4 mm по дужини односно 0.0001 mm по дебљини. Ултразвучне методе се примењују при испитивању свих металних материјала као и

неких неметалних материјала, мада се најбољи резултати постижу при испитивању челика и алуминијума. На слици 15. је приказана шема рада ултразвучне методе испитивања.

Постоје два основна ефекта која се користе за добијање ултразвука: магнетострикцијски и пиезоелектрични ефекат (има много већу примену у техници). Одређени кристали (нпр. кварц, турмалин, литијум сулфат, итд.) имају својство да под дејством силе у одређеном правцу у односу на кристалографску мрежу, генеришу електрични набој који је делимично линеарно зависан у односу на силу. Тај ефекат називамо директни пиезоелектрични ефекат. Другим речима ако на кристалну плочицу делује наизменични механички притисак (звук), плочица делује као извор променљивог електричног напона и делује као пријемник звука.

Уколико се пиезоелектрична плочица стави под дејство извора електричног напона, плочица мења своје димензије. Ако је електрични напон, који делује на плочицу, променљив, плочица делује као генератор звука. Ова појава се назива обрнути пиезоелектрични ефекат. У техници се, при контроли металних материјала обично користе фреквенције 3-5 MHz, при чему је могуће добити осцилације фреквенције од 30 kHz до 25 MHz.

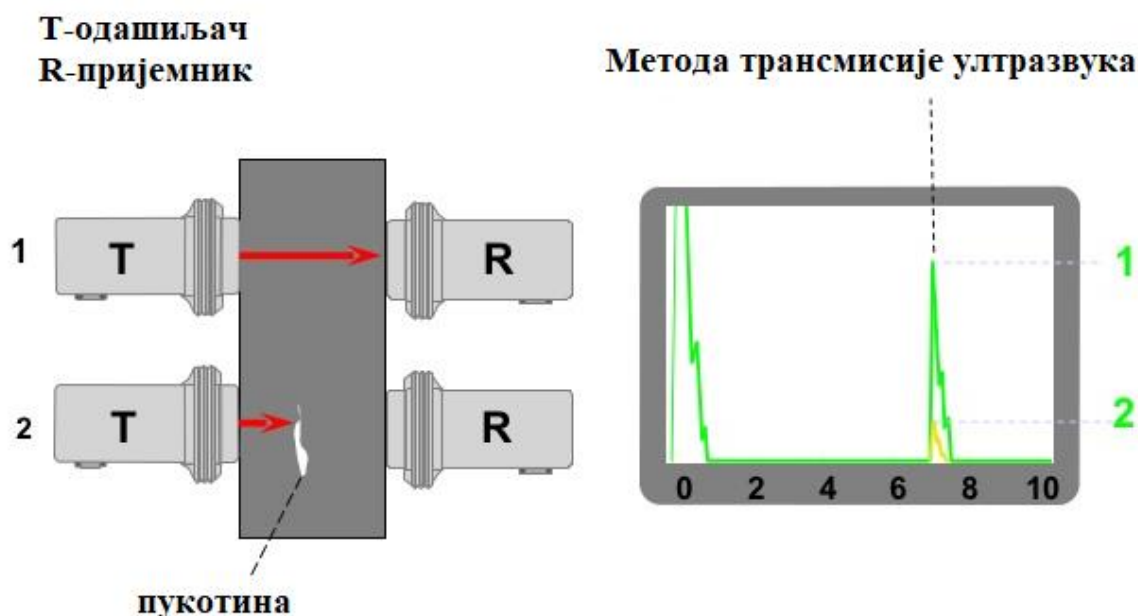
За контролу квалитета без разарања из домена ултразвучних метода користе се метода трансмисије ултразвука, метода рефлексије и метода резонанције. Да би се било која од ових метода применила потребно је да постоји одашиљач (познат и као сонда или глава, емитер или претварач) ултразвучних таласа који је повезан са генератором импулса и пријемник ултразвучних сигнала који је преко појачивача повезан са осцилоскопом помоћу кога се региструје сигнал. Одашиљач се поставља на површину материјала који се испитује при чему се, у циљу остваривања акустичног споја са што мањим губицима у интензитету трансмисије, испитивана површина претходно премазује погодном течностју (уљем, специјалним растворима, водом). Ултразвучни таласи, генерисани у одашиљачу, пролазе кроз материјал и доспевају у пријемник где се трансформишу у електрични импулс који затим осцилоскоп трансформише у графички запис који се појављује на екрану осцилоскопа.



Слика 15. Шематски приказ ултразвучног испитивања

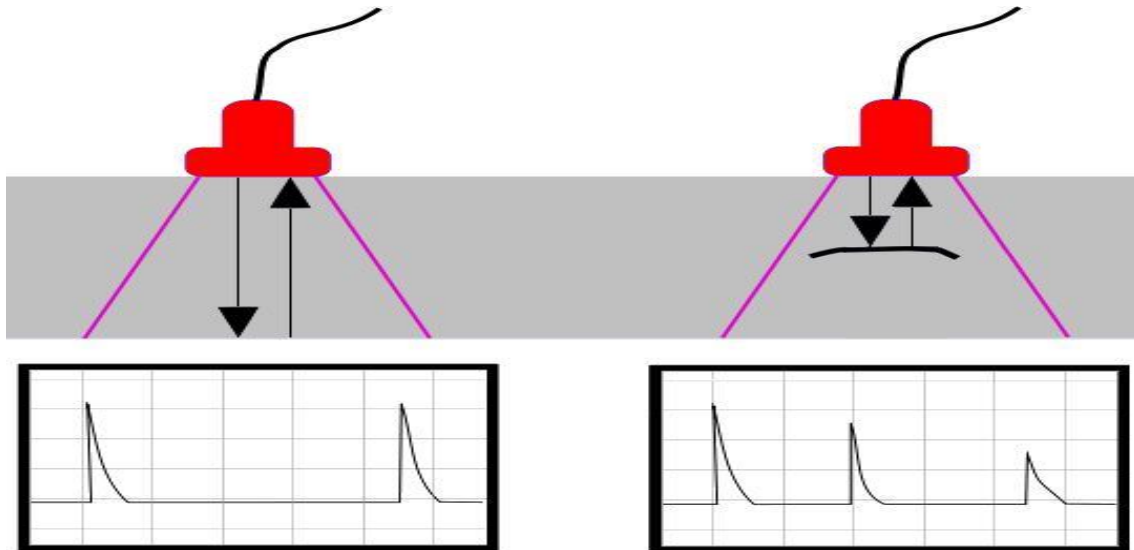
У наставку ће бити описане неке од метода ултразвучног испитивања.

Метода трансмисије ултразвука. Код ове методе одашиљач и пријемник се налазе на супротним, по могућству паралелним, странама дела који се испитује. У циљу добијања оптималног резултата неопходна је одговарајућа обрада површина контакта одашиљача и пријемника. Као мерна површина (резултат контроле) служи интензитет ултразвука. У одсуству грешке ултразвук се равномерно распоређује и равномерно слаби са коефицијентом слабљења за дати материјал. На слици 16. је дата шема рада ове методе.



Слика 16. Метода трансмисије ултразвука

Метода рефлексije има широку примену и захтева употребу само једног претварача који се поставља са једне стране испитиваног материјала. Ултразвучна глава (претварач) је и одашиљач и пријемник али ове две супротне функције не може да оствари истовремено већ наизменично. Док сонда емитује ултразвук не може и да га прима, па по завршеној емисији ултразвука одашиљач преузима функцију пријемника и прима сигнал који чине ултразвучни таласи од супротног зида материјала или постојећих нехомогености односно грешака (слика 17.).



Слика 17. Шематски приказ методе рефлексije

Прва гранична површина на којој се јавља и прва рефлексija ултразвучног таласа је површина контакта између ултразвучне главе и материјала што се на екрану осцилоскопа манифестује у виду оштрог врха који је означен као полазни импулс. Ултразвучни таласи се затим простиру кроз део који се испитује и, уколико не постоје грешке у материјалу, без битније промене у интензитету доспевају до друге граничне површине где настаје друга рефлексija која се на екрану осцилоскопа појављује у виду оштрог врха који је означен као крајњи импулс. Уколико у материјалу постоји грешка која је постављена нормално на правац простирања ултразвучних таласа, један део снопа ће да се рефлектује са саме грешке, што се на екрану осцилоскопа такође манифестује у виду оштрог врха чија величина зависи од величине грешке. Остатак таласа ће се рефлектовати са друге граничне површине с тим што ће крајњи импулс бити мањи него у случају хомогеног материјала. Грешке које су постављене паралелно правцу простирања таласа или под малим углом у односу на правац таласа не могу да се детектују, што значи да је метода рефлексije са једном сондом ограничена у примени. У оквиру ове методе постоје и конструкције апарата где се за испитивање користе две независне сонде које се постављају са исте стране испитиваног материјала, што омогућава да ограничења у примени постану занемарљива. Када се за испитивање материјала уводе звучни импулси, метода је позната и као импулсна ехо метода. Време пролажења ултразвучног таласа је

пропорционално пређеном путу што омогућава могућност калибрације, а самим тим и тачност одређивања положаја грешке. Амплитуда еха слижи као мера величине грешке а време пролажења одређује место налажења грешке.

Метода вишеструке рефлексije се често користи при испитивању хомогености структуре материјала као и заварених спојева. За испитивање су потребне две сонде од којих је једна одашиљач а друга пријемник ултразвучних таласа, с тим што се обе сонде налазе са исте стране испитиваног материјала. Принцип методе се заснива на вишеструкој рефлексiji ултразвучних таласа између граничних површина материјала с тим што је сваки наредни сигнал све слабији због познатих ефеката који утичу на слабење ултразвучних таласа. На екрану осцилоскопа се запажа, у случају хомогеног материјала, читав низ оштрих врхова распоређених на истом растојању али све мање и мање изражених док не дође до потпуног гашења сигнала. Гашење сигнала се брзо постиже уколико у материјалу постоји грешка јер се на месту грешке јавља повећана апсорпција, односно дисперзија енергије ултразвучног таласа.

Метода резонанце примењује се за мерење дебљине танких фолија, превлака, слоја корозије као и за контролу залемљених спојева. Фреквенција ултразвучних таласа се мења све док сам материјал који се испитује не почне резонантно да осцилује. Појава резонанце се јавља у случају када дебљина материјала која се одређује одговара целобројном умношку половине таласне дужине ултразвука. Када је испитивани материјал хомоген и непрекидан у тренутку резонанце развија се највећа амплитуда осцилација, док у случају нехомогеног материјала амплитуда опада.



Слика 18. Уређај за ултразвучно испитивање

Главне предности ултразвучних метода су:

- велика осетљивост – мала таласна дужина,
- велика моћ продирања у хомогене материјале,

- поузданост,
- поновљива и погодна за периодичне прегледе одговорних делова,
- резултати контроле се брзо добијају
- цена саме контроле је мала
- лако обрадиви резултати уз помоћ рачунара
- могућа контрола само са једне стране комада

Главни недостатак је велика цена самих ултразвучних уређаја због изузетно компликоване производње ултразвучних сонди.

3.2.6. Радиографска испитивања

Радиографско испитивање материјала се заснива на прозрачивању материјала и регистрацији промена у интензитету јонизујућих зрачења при проласку кроз материјал и анализи промена које дају информацију о хомогености прозраченог материјала. Ова метода испитивање без разарања је једна од првих метода примењених како у индустрији тако и у медицини.

За радиографско испитивање се користе различите врсте јонизујућих зрачења а то су:

- Х-икс зрачење,
- Гама (γ) зрачење,
- неутронско n
- протонско зрачење.

При проласку јонизујућег зрачења кроз материјал одређене дебљине долази до промена у интензитету зрачења услед интеракције зрачења и материјала што се региструје детекционим системом. Радиографска метода користи рендген радиограм као детекциони систем који бележи површинску расподелу интензитета зрачења које пролази кроз испитивани материјали пада на радиограм. После хемијске обраде експонираног радиограма разлика у вредностима интензитета зрачења манифестује се као разлика у густини зацрњења на радиограму, дефинишући облик дисконтинуитета.

Густина зацрњења радиограма зависи од низа фактора као што су:

- енергетски спектар и интензитет зрачења које пада на радиограм,
- време експонирања,
- врсте и дебљине материјала који се испитује,
- карактеристика рендген радиограма,
- карактеристика појачавајућих фолија хемијске обраде

Промена интензитета снопа зрачења при проласку кроз материјал дебљине d описује се релацијом:

$$I_d = I_0 B e^{-\mu d}$$

Где су:

I_0 - интензитет зрачења на улазу у материјал,

I_d – интензитет зрачења на излазу из материјала,

B – фактор нагомилавања

μ - линеарни коефицијент слабљења прозрачења за задати материјал

Интензитет јонизујућег зрачења на излазу из материјала I_d одређен је релацијом:

$$I_d = I_0 B e^{-\mu(d-\Delta d) - \mu_g \Delta d}$$

Где је:

Δd -димензија дисконтинуитета у правцу снопа зрачења;

μ_g -линеарни коефицијент слабљења зрачења грешке

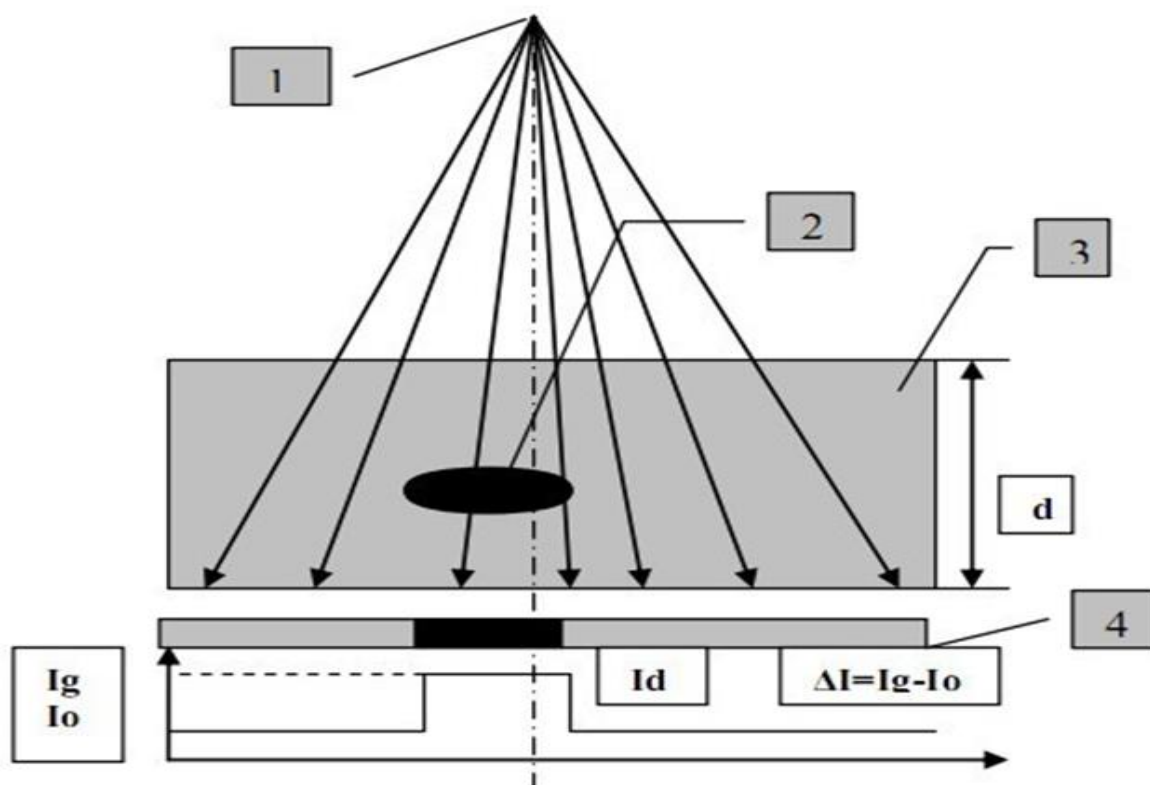
Однос интензитета јонизујућег зрачења на излазу из материјала на местима без грешке I_d и са грешком I_g је:

$$K = \frac{I_g}{I_d} = e^{\Delta d(\mu - \mu_g)}$$

и дефинише могућност откривања дисконтинуитета радиографском методом, и зависи највише од величине грешке и разлике линеарних коефицијената апсорпције материјала на месту без дисконтинуитета и месту дисконтинуитета у материјалу.

Шематски приказ радиографског испитивања дат је на слици 19. На основу слике може се закључити да: уколико је линеарни коефицијент слабљења зрачења на месту дисконтинуитета у материјалу мањи од линеарног апсорпционог коефицијента на месту без дисконтинуитета, тада се мање зрачења апсорбује у материјал, односно, више пада на радиограм, што има за последицу веће зацрњење експонираног и хемијски одрађеног радиограма. Уколико је пак линеарни апсорпциони коефицијент слабљења зрачења на месту дисконтинуитета већи од линеарног апсорпционог коефицијента на месту без дисконтинуитета, тада је више зрачења апсорбовано у материјалу, па је интензитет зрачења на радиограму мањи, а тиме и зрачење радиограма мање.

Линеарни апсорпциони коефицијент слабљења зрачења зависи од густине прозрачаног материјала и обрнуто је пропорционалан густини материјала. На основу овога може се констатовати да ће и дисконтинуитет различите густине у односу на места без дисконтинуитета у прозрачаном материјалу имати различите густине зацрњења на радиограму што олакшава њихову анализу.



Слика 19. Шематски приказ радиографског испитивања

(1-извор јонизујућег зрачења; 2-дисконтинуитет; 3-предмет испитивања; 4-рендген радиограм)

Густина зацрњења зависи највише од величине дисконтинуитета (грешке), а након тога од положаја грешке у односу на правац зрачења.

Радиографска контрола је врста контроле без разарања, која при контроли квалитета методама прозрачавања у пракси користи рендгенске зраке или гама зраке. Рендгенски зраци настају при наглом кочењу убрзаног снопа електрона на металној плочи (антикатоде у рендгенској цеви), док гама зраци настају приликом спонтаног распада нестабилних атомских језгра (природни радиоактивни материјали и радиоактивни изотопи). Обе врсте зрачења су у суштини електромагнетна зрачења. Рендгенски и гама зраци остављају траг на филмској емулзији (индустријске фолије), на чему се и заснива радиографска контрола и испитивање грешака у унутрашњости материјала. Извор рендгенског зрачења је рендгенска цев са вакуумом, прикључена на висок напон до 400

kV (за проветравање челичних предмета до 70 mm дебљине). Радиографска контрола се обично користи за откривање грешака заварених спојева, порозности, инклузије шљаке, непровареног корена. Тешко је откривање бледих грешака попут пукотина (могу се открити само пукотине положене у смеру зрачења). Јонизујуће зрачење може да проузрокује штетне последице код људи и осталог живог света, па је при радиографији обавезно спровођење мера заштите на раду са изворима јонизујућег зрачења, те при транспорту и складиштењу радиоактивних материјала.

За проучавање материјала који се испитује користе се јонизујућа зрачења. У зависности од врсте јонизујућих зрачења, користе се и различити уређаји за производњу јонизујућих зрачења. У индустријским секторима се највише користе X и γ јонизујућа зрачења, а самим тим морају се познавати врсте и карактеристике уређаја који производе ова зрачења. Извори γ зрачења за радиографска испитивања се користе изотопски извори. Нестабилни изотопи емисијом алфа или бета честица и спонтаном фисијом се трансформишу у познате стабилне изотопе. Највећи број новонасталих језгара су у енергетски нестабилном стању, из којег, у врло кратком временском интервалу после процеса трансформације, прелазе у стабилно стање, ослобађајући се вишка енергије емисијом електромагнетног гама зрачења линијског, за дати изотоп карактеристичног спектра.

Изотопски извори гама зрачења који се користе за радиографска испитивања се углавном израђују од бета нестабилних вештачких радионуклида, херметички упакованих у носаче од чистог алуминијума или нерђајућег челика. Ако се радионуклид добије озрачивањем у неутронском флуксу, у носач се ставља стабилни изотоп у елементарном стању или погодног хемијског састава. Носач се затим затвара поклопцем од истог материјала и озрачава у нуклеарном реактору. После озрачивања носач се херметички затвара. Извори зрачења радионуклиди херметички затворени у носаче, причвршћују се на држаче извора стандардних димензија и облика и заједно са држачем стављају у контејнер или дефектоскоп.

Активни део извора зрачења одређује његове карактеристике битне за радиографско испитивање. Пречник цилиндричне површине активног дела, уз изабрану геометрију прозрачавања, дефинише геометријску оштрину слике. Висина активног дела извор при задатом пречнику бира се из услова постизања максималне активности извора, уз урачунавање ефекта само апсорпције зрачења.

Основне карактеристике изотопских извора гама зрачења су:

- енергија зрачења (E), која одређује продорност зрачења и контрастност слике, односно видљивост дисконтинуитета у материјалу који се испитује,
- активност извора зрачења, од које зависи време прозрачавања,

- јачина експозиционе дозе зрачења (X), која зависи од активности извора, а која одређује продуктивност испитивања и техничке мере заштите за безбедно коришћење извора,
- специфична активност (количина језгара радионуклида по јединици масе активног дела извора) која одређује димензије активног дела извора, па према томе и геометрију прозиравања односно оштрину слике,
- време полураспада ($T_{1/2}$) које утиче на период замене извора зрачења.

Код изотопских извора јонизујућих зрачења енергија зрачења и време полураспада су константне величине активност извора се мења тј. опада са временом. Извори гама зрачења који се најчешће користе за радиографско испитивање металних материјала су:

- Иридијум (Ir-192)
- Тербијум (Yb-169)
- Кобалт (Co-60)
- Селен (Se-75)
- Тулијум (Tm-170)

Избор извора зрачења у зависности од дебљине и врсте материјала одређен је стандардима за дате области примене ових испитивања.

Ова врста испитивања има и најсложенију опрему која се користи за извођење испитивања и састоји се од:

- Рендгенске цеви
- Рендген радиограма
- Појачавајућих фолија
- Идентификационих ознака
- Индикатора квалитета слике
- Илуминатора (уређај за преглед радиограма)

Рендгенска цев је високо вакумирана цев од материјала отпорног на механичка и термичка напрезања (стакло или комбинација метала и керамике) у коју су смештене катода са загревајућим влакном и системом за усмеравање електрона и анода са метом.

Катода садржи загревајуће влакно које се загрева до усијања и емитује термалне електроне. Влакно се напаја наизменичном струјом (50 - 60 Hz) преко посебног трансформатора којим се може мењати интензитет струје у њему, чиме се мења интензитет емисије електрона, па интензитет струје рендген цеви.

Вредности струје у загрејаном влакну су између 1 -10 А. Струја цеви која се успоставља протоком електрона између катоде и аноде је најчешће у интервалу 0,1 -20 mA. Како се највећи део енергије електрона у процесу њиховог наглог успоравања (кочењем) претвара у топлоту, метал мора бити од материјала који има високу температуру топљења. Да би се побољшала ефикасност конверзије кинетичке енергије електрона у закочно зрачење, материјал мете мора имати висок атомски број Z и мали притисак паре (због одржавања високог вакума). Најчешће је мета од волфрама, а ређе од злата и платине, и неких легура које садрже бакар, гвожђе и кобалт.

Оријентација мете у односу на сноп брзих електрона јако утиче на облик и димензије фокуса и на угаону расподелу емитованог закочног зрачења. Фокус је пројекција површине мете на коју пада сноп електрона на раван нормалну на осу снопа закочног зрачења.

Фокус је пројекција површине мете на коју пада сноп електрона на раван нормалну на осу снопа закочног зрачења. Код цеви са стационарном анодом и линијским фокусирањем снопа електрона димензије фокуса су обично од 1 до 3 mm. Мета се поставља под углом у односу на осу електронског снопа, (тај угао је у опсегу 0 и 30° , најчешће 20° а за панорамско прозрачивање је угао 0°).

Стационарне аноде рендгенских цеви су оклопљене облогом од бакра са примесама тешких метала. Оклоп смањује интензитет рендгенског зрачења ван централног снопа и ниже нивое зрачења у близини цеви. Да би се појачао ефекат заштите, често се преко отвора у оклопу кроз који пролази сноп закочног зрачења ставља берилијумско стакло (берилијумски прозор) дебљине неколико милиметара, које зауставља електроне расејане у мети или ослобођене фотоефектом, а незнатно апсорбује рендгенско зрачење. Због велике количине топлоте мора се хладити мета што се решава конструктивно избором посебних анода са метом (обртне аноде). Електрична кола са високонапонским трансформаторима који се напајају мрежним напоном обезбеђују разлику потенцијала између катоде и аноде. Контрола и подешавање интензитета емитованог рендгенског зрачења врши се променом струје рендген цеви која јако зависи од интензитета струје загревајућег влакна. Енергија закочног X зрачења бира се подешавањем напона примарног високонапонског трансформатора, којим се подешава убрзавајућа разлика потенцијала односно енергија електрона који интерагујући у мети емитују закочно зрачење. Од енергије X зрачења (односно високог напона) зависи и могућност прозрачивања одређене дебљине различитих материјала. Високо напонски X зраци се у општем случају користе за прозрачивање дебљих и тешких материјала (повећање напона узрокује пад таласне дужине).

Рендген радиограми састоје се из савитљиве фолије од ацетатне целулозе (подлоге) на коју је у танком слоју преко танких везивних слојева нанета са обе стране фотографска емулзија од халогенида сребра. При прозрачивању материјала зрачење које пролази кроз

испитивани материјал, интерагује са емулзијом радиограма и даје латентну слику која се хемијски обрађује и добија радиограм. Рендген радиограм је осетљив и на друга електромагнетна зрачења, као и на низ других фактора који могу деловати у процесу припреме, експонирањем и хемијске обраде и изазвати лажне дисконтинуитете. Избор рендген филмова и хемијска обрада зависе од сензиометриских карактеристика радиограма, односно фотографске емулзије. Најзначајније од тих карактеристика су брзина радиограма контрастност (градијент) радиограма и спектрална осетљивост.

Брзина радиограма је величина која карактерише осетљивост радиограма на дејство зрачења. Она је обрнуто сразмерна времену излагања зрачења дефинисаног спектра, потребном за постизање одређене густине зацрњења радиограма. Зависност густине зацрњења од примењене експозиције јонизујућег X или гама зрачења дефинисаног спектра при тачно дефинисаним условима хемијске обраде представља карактеристичну криву радиограма. Експозиција (E) је интензитет зрачења (број фотона који у току излагања падне на радиограм) помножен са временом излагања зрачења. Код изотопских извора експозиција је активност пута време ($Bq \cdot s$) а код рендгена, струја пута време (mA-min). Због лакшег поређења брзина различитих радиограма у пракси се користи релативна брзина радиограма. Она показује колико је пута брзина посматраног филма већа или мања од брзине неког референтног радиограма, чија је релативна брзина проглашена јединичном. У пракси се за прорачун времена експонирања чешће користи величина реципрочна релативној брзини радиограма, фактор радиограма (K_s). Брзина радиограма углавном зависи од величине зрна AgBr у емулзији. Уколико су зрна крупнија, радиограми су брзи и обрнуто, радиограми су спорији ако су зрна ситнија. Од рендген радиограма се захтева да региструје дисконтинуитете одређених димензија у предмету који се испитује, а да време прозрачивања и хемијска обрада буду што краћи за оптималну густину зацрњења радиограма.

При избору радиограма треба знати да зрно треба да буде утолико ситније уколико је мања величина грешке, што значи за прозрачивање мањих дебљина треба употребљавати радиограме са ситнијим зрнима и обрнуто.

На основу величине зрна извршене су и многе класификације радиограма као на пр.: врло спори, спори, брзи, веома брзи.

Градијент радиограма у линеарном делу (област нормале експозиције) карактеристичне криве радиограма се обично назива гама. Контраст (градијент) филма је веома битна карактеристика јер дефинише и контраст радиограма (пored контрасти предмета који се испитује и услова хемијске обраде).

Спектрална осетљивост рендген радиограма јако зависи од енергије зрачења, односно врсте изотопског извора гама зрачења и високог напона рендген цеви. Разлике спектралних осетљивости радиограма се узимају у обзир при изради експозиционих

дијаграма и таблица релативних брзина и фактора радиограма. Криве спектралних осетљивости, које се обично представљају као експозициона доза зрачења на површини радиограма потребна да се добије одређена густина зацрњења врло су сличне за све типове радиограма.

Појачавајуће фолије служе да појачају дејство зрачења на радиограм при експонирању (слика 20.). Оне се стављају испред и иза радиограма и задатак има је да X или гама зрачења (на које емулзија рендген радиограма мало осетљива) преведу у електронско или светлосно, на које је фотографска емулзија знатно осетљива.

Према материјалима од којих се израђују разликују се:

- фолије од тешких метала (најчешће олова),
- флуоресцентне фолије.

Појачавајуће дејство фолије од тешких метала, заснива се на порасту апсорпције зрачења са порастом атомског броја Z материјала фолија, која је праћена емисијом електрона. Код нижих енергија апсорпције X и гама зрачења се врши фотоефектом. Упадни квант електромагнетног зрачења апсорбује се у атому материјала фолије и избацује из њега електроне одређене кинетичке енергије. Избачени електрон интерагује са емулзијом радиограма са много већом вероватноћом од упадног кванта електромагнетног зрачења (стварајући латентну слику дисконтинуитета) и тако појачава фотографско дејство зрачења на радиограм, скраћујући време прозиравања.

На појачавачко дејство фолија од тешких метала утиче и дебљина фолија. Најчешће се користе фолије од легура олова и антимоана, а чисто олово се избегава због мале тврдоће и могућности да остави на радиограму отисак (мрљу). Често се користе и фолије од тантала иако им је мала еластичност. Фолије од бакра имају израженији филтрациони ефекат од олова. Примењују се при радиографији са изворима X зрачења већих енергија. Користе се и фолије од челика, алуминијума или комбинација ових метала. Избор фолија од тешких метала се врши на основу енергије зрачења и класе радиограма и обично се тај избор врши према захтевима одговарајућих стандарда. Појачавајући дејство флуоресцентних фолија се заснива на особини неких соли да под дејством X или гама зрачења емитују видљиву светлост а на коју је фото емулзија веома осетљива. Ефекат појачања је већи уколико се користе радиограми посебно осетљиви на светлост. Коефицијент појачања ових фолија је различит и зависи од класе филма, енергија зрачења густине и дебљине материјала који се испитује.

Појачавајуће дејство ових фолија је веће у односу на оловне али оне немају филтрационо дејство па је мања оштрина пројекције грешке, јер појачавају и расејано зрачење као и примарно. Оне се користе углавном када је потребно скратити време прозрачивања а тражи се високи квалитет радиограма.



Слика 20. Појачавајућа фолија од алуминијума

Идентификационе ознаке (слика 21.) су обично слова и бројеви стандардних димензија, а израђују се од олова или осиромашеног уранијума утиснутог у пластичне фолије. Постављају се на касете са радиограмом како би се добијени радиограм довео у везу са местом испитивања радиограма.



Слика 21. Идентификационе ознаке

Индикатори квалитета слике су специјални еталони, који се прозрачавају заједно са предметом испитивања. На радиограму се ови еталони региструју и на основу одређивања најмање величине еталона (пречник жице, дебљине степеника, пречник рупе

итд.) који је на радиограму регистрован, могуће је на основу утврђених захтева стандарда, норми, спецификација, договора итд. одредити квалитет радиограма. Ови еталони се називају индикатори квалитета слике (ИКС), односно, пенетрометри.

Индикатори квалитета се израђују од материјала идентичних са материјалима који се испитују. Сви индикатори су стандардизовани и ознака стандарда мора да је видљива на индикатору. Стандардом се дефинише изглед, опис, димензије, материјали и начин обележавања. Избор индикатора врши се на основу врсте и дебљине материјала у циљу постизања квалитетног радиограма. За радиографско испитивање користе се индикатори различитих конструкција као што су:

- жичани индикатори
- степенасти са отворима
- плочасти итд.

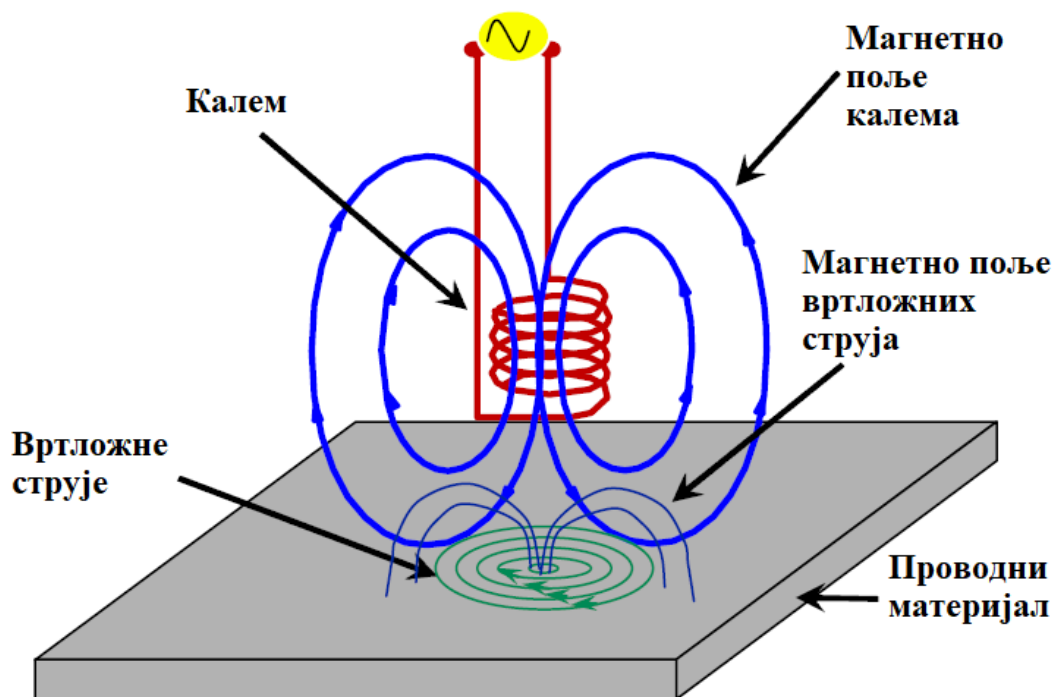
Илуминатори се користе за просветљавање радиограма ради откривања нехомогености у предметима који се испитују. Илуминатор (слика 22.) представља извор дифузне светлости одређеног или континуалног променљивог интензитета, који се емитује кроз површину стандардног облика и димензија. Код новијих илуминатора интензивна осветљеност екрана се успоставља ножном командом. За анализу детаља радиограма користе се и рефлектори са блендом, лупе за увећавање (до 10 пута) и друга помагала.



Слика 22. Илуминатор за читање радиограма

3.2.7. Метода вртложних струја

Вртложне струје се заснивају на принципу електромагнетизма. Вртложне струје су индуковане електричне струје које су добиле име по "вртлозима" који се јављају када течност или гас круже око препрека у одређеним условима. Вртложне струје се могу користити за откривање грешака, мерење дебљине материјала, мерење дебљине превлаке и мерење проводљивости у циљу идентификације материјала, откривање штете настале загревањем и за надзирање термичке обраде. На слици 23. је приказана шема ове методе.



Слика 23. Принцип рада вртложних струја

Предности ове методе су:

- осетљивост на мале пукотине и друге грешке
- откривање површинских и потповршинских грешака
- испитивање даје непосредне резултате
- опрема је преносива
- потребна је минимална припрема испитног узорка
- није неопходан контакт сонде и узорка
- испитује сложене облике и величине проводних материјала

Недостаци ове методе су:

- могу се испитивати само материјали који проводе електричну енергију
- обука је знатно захтевнија и сложенија у односу на остале методе испитивања
- неопходни су референтни стандарди
- велика осетљивост на површинску обраду и храпавост
- ограничена дубина продирања (до 8 mm)
- не могу се детектовати ламинарне пукотине које су паралелне са сондом и правцем скенирања

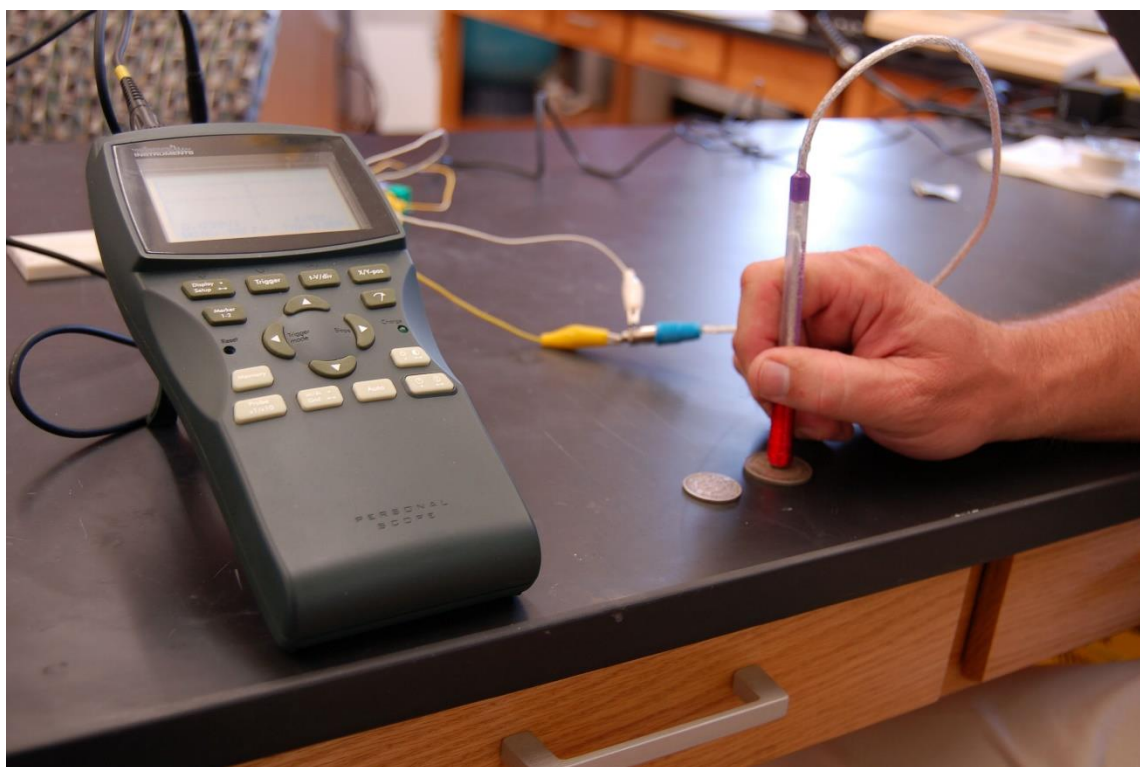
Типови сонди који се користе су:

- апсолутне
- диференцијалне
- рефлексijske
- хибридне

Апсолутне сонде имају један тест калем који се користи за стварање вртложних струја и праћење промена у пољу вртложних струја. Када сонда лежи поред проводног материјала, променљиво магнетно поље генерише вртложне струје у самом материјалу. Користе се за откривање пукотина, проводљивости и мерења дебљине.

Диференцијалне сонде обично имају два активна калема намотана у супротним смеровима. Када су намотаји изнад области где нема пукотина, нема диференцијала сигнала, јер оба калема испитају исти материјал. Међутим, када је један намотај изнад пукотина, а други на површини где нема пукотина, генерише се диференцијални сигнал. Њихова предност је што су веома осетљиви на грешке које су релативно слабо приметне на мале димензије и промене температуре. Ова врста сонде смањује треперење сигнала. Недостатак је тешка интерпретација сигнала. На пример, ако је пукотина дужа од удаљености између завојница, биће откривени само рубови испред и иза калема, због прекида сигнала у тренутку када оба калема примете пукотину..

Слично диференцијалним сондама, и рефлексijske сонде имају два калема, с тим што се један калем користи за стварање вртложних струја, а други служи као сензор. Предност таквих сонди је да се калемови одвојено оптимизују за предвиђену сврху.



Слика 24. Уређај за испитивање методом вртложних струја

3.2.8. Испитивање пропусности

Основне функције испитивања пропусности су откривање, лоцирање и мерење пропуштања (цурења) која су се појавила у затвореним системима (резервоари, радијатори, итд.).

Испитивање пропусности се дели у три главне групе:

- Испитивање пропусности помоћу мехурића
- Испитивање пропусности променом притиска
- Испитивање пропусности инертним гасом

Испитивање пропусности мехурићима се врши урађањем испитног узорка у испитну течност, али се његова спољна површина прекрије влажним раствором. Разлика притиска на рубу узорка је таква да се на местима цурења јављају мехурићи. Ова метода даје непосредне индикације постојања и позиције већих пукотина, док је за мање пукотине поребно дуже вријеме испитивања. Испитни медијум је гас који протиче кроз пукотине услед разлике у притиску. Контролна индикација је појава мехурића на месту пукотине. Процена величине пукотине врши се на основу брзине стварања мехурића, величине мехурића и брзине раста појединачних мехурића.

Испитивање пропусности променом притиска заснива се на мерењу пораста или пада притиска у испитном узорку. Испитни узорак се упумпава при чему се ствара референтни притисак. После одређеног времена врши се мерење притиска, те се упоређују почетни и завршни резултати мерења. Промена притиска користи се за прорачун брзине цурења на основу унутрашње запремине испитног узорка.

Трећа група испитивања пропусности се заснива на мешању инертних гасова са ваздухом, чиме се омогућује даље постављање мешавине гасова на одговарајућу осетљивост.

Опрема за испитивање:

- Вакуум пумпа
- Компресор
- Прикључци
- Вакуум звона
- Мерни инструменти (вакуумметар)

Предности испитивања пропусности:

- Висока осетљивост (метода са инертним гасовима)
- Локализовање места цурења (метода са мехурићима)
- Технички једноставна метода за сложене системе под притиском
- Висока продуктивност и економичност

Недостаци:

- Потребна висока оспособљеност особља (познавање опреме и методе)
- Веродостојност резултата превише зависи од почетних радних услова испитивања (температура, влага, чистоћа,...)
- Појава лажних индикација, ако испитни систем није добро запечаћен или је испитна течност контаминирана
- Утицај промене времена на извођење дуготрајних испитивања
- Звоно мора бити конструисано тако да преноси разлику притиска током испитивања

4. ГРЕШКЕ У ЗАВАРЕНИМ СПОЈЕВИМА

Да би заварени спој служио својој сврси неопходно је да поседује исте или приближно исте особине као и основни материјал. У супротно би представљао слабо место, тј. место на коме би се јавиле грешке или дошло до хаварије. Да би се обезбедиле одређене особине завареног споја, прибегава се најразличитијим поступцима (припрема жлеба пре заваривања, предгревање, термичке обраде и сл.) поред којих је од велике важности и сама квалификација заваривача и услови под којима се заваривање врши. Без обзира на то колико ми савршено припремили жлеб или ангажовали вештог и искусног заваривача, у завареном споју може доћи до одређених грешака, које могу и не морају утицати на особине самог споја.

4.1. Врсте грешака у завареним спојевима

Под појмом грешке се уопштено подразумева свако одступање од захтева дефинисаних техничком документацијом, која може да се односи на било коју карактеристику завареног споја. Грешке у завареном споју можемо класификовати :

1) према узроку настајања;

- Конструкционе грешке су најчешће последица лошег обликовања конструкције.
- Металуршке грешке су последица топљења и очвршћавања основног и додатног материјала и по правилу их је најтеже открити и уклонити. Најчешће грешке овог типа су прслине, гасни и чврсти укључци.
- Технолошке грешке су последица погрешне технологије заваривања или непоштовања прописане технологије, као и лошег рада заваривача, неисправне опреме, лоше припреме итд. У технолошке грешке спадају непровар, налепљивање, прокапљине, грешке обликовања и кратери.

2) према локацији;

- Спољашње грешке су оне које могу да се детектују голим оком или уз помоћ неког оптичког помагала(лупа, микроскоп,...) и најчешће представљају удубљења или пукотине у металу шава. У њих спадају прокапљина, зајед, удубљеност корена, преливеност, смицање ивица и сл.
- Унутрашње грешке су грешке које се налазе испод површине метал шава и које нису видљиве са спољње стране. Оне се откривају применом специјалних метода и у њих спадају порозност, шупљине, прслине, укључци, грешке у везивању и друге.

3) према облику;

- Класификација грешака према облику обухвата шест основних група: прслине, гасни укључци, чврсти укључци, налепљивање и непровар, грешке облика и остале грешке.

Најраспрострањенија врста грешке, која је посебно карактеристична за поступке електролучног заваривања, је порозност. Поре настају као последица појаве гасних мехурова у фази примарне кристализације металног купатила. Могу да буду сферног, издуженог или сложеног облика, најчешће се распоређују у групама и то на почетку или крају шави. Њихова уобичајена величина је реда од неколико микрона до неколико милиметара. У завареним спојевима од нискоугљеничних челика и аустенитних челика количина појединачних пора није велика. Број, облик и расподела пора зависи од примењеног поступка заваривања као и од полазног квалитета материјала. Сматра се да, сем у изузетним случајевима, умерена порозност (Макс. до 3-4%) не утиче битније на особине споја. Међутим, ако из било ког разлога на заварени спој делује одређена концентрација напона, онда већ и та мала количина пора утиче на смањење експлоатационих карактеристика завареног споја. Заварене конструкције које су у току експлоатације изложене динамичким оптерећењима веома су осетљиве на присуство пора. Такође, порозност је непожељна и код судова под притиском јер може да утиче на смањење херметичности суда.

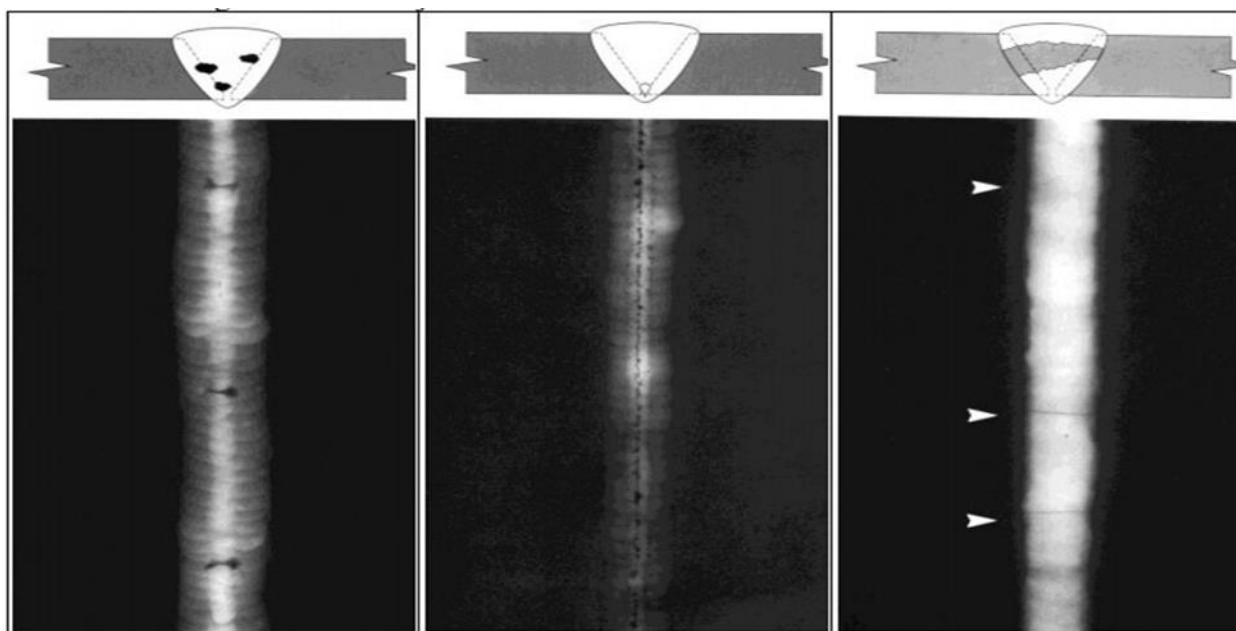
Веома честу врсту грешака у спојевима чине укључци шљаке (троске) оксидни укључци (неметални укључци) и укључци волфрама (метални укључци), који представљају чврсте честице које су заостале у металу шави или у току реакције у растопљеном металу или случајним контактом разних материјала који учествују у заваривању са растопљеним металом. Присуство ових грешака утиче на смањење чврстоће заварених спојева и на смањење динамичке чврстоће али у мањем степену него порозност.

Распрострањена грешка, која се јавља при заваривању, је и непроварено место (непровар). Присуством непровара је, пре свега, смањена величина попречног пресека шави а осим тога он делује и као место концентрисаних напона. Непроварено место може при заваривању да се јави у случају недовољно очишћених ивица жлеба, њихове неправилне припреме као и у случају нестабилног режима заваривања. Присуство непровареног места може да буде веома опасно за заварене конструкције и спојеве чији су радни услови везани за примену снижених температура јер долази до катастрофалног пада чврстоће, пластичности и жилавости.

При кристализацији металног купатила, а као последица различитог скупљања у појединим деловима, настају кристалizacione прслине које су познате као грешке типа прслина. Због свог издуженог облика са издуженим врховима представљају, као места највеће концентрације напона, и најозбиљније грешке заварених спојева чије присуство није дозвољено.

Велику опасност за заварене конструкције представља и могућност појаве кртог разарања. Да би дошло до кртог разарања завареног споја неопходно је истовремено деловање три фактора: затезних оптерећења и одговарајућих напона, грешка са оштрим облицима и завршецима (нпр. прслине које могу да се јаве при заваривању) и микроструктуре која је склона образовању прслина. Да би се избегло крто разарање довољно је да се одстрани утицај бар једног фактора, што пре свега подразумева правилан избор материјала за заваривање са структуром у којој је отежано образовање и кретање прслина.

Као последица еласто-пластичних деформација при образовању завареног споја, јављају се у зони споја и у околној зони основног материјала заостали напони. Заостали напони у спојевима могу да се јаве и као последица накнадне термичке обраде. Независно од узрока који их изазива, заостали напони у току експлоатације заварене конструкције или споја доводе, уколико је реч о динамичким оптерећењима, до асиметрије циклених оптерећења односно, напона чиме се у суштини мења величина средњег напона по циклусу. Присуство заосталих напона има велики утицај на радни век заварене конструкције који није увек негативан. Ако су у околини неке грешке присутни заостали напони онда ће, у зависности од њихове врсте (затезни или притисни), при суперпонирању са спољашњим статичким односно променљивим оптерећењем, да се створе различити нивои напона. Ова појава утиче на повећање односно смањење нивоа амплитудног напона а то има директан утицај на експлоатациони век завареног споја. На слици 25. су приказани снимци радиограма са грешкама у заварима.



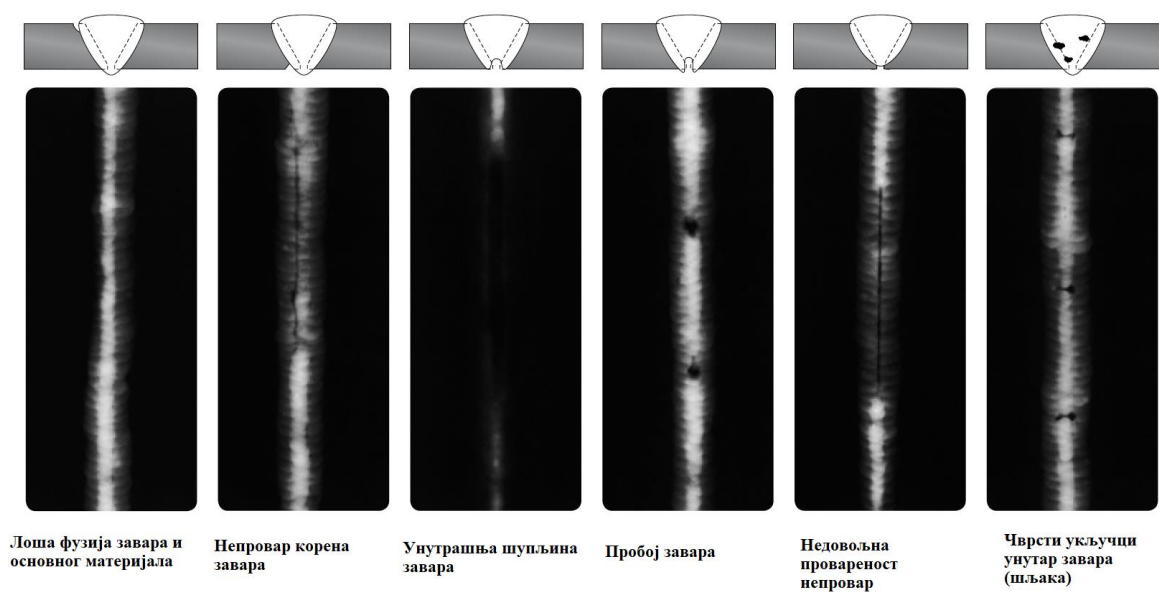
Слика 25. Примери грешака у завареном споју (постојање шљаке, порозност и пукотине)

4.2. Критеријуми прихватања грешака

При вредновању налаза добијених одређеним методама испитивања без разарања, тј. доношењу одлуке да ли се предмет контроле са грешком регистрованој контролисањем прихвата или не, морају се узети у обзир не само информације које пружају резултати испитивања који могу бити:

- врста грешке,
- величина грешке,
- распрострањеност грешке и
- положај грешке,

већ и низ других података (напонско стање, услови експлоатације итд.) битних за доношење одлуке о прихватљивости. Дозвољена одступања од хомогености, тј. дозвољене врсте, величине и распрострањености грешака, одређују се стандардима и прописима за одређену опрему на којој је заварени спој изведен или у коју је уграђен одливак. Последњих година све израженија је тенденција да се једнозначно одреди граница прихватљивости (врста, величина и учестаност) за одређену класу завареног споја или одливка коју дефинише пројектант или конструктор, што доприноси објективности интерпретације резултата испитивања. На слици 26. су приказане најчешће грешке са којима се сусрећу контролори заварених спојева.



Слика 26. Радиограни завара са најчешћим грешкама у завареним спојевима

5. ЗАШТИТА НА РАДУ ПРИ ВРШЕЊУ ИСПИТИВАЊА

При извођењу испитивања методама без разарања не постоји опасност по здравље и безбедност људи код свих метода осим код радиографске методе испитивања, где су људи изложени штетном дејству јонизујућег зрачења.

5.1. Заштита од зрачења

Постоје три главне методе заштите од зрачења:

- 1) удаљеност,
- 2) време,
- 3) апсорбери.

Поред ове три методе, потребно је радити са изворима који немају већу радиоактивност него што је потребно.

5.1.1. Удаљеност

Интензитет радијације опада са квадратом растојања од тачкастог извора. Због тога се фактор удаљености може користити за смањење примљене дозе зрачења. Ако хватамо радиоактивни извор прстима, удаљеност између радиоактивног извора и прста износи неколико милиметара, а између извора и руке је неколико центиметара. Ако се употреби пинцета дужине око 20 см, доза коју приме прсти ће се смањити за фактор 1000, а доза коју прими рука за фактор 15 до 20.

У случају да удаљеност не би била довољна заштита, оно ипак доприноси смањењу дебљине потребног апсорбера и тако смањењу трошкова.

5.1.2. Време

Ако се скрати време рада са извором зрачења, може се примити врло мала доза, иако је интензитет зрачења превелик да би се са тим извором могло радити нормално радно време. На пример, дозвољено је да се ради у простору где је брзина дозе 100 пута већа од максимално дозвољене дозе за континуирани рад, ако се радно време код те брзине смањи на стоти део од 40 радних сати, дакле мање од пола сата. Али ако је излагање особа брзинама већим од 1000 пута допуштене брзине дозе треба дозволити само у изузетним случајевима и под посебним околностима.

5.1.3. Апсорбери

Постоје две врсте апсорбера, у зависности од тога да ли се ради о заштити од наелектрисаних честица, између којих и материје постоји веома јако међуделовање, или о ненаелектрисаним честицама, као што су гама зраци и неутрони, који имају велику продорну моћ, више него што са материјом реагују.

У принципу, треба користити истовремено све факторе, али чешће треба наћи разуман компромис. На пример, повећање дебљине штита и удаљености може довести до повећања времена рада.

а) Апсорбери за наелектрисане честице осим електрона

Ако се ради о заштити против наелектрисаних честица, очигледно је да њихов домет у датом апсорберу одлучујућа величина за одређивање дебљине истих. За алфа зраке енергије 2-3 MeV, довољни су као апсорбери један лист папира, или танки метални листић и да алфа честице до 7,5 MeV неће проћи кроз кожу. Пошто знамо да је средња дебљина коже 7 mg cm^2 , кожу можемо сматрати као заштитни слој људског тела. Из тог разлога алфа зраци нису опасни као спољно зрачење, али могу бити врло опасни унутар тела. Домет алфа честица енергије 4 до 9 MeV у ваздуху је приближно 2,5 до 8,5 cm. Домет протона енергије 1 до 10 MeV у лаким елементима је 3 до 150 mg cm^2 .

б) Апсорбери са електромагнетним зрачењем

За проучавање дебљине апсорбера за X и гама фотоне треба знати такозвану „геометрију“ експерименталног уређаја. У заштити се срећемо са проблемом широког снопа, који пада на штит, односно лоше геометрије за који је потребно познавање фактора гомилања.

6. ЗАКЉУЧАК

Контрола квалитета заварених спојева представља јако сложен процес од ког зависи функционалност читаве конструкције, а самим тим и безбедност корисника конструкције. Савремене методе испитивања и технологије које се примењују како за извођење заварених спојева тако и за контролу, увелико олакшавају посао, док истовремено обезбеђују тражени квалитет уз адекватну цену која омогућава конкурентност на тржишту. Испитивање без разарање је у садашњем времену постало неопходан алат за све гране индустрије, било да се користи за испитивање заварених спојева или за праћење стања читавих техничких система. То у многоме обезбеђује велику поузданост и адекватно одржавање техничких система али и производних процеса широм света. Код заварених спојева ова метода испитивања омогућава јефтину и брзу контролу читавог процеса заваривања али и готовог производа, што произвођачу омогућава да у задатим роковима обави посао и гарантује тражени квалитет. Све ове методе су данас широко распрострањене и стандардизоване су као процеси у управљању производњом и квалитетом читавог процеса. Примена одговарајућих стандарда у многоме олакшава коришћење одређених производа било где у свету, и на тај начин се применом тих стандарда омогућава исправан рад и квалитетно одржавање процеса производње.

У прилогу су дати извештаји визуелног испитивања завареног склопа, као и извештаји испитивања пенетрантима и извештај радиографског испитивања.

7. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Петар Тодоровић, Бранислав Јеремић, Иван Мачужић, Техничка дијагностика, Машински факултет, Крагујевац, 2009.
- [2] <https://www.scribd.com/document/171523759/Kontrola-Kvaliteta-Zavarenih-Spojeva-Primenom-Ultrazvuka-i-Magnetnih-Metoda>, октобар 2017.
- [3] <https://www.scribd.com/document/283700532/Radiografsko-ispitivanje-zavarenih-spojeva>, октобар 2017.
- [4] http://www.sfsb.unios.hr/kth/zavar/na_dipl4/5.pdf, октобар 2017.
- [5] <https://www.google.rs/imghp?hl=sr&tab=wi>, октобар 2017.
- [6] http://www.trinityndt.com/downloads/NDT_Procedures/NDT-Weld-Visual-Inspection-procedure-free-download.pdf, октобар 2017.
- [7] VT Report MITTELLANGTRAEGER OBB 2379-02-2017, Milanović inženjering, септембар 2017.
- [8] http://www.trinityndt.com/downloads/NDT_Procedures/Liquid-dye-penetrant-test-inspection-Free-NDT-sample-procedure.pdf, октобар 2017.
- [9] PT Report MITTELLANGTRAEGER OBB 2379-02-2017, Milanović inženjering, септембар 2017.
- [10] IZVEŠTAJ RADIOGRAFSKOG ISPITIVANJA, Metal Inspekt d.o.o., септембар 2017.
- [11] http://www.fdot.gov/research/completed_proj/summary_smo/fdot-bdk84-977-26-rpt.pdf, октобар 2017.
- [12] <http://www.inspection-for-industry.com/radiographic-testing.html>, октобар 2017.
- [13] https://preview.eagle.org/eagleExternalPortalWEB/ShowProperty/BEA%20Repository/Rules&Guides/Current/14_NDI_HullWelds/Guide, октобар 2017.

8. ПРИЛОГ

	IZVEŠTAJ O VIZUELNOM PREGLEDU VISUAL TEST REPORT		Broj: No.: VT 2379-17/02	
			Datum: Date: 03.09.2017	
Q.4.104				
Naručilac: Customer: SIEMENS		Mesto ispitivanja: Testing place: Cerovac, Kragujevac		
Zahtev naručioca: Order No.: /		Radni nalog br. Job order No.: 2379-17		
Predmet Ispitivanja: Object to be tested:		Welds on the "Mittellangtraeger F-Ende Vollst." OBB Zavareni spojevi "Mittellangtraeger F-Ende Vollst." OBB		
Podaci o predmetu ispitivanja/Details of the test item				
Oznaka/fabr.br: Identification:		Vrsta spoja: Weld type:		
2379-17/02		BW; FW;		
Materijal/Standard: Material/Standard:		Crtež br.: Drawing No.:		
EN AW 6005A T6		WZA6Z00035274047		
Termička obrada: Heat treatment:		A2V00002316943		
/				
Podaci o ispitivanju/Test procedure				
Datum ispitivanja: Test date:		Ispitna strana: Outside/inside surface:		Osvetljenje: Illumination:
01.09-03.09.2017		Outside		>350lx(500)
Obim ispitivanja: Scope of testing:		Priprema površine: Surface preparation:		Korišćena oprema: Equipment used:
100%		Čišćenje proh.četkom		Lupa, Varomer Baterijska Lampa
Broj komada: Number of pieces:		Metoda: Procedure:		
1		EN ISO 17637: VT Q.3.030		
Ispitivana dužina: Tested Length:		Kriterijum prihvatljivosti: Acceptance criteria:		
100%		EN ISO 10042; "C"		
Postupak zavarivanja: Welding process:				
131				
Rezultati ispitivanja/Results of examination				
Parametri nalaza/indication parameters				

During visual examination of all welded joints there were not detected any irregularities.
 It was found that the welded joints satisfy the required quality level "C" according to standard
 EN ISO 10042.

Mišljenja i tumačenja/Opinions and interpretations

Ispitao / Testing perform by
Saša Ugrinić VT2

	IZVEŠTAJ O ISPITIVANJU PENETRANTIMA PENETRANT TEST REPORT	No. PT 2379-17/02
		Datum: Date: 03.09.2017.
		Q.4.105

Naručilac:	Mesto ispitivanja:
Customer: SIEMENS	Testing place: Cerovac, Kragujevac
Zahtev naručioca:	Radni nalog br.:
Order No.: /	Job order No.: 2379-17
Predmet ispitivanja:	
Object to be tested: Welds on the "MITTELAHNGTRAEGER "	
	Zavareni spojevi na "MITTELAHNGTRAEGER "

Podaci o predmetu ispitivanja/Details of the test item

Oznaka/fabr.br:	Vrsta spoja:
Identification: 2379-17/02	Weld type: BW;FW
Materijal/Standard:	Crtež br.:
Material/Standard: EN AW6005A-T6;	Drawing No.: WZ A6Z00035274047
Termička obrada:	
Heat treatment: /	

Podaci o ispitivanju/Test procedure

Datum ispitivanja:	Metoda ispitivanja:	Osvetljenje:
Test date: 03.09.2017	Test method: EN ISO 3452-1	Illumination: Tečni penetrant
Obim ispitivanja:	Vreme penetriranja:	Korišćena oprema:
Scope of testing: 100% MŠ+ZUT	Penetration time: 15min	Equipment used: >350lx (500)
Temp.površine/okoline:	Sušenje:	Odstranj.viška penetra.:
Surface/ambient temper.: 100% WM+HAZ	Drying: 10min	Excess penetrant removal: Baterijska lampa
Priprema površine:	Vreme razvijanja:	Način primene penetranta:
Surface preparation: Čišćenje	Development time: 10min	Penetrant application: Raspršivanjem
Ispitna strana:	Uslovi posmatranja:	Način primene razvijaca:
Outside/inside surface: proh. cetkom	Viewing conditions: uslovi	Developer application: Raspršivanjem
Ispitivana dužina:	Standard : okoline	Procedura:
Tested Length: 100%	Sistem : EN ISO 3452-1:2013	Procedure: Q.3.029

Penetrantski sistem/ penetrant system

Tip	Oznaka	Proizvođač	Način nanošenja
Type	Mark	Manufacturer	Application method
Penetrant:			
Penetrant: red liquid	MR 311R	MR Chemie Gmbh	Raspršivanjem
Odstranjivač:			
Remover: cleaner detergent	MR 88	MR Chemie Gmbh	Raspršivanjem
Razvijlač:			
Developer: white powder	MR 70	MR Chemie Gmbh	Raspršivanjem

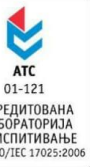
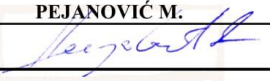
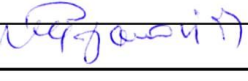
Kriterijum prihvatljivosti/Acceptance criteria

Nivo kvaliteta:	Nivo prihvatljivosti:
Quality level: EN ISO 10042 "C"	Acceptance level: EN ISO 23277 nivo 2x
	EN ISO 23277 level 2x

During penetrant testing of the all welds there were not detected any irregularities.
It was found that the welded joints satisfy the required quality level "C" according to standard.

Ispitao/Operator
Saša Ugrinić PT2

 METAL INSPEKT DOO Preduzeće za ispitivanje materijala i zavarenih spojeva bez razaranja Riste Marjanovića 27, Beograd tel: 655-7075 / fax: 250-5062 metalinspekt@gmail.com		IZVEŠTAJ RADIOGRAFSKOG ISPITIVANJA RADIOGRAPHISCH PRUEFUNGSBERICHT				 ATC 01-121 АКРЕДИТОВАНА ЛАБОРАТОРИЈА ЗА ИСПИТИВАЊЕ SRPS ISO/IEC 17025:2006													
Izveštaj br.: Bericht Nr.:		236M/17		List: Seite:		1 / 2													
PODACI O KORISNIKU / DIE DATEN ÜBER DEN KLIENT																			
Korisnik: Klient:		MILANOVIĆ INŽENJERING CEROVAC			Broj ugovora (nalog): Vertrag-Ausführung Nr.:			05-01/17											
PODACI O OBJEKTU ISPITIVANJA / DIE DATEN DES PRUEFUNGS OBJEKTES																			
Naziv i oznaka opreme: Prüfobjekt:		LANGTRAEGER OBB			Naziv dela kojise ispituje: Der Name des Pruefungsteiles:			2539-17/01											
Materijal: EN AW 6005A-T6/ Material: 5083-H111		Nivo kvaliteta: C Qualitätsniveau: EN ISO 10042		Termička obrada: / Heizungsbearbeitung:		Tehnologija izrade: TIG/MIG (141/131) Ausführungstechnologie: BW, 8V, 6V		WPS: /											
OPREMA I PARAMETRI ISPITIVANJA / AUSRÜSTUNG & PRUEFUNGS PARAMETER																			
Izvor zračenja: Strahlungsquelle:		X-RAY		Napon (kV): Spannung (kV):		110		Struja (mA): Current (mA):		5		Udaljenost film-fokus: Film-fokuserfrftung:		850 mm					
Vreme ekspozicije: Expositionszeit:		1 min. 48 sec. 2 min. 20 sec.		Film: Film:		EN 584-1 (C3)		Folija: Folie:		0,15/0,15		Hemijska obrada: Chemische Bearbeitung:		MANUAL		Indikator kvaliteta: IQI Typus:		10AIEN	
Klasifikacija nepravilnosti: Die Qualifikation der unregelmaessigkeiten:		EN ISO 6520 - 1		Prihvataljivo po: Akzeptiert nach:		ISO 10675-2 CLASS 2		Ispitano po: Durchgeprueft nach:		EN ISO 17636-1 CLASS B		Tehnika ispitivanja: Die pruefungs technik:		SIMENS SCENARIO					
REZULTATI ISPITIVANJA / ERGEBNISSE DIE PRUEFUNGS																			
Red. Br. Ord Nr	Pozicija; zavareni spoj Pos. Nr. Der geschweissten Teil	Zavarivač Schweißer	Dimenzije filma Dimensionen film (cm)	Zacrnjenje Dichtigkeit	Vidljiva žica Sichtbares draht	Oznaka radiograma Radiogram unterschrift	Vrsta nepravilnosti Indication typus	Pozicija indikacija Indication position (cm)	Ocena Bewertung		Napomena Bemerkung								
									Z	NZ									
1	2539-17/01	1L-A	72/7	10×48	2,1 - 3,9	14	2539-17/01	1L-A	3041	PS - 0/1 *	×	L - LINKS D - RECHTS ZS - LETZTE SEITE PS - FRONT SEITE LS - LINKE SEITE DS - RECHTE SEITE MERENO OD ŠPICA GEMESSEN VON TOP *-MERENO OD ŠIREG DELA KUTIJE *-VON BROADER WORK BOX GEMESSEN							
2		1L-B		10×48	1,5 - 3,0			14	1L-B	3041	PS - 0/1 *		×						
3		2L-A		10×48	2,1 - 3,9			14	2L-A	2011	PS - 13 *		×						
4		2L-B		10×48	1,5 - 3,0			14	2L-B	2011	PS - 13 *		×						

 METAL INSPEKT DOO Preduzeće za ispitivanje materijala i zavarenih spojeva bez razaranja Riste Marjanovića 27, Beograd tel: 655-7075 / fax: 250-5062 metalinspekt@gmail.com				IZVEŠTAJ RADIOGRAFSKOG ISPITIVANJA RADIOGRAPHISCH PRUEFUNGSBERICHT				 ATC 01-121 АКРЕДИТОВАНА ЛАБОРАТОРИЈА ЗА ИСПИТИВАЊЕ SRPS ISO/IEC 17025:2006				
Izveštaj br.: Bericht Nr:		236M/17		List: Seite:		2 / 2						
PODACI O KORISNIKU / DIE DATEN ÜBER DEN KLIENT												
Korisnik: Klient:				MILANOVIĆ INŽENJERING CEROVAC		Broj ugovora (nalog): Vertrag-Ausführung Nr:						
						05-01/17						
PODACI O OBJEKTU ISPITIVANJA / DIE DATEN DES PRUEFUNGS OBJEKTES												
Naziv i oznaka opreme: Prüfobjekt:				LANGTRAERER OBB		Naziv dela kojise ispituje: Der Name des Pruefungsteiles:						
						2539-17/01						
REZULTATI ISPITIVANJA / ERGEBNISSE DIE PRUEFUNGS												
Red. Br. Ord Nr	Pozicija: zavareni spoj Pos. Nr. Der geschweißten Teil	Zavarivač Schweißer	Dimenzije filma Dimensionen film (cm)	Zacrtnjenje Dichtigkeit	Vidljiva žica Sichtbares draht	Oznaka radiograma Radiogram unterschrift	Vrsta nepravilnosti Indication typus	Pozicija indikacija Indication position (cm)	Ocena Bewertung		Napomena Bemerkung	
									Z	NZ		
5	2539-17/01	3D-A	72/12	10×48	2,1 - 3,9	14	2539-17/01	3D-A	2011	PS - 3 *	×	L - LINKS D - RECHTS ZS - LETZTE SEITE PS - FRONT SEITE LS - LINKE SEITE DS - RECHTE SEITE MERENO OD ŠPICA GEMESSEN VON TOP *-MERENO OD ŠIREG DELA KUTIJE *-VON BROADER WORK BOX GEMESSEN
6		3D-B		10×48	1,5 - 3,0	14		3D-B	2011	PS - 3 *	×	
7		4D-A		10×48	2,1 - 3,9	14		4D-A	BN	/	×	
8		4D-B		10×48	1,5 - 3,0	14		4D-B	BN	/	×	
Legenda / legend: Z - zadovoljava / zufrieden; NZ - ne zadovoljava / nicht zufrieden; BN - bez nalaza / ohne indikation												
DODATNI MATERIAL / ZUSATZMATERIAL : EN ISO 18273: S-AI 5183 (AlMg4,5Mn0,7) Ø3,2/Ø1,2 DEBLJINA / DICKE OM : t=6 mm / 8mm (Kutija sa šiljkom)												
Mesto i datum/ Ort und Datum:			Ispitao / Durchge prüft von:			Overava / Beglaubigt von:			Preisptiao i odobro/Bewilling von:			
CEROVAC 21.09.2017.			NENADOVIĆ D. PEJANOVIĆ M.			PEJANOVIĆ MILAN			OBRADOVIĆ MIODRAG			
Potpis: Unterschrift:												
IZVEŠTAJ RADIOGRAFSKOG ISPITIVANJA BROJ / RADIOGRAPHISCH PRUEFUNGSBERICHT Nr 236M/17 "METAL - INSPEKT" DOO - Laboratorija za IBR / NDT Laboratorium												
Strana / Seite 2 od / von 2												