

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Машинско инжењерство
Ниво студија: Дипломске академске студије
Модул: Машинске конструкције и механизација
Предмет: Испитивање машинских конструкција
Број индекса: 111/1991

Јовица И. Капларевић

Испитивање површинских оштећења на елиси спортског авиона пенетрантском методом

Дипломски рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. Др Добривоје Ћатић -ментор

2. _____

3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру овог дипломског рада кандидат треба да опише поступак испитивања без разарања пенатранском методом. Потребно је да опише комплетну процедуру испитивања, уз опис хемикалија које се користе. Испитивање приказати на конкретном примеру, испитивање елисе спортског авиона, и да направи анализу резултата испитивања.

Препоручена литература:

- [1] Јосифовић, Д.: Испитивање машинских конструкција I, Крагујевац, 2000
- [2] Радојичић, Д.: Упутство за испитивање пенетрантским течностима, Завод за заваривање, Београд, 1993.
- [3] Stenberg, H. J.: Испитивање течним пенетрантима - Европска стандардизација, Беч, 2000.

Крагујевац, 05. 06. 2015.

ментор:
Др Добривоје Ћатић, ред. проф.

РЕЗИМЕ

У овом раду се описује поступак испитивања без разарања пенетрантском методом. Ово је дуже време заступљена метода испитивања која је посебно интересантна због ниске цене и релативне једноставности примене. Описују се хемикалије које се користе при овом испитивању, као и комплетна процедура испитивања. Испитивање је приказано на примеру контроле оштећених делова елисе авиона PA-28 WARRIOR II. Такође су приказани резултати добијени том приликом.

Кључне речи: испитивање, прслина, пенетрант, развијач.

ABSTRACT

In this paper method of non-destructive testing by penetrant method is described. This method is used for a long time now, because of its low cost and relative simplicity of application. Chemicals which are used in this method of inspection are described. Complete testing procedure is described also. Example of testing damaged propeller of the plane PA-28 WARRIOR II is shown. Results of this testing are also shown.

Key words: examination, cracks, penetrant, developer.

Садржај:

1. УВОД	6
2. КЛАСИФИКАЦИЈА, КАРАКТЕРИСТИКЕ ИСПИТИВАЊА, ЗАХТЕВИ ЗА СРЕДСТВА ПЕНЕТРАНТСКЕ КОНТРОЛЕ	7
2.1 ИСПИТИВАЊЕ БЕЗ РАЗАРАЊА	7
2.1.1 Визуелна испитивања	7
2.1.2 Пенетрантска испитивања	7
2.1.3 Радијациона испитивања	8
2.1.4 Ултразвучна испитивања	8
2.1.5 Магнетна испитивања	8
2.2 ПРОБЛЕМИ ФОРМУЛИСАЊА ПЕНЕТРАНТСКОГ СИСТЕМА	9
2.3 ПЕНЕТРАНТСКА СРЕДСТВА	10
2.3.1 Општи појмови	10
2.4 ПЕНЕТРАНТСКИ СИСТЕМ	11
2.4.1 Пенетрант	11
2.4.1.1 Тип видљивих пенетраната	11
2.4.1.2 Тип флуоресцентних пенетраната	12
2.4.1.3 Мешовит тип пенетраната	13
2.4.2 Одстрањивач	13
2.4.3 Развијач	13
2.4.3.1. Суви прах	14
2.4.3.2. Раствор праха у води	14
2.4.3.3. Суспензија прага у води	14
2.4.3.4. Суспензије праха у испарљивим растварачима	14
2.4.3.5. Развијачи специјалне намене	14
2.4.3.6. Избор развијача	15
2.5 ПОДЕЛА ПЕНЕТРАНТСКИХ СИСТЕМА	16
2.5.1 Подела према методи испитивања	16
2.5.2 Подела према типу пенетранта и начину његовог одстрањивача	16
2.5.2.1 Самоиспирајући пенетранати	16
2.5.2.2 Течности за накнадно емулговање	16
2.5.2.3 Липорастворљиви пенетранти	17
2.5.3 Подела према осетљивости	17
2.6 КАРАКТЕРИСТИКЕ ПЕНЕТРАНТСКИХ СРЕДСТАВА	18
2.6.1.2 Хемијска инертност	18
2.6.1.3 Тачка паљења (запаљивост)	18
2.6.1.4 Вискозност	18
2.6.1.5 Стабилност складиштења	18
2.6.2 Својства пенетраната	19
2.6.2.1 Стање испоруке	19
2.6.2.2 Моћ квашења	19
2.6.2.3 Температурна стабилност	19
2.6.2.4 Површински напон пенетранта	19
2.6.2.5 Боја пенетранта	20
2.6.2.6 Апсорпција воде код водом перивих пенетраната	20
2.6.2.7 Толеранција воде	21
2.6.2.8 Отпорност на светло	21
2.6.2.9 Корозивност	21

2.6.3 Својства развијача	22
2.6.3.1 Таложење развијача	22
2.6.3.2 Приањање развијача (наносивост)	22
2.6.3.3 Одстрањивање	23
2.6.3.4 Удео сувих супстанци у мокром развијачу	23
2.6.3.5 Неводени развијач	23
2.6.3.6 Течни развијач	23
2.6.3.7 Распршивост развијача	23
2.6.3.8 Перивост развијача	23
2.7 ОДСТРАЊИВАЧИ	23
2.7.1 Означавање	23
2.7.2 Функционалност	24
3. ПРИНЦИП И ФАЗЕ ИСПИТИВАЊА ПЕНЕТРАНТИМА	25
3.1 ПРИНЦИП	25
3.2 ФАЗЕ ИСПИТИВАЊА	26
3.2.1 Увод	26
3.2.2 Чишћење пре испитивања и припрема површине за испитивање	28
3.2.2.1 Врсте нечистоћа и утицај на радну способност	28
3.2.2.2 Чишћење испитиване површине	30
3.2.3 Наношење пенетранта	36
3.2.4 Одстрањивање вишка пенетранта	37
3.2.4.1. Пенетранти који се уклањају емулгатором	37
3.2.4.2. Пенетранти који се уклањају растварачем	37
3.2.4.3. Пенетранти који се перу водом и пенетранти који се накнадно емулгују	37
3.2.5 Наношење развијача	38
3.2.6 Посматрање	38
3.2.7 Преглед индикација и оцена резултата	39
3.2.8 Чишћење после испитивања	40
4. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНО ИСПИТИВАЊЕ ОШТЕЋЕНИХ ПОВРШИНА НА ЕЛИСИ АВИОНА РА-28 WARRIOR II ПРИМЕНОМ ПЕНЕТРАНТСКЕ МЕТОДЕ. РЕЗУЛТАТИ ИСПИТИВАЊА	41
4.1 УВОД	41
4.2 ЕКСПЕРИМЕНТ	41
4.3 ПОДАЦИ О ПРОИЗВОДУ ИСПИТИВАЊА И ПРИМЕЊЕНИМ ПЕНЕТРАНТСКИМ СРЕДСТВИМА	42
4.3.1 Подаци о производу	42
4.3.2 Параметри и средства испитивања	43
4.4 АНАЛИЗА РЕЗУЛТАТА ИСПИТИВАЊА	44
4.5 ИСПИТИВАЊЕ РАДИ ОЦЕНЕ ПРИХВАТЉИВИСТИ	44
4.5.1 Индикације дисонтинуитета	44
5. ЗАКЉУЧАК	47
6. ЛИТЕРАТУРА	49

1. УВОД

У раду се разматра испитивање без разарања пенетрантском методом, као и примена поменуте методе за испитивање површинских оштећења на елиси спортског авиона РА - 28 WORIOR II.

У другом поглављу су дати проблеми формулисања пенетрантског система, детаљан опис пенетрантских компонената, као и преглед подела и захтева пенетрантских средстава.

Трећим поглављем су обухваћени принцип и фазе испитивања пенетрантима. Посебна пажња је посвећена чишћењу испитне површине, објекта испитивања као најбитнијој фази у читавом поступку. Наведене су и врсте нечистоћа које утичу на радну осетљивост.

Поглављем четири дат је конкретан пример испитивања елисе спортског авиона пенетрантском методом. Испитивање је обављено у хангару Аеро клуба „Трстеник”, а у организацији лабораторије „ПРВЕ ПЕТОЛЕТКЕ - ПРОМЕТ”, Трстеник.

У закључним разматрањима је дата оцена и применљивост пенетрантске дефектоскопије, предности у испитивању овом безразарајућом методом, као и одређене негативне карактеристике исте.

2. КЛАСИФИКАЦИЈА, КАРАКТЕРИСТИКЕ ИСПИТИВАЊА, ЗАХТЕВИ ЗА СРЕДСТВА ПЕНЕТРАНТСКЕ КОНТРОЛЕ

2.1 ИСПИТИВАЊЕ БЕЗ РАЗАРАЊА

Испитивање без разарања представља скуп метода, заснованим на принципима физике, који су намењени утврђивању карактеристика материјала или компоненти система и откривању разних дефеката, при чему се не утиче на функционалност испитиваног материјала. Другим речима, испитивани материјал остаје неоштећен. У испитивању материјала методама без разарања предмету контроле се саопштава одређена енергија или се на њега наносе материјали одређених особина. На основу апсорпције или рефлексије енергије, промене неке карактеристичне величине или појаве секундарних ефеката под утицајем енергије или наношене материје, добија се информација о хомогености предмета контроле.

Резултат испитивања може бити информација о присуству или непостојању грешака у предмету контроле, али и информација о врсти грешке или грешака, њиховој величини, положају и концентрацији у предмету контроле.

Свако испитивање присуства грешака и нехомогености у материјалима започиње пажљивим визуелним прегледом површине предмета контроле. Предмети који прођу визуелну контролу се затим, зависно од типа грешака које се очекују, врсте материјала предмета контроле и других релевантних параметара, испитују пенетрантским, радијационим, ултразвучним или магнетним методама и електромагнетним методама. [1].

2.1.1 Визуелна испитивања

Визуелна испитивања намењена су откривању и анализи грубих површинских грешака и оштећења (веће прслине, зарези, деформације, површинска порозност, троска и други површински укључци).

Визуелна испитивања без примене помоћних средстава (лупе, микроскопи и телескопи) имају малу осетљивост и њима се могу открити грешке величине изнад 0,1 mm. Уз примену помоћних уређаја могу се открити и грешке реда величине 0,01 mm.

2.1.2 Пенетрантска испитивања

Испитивањем пенетрирајућим течностима откривају се површинске грешке које се не могу открити голим оком. Овом методом испитивања се могу открити прслине ширине веће од 0,001 mm. Принцип испитивања се заснива на својству пенетрирајућих течности да лако продиру у оштећена места на предмету контроле. Пенетрирајуће течности се састоје од течних и чврстих компонената. Течна компонента је најчешће мешавина угљоводоника, а чврсти додатак може бити боја, флуоресцентни материјал,

или њихова мешавина. Бојени пенетранти су најчешће црвени, а откривање грешака се врши при дневној светлости. При коришћењу флуоресцентних пенетраната испитивање се врши под ултраљубичастим светлом. Изложени овој светлости, пенетранти дају жуту или жуто зелену боју.

2.1.3 Радијациона испитивања

Радијациона испитивања се заснивају на регистрацији промена у интензитету јонизујућег зрачења при проласку кроз материјал и анализи промена које у себи садрже информацију о хомогености прозраченог материјала.

Радиоскопија је метода радиологије код које се информације о присуству грешке добијају у виду пројекције грешке на флуоресцентном екрану или мониторима затворених телевизијских система.

Радиографска метода за бележење информација о хомогености предмета контроле користи рендген-филм.

Јонизујућа радиологија је метода у којој се информације о унутрашњим грешкама у предмету контроле добијају у виду електричних сигнала.

2.1.4 Ултразвучна испитивања

Ултразвучна испитивања се заснивају на особини ултразвука да продире кроз хомогене материјале и да се одбија на граници материјала различитих акустичних особина, тј. од нехомогености у материјалу.

Метода прозвучавања се заснива на мерењу слабљења јачине ултразвучних таласа пропуштених кроз материјал, проузрокованог рефлексijом енергије ултразвучног таласа на површини грешке у материјалу.

Метода одјека користи одјек одаслатог импулса за уврђивање хомогености материјала.

Резонантна метода је заснована на довођењу у резонанцију механичких осцилација у предмету контроле са ултразвучним осцилацијама.

2.1.5 Магнетна испитивања

Магнетне методе испитивања се темеље на откривању девијација магнетних токова при наиласку на грешке у намагнетисаним феромагнетним материјалима. Зависно од начина регистрације девијација магнетног тока разликују се магнетне методе са применом феромагнетног праха, магнетографске методе и методе са применом осетљивих сонди.

Магнетна метода са применом феромагнетног праха даје индикације помоћу феромагнетног праха, који се у виду аеросола или суспензије наноси на површину која се испитује. Под дејством сила магнетног поља прах се концентрише на местима изнад

грешке, дајући на тај начин индикације постојања површинске или потповршинске грешке. Магнетизација се може вршити директно или индиректно. Директна магнетизација врши се успостављањем струје у предмету контроле преко шиљатих контактних електрода, и индиректно, помоћу сталних магнета или електромагнета и завојница.

2.2 ПРОБЛЕМИ ФОРМУЛИСАЊА ПЕНЕТРАНТСКОГ СИСТЕМА

Да би се приступило формулисању пенетрантског система потребно је добро познавати физичко-хемијску природу органских растварача, активних материја, боја индикатора корозије и сорбената. Такође треба подесити оптималне концентрације активних супстанци да би се задовољио низ важних захтева које условљава квалитет једног индикаторског средства. Поред тога потребно је располагати широким спектром хемикалија довољне хемијске чистоће како би се обезбедио добар квалитет ових средстава. Потребно је такође задовољити услове заштите на раду по питању запаљивости, отровности и заштите човекове околине.

Захтеви које треба да испуни пенетрантски систем су да: мора бити стабилан на промене температуре, не сме бити отрован, лако запаљив (ако је запаљив, мора се посебно декларисати), мора поседовати особине лаког пенетрирања, не сме се пребрзо сушити, мора се релативно лако чистити са површине, мора бити инертан у односу на материјал који се испитује, имати велики контраст боје, стабилност у условима складиштења и коришћења и пожељно је да буде без непријатног мириса.

Избор пенетрантског система је врло одговорна тачка у разради технологије пенетрантске контроле. Међутим, уколико се у тој разради тј. поступку контроле занемари први корак у коме је предвиђена припрема објекта за спровођење пенетрантске контроле, никакав избор пенетрантског система, нити најквалитетнији пенетрантски систем неће и не може дати задовољавајуће резултате.

Предности пенетратског испитивања материјала су следеће:

- Висока осетљивост (могу се детектовати мали дисконтинуитети)
- Широк спектар материјала који се могу испитивати (метали и неметали, магнетични и немагнетични, проводници и изолатори)
- Брзо испитивање великих површина и запремина
- Погодно за делове са комплексним облицима
- Индикације грешака се производе директно на површини дела и формирају визуелну репрезентацију дефекта
- Лако је преносиво (материјали су доступни у спреј боцама)
- Ниска цена

Недостаци пенетратског испитивања су:

- Могу се детектовати само површински прекиди
- Могу се испитивати само релативно непорозни материјали
- Чишћење пре процеса испитивања је критично јер укључци могу прикрити дефекте

- Инжењер који спроводи испитивање мора имати директан приступ површини коју испитује
- Завршна обрада површине и њена храпавост могу имати утицаја на осетљивост испитивања
- Мора се спровести више корака при испитивању и сваки од њих се мора контролисати
- Неопходно је чишћење делова и материјала који су прошли испитивање
- Неопходно је руковање опасним хемикалијама и њихово правилно одлагање.

2.3 ПЕНЕТРАНТСКА СРЕДСТВА

2.3.1 Општи појмови

Површински дефекти се понашају као капиларне посуде са особинама да усисавају одређене течности, па је на том принципу и заснована метода капиларне дефектоскопије.

Према ширини површински дефекти се деле на:

- некапиларне $> 500 \mu\text{m}$,
- макрокапиларне $0,2 \mu\text{m} - 500 \mu\text{m}$ и
- микрокапиларне $< 0,2 \mu\text{m}$

У дефектима који спадају у област макро и микро капилара кретање течности се одвија под дејством капиларних сила. Појава капиларности зависи од површинских напона течности, граничног угла квашења, поларности индикаторске течности, геометрије дефекта, температуре и других фактора.

Капиларна дефектоскопија заснована је на физичким појавама: капиларном дејству, апсорпцији, дифузији, луминисценцији и контрастима боја.

Материјали који се користе за капиларну дефектоскопију су мешавине хемијских једињења са одређеним физичким, хемијским, технолошким и токсичним особинама.

Испитивањем пенетрантима на предмету контроле идентификују се:

- а) грешке као што су укључци, дволатност, прслине и друга оштећења која допиру до површине предмета и
- б) повезане грешке које се простиру кроз цео пресек предмета, који се по правилу испитује на пропустљивост.

Дефинисање карактеристика и провера средстава пенетрантске контроле има за циљ да:

- осигура поузданост резултата контроле с обзиром на средства испитивања,
- спречи штетно деловање пенетрантских средстава на објекат испитивања и
- спречи штетно деловање пенетрантских средстава на човека и околину.

Средства пенетрантске контроле се деле зависно о врсти материјала или објекта који треба испитивати и према условима под којима ће се испитивање вршити.

Основна карактеристика ових материјала је да не утичу негативно на објект испитивања. Средства за чишћење објекта испитивања се не сматрају пенетрантским материјалима.

2.4 ПЕНЕТРАНТСКИ СИСТЕМ

Комбинација међусобно усклађених материјала која је намењена одређеном испитивању чини систем (састав) чији сваки сет садржи:

- а) пенетрант,
- б) одстрањивач и
- ц) развијач.

2.4.1 Пенетрант

Пенетранти су пажљиво формулисани тако да произведу ниво осетљивости по потреби или жељи контролора. Од пенетранта се очекује да поседује одређене карактеристике:

- Да се лако шири преко површине материјала који се испитује и да постиже равномерно покривање
- Да продире у дефекте који су прекиди на површини преко капиларног дејства
- Да остану у дефекту али да се лако скину са површине контролисаног дела
- Да остану течни да би се извукли назад на површину у процесу развијања и сушења
- Да буду јасно видљиви или јако флуоресцентни да би произвели јасне индикације
- Да не буду исувише опасне хемикалије које би угрозиле контролора или материјал који се испитује.

Материјали пенетранта су пројектовани да се различито понашају. Произвођачи пенетраната су развили различите формулације за различите примене при контроли. Неке примене захтевају откривање најмањих могућих дефеката, док са друге стране неке захтевају да дефекти који индицирају одбацивање дела буду много већи. Пенетранти који се користе за откривање најмањих дефеката ће производити и већи број индикација које нису релевантне. Стога је битно изабрати одговарајући пенетрант за одговарајућу примену. Детаљније о карактеристикама пенетраната ће бити речи касније у овом раду.

Постоје три основне врсте пенетраната:

- видљиви или обојени,
- флуоресцентни и
- мешовити или обојено-флуоресцентни.

2.4.1.1 Тип видљивих пенетраната

Овај назив се односи на тип течности нормално видљиве боје на природној дневној светлости, тј. боје чија је фреквенција обухваћена у интервалу фреквенција видљивих за човечије око. Уопште, ради се о црвеној боји. Црвене пенетрирајуће течности, чија је

права боја црвено-љубичаста у најчешћем броју случајева, имају нарочито примућство што су једноставне за употребу. Могу се исто тако користити у природи, ван лабораторије или фабрике, пошто не захтевају употребу специјалних апарата. Оне постоје у трговини у облику водоперљивих или аутоемулгујућих, а налазе се такође и упаковани у облику мањег кофера који садржи све компоненте система у облику спреја.

Црвеним течностима се прибегава када су делови за испитивање сувише тешки за транспорт, гломазни за демонтажу и слично. Постиже се уопште добра осетљивост и добар контраст и коначно резултати више него задовољавајући за послове који не захтевају специјална испитивања.

2.4.1.2 Тип флуоресцентних пенетраната

Пре третмана са овом врстом производа, треба рећи неколико речи о феномену флуоресценције и о природи ултравиолетне светлости.

Људско око може опазити само боје које су обухваћене у извесном интервалу фреквенције и одређених таласних дужина чији је један од екстрема црвена, а други љубичаста. Све боје које се налазе између ових екстрема чине видљиви оптички спектар. Међутим, они постоје у природи, али могу се такође и вештачки створити, зраци мање или веће фреквенције “бојама” видљивим за човечје око: то је случај инфрацрвених зракова и ултравиолетних зракова.

Већина супстанци изложених радијацији извесне фреквенције емитују радијацију исте фреквенције. То се дешава из разлога што бели предмет осветљен црвеном светлошћу емитује црвену светлост и појављује се дакле црвена боја у човечјем оку.

Постоје међутим супстанце које када се изложе дејству радијације извесне фреквенције емитују радијацију чија је фреквенција различита од оне основне, почетне. Ако је упадна, инцидентна радијација ултравиолетна, може се догодити да промена фреквенције проузрокује видљиву радијацију, и онда се изазива феномен флуоресценције.

Флуоресцентне супстанце су оне које под дејством невидљиве ултравиолетне светлости (која се такође назива и “црвена светлост”) емитује видљиву, обојену светлост. Специјалне лампе (које функционишу помоћу живиних пара) и емитују црну светлост познате су по имену Вудових лампи. Под појмом црне светлости се подразумева електромагнетно зрачење чија је таласна дужина 320 - 400 nm и употребљава се за побуђивање флуоресценције.

Пенетранте течности флуоресцентног типа су производи који садрже флуоресцентни пигмент и изискују посебан вид посматрања, осветљавање Вудовом светлошћу.

Флуоресцентне течности под дејством црне светлости емитују светлост различите боје од жуте до смарагдно зелене. То је она боја, постављена у центар хроматске скале на коју је људско око најосетљивије.

Ове течности захтевају за посматрање лампу (или серију лампи) за црну светлост и једну мрачну просторију. Ова допунска опрема ограничава могућности употребе ових течности.

Могу се наћи или у облику водоперљивих или у облику липофила. Њихова осетљивост је уопште већа од одговарајућих црвених.

2.4.1.3 Мешовит тип пенетраната

Течности овог типа пенетраната садрже боје или мешавине боја које су видљиве при природној светлости, али које емитују интензивнију светлост када се осветле црном светлошћу. То су дакле производи који се могу користити према потреби у датом моменту.

Ако се користе као црвене течности онда оне представљају добру осетљивост. Насупрот, испитивање у црној светлости изазива флуоресценцију оранж боје на месту оштећења и олакшава детекцију мањих дефеката. Уопштено, њихова осетљивост је мања од оне коју имају чисте флуоресцентне течности.

2.4.2 Одстрањивач

Улога одстрањивача у процесу пенетрантске контроле је да омогући уклањање пенетранта са површине контролисаног дела, а не утиче на пенетрант који је продро у дефекте материјала. Процес уклањања мора бити ефективан и не сме се допустити уклањање пенетранта из дефеката, јер ће то имати за последицу умањени број индикација. Ако процес уклањања пенетранта није ефективан, контраст између индикација и позадине ће бити умањен.

Одстрањивачи се деле у три основне групе:

- вода,
- емулгатор (претходи прању водом):
 - емулгатор на бази уља – липофилни
 - емулгатор на бази воде – хидрофилни и
- растварач, који може бити у течном или гасовитом стању.

2.4.3 Развијач

Улога развијача је да повуче материјал пенетранта који се налази у дефектима и рашири га преко површине дела тако да га контролор може видети. Развијачи који се користе са видљивим пенетрантима стварају белу позадину тако да се ствара већи контраст између индикације и позадине. С друге стране, развијачи који се користе са флуоресцентним пенетрантима истовремено рефлектују и преламају долазећу ултраљубичасту светлост, допуштајући јој да врши интеракцију са пенетрантом и тиме изазивајући јачи ефекат флуоресценције.

Основна подела развијача је на:

- 1) суви прах,

- 2) течни - водени:
 - суспензија праха у води
 - раствор праха у води и
- 3) суспензије праха у испарљивим растварачима:
 - незапаљиви
 - запаљиви.

2.4.3.1. Суви прах

Развијачи на бази сувог праха се уопште сматрају најмање осетљивим али су релативно ниске цене. Суви растварачи су бели прачкови који се могу применити на суву површину на више начина, убацивањем дела у посуду са растварачем, или наношењем растварача напрашивањем. Пошто се прашак лепи само за делове површине који су индикација (који су влажни), прашкасти растварачи се најређе користе за визуелну инспекцију.

2.4.3.2. Раствор праха у води

Како само име каже, ова група растварача представља водени раствор који формира слој растварача када вода испари. Најбољи начин за наношење ових растварача је прскање дела. Део може бити влажан или сув. Потапање, поливање или мазање површине се такође може спроводити као метод наношења, али ипак није пожељно. Правилно осушени део ће имати равномеран, светло бели слој преко целе површине.

2.4.3.3. Суспензија прага у води

Развијач који је суспензија у води се састоји од нерастворљивих честица растварача у води. Ови развијачи захтевају често мешање или покретање да би се спречило таложење честица у суспензији. Примењују се за на исти начин као и водени развијачи, када се делови суше употребом топлог ваздуха.

2.4.3.4. Суспензије праха у испарљивим растварачима

Суспензије праха у испарљивим растварачима се обично наносе помоћу распрскивача. Средства за суспензију су најчешће запаљиве материје. Обично се добијају као спреј у конзервама и веома су једноставне за ношење. Пошто су растварачи испарљиви, сушење није неопходно.

2.4.3.5. Развијачи специјалне намене

Пластични или лак развијачи су специјални развијачи који се користе када је потребно да постоји трајни запис контроле на самој контролисаној површини.

2.4.3.6. Избор развијача

Употреба развијача се препоручује скоро увек. Слика од флуоресцентног пенетранта се значајно побољшава при употреби одговарајућег прашкастог развијача. Логично, употреба развијача може имати значајан допринос детекцији дефеката при контроли. Суспензије у испарљивим течностима имају највећу осетљивост. Ипак, ако је нанети слој развијача исувише дебео, то може прикрити дефекте. Табела 2.1. приказује основне предности и недостатке различитих типова развијача.

Табела 2.1. Преглед предности и недостатака разних типова развијача

Развијач	Предности	Недостаци
Суви прах	Индикације постају јасније и израженије са временом Лако се наносе	Не формира контраст са позадином па се не може користити при визуелној инспекцији Тешко је обезбедити да је цео део прекривен.
Раствор праха у води	Лако је прекрити цео део. Бела позадина који може да оствари контраст погодан и за обојене и за флуоресцентне пенетранте	Слој је провидан и може произвести лош контраст (није погодан за визуелну контролу) Индикације за самоиспирајуће пенетранте су магловите
Суспензије у води	Лако је прекрити цео део Индикације су јасне и оштре. Бела позадина који може да оствари контраст погодан и за обојене и за флуоресцентне пенетранте	Индикације слабе и постају нејасне временом
Суспензија у испарљивим течностима	Лако се преноси Лако се наноси на приступачне површине Бела позадина који може да оствари контраст погодан и за обојене и за флуоресцентне пенетранте	Тешко га је нанети равномерно на свим површинама Део се теже чисти након контроле.

2.5 ПОДЕЛА ПЕНЕТРАНТСКИХ СИСТЕМА

Зависно од намене и начина примене пенетрантског система постоје поделе према:

- типу пенетранта и методи испитивања,
- начину одстрањивања пенетранта и
- осетљивости.

2.5.1 Подела према методи испитивања

Ова подела подразумева:

- испитивање флуоресцентним пенетрантима,
- испитивање обојеним пенетрантима и
- испитивање комбинованим пенетрантима.

У случају испитивања флуоресцентним пенетрантима испитивање се спроводи коришћењем ултраљубичасте светлости одговарајућег интензитета. Испитивање се спроводи у замраченој соби да би се постигао добар контраст између несветлеће позадине и светлећих индикација дефеката.

У случају испитивања обојеним пенетрантима при инспекцији се користи видљива светлост одговарајућег интензитета.

2.5.2 Подела према типу пенетранта и начину његовог одстрањивача

Деле се на:

- водом одстрањиве пенетранте или самоиспирајуће,
- емулгатором одстрањиве пенетранте или течности за накнадно емулговање и
- растварачем одстрањиве пенетранте или липорастворљиве.

2.5.2.1 Самоиспирајући пенетранати

То су производи који се перу директно са водом, будући да су они по природи растворљиви у води пошто садрже један адитив под именом “емулгатор” који има способност да их раствара у води. Ови производи се зову такође и “аутоемулгатори”. Процес уклањања пенетранта са површине може бити једноставно испирање водом.

Производи ове врсте су уопште мање осетљиви од других и више су изложени феномену суперпрања. Из тог разлога се са много пажње бира метода прања (потапање у води или распрскавање воде) и њено трајање.

2.5.2.2 Течности за накнадно емулговање

Ова класа подразумева липорастворљиве производе који се подвргавају прању у две етапе: прво, третирају се емулгатором који их чини растворљивим у води, а затим се

третирају водом. Ови, дакле за разлику од самоиспирајућих, не садрже уграђене емулгаторе. Ова врста производа премда захтева већи посао око примене, додајући једну допунску операцију у процесу испитивања, показала је ипак изузетне резултате, односно веома високу осетљивост.

У односу на липорастворљиве пенетранте, хидрофилни емулгаторису мање осетљиви на варијације дужине контакта и уклањања.

2.5.2.3 Липорастворљиви пенетранти

У њих се убрајају производи који нису растворљиви у води, него у органским растварачима. У извесним случајевима растварачи се примењују у облику паре, пошто су претходно испитани који су најбољи услови, као што су температура, дужина трајања прања, да би се извела операција.

Липорастворљиви емулгатори се могу нанети на више начина, најчешће потапањем у емулгатор, мада се могу нанети и прскањем на површину. Наношење емулгатора четком се не препоручује јер власи четке могу потиснути емулгатор у дисконтинуитете површине и тиме изазивајући уклањање релевантног понетранта. Емулгатору се мора допустити да делује довољно времена на пенетрант на површини, али га треба уклонити пре него што продре у дефекте. Управљање временом реакције је од суштинске важности када се користе системи за накнадно емулговање. Уколико је време емулговања прекратко, контраст индикације и позадине ће бити мањи јер ће се на површини задржати вишак пенетранта. Такође, предуго време емулговања ће изазвати уклањање пенетранта из дефекта, што за последицу има губитак релевантне индикације.

2.5.3 Подела према осетљивости

Осетљивост испитивања пенетрантима врло је велика, нпр. могу се открити прслине ширине реда величине 10^{-6} m. Осетљивост мора бити утврђена у односу на врсту грешке и квалитет испитиваног материјала (на пример, осетљивост за фине прслине, за дубоке и плитке прслине). За постизање одређене осетљивости морају се употребити одговарајући пенетранти и поступци. Дефинише се шест класа осетљивости испитивања пенетрантима у зависности од ширине прслине, како је наведено у табели 2.1.

Табела 2.1 Класе осетљивости

Класа осетљивости	Ширина прслине на референтном узорку (μm)
Екстра	< 1
1	1 - 10
2	10 - 50
3	50 - 100
4	100 - 500
5*	> 500

* - Прслине веће од 500 μm видљиве су оком и по правилу се не испитују пенетрантима

2.6 КАРАКТЕРИСТИКЕ ПЕНЕТРАНТСКИХ СРЕДСТАВА

2.6.1.1 Отровност

Отровност пенетрантских средстава (пенетрант, емулгатор, развијач, одстрањивач) мора бити дефинисана према условима закона о промету отрова.

2.6.1.2 Хемијска инертност

Пенетрантска средства морају бити инертна и некорозивна што је више могуће у односу на материјал који се испитује и амбалажу у којој се држе. Сви материјали за испитивање, које произвођач нуди на тржиште, не смеју изазивати корозију или матирати површину испитивања.

2.6.1.3 Тачка паљења (запаљивост)

Запаљивост или тачка паљења за сва средства пенетрантске контроле за примену у отвореним кадама не смеју бити ниже од 93°C, када се одређују према одговарајућем стандарду. Аеросол дозе морају бити незапаљиве у складу са одређеним стандардом (ISO стандардом).

2.6.1.4 Вискозност

Одређивање кинематске вискозности се врши методом прописаном стандардом SRPS B.H8. 022 која је у складу са стандардом међународних организација.

Метода се заснива на мерењу времена протицања одређене запремине течности кроз капилару калибрисаног стакленог вискозиметра услед дејства сопствене масе на одређеној температури.

Произвођач мора одредити називну вискозност сваког пенетранта или емулгатора.

2.6.1.5 Стабилност складиштења

Сва средства пенетрантске контроле морају задржати декларисана својства након складиштења од једне године, уколико су складиштена на температури од 16 - 38°C.

Произвођач мора да осигура ову проверу за сваку врсту пенетрантског система пре стављања у промет.

2.6.2 Својства пенетраната

2.6.2.1 Стање испоруке

Пенетрант мора бити пакован у амбалажу која омогућава коришћење одмах (аеросол дозе) или у другој испорученој амбалажи (боце или канистери) али под условом да је у готовој форми, што значи да се користи без потребе да се меша или додаје било шта пенетранту.

2.6.2.2 Моћ квашења

Ово је врло битна карактеристика пенетранта од које зависи његова способност откривања површинских грешака. Ако пенетрант добро кваси испитивану површину, то значи да има мањи контактни угао са испитиваном површином, јаче изражен капиларни ефекат и самим тим повећану способност залажења у дисконтинуитете.

Моћ квашења се проверава на следећи начин: На чисту, одмашћену, сјајну страну алуминијумске фолије, фиксиране на стакленој плочи, нанесе се пипетом кап пенетранта. С обзиром да способност квашења карактерише изотермна промена мрље која се разлива по испитиваној површини, мери се димензија трага пенетранта у два међусобно нормална смера сваких десет минута, а резултати приказују графички (слика 2.1).

Моћ квашења (мочивост) пенетраната је изражена односом средње вредности разлике измереног повећања трага и времена мерења. Када прираст трага са временом постане константан, тада је :

$$f_m \text{ (фактор моћи квашења)} = \text{траг (mm)} / \text{време (min)}$$

где је:

d - димензија трага пенетранта (mm) и

t - време ширења трага (min.).

2.6.2.3 Температурна стабилност

Пенетрант мора поседовати температурну стабилност унутар одређеног подручја температуре. Обично се прописује температурно подручје од -15°C до $+60^{\circ}\text{C}$. Провера ове стабилности се врши тако што се одређена количина пенетранта подвргне двоструком циклусу температурних промена у поменутом интервалу. Након тога се врши визуелна контрола пенетранта, па ако није дошло ни до каквих видљивих промена приступа се поновној контроли моћи квашења и осетљивости. Ако се ни ове особине нису промениле сматра се да је пенетрант температурно стабилан.

2.6.2.4 Површински напон пенетранта

Површински напон је једно од својстава пенетранта који битно утиче на способност квашења контактне површине (моћ квашења) и на величину контактне угла.

Ако је површински напон пенетранта мали значи да су кохезионе силе у пенетранту слабије од адхезионих сила које владају између пенетранта и испитиване површине, контактни угао је мањи и моћ квашења боља. Све су то особине доброг пенетранта.

2.6.2.5 Боја пенетранта

Обојени пенетрант може бити црвен, наранџаст или тамно црвен, када се гледа под белом светлошћу. Провера боје обојеног пенетранта врши се помоћу спектрофотометра. Подручје таласне дужине за црвену боју је од 500 до 600 nm. Мерење интензитета боје се врши раствором који садржи 1 g испитиваног средства у 1000 ml изопропанола.

Постојаност боје обојеног пенетранта према белој светлости утврђује се осветљивањем халогеном сијалицом (тип QUARZ JOD) од 1000 W. У ту сврху се у једну стаклену посуду (100 mm x 20 mm) сипа 5 g пенетранта и 24 часа изложи осветљењу јачине од 3000 ± 300 luxa. Растојање између површине испитиваног и халогене сијалице мора да износи минимум 500 mm. При томе температура на површини испитиваног средства треба да буде 20°C, а не сме прекорачити 50°C.

Флуоресцентни пенетрант може бити жуте или жутозелене боје, флуоресцентне боје када се посматра под црним светлом. Провера боје код флуоресцентних пенетраната се врши помоћу спектрофотометра. Подручје таласне дужине за флуоресцентну боју је 300 до 400 nm. Мерење интензитета боје се врши раствором који садржи 1 g испитиваног средства у 1000 ml изопропанола. Постојаност флуоресцентног пенетранта према белој светлости утврђује се озрачењем халогеном сијалицом (тип QUARZ JOD) од 1000 W. У ту сврху се у једну стаклену посуду 100 mm x 20 mm сипа 5 g пенетранта и 24 часа изложи осветљењу јачине од 3000 ± 300 luxa.

Растојање између површине испитиваног средства и халогене сијалице мора да износи минимум 500 mm. При томе температура на површини испитиваног средства треба да буде 20°C, а не сме да прекорачи 50°C.

Постојаност флуоресцентног пенетранта према црној светлости одређује се тако што у једну стаклену посуду (100 mm x 20 mm) се сипа 5 g пенетранта и 24 часа изложи извору ултравиолетне светлости таласне дужине 360 ± 30 nm и јачине озрачења $2000 \pm 200 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ на површини испитиваног средства. Растојање између површине испитиваног средства и халогене сијалице мора да износи минимум 500 mm. При томе температура на површини испитиваног средства треба да буде 20°C, а не сме да прекорачи 50°C.

2.6.2.6 Апсорпција воде код водом перивих пенетраната

Апсорпција воде не сме бити мања од 5%. Додавање 5% воде, водом перивим пенетрантима, не сме да узрокује сепарацију, замућење, згрушавање или одвајање воде од пенетранта. Проверава се следеће:

- а) замућење, сепарација састојака, згрушавање, одвајање воде од пенетранта. Поступак провере почиње тако што се у прозирну стаклену посуду стави се 50 ml пенетранта и постепено се додаје вода. Вода се додаје капаљком уз непрестано мешање пенетранта пенетрантском мешалицом. Испитивање се спроводи на

температури од $21 \pm 3^{\circ}\text{C}$. Магнетско мешање се спроводи брзином мешања која не ствара мехурове.

Апсорпција воде, изражена као додата количина воде у процентима запремине, израчунава се према обрасцу:

$$\frac{V \times 100}{\frac{m}{\rho} + V} \quad (2.1)$$

где је:

V - запремина воде утрошене до прве промене (m^3),

m - маса узорка (kg) и

ρ - густина узорка (kg/m^3)

(б) Вискозитет. Провера вискозитета се врши по стандарду SRPS L.J3. 011, који је делимично у складу са са ISO 3105.

Уколико нема визуелно установљених појава, наведених под а), као ни промена вискозности, сматра се да је постигнута задовољавајућа апсорпција воде.

2.6.2.7 Толеранција воде

Додавање 5% воде водоперивим пенетрантима не сме узроковати сепарацију, магљење, згрушање или одвајање воде од пенетранта.

2.6.2.8 Отпорност на светло

Боја пенетранта мора бити стабилна у интервалу интензитета осветљења који се користи при интерпретацији пенетрантских индикација.

2.6.2.9 Корозивност

Плочице за испитивање се израђују од легуре алуминијума (као на пример MgAl_3Zn), бакра, алуминијума, легура алуминијума (као на пример AlZn_4Mg_2), месинга, гвожђа и челика [10].

Плочице за испитивање површине најмање 1500 mm^2 , фино брушене, уроне се до половине у кивету са пенетрантским средством и добро затворе. Услови испитивања:

а) за пенетранте чији се вишак одстрањује растварачем и пенетранте који се одстрањују емулгатором су:

- температура испитивања $50 \pm 2^{\circ}\text{C}$ и

- време испитивања 24 h;

б) за водом периве пенетранте су:

- температура испитивања $50 \pm 2^{\circ}\text{C}$ и

- време испитивања 1 h;

в) за развијаче, одстрањиваче и емулгаторе:

- температура испитивања $21 \pm 3^{\circ}\text{C}$ и
- време испитивања 1 h.

После истека времена контакта са испитиваним средством, на површинама плочица не сме бити трагова оштећења, тачкасте корозије, нагризања, пуцања или стварања мат површине при визуелном испитивању ни при увећању од 20 пута.

Садржај корозивних састојака растворљивих у води не сме бити већи од вредности датих у табели 2.2.

Табела 2.2 Граничне вредности садржаја корозивних састојака

	Садржај Cl^- (хлоридни јон) % (m/m)	Садржај SO_4^{2-} (сулфатни јон) % (m/m)
Пенетрант	0,03	0,5
Развијач	0,03	0,5
Одстрањивач	0,00005	-

Садржај укупног сумпора и халогених елемената је:

- садржај укупног сумпора не сме бити већи од 1% (m/m);
- садржај укупних халогених елемената не сме бити већи од 1% (m/m).

2.6.3 Својства развијача

Развијачи могу бити у облику сувог праха или суспензије. Развијачи морају да осигурају добар контраст.

2.6.3.1 Таложјење развијача

Таложјење развијача у облику суспензије се испитује на следећи начин:

После доброг мешања, према упутству произвођача, узима се у мерни цилиндар 200 ml развијача. Након 24 h стајања чита се положај границе између талога и течне фазе. Описује се изглед течне фазе (бистра или мутна) и упоређује са испитиваним узорком. Таложјење развијача изражава се у милиметрима талога по 1 l развијача.

2.6.3.2 Приањање развијача (наносивост)

Развијач мора да осигура равномерно приањање на површину испитног узорка. Ово се проверава на следећи начин:

Количина од 25 ml добро измешаног развијача, према упутству произвођача, распрши се на плочу 100 mm x 100 mm, која стоји под углом од 45°C . Након 5 минута плоча се стави да се суши на температури $100 \pm 5^{\circ}\text{C}$. Затим се прегледа равномерност приањања.

Неводени развијач мора осигурати глатки и равни слој.

2.6.3.3 Одстрањивање

Све врсте развијача морају се лако одстранити са површине на одговарајући начин (струјом ваздуха, водом, чистачем итд.).

2.6.3.4 Удео сувих супстанци у мокром развијачу

Удео сувих супстанци у мокром развијачу проверава се следећом методом: Одмери се 250 ml хомогено измешаног развијача. Затим се врши испаравање на воденом купатилу, на 10°C испод тачке кључања, док течност не испари. Добијени продукт суши се у сушници на температури $100 \pm 5^{\circ}\text{C}$ до константне масе. Удео сувих супстанци изражава се у грамима по литру развијача.

2.6.3.5 Неводени развијач

Развијач мора бити припремљен у посуди под притиском или без притиска зависно о произвођачу. уколико је пакован у аеросол дози, доза мора имати куглицу за мешање.

2.6.3.6 Течни развијач

Развијач може бити испоручен у сувом стању или већ измешан са водом. Уколико се испоручује у сувом стању потребно је на контејнеру написати упутство за мешање.

2.6.3.7 Распршивост развијача

Развијач се мора лагано измешати када се врши испитивање. Увек треба испоштовати упутство произвођача и пожељно је да мешање буде темељито.

2.6.3.8 Перивост развијача

Све врсте развијача морају бити лако одстрањиве са површине.

2.7 ОДСТРАЊИВАЧИ

2.7.1 Означавање

Растварачи пенетранта који служе за одстрањивање вишка пенетранта са површине морају бити означени коме пенетрантском саставу припадају. Одстрањивач мора бити означен и зависно од групе којој припада с обзиром на састав.

2.7.2 Функционалност

Одстрањивач не сме на површини остављати заостале пенетранте када се користи и када се проверавају његове особине. Такође, одстрањивач не сме остављати на површини трагове уља.

3. ПРИНЦИП И ФАЗЕ ИСПИТИВАЊА ПЕНЕТРАНТИМА

3.1 ПРИНЦИП

Испитивање пенетрантима се састоји од следећих операција:

1. припрема површине чишћењем и одмашћивањем површине материјала која се испитује,
2. наношење пенетранта на припремљену површину и задржавање овог средства одређе-но време да би се омогућило да пенетрант продре у све грешке које постоје на тој површини,
3. одстрањивање вишка пенетранта тако да се обезбеди његово задржавање у свим грешкама,
4. наношење развијача ради извлачења пенетранта из грешака на површину у циљу добијања јасних индикација,
5. визуелно откривање грешака и процена под одговарајућим условима посматрања и
6. чишћење испитиване површине.

Испитивање се мора вршити у температурном подручју утврђеном за дата пенетрантска средства.

“Пенетрирајуће” течности се одликују великом способношћу квашења. Под утицајем капиларног ефекта “пенетрирајућа” течност се приморава да продре у површинске грешке. Брзина продирања течности у једну грешку, може се одредити помоћу обрасца који је дао Рајдил (Rajdil). Образац по Рајдилу гласи:

$$l^2 = \sqrt{\frac{\gamma \cdot \cos \theta}{2 \cdot \eta}} \quad (3.1.)$$

при чему је:

$\sqrt{\frac{\gamma}{2 \cdot \eta}}$ - коефицијент продирања, који је управо пропорционалан брзини продирања,

l - дубина грешке до које продире течност (m),

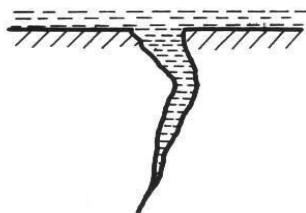
θ - угао квашења ($^{\circ}$) и

η - вискозитет течности (m^2/s).

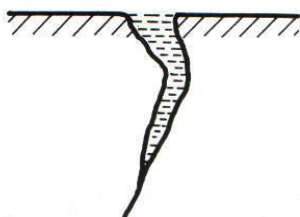
3.2 ФАЗЕ ИСПИТИВАЊА

3.2.1 Увод

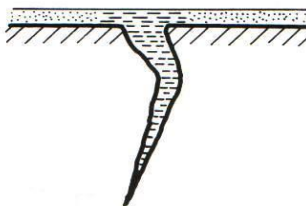
Давно је познато (“Архимедово доба - 200 година пре наше ере”), да два тела не могу истовремено заузимати исти простор. Како би пенетрант могао пенетрирати у прслине и остале неправилности откривене према површини, неопходно је да се простор унутар прслине и осталих грешака, које се желе открити на испитиваној површини, ослободи од свих нечистоћа и средстава која су у току производње, складиштења или коришћења попунила овај простор. Класична слика којом се обично на проспектим материјалима приказује основни принцип методе контроле, често доводи под знак питања резултате контроле. Сlike 3.1 и 3.2 приказују наношење пенетранта на површину објекта, одсртањивања пенетранта са површине објекта, те појава индикација услед наношења развијача.



Слика 3.1 Нанешен пенетрант на површину



Слика 3.2 Пенетрант одстрањен са површине



Слика 3.3 Пенетрантска индикација

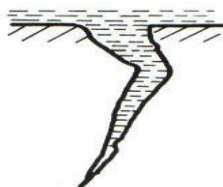
Свако упутство о примени пенетранта, чистача и развијача у сврху спровођења пенетрантске контроле површинских грешака, уколико је потребно, приказује се цртежом ради једноставности, чиме би се отклониле недоумице и заблуде корисника. Зато упутство мора да садржи пет основних стања површине у току испитивања приказано на следећим сликама (слика 3.4, 3.5, 3.6, 3.7 и 3.8).



Слика 3.4 Стање површине пре испитивања (присутне су нечистоће)



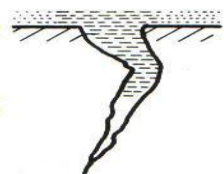
Слика 3.5 Стање површине нужно за провођење испитивања
(одстрађивање нечистоће)



Слика 3.6 Стање површине након наношења пенетранта (присутан је пенетрант)



Слика 3.7 Стање површине након одстрађивања пенетранта са површине
(пенетрант само у прслини)



Слика 3.8 Појава индикације на површини
(пенетрант излази из прслине упијан од развијача)

Пут од слике 3.4 до слике 3.5 често је мукотрпан, одузима време и успорава контролу.

Примена пенетрантског система уз неодговарајућу припрему објекта испитивања може довести до следећих погрешних закључака:

- пенетрантски систем није задовољавајућег квалитета и
- објекат је задовољавајућег квалитета.

Први закључак води ка одбацивању примењеног пенетрантског система. Тиме доводимо у питање даљи развој и обогаћивање асортимана произвођача, излажемо се поново и непотребно финансијским издацима и непотребно одбацујемо производ, у овом случају пенетрант, који је можда могао задовољити и дати корисне резултате.

Други закључак доводи у опасност конструкцију, јер се прихвата конструкција са великим ризиком, будући да је непрописно контролисана. Опаснија је ситуација када се конструкција прихвата уз лоше спроведену контролу, јер уколико за одређени објекат испитивања или конструкцију уопштено, није предвиђена контрола, предвиђене су друге мере којима се осигурава поузданост објекта (нпр. повећане димензије, квалитетнији материјал, смањена оптерећења и сл.). Конструкција која је подложна контроли ослања се на поузданост контроле квалитета која ће у великој мери отклонити опасност евентуалних грешака урађених у току производње или развијених у току коришћења.

Да би се што је могуће више смањила опасност од површно донесених закључака, у раду је истакнута потреба примене површине објекта испитивања која се испитује. Наведене су могућности припреме, истакнуте предности и недостаци појединих обрада површине, као и основна средства која се примењују за извођење припреме површине за испитивање.

3.2.2 Чишћење пре испитивања и припрема површине за испитивање

3.2.2.1 Врсте нечистоћа и утицај на радну способност

Најчешћа нечистоћа која се среће на објектима испитивања, а визуелно се лако може установити је прљавштина услед присуства прашине, чађи, земље, песка, металних честица, абразивних или сличних материјала. Узрок присуства ове врсте нечистоћа је најчешће нечистоћа околног простора или врста обраде, односно начин производње објекта.

У следећу групу нечистоћа, уколико их класификујемо према могућностима и начину појављивања на објекту, може се сврстати масноћа и то све врсте масноћа настале услед обраде, подмазивања, конзервирања или других разлога.

У трећу групу се сврставају вода, керозин, бензин, органске материје и друге течности на површини испитиваног објекта, које утичу на испитивање, јер попуњавају прслине, смањују пенетрацију или потпуно онемогућавају улаз у прслине.

Посебну групу нечистоћа чине разни лакови и боје, односно остаци лакираних површина или силикатних прелаза онемогућавајући да се грешке откривају, као на пример попуцале или оштећене галванске заштите уносећи лажне грешке у налаз контроле. Треба знати да лакирана површина, а слично се понаша и површина

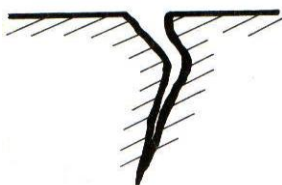
заштићена против корозије силикатним прелазима, пуца (премаз) поврх прслине само при стварању већих прслина.

Такође је јасно да је немогуће открити прслине или било које друге грешке које постоје на површини уколико је површина лакирана, обојена или на неки други начин заштићена након настајања прслине, што није редак случај у пракси. О овоме треба посебно водити рачуна. На таквој површини, могу се открити само прслине накнадно настале и уколико су макро величина, а наравно да је величина прслине на врху која ће пуцати, зависи и од врсте заштите. Јасно је дакле колико је важно одстранити боју, лак, силикатне премазе и остале заштите са објекта испитивања, а пре самог испитивања.

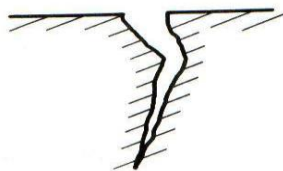
У последњу групу ове поделе нечистоћа сврставају се све нечистоће крутог карактера и при томе чврсто везане за површину испитиваног материјала. У ову групу улазе дакле оксиди, односно разни продукти корозије, крути талози и сл. Узме ли се пример оксидног слоја као круте нечистоће површине, са становишта пенетрантске контроле, оксидни слој смањује осетљивост при испитивању објекта и конструкција израђених од челика, магнезијумских, титанских, волфрамових и још неких легура, док алуминијум и алуминијумске легуре не производе оксидни слој који смета испитивању пенетрантима.

Оксидни слој са површина алуминијумских објеката није потребно одстрањивати. Напротив, оксидни слој са површине челика и свих материјала чији су оксидни продукти знатно већи по волумену од неоксидираног метала, нужно је одстранити са површине објекта испитивања. Оксидни продукти зависно од структуре која се формира, могу бити у односу на метал који је оксидирао и неколико пута већи (на пример, гвожђе 2-4 пута, титан 1-2 пута, никал 2-4 пута, хром 2-5 пута).

Врло уски отвор прслине на испитиваној површини биће лако затворен тим пре што корозија настаје на две површине прслине, па је двоструко већи принос корозије у прслини него на самој испитиваној површини (Слика 3.9).



Слика 3.9 Прслина са оксидним слојем (стање пре чишћења)



Слика 3.10 Очишћена прслина (стање након одстрањивања оксидног слоја)

Утицај прљавштина, премаза, оксида и других нечистоћа на радну осетљивост при пенетрантском испитивању може бити остварен на различите начине које је тешко набројати, али најбитнији су:

- ♦ онемогућавање улаза пенетранта у прслину у потпуности,
- ♦ смањивање простора прслина, а тиме и количине пенетрантског средства у прслину,
- ♦ утицај на капиларни ефекат, а тиме и на пенетрацију,
- ♦ утицај на својства моћи квашења површине испитиваног објекта,
- ♦ могућност утицаја на интензитет боје, флуоресценције или боје и флуоресценције пенетранта,
- ♦ смањивање контраста стварањем обојености подлоге или светлеће површине и
- ♦ повећање вероватноће појављивања лажних грешака.

3.2.2.2 Чишћење испитиване површине

Чишћење површине објекта на коју ће бити нанесен пенетрант у циљу откривања грешака може се извести на више начина. Начин припреме ове површине, која се назива контактна површина, зависиће од врсте објекта, односно од његове намене, величине и материјала, а такође и од величине, облика, врсте и квалитета обраде и приступачности истој. Не смеју се заборавити ни нечистоће које се налазе на површини. Неодговарајућом припремом може се објекат оштетити а тиме можда и онеспособити за каснију употребу и примену.

Неодговарајућом припремом може се такође довести површина у такво стање да се не може применити пенетрантско испитивање. Један од узрока неуспешне примене пенетрантског испитивања који се среће у широкој пракси је неодговарајуће чишћење са последицом попуњености прслина средствима за чишћење или производима чишћења.

Припрема објекта за испитивање садржи неколико корака. Пошто је дефинисана контактна површина потребно је извршити чишћење објекта у толикој мери да околни простори који се налазе уз контактну површину не могу загадити поменуто, након што почне припрема контактне површине додатним чишћењем и коначно само испитивање. При томе треба узети у обзир технологију контроле унутар које може бити укључено нпр. струјање ваздуха под притиском, испирање наизменично врућом и хладном водом и слични поступци које се не могу ограничити искључиво на контактну површину.

Методе чишћења објекта са овом наменом су стандардне методе чишћења или још једноставније уколико је могуће, објекти који су предвиђени за пенетрантска испитивања треба одмах да испитају пре него што се додатно непотребно упрљају. Површина на којој се траже грешке, међутим, није довољно чиста за извођење испитивања, а унутрашњост грешака ни у ком случају се не може очистити стандардним методама чишћења којима чистимо површину објекта, свакако, може се попунити средствима чишћења и прљавштином пренесеном, управо чишћењем површине у унутрашњост прслине.

Контактну површину треба дакле посебно додатно очистити. Могући начини чишћења су следећи:

1. испирање,
2. парно чишћење,
3. механичко чишћење,

-
4. хемијско чишћење,
 5. електрохемијско чишћење,
 6. ултразвучно чишћење и
 7. топлотно чишћење.

Испирање је најједноставнији начин чишћења контактне површине. Испирање се обично изводи водом, водом уз додатак средства за квашење или лакоиспаривим растварачима. Испирање водом даје добре резултате када је потребно са површине odstraniti остатке раствора киселина, база, као и неких нетопливих нечистоћа (струготина, песка и сл.), које вода механички односи, ефикасност чишћења се увећава уколико се испирање изводи наизменично врућом и хладном водом.

Вода одстрањује нечистоће претежно са површине, а само делимично из унутрашњости грешака.

Након прања водом, воду заосталу у прелинама треба odstraniti сушењем и то обавезно загревањем објекта. Уколико се објекат не може или не сме загревавати, влага из прелине може се смањити испирањем контактне површине ацетоном, а затим сушењем ваздухом.

Испирање контактне површине може се извести лакоиспаривим растварачима (ацетон, бензин, метилен хлорид итд) која испаравају при собној температури за 15-20 минута ослобађајући приближно 60-80% волумена прелине.

Испирање органским растварачима користи се у сврху одстрањивања масноћа, средстава за подмазивање или конзервисање, неких врста боја и лакова, лакоиспаривим течностима које су растварачем одстрањиве. Ефикасност испирања органским растворима подједнака је на површини објекта и унутрашњости прелина под условом да се изводи испирање а не урањање, тј. да се непрестано обнавља свежи растварач на површини испираног дела објекта.

Парно чишћење је квалитетан начин одмашћивања уколико је слој масноћа, средства за конзервисање или других растварачем одстрањених нечистоћа врло танак.

Растварач се загрева у одговарајућој посуди или распршивачу на такав начин да паре долазе на хладну површину испитиваног објекта. У таквим случајевима парно чишћење даје врло добре резултате. Врста растварача се бира у зависности од објекта испитивања, али такође на избор утиче могућност заштите на раду ради опасности од пожара и штетног деловања неких пара на дисајне органе испитивача. У таквим случајевима морају се осигурати херметички затворене посуде у којима ће се извести ова припрема.

Механичко чишћење укључује обраду површине одвајањем честица (брушење, полирање, стругање, чишћење металном четком итд) и обраду површине млазом абразива (пескирање и сачмарење).

Механичко чишћење (у нашој индустрији се најчешће користи), је врло брзи начин чишћења површине објекта, али га треба користити само за објекте на којима нису делови одговорних конструкција и за објекте, на којима примењено механичко

чишћење неће довести до промене величине, облика и квалитета површине изван граница дозвољеног одступања.

Механичко чишћење је ефикасно за одстрањивање продуката корозије, крутих талога или премаза. Може се користити када се у начелу траже грубе грешке. Ово је врло брз начин припреме, али најмање делотворан у поређењу са осталим начинима из следећих разлога:

- механичким чишћењем се не чисти простор унутар прслине и осталих грешака површине,

- у процесу чишћења долази до попуњавања унутрашњости грешака производима чишћења (металним честицама одвојеним од површине и абразивима) и

- шупљине грешака на површини у процесу чишћења могу се прекрити танким слојем пластично деформисаног метала или се чак њиме попунити.

У процесу производње или репаратуре разних делова предвиђена је обрада одвајањем честица или обрада струјом абразива. У таквом случају потребно је знати утицај механичке обраде на резултате пенетрантског испитивања и обавезно предузети мере којима ће се одстранити негативне последице механичке обраде или предвидети пенетрантско испитивање пре примене механичке обраде у току производног процеса, уколико је могуће.

Негативне последице механичке обраде могу се одстранити хемијским чишћењем површине, електрохемијским чишћењем, ултразвучним чишћењем или топлинским чишћењем.

Хемијско чишћење одстрањује танке површинске слојеве метала који су последица претходне механичке обраде, затим оксидне превлаке и друге могуће круте и течне нечистоће.

Ради велике ефикасности хемијског чишћења оно се увелико користи за повећање радне осетљивости пенетрантског испитивања. Могло би се рећи да се хемијским чишћењем отварају грешке према површини, наравно оне које су површинског карактера, тј. оне које су биле прекривене танким превлакама било металним, оксидним или заштитним средствима.

Ефикасност хемијског чишћења изражена је и у томе што подједнако добро чисте површине и унутрашњост грешака.

Хемијско чишћење се изводи наношењем хемикалија на површину коју треба очистити, или урањањем предмета чишћења у средство за чишћење. Врло добре резултате чишћења дају органски растварачи јер имају заједничко својство доброг растварања многих врста нечистоћа. Могу се користити органски растварачи опште намене и смеше растварача (ацетон, бензин, трихлоретилен, метиленхлорид, разређивач, одмашћивач). Свако од ових и сличних средстава за хемијско чишћење има одређене предности и недостатке у односу на поједини објект испитивања. Нажалост нема универзалног средства које би било оптимално у сваком поступку пенетрантског испитивања. Док се једно средство нпр. перхлоретилен ни у ком случају не сме користити на површинама објекта од гвожђа, алуминијума и њихових легура, јер изазива корозију, друго средство ће бити неразорно у односу на објект, врло ефикасно за одстрањивање нечистоћа, али зато штетно по оператере (наркотик) и сме се користити само ако се чишћење изводи у херметички затвореним посудама.

Приликом разраде поступка пенетрантског испитивања потребно је некада, уколико није довољно познато, испитати деловање средстава за чишћење на објекат испитивања и то са аспекта неразарања са једне стране и ефикасности чишћења са друге стране.

Општа технолошка упутства у вези чишћења са органским растварачима могу се сажети на следећи начин, у зависности од количине нечистоћа које ће растварач одстранити, биће већа:

- што је већа температура растварача,
- ако је нижа вискозност растварача и
- ако је дуже време деловања.

Одавде следи да ће одстрањивање нечистоћа бити повољније уколико се прање изводи урањањем у каде које имају уграђене мешалице како би на површину пристизале непрестано нове количине растварача. Уколико нема мешалице мора се изводити ручно мешање или узастопно вишеструко урањање или непрестано поливање контактне површине. Уколико је за потпуно одстрањивање нечистоћа потребно применити више врста растварача, онда у поступку контроле треба одредити такав редослед прања да сваки следећи растварач одстрањује остатке претходног и производе чишћења. Последње прање у току поступка чишћења мора се извести за средством веће испарљивости у односу на сва претходно коришћена средства (нпр. ацетон, метиленхлорид и сл.). Разним додацима растварачу се може смањити штетно деловање растварача на метал. Изузетно је важно, а лако се проверава, да време држања у купки или струји растварача много утиче на ефикасност чишћења. Време држања у купки за чишћење потребно је одредити довољно дугим да нечистоће које се одређеном купком или поливањем одстрањују, имају довољно времена да изађу из шупљине грешака уз помоћ растварача на површини, јер у супротном при сушењу, растварач ће испарити а нечистоће остати поново у шупљини пукотине и осталих грешака.

Хемијско чишћење нагризањем одстрањује честице са површине објекта и површина пукотина, дакле унутрашњости грешака и не доводи до пуњења шупљина грешака уколико се нагризање изводи тако да се производ одводи са површине објекта. Одстрањивање честица са производа нагризањем се може осигурати тако да се прање изводи струјом средства за нагризање или водом, а не нпр. четкама.

Нагризањем се не добија добар резултат при чишћењу дубљих пукотина уколико се не нагриза у комбинацији са деловањем ултразвука (ултразвучно чишћење). Хемијско чишћење базним растворима се темељи на способности база да емулгирају масти и уља и суспендују тврде нечистоће и тако их одстране са површине.

Након хемијског чишћења потребно је неколико пута обавити додатно прање средствима за неутрализацију, затим обавити испирање и на крају сушење.

Објекти који су хемијски чишћени и сушени морају се одмах подвргнути пенетрантском испитивању. Избор пенетрантског система мора бити одговарајући, тј. не смеју се користити системи који не садрже инхибиторе корозије.

Развијач, било у суспензији или суви не сме остати предуго на површини (препоруке су мање од два часа). После испитивања треба обавити чишћење објекта од дефектоскопских материјала и затим одмах приступити заштити објекта

(конзервирање, бојење и сл.). Генерално се сматра да време које протекне од момента хемијског чишћења до момента заштите објекта, а укључује и само испитивање, не би требало да пређе 4-5 часа.

Електрохемијско чишћење је чишћење објекта хемијским средствима уз истовремено деловање електричног поља. Електрични ток значајно увећава деловање хемијског чишћења површине. Овај начин чишћења може се дакле сматрати појачаним хемијским чишћењем.

Потребно је међутим нагласити да при електрохемијском чишћењу треба такође обратити пажњу на ефикасност, јер се може догодити да зависно од објекта чишћења не добијају се једнаки резултати по целој контактної површини. Последица неравномерности чишћења присутна код ове врсте чишћења може довести до тога да се унутршњост грешака не очисти.

Електрохемијско чишћење у комбинацији са ултразвучним даје врло добре резултате.

Анодно чишћење се сматра најефикаснијим начином чишћења и припреме објекта за пенетрантска испитивања, јер осигурава чишћење површине једнако добро као и унутрашњост грешака. Висока ефикасност ове методе чишћења омогућује чишћење без нагризања, чиме је очуван квалитет површине.

Обично се користи за чишћење објекта израђених од високолегираних, нерђајућих челика и челика за повишене температуре.

Састав електролита и режим чишћења претежно зависи од врсте нечистоћа и дебљини слоја нечистоћа, али и о многим другим факторима. Објекти се обично вешају у купку и при томе треба пазити да се оствари добар контакт ради избегавања варничења и оштећења испитиваног објекта.

Уопштено треба пазити да се начином рада или врстом електролита не доведе до смањења квалитета површинског слоја или објекта у целини.

Ултразвучно чишћење се изводи у течним средствима која делују на нечистоће на површини објекта, а ултразвучне вибрације поспешују деловање. Сматра се да ултразвучно чишћење скраћује време чишћења за 5-10 пута, зависно од врсте објекта и нечистоћа.

Основни допринос ултразвучног чишћења, међутим није толико у скраћивању времена пенетратског испитивања, иако и то не треба занемарити, већ у томе да ултразвучне вибрације омогућавају и штавише поспешују излажење нечистоћа из шупљина грешака. Ово излажење нечистоћа изазвано вибрацијама је јако важно и зато се добијају добри резултати у припреми објекта на којима је потребно очистити круте нечистоће као што су рђа, оксидне превлаке, метална зачепљења, абразивне честице, металне честице од брушења и друге сличне нечистоће. Купке у којима се врши чишћење бирају се као и у претходно поменутом хемијском чишћењу или испирању.

Постоје међутим и псеудоемулзијске купке које садрже такве компоненте да стварају емулзије само при деловању ултразвука. Предност ултразвучног чишћења садржана је и у чињеници да је услед појачаног деловања купке при чишћењу могуће не само

скратити време обраде него користити појачано деловање у сврху смањења активности купке или можда осигурати рад при нижим температурама, уколико су биле потребне повишене температуре. Првенствено треба користити могућност чишћења при мањој концентрацији купке, чиме се доприноси бољем очувању површине објекта.

Трајање чишћења зависи од степена нечистоће а такође и од могућности оријентације контактне површине у кади за чишћење. Објекти се наине полажу у каду за чишћење тако да контактна површина буде нормална на смер ширења ултразвучних таласа. По завршетку чишћења следе даљи кораци у припреми површине за испитивање, тј. неутралисање, површине ако је потребно и обавезно испитивање као и сушење контактне површине.

Контактна површина која се може загрејати пре испитивања у циљу сушења, осуши се чистом памучном крпом, два до три пута испере ацетоном и затим суши ваздухом до двадесет минута.

Топлотно чишћење при сушењу на ниским температурама у гасним или вакуумским пећима одстрањује практично све нечистоће као што су остаци течности од претходних прања, различити органски и неоргански спојеви који нису били у потпуности одстрањени при хемијском чишћењу. На површини остаје врло мало нечистоћа које су отпорне на повишене температуре. Услед мале количине кисеоника у вакууму или инертном гасу практично не долази до оксидације уз услов да се хлађење изведе такође у вакууму или инертном гасу.

Топлотно чишћење се користи за припрему мањег броја производа, јер увек треба водити рачуна о томе да се топлотним чишћењем не утиче на својства материјала објекта. Пример где је топлотно чишћење ефикасно јер не утиче на својства објекта је чишћење лопатица и дискова турбина на температури 600-800°C а за неке легуре, температуре достижу и 1000°C. Приближно време чишћења је два часа у аргону, хелијуму или неком другом инертном гасу.

Основни недостаци ове врсте припреме су што се на такав начин могу чистити само материјали отпорни на повишене температуре, а такође одређену сметњу широј употреби представља и потреба релативно скупе опреме.

За грубо обрађене површине потребно је испоштовати следеће препоруке за одмашћивање:

1. Алуминијумске легуре:
 - чишћење дексидином,
 - хром - сумпорном киселином,
2. Феритне легуре:
 - четкање металном четком,
 - одстрањивање окалине,
3. Магнезијумове легуре:
 - чишћење киселином,
4. Титан и његове легуре:
 - хемијско чишћење флуоро-азотном киселином.

Свака од претходно наведених метода чишћења има своје предности и недостатке. Врло често потребно је комбиновати више метода чишћења, па су тако и настале разне

методе чишћења као што су електрохемијска, ултразвучна и друге набројане. При разради једног поступка пенетрантског испитивања велику важност има управо припрема објекта за испитивање. Колико је важно добро познавати могућности, предности и недостатке сваког од овде наведених начина припреме, илуструје се на примеру сушења, последњег корака у припреми објекта за испитивање пенетрантским средствима. Сушење се изводи на један од следећих начина:

- држањем објекта на ваздуху,
- држањем објекта у струји ваздуха,
- загревањем у пећи или сушници,
- сушењем у вакууму и
- загревањем на високим температурама у вакууму или инертном гасу.

Најчешће је у примени сушење на ваздуху. Сушењем на ваздуху не ослобађа се простор прслине више од приближно 60%.

Потпуно ослобађање простора пукотине продужавањем времена сушења на ваздуху немогуће је постићи, јер се после одређеног времена влага у прслинама повећава ради кондензације влаге из околине. Температура сушења потребна да се ослободи унутрашњост прслине 1 μm од остатка растварача нпр, ацетона је 70-80°C, а већ за воду износи око 200°C.

Уколико објекат није био добро претходно одмашћен може се догодити да остаци масти у прслинама на овим температурама полимеризују и на тај начин стварају чврсте нерастворљиве садржаје унутар прслина које је готово немогуће одстранити уколико се предмет не сме загревати на високим температурама чишћења. Полимеризација може настати и када у прслини нема много масноће.

3.2.3 Наношење пенетранта

Примена односно наношење пенетранта се може извести потапањем објекта у течност, тампонирањем или коначно распршивањем помоћу пиштоља са компримованим ваздухом или у облику спреј доза. Феномен пенетрације није још сасвим разјашњен на научној бази, зна се да је у вези са параметрима вискозитета, густине и површинског напона пенетрантске течности, која захтева за потпуну пенетрацију одређено време контакта, а време трајања контакта зависи и од димензија оштећења и услова амбијента као што је на пример температура. Температура материјала који се испитује и температура пенетрантских средстава морају бити у температурном подручју које даје произвођач пенетранта.

Површина која се испитује мора бити равномерно и у целини покривена пенетрантом. Време пенетрирања зависи од особина пенетраната, температуре испитивања, од материјала који се испитује и врсте грешке.

Пенетрант се не сме ни у ком случају осушити за време испитивања односно пенетрирања. Ако је потребно, површина се мора поново наквасити пенетрантом. Време пенетрирања не сме бити мање од оног које одреди произвођач.

3.2.4 Одстрањивање вишка пенетранта

Ова фаза се назива и прање, а састоји се у уклањању вишка пенетранта који је заостао на површини објекта, који није пенетрирао у оштећења. Чворна тачка ове фазе се састоји у томе што се течност која је заостала на површини мора елиминисати, док она која је пенетрирала не сме апсолутно да буде елиминисана. Ако се учини ова грешка, настаје случај супериспраности што смета квалитету испитивања.

Избегава се претерано уклањање вишка пенетранта да се не би uklонио пенетрант из широких и плитких грешака. При испитивању флуоресцентним пенетрантом одстрањивање вишка пенетранта се контролише под црном светлошћу. При испитивању обојеним пенетрантом чишћење се изводи док се са површине не отклони сваки видљиви траг боје.

Постоје следеће методе прања:

- ◆ пенетранти који се уклањају емулгатором,
- ◆ пенетранти који се уклањају растварачем и
- ◆ пенетранти који се перу водом и пенетранти који се накнадно емулгују.

3.2.4.1. Пенетранти који се уклањају емулгатором

Ако се захтева тип пенетранта, након завршеног времена пенетрације одговарајући емулгатор се наноси на испитивану површину прскањем, поливањем или потапањем. Време емулговања зависи од постојећих услова, стања површине и типа грешке. Стога се треба придржавати времена које је одредио произвођач.

3.2.4.2. Пенетранти који се уклањају растварачем

Препоручује се да се ови пенетранти уклањају у две фазе:

- (а) брисањем помоћу тканина или папира и
- (б) преостали површински филм пенетранта се уклања брисањем површине тканином или папиром који су мало овлажени растварачем све док се не уклоне сви заостали трагови вишка пенетранта.

3.2.4.3. Пенетранти који се перу водом и пенетранти који се накнадно емулгују

Пенетранти се уклањају прањем водом и брисањем. По правилу се користи топла вода чија температура мора да буде у температурном подручју које одређује произвођач пенетранта.

Ако неки део није потпуно опран, јер пенетрант није довољно емулгован, мора да се понови комплетан поступак (чишћење, пенетрирање и уклањање вишка пенетранта).

Сушење се обавља након уклањања вишка пенетранта, а пре наношења развијача, површина се поново осуши на један од следећих начина:

- а) помоћу чисте, суве тканине или папира,
- б) испаравањем на температури околине или на повишеним температурама и
- ц) испаравањем у струји топлог или незагрејаног ваздуха.

Температура површине која се испитује и температура ваздуха по правилу морају бити у температурном подручју које одређује произвођач пенетранта.

Када се употребљавају суви или неводени влажни развијачи, сушење површине је обавезно. За пенетранте који се уклањају водом, а употребљавају се са развијачима на бази воде, сушење није неопходно.

3.2.5 Наношење развијача

Обојена течност која је пенетрирала у оштећења само је први корак према “видљивости” која се може и мора много побољшати ако се посипа једним танким слојем белог праха који треба да испуни два следећа услова:

- да апсорбује један део течности која се налази у оштећењу, накваси се због дифузије на делу који је најближи оштећењу појачавајући на тај начин сигнал и
- да гради на неоштећеној површини једну компактну, непрозирну подлогу која појачава контраст са самим сигналом, чинећи га тако видљивим.

У принципу постоје четири начина за примену праха за развијање или средства за контраст: ако се ради о сувим праховима, могу да послуже пиштољи за распршивање праха или да се део загњури у затворен одељак где се прах одржава у “узбурканом стању” помоћу млазева компримованог ваздуха; ако се ради о праховима у виду “паре” могу се користити пиштољи “спреј” дозе, или да се комади потапају у суспензију.

Суви прашкасти развијач се на осушену површину равномерно наноси тако да нема гомилања праха.

После сушења течни развијач се равномерно наноси на испитивану површину, према упутству произвођача. Непосредно пре употребе развијач се мора измешати тако да се осигура равномерно дисперговање чврстих честица у носећем флуиду. Мора се избегавати стварање дебелих слојева и нагомилавање развијача, јер то маскира грешке.

Време развијања обухвата време потребно за наношење развијача, његово сушење и време потребно за појаву индикација. По правилу, време развијања даје произвођач или је одређено посебном спецификацијом.

Претерано дуго време развијања може довести до тога да се пенетрант из широких и дубоких грешака разлива и чини индикације нејасним.

3.2.6 Посматрање

Овој фази се мора посветити посебна пажња. Прецизност и педантност, уз добру дозу искуства, чине основу ове методе испитивања без разарања, јер задатак није само у томе да се грешка открије, већ да се интерпретира и природа и порекло, да се процени важност и да се види у ком је стању она ризикантна као сметња у будућој употреби објекта када он буде подвргнут сталној експлоатацији.

Треба разликовати услове посматрања за флуоресцентне и обојене пенетранте. Простор у којем се врши посматрање флуоресцентних индикација мора бити замрачен. Ако је осветљен млечножутим светлом, испитивање површине се врши под ултравиолетном светлошћу таласне дужине од 320 до 400 nm. Пре испитивања осветљење мора достићи пуну сјајност. Најмање пет минута пре испитивања очи треба привићи на одговарајуће осветљење. Интензитет ултравиолетног зрачења на површини која се испитује не сме бити мањи него што је предвиђено препорукама.

Код испитивања обојеним пенетрантима, површина која се испитује мора бити осветљена дневном или вештачком светлошћу најмање јачине 500 lx (осветљење флуоресцентном цеви од 80 W, постављеном на удаљености од 1m), посматрање испитиване површине мора бити такво да се избегне одсјај.

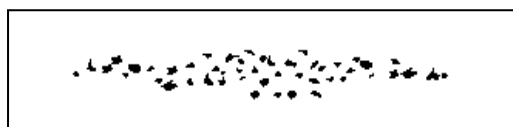
За боље посматрање индикација користе се лупе различитих увећања. При испитивању са флуоресцентним пенетрантима морају се користити наочаре од натријумовог стакла које штите очи од ултравиолетног зрачења и одсјаја од испитиване површине. Особе које носе иначе наочаре могу користити филтер који се на њих само прикаче. Треба узети у обзир и смањење способности посматрања услед замора посматрача.

3.2.7 Преглед индикација и оцена резултата

По истеку времена развијања мора се извршити преглед посматрањем површине под одговарајућим условима. Ако тумачење индикација није поуздано, поступак испитивања се понавља. Индикације грешака се обележавају и према одговарајућим критеријумима оцењује прихватљивост.

Индикације грешака могу бити различитог облика (нпр. праве и изломљене линије, зракасте, у виду мрља и сл.) и могу се ширити са дужим временом развијања. Карактеристика ових индикација, као што су брзина којом се оне појављују и њихов коначни облик и мере, дају информације о величини откривених грешака.

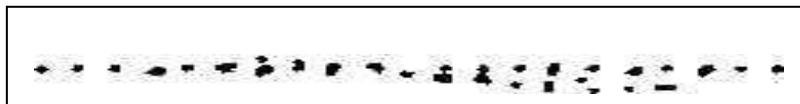
На следећим сликама је приказано неколико индикација карактеристичних за контролу пене-грантима.



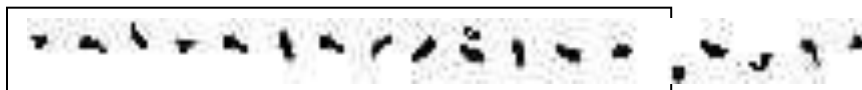
Слика 3.11 Концентрација црвених тачака указује на порозност и питинг



Слика 3.12 Нагло црвењење, континуирано равно - симбол великих прелина и отварања



Слика 3.13 Сломљене линије од тачака које се појављују након неколико минута -
ситне прслине



Слика 3.14 Низ црвених тачака формиран у неправилну линију - прслине од умарања

3.2.8 Чишћење после испитивања

После испитивања обавезно је да се остаци пенетранта и развијача уклоне са испитиваних површина.

После уклањања развијача и пенетранта испитивани материјали се морају добро осушити и ако је потребно очистити од корозије.

4. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНО ИСПИТИВАЊЕ ОШТЕЋЕНИХ ПОВРШИНА НА ЕЛИСИ АВИОНА PA-28 WARRIOR II ПРИМЕНОМ ПЕНЕТРАНТСКЕ МЕТОДЕ. РЕЗУЛТАТИ ИСПИТИВАЊА

4.1 УВОД

За потребе Аеро клуба “Трстеник” потребно је испитати евентуално постојање површинских дефеката на елиси авиона PA-28 WORIOR II одговарајућом методом. Провера и припрема за испитивање се врши према Упутству за испитивање пенетрантима немачке фирме MR- Chemie GmbH, Norastrasse 61-63, D-59427 Unna (Massen), које дефинише ко, како и чиме врши испитивање пенетрантима.

Испитивање се врши у хангару Аеро клуба “Трстеник”. При томе елиса је скинута са спортског авиона. Испитивање спада у периодичан преглед предвиђен одговарајућим прописима.



Слика 4.1 Слика авиона PA-28 WORIOR

4.2 ЕКСПЕРИМЕНТ

Најпре се врши визуелни преглед елисе. Бира се испитно место где постоји добра вентилација ваздуха и поштовање препоручене температуре испитне површине елисе од 10 до 50°C. Претходно се проверава рок употребе компонената за пенетрантско испитивање у спреј дозама под притиском, а затим се адекватно распореде. Припрема се довољна количина сувих и чистих тканина без длачица.

Одмашћивање и сушење испитних површина елисе се врши према одговарајућем стандарду предвиђеном за ову област испитивања (SRPS С.А7.О80.1990. Испитивање без разарања - Испитивање пенетрантима - Опште одредбе). Површина која се испитује мора бити чиста, без уља, масноћа, песка или љуспица или било којих других нечистоћа које могу имати утицаја на правилну интерпретацију индикација. Одмашћивање се врши одговарајућим одмашћивачем у спреј дози ознаке MR-79. Произвођач спреја дефинише услове употребе (мућкање, удаљеност са које се распршује, положај дозе у току распршивања) и прописује упутства којих се треба придржавати да би се постигли жељени ефекти и отклониле евентуалне грешке. Дакле, одмашћивач се енергично промућка и распрши по површини елисе у танком слоју на удаљености од 20 до 30 cm и испоштује се препорука о захтеваном времену одмашћивача и сушења.

Потом се боца пенетранта ознаке MR-68 енергично промућка и садржај исте се равномерно распрши тако да се у целини покрије површина елисе пенетрантом на удаљености од 20 до 30 cm. Таква површина се остави уз поштовање времена пенетрације (од 5 до 20 минута). Пенетрант се ни у ком случају не сме осушити за време пенетрирања. По истеку поменутог времена, уклања се пенетрант брисањем сувим и чистим тканинама без длачица. Избегава се претерано уклањање вишка пенетранта да се не би уклонио пенетрант из широких и плитких грешака. Чишћење се врши док се не уклони сваки видљиви траг боје након уклањања вишка пенетранта, а пре наношења развијача, површина се поново суши у струји ваздуха.

На осушену површину елисе равномерно се наноси развијач. Боца се промућка и распрши на суве површине на удаљености од 20 до 30 cm у танком слоју тако да нема гомилања праха, како би се и он сам пре осушио. Поштује се време произвођача од 5 до 60 минута. Ова фаза се обавља најкасније 15 минута по сушењу површина.

Врло је битно испоштовати сугестије произвођача, јер се на тај начин избегава могућност да се пенетрант из широких и дубоких грешака разлива и тиме чини индикације нејасним.

4.3 ПОДАЦИ О ПРОИЗВОДУ ИСПИТИВАЊА И ПРИМЕЊЕНИМ ПЕНЕТРАНТСКИМ СРЕДСТВИМА

4.3.1 Подаци о производу

Назив дела	Елиса авиона PA-28 WORIOR II
Дужина елисе	2200 mm
Дебљина елисе	до 15 mm
Материјал	Ковани дурал
Поручилац	Аеро клуб „ТРСТЕНИК”
Количина	1 комад
Величина узорка	1 комад

4.3.2 Параметри и средства испитивања

Одмашћивач	MR 79
Пенетрант	MR 68
Развијач	MR 70
Наношење	Ручно - у спреју
Време пенетрирања	15 минута
Време развијања	20 минута
Температура испитивања	18 °C
Флуоресценција	Не



Слика 4.2 Комплет пенетрантског система

Одмашћивач MR-79. Овај одмашћивач је мешавина растварача на бази кетона. Неке од његових карактеристика (по произвођачу) су:

- Брзо сушење
- Најнижа температура за формирање запаљиве мешавине у ваздуху: -19°C
- Погодан за употребу са свим металима
- Погодан за неке пластичне материјале (пожељно тестирање пре употребе)
- Радна температура -10 до +50°C
- Погодан за употребу распрскивањем

Пенетрант MR-68. Овај пенетрант не садржи минерална уља и на бази је гликола. Поседује следеће карактеристике:

- Раствара се растварачима, између осталих MR-79
- Погодан је за употребу са свим металима
- Погодан је за неке пластичне и керамичке материјале уз претходно тестирање
- Радна температура од -10 до +50°C
- Веома добра биоразградивост по стандарду EN ISO 9888
- Погодан за употребу распрскивањем

Развијач MR-70. Овај развијач има следеће карактеристике:

- Брзо сушење
- Радна температура од -30 до +50°C
- Погодан за употребу распрскивањем

4.4 АНАЛИЗА РЕЗУЛТАТА ИСПИТИВАЊА

Визуелни преглед површина елисе се врши при дневном светлу. По принципу капиларне дефектоскопије развијач беле боје “извлачи” пенетрант црвене боје на површину и тиме ствара контрастну слику. Како тече време развијања примећују се индикације грешака које се јављају као линије које се шире са одмицањем времена посматрања, а у зависности од њихове дубине.

Установљене су грешке:

- а) на главчини са стране словних ознака (дубине од 0,1 до 0,3 mm),
- б) на излазним ивицама елипсе (дубине око 0,3 mm) и
- ц) једна огреботина (дужине 25 mm и дубине 0,06 mm).

Сувом тканином се уклањају трагови пенетраната и развијача, а потом се водоотпорним фломастером заокруже грешке.

Према стандарду SRPS ISO 9916 (Одливци легура алуминијума и легура магнезијума - контролисање течним пенетрантима) констатује се да су грешке а) и б) по природи дисконтинуитета напрслине, номенклатуре D. Тип индикације за грешку а) је линијска-LR, а за грешку б) у низу-AR. Претпоставља се да је огреботина ц) настала деловањем камења који су се покренули услед турбуленције ваздуха при стартовању мотора (елисе).

ИЗВОД ИЗ СТАНДАРДА SRPS ISO 9916

4.5 ИСПИТИВАЊЕ РАДИ ОЦЕНЕ ПРИХВАТЉИВИСТИ

4.5.1 Индикације дисонтинуитета

Прикази (скице) дисонтинуитета или такозване индикације дисконтинуитета могу бити нелинијски (појединачни издвојени или груписани), у низу или линијски. Мада се контролисање течним пенетрантом не може углавном користити за одређивање величине откривених дисконтинуитета, то се ипак може, за линијске дисконтинуитете при процени дужине L индикације дисконтинуитета. Различити типови индикација добијених помоћу пенетранта могу одговарати дисконтинуитетима приказаним у табели 4.1.

Табела 4.1 - Природа дисконтинуитета и типови одговарајућих индикација

Природа дисконтинуитета	Ознака	Тип индикација			
		Нелинијске		У низу	Линијске
		Појединачне SR	Појединачне AMR		
Гасни мехурови, тачкасти отвори	A	X	X	X	
Укључци (други, не алуминијумски)	B	X	X	X	
Шупљине услед скупљања (усахлине)	C	X	X	X	X
Напрслине	D			X	X
Хладне капи	H	X		X	X
Алуминијум-оксид	J			X	X

Физички дисконтинуитети означени са A, B, C, D, H и J у табели 2 могу дати различите типове индикација добијених помоћу пенетраната:

а) нелинијска, таква да је $L < 3b$:

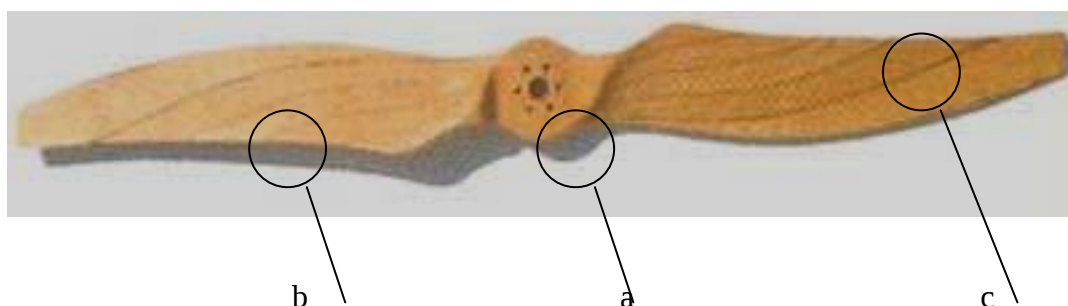
- појединачна SR и
- груписане AMR: површина више индикација, растојање између њих не може се измерити, тако да изгледа као да је образована само једна индикација;

б) у низу AR:

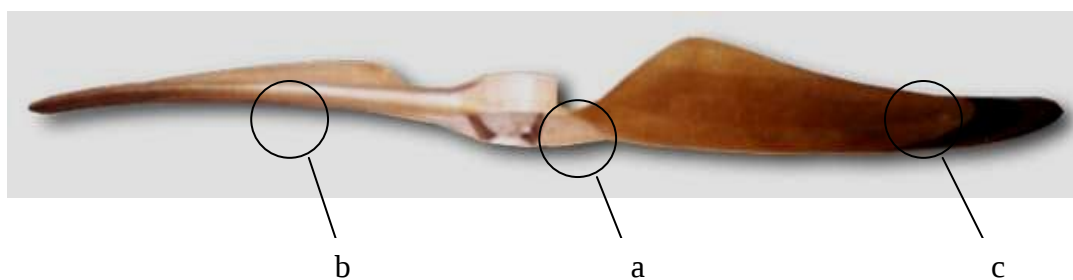
- нелинијске, растојање између индикација је мање од 2 mm и налазе се најмање три индикације и
- линијске, растојање између две индикације је мање него дужина најмањег дисконтинуитета у низу;

ц) линијска LR: таква да је $L \geq 3b$:

где је L - дужина индикације и b - ширина индикације.



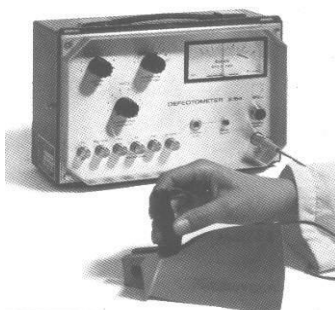
Слика 4.3 Слика елисе са лоцираним грешкама (поглед одозго)



Слика 4.4 Слика елисе са лоцираним грешкама (поглед спреда)

Напомена:

Дубине констатованих грешака су установљене апаратом “DEFEKTOMETER 2.164”, фирме “INSTITUT DR. FORSTER” из Немачке. Поменути апарат ради на принципу вихорних струја и служи за мерење дубине прслина.



Слика 4.5 Слика апарата “DEFEKTOMETER 2.164”, за мерење дубине прслина

На основу извршеног пенетрантског испитивања у оквиру перидичаног прегледа предвиђеног одговарајућим прописима саветује се управи Аеро клуба “Трстеник” да постојећу елису замене новом. Због установљених грешака и њихових димензија не препоручује се даља експлоатација исте.

5. ЗАКЉУЧАК

У току шездесетак година примене пенетрантске контроле, упркос врло једноставног принципа ове методе развијено је око стотинак пенетрантских система из разлога потребе оптималног избора пенетрантског система зависно о примени. На избор поменутог утичу захтеви из стандарда и спецификација које су договорене пројектном документацијом, захтеви објекта, осетљивост која се мора постићи, заштита на раду која се може постићи, захтеви производње до еколошких и економских захтева у вези испитиване конструкције.

Напомена: При обради површина (полирање, грундирање, анодна заштита и др.), може доћи до затварања прелина у које касније пенетрант не може да прође. Зато се препоручује, у границама могућности, да се испитивање пенетрантима врши пре свих других операција.

Заснива се на бази површинског напона примењених хемијских агенаса.

Напомиње се да испитивање пенетрантима на магнетичним материјалима практично треба примењивати у случајевима када није довољно ефикасно испитивање магнетном методом.

Испитивање пенетрантима је стандардни поступак за откривање грешака које су отворене према површини која се испитује.

Светски произвођачи су у фази преиспитивања могућности за даље побољшање процеса пенетрантског испитивања. Наиме, ради се о побољшању фазе наношења пенетранта електро-статичким путем. То је систем који ће поред економског ефекта повећати и поузданост система. Ради се о коришћењу специјалних уређаја који уз помоћ високофреквентног генератора и специјалног пиштоља-атомизера, набија ситне честице пенетрантске течности негативним наелектрисањем. При прскању, уземљени објекти испитивања привлаче овако наелектрисане честице. На тај начин се добија идеална равномерна превлака на свим површинама које на први поглед изгледају неприступачне. Прекомерно прскање је смањено на минимум, а самим тим и потрошња пенетранта.

Иако на први поглед у директној компарацији са другим комплекснијим методама IBR, као што су ултразвук или радиографија, пенетрантска испитивања изгледају једноставно, то је само донекле тачно. Прво, пенетрантско испитивање представља један дуг технолошки просец који се састоји из више фаза. Практично свака од тих фаза садржи неке специфичности које директно утичу на резултат целог процеса. Другим речима, пропуст само у једној фази може довести до изостанка индикација на крају процеса, односно довести до погрешног закључка да нема дефекта који у стварности постоји.

Неке од карактеристичних опасности које овако сложен процес крије би биле: некоректно прање и одмашћивање, недовољно време пенетрације, кратко или сувише дуго време емулгације, сувише дуго прање, нарочито јаким млазом који испира пенетрант из дисконтинуитета, превисока температура сушења или непотпуно сушење - што је при употреби сувог развијача јако неугодно, некоректно наношење праха развијача, итд. Све ово упућује на чињеницу да оператери морају поседовати одређен ниво знања и искуства за овај посао, као и висок степен одговорности и савести.

Пенетрантско испитивање је врло поуздана и осетљива метода која може открити прслине и реда величине дате у табели 5.1, али уз услов одговарајуће технологије испитивања која ће бити тако разрађена да осигура радну осетљивост довољну за откривање тражених грешака.

Табела 5.1 Минимална величина прслина која се може одредити пенетрантским испитивањем

Ширина	0,1 μm
Дубина	1 μm
Дужина	1 mm

Једноставност принципа ове методе испитивања не сме се мешати са једноставношћу примене, јер примена пенетрантског испитивања, а са циљем поузданих резултата, није нимало једноставна.

Пенетрантска испитивања се примењују за детекцију површинских дисконтинуитета код компактних материјала црне и обојене металургије и неметала.

Капиларне методе данас се врло широко користе, јер су технолошки најпростије, поседују особине високе осетљивости, њима се постиже висок учинак контроле у серијској производњи свих детаља ма колико им површине биле сложене и јефтине. Ове методе су применљиве и код неферромагнетних материјала.

Недостатак ових метода је субјективност испитивача - контролора на кога могу утицати концентрација, пажња, заинтересованост, адаптација ока на интензитет светлости, микроклима просторије и други фактори.

Испитивање пенетрантским течностима се примењује и у контроли пропусности. Од уобичајеног поступка испитивања разликује се само по томе што се пенетрант наноси са једне, а развијач са друге стране посуде.

Овом методом могућа је детекција грешке, али не и димензије исте. Испитивање пенетрантима се не примењује код заварених спојева, заварених производа за прехранбену индустрију, као ни код заварених спојева где постоји склоност према корозији (посебно корозији уз напрезање).

6. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Ајкало, М., Ерцеговић-Сердар, А., Радовановић - Поволни, Г.: Методе испитивања и контрола квалитета пенетрантских система, Факултет стројарства и бродоградње, Загреб, 1989.
- [2] Аничин, И., Николић, М., Павловић, Д.: Радиографија - Теоријске основе и радне технике, Београд, 1988.
- [3] Брадић, Г.: Упутство за употребу MR - пенетраната, "ПРВА ПЕТОЛЕТКА - ПРОМЕТ", Физичко - хемијска лабораторија&IBR, Трстеник, 2002.
- [4] Деспот, А.: Испитивање без разарања, Институт "Хасан Бркић", Зеница, 1989.
- [5] Ерцеговић - Сердар, А., Матић - Влашкалин, М.: Проблеми развоја и примене пенетрантских система у капиларној дефектоскопији, "УТВА", Сектор развоја контроле квалитета, Панчево, 1986.
- [6] Ердоглија, Ж., Јевтић, П.: Обим, место и избор методе контроле ИБР у РО "ПРВА ПЕТОЛЕТКА", Трстеник, 1987.
- [7] Fertilio, A.: Осврт на југословенске стандарде из области испитивања пенетрантима, ХИП РО "АЗОТАРА", ООУР Контрола и истраживања, Панчево, 1982.
- [8] Јосифовић, Д.: Испитивање машинских конструкција II (скрипта) - ауторска предавања.
- [9] Крстел, В.: Предлог нацрта стандарда ЈУС Ц. А7. 081; Испитивање без разарања, Испитивање пенетрантима - Средства контроле, Сарајево, 1987.
- [10] Крстел, В.: Припрема објекта за пенетрантску контролу, Факултет стројарства и бродоградње, Загреб, 1986.
- [11] Paul, M. B.: Standard process for penetrant inspection, Britain Engineering Ltd., UK, 1998.
- [12] Приручник - Испитивање материјала методама без разарања (Non destructive testing), НДТ-УТВА, Панчево, 1976.
- [13] Приручник - Контрола методама без разарања, "ЖУПА", Хемијска индустрија, Крушевац, 1990.
- [14] Радојичић, Д.: Упутство за испитивање пенетрантским течностима, Завод за заваривање, Београд, 1993.
- [15] Стандард: ЈУС Ц. А7. 080: 1990., Испитивање без разарања-Испитивање пенетрантима-Опште одредбе,
- [16] Стандард: ЈУС Ц. А7. 081: 1992., Испитивање без разарања-Пенетрантска средства - Карактеристике и контрола квалитета,

[17] Стандард: ЈУС ISO 9916: 1997., Одливци алуминијума и легура магнезијума-
КОНТРОЛИСАЊЕ ТЕЧНИМ ПЕНЕТРАНТИМА.

[18] Stenberg, H. J.: Испитивање течним пенетрантима - Европска стандардизација, Беч,
2000.