

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

**Н.П. Калиниченко, А.Н. Калиниченко**

**ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ  
ПО КОНТРОЛЮ ПРОНИКАЮЩИМИ  
ВЕЩЕСТВАМИ.  
КАПИЛЛЯРНЫЙ КОНТРОЛЬ**

*Рекомендовано Учебно-методическим объединением вузов  
Российской Федерации по образованию в области приборостроения  
и оптоэлектроники для студентов высших учебных заведений,  
обучающихся по направлению подготовки 200100 «Приборостроение»*

Издательство  
Томского политехнического университета  
2013

УДК 620.179.10  
ББК 30.3-3я73  
К17

**Калиниченко Н.П.**

К17      Лабораторный практикум по контролю проникающими веществами. Капиллярный контроль: учебное пособие / Н.П. Калиниченко, А.Н. Калиниченко; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013. – 112 с.

ISBN 978-5-4387-0211-5

В пособии даны методические указания по подготовке и выполнению лабораторных работ по курсу «Контроль проникающими веществами. Капиллярный контроль». Приведены теоретические сведения по рассматриваемым темам лабораторных работ, требования к средствам капиллярного контроля, оценке и регистрации результатов контроля. Учен опыт зарубежных фирм по оценке качественных характеристик дефектоскопических материалов.

Предназначено для студентов, обучающихся по направлениям 200100 «Приборостроение», 220501 «Управление качеством»? а также может быть полезно специалистам, занимающимся вопросами неразрушающего контроля.

**УДК 620.179.10**  
**ББК 30.3-3я73**

*Рецензенты*

Кандидат технических наук  
директор ООО «СКАН-КОНТРОЛЬ»  
*Ф.М. Завьялкин*

Кандидат технических наук  
директор ООО «ИТЦ “Дикон”»  
*В.А. Забродский*

Кандидат технических наук  
доцент кафедры ФМПК ИНК  
*И.И. Толмачев*

ISBN 978-5-4387-0211-5

© ФГБОУ ВПО НИ ТПУ, 2013  
© Калиниченко Н.П., Калиниченко А.Н., 2013  
© Оформление. Издательство Томского  
политехнического университета, 2013

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>ВВЕДЕНИЕ</b> .....	4
<b>1. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ТЕХНОЛОГИИ КАПИЛЛЯРНОГО КОНТРОЛЯ</b> .....	5
2. Лабораторная работа <b>ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС КАПИЛЛЯРНОГО КОНТРОЛЯ. ЦВЕТНОЙ МЕТОД</b> .....	37
3. Лабораторная работа <b>КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ДЕФЕКТОСКОПИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ КАПИЛЛЯРНОГО КОНТРОЛЯ</b> .....	45
4. Лабораторная работа <b>ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС КАПИЛЛЯРНОГО КОНТРОЛЯ. ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЙ МЕТОД</b> .....	52
5. Лабораторная работа <b>ИЗУЧЕНИЕ СМАЧИВАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ПРОНИКАЮЩИХ ЖИДКОСТЕЙ</b> .....	62
6. Лабораторная работа <b>ОЦЕНКА ПРОНИКАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ПЕНЕТРАНТОВ</b> .....	71
7. Лабораторная работа <b>СРАВНЕНИЕ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ДЕФЕКТОСКОПИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ</b> .....	82
8. Лабораторная работа <b>МОНИТОРЫ ПРОЦЕССА КАПИЛЛЯРНОЙ ДЕФЕКТОСКОПИИ</b> .....	89
9. Лабораторная работа <b>ТЕХНОЛОГИЯ КАПИЛЛЯРНОГО КОНТРОЛЯ МЕТОДОМ ФИЛЬТРУЮЩИХСЯ СУСПЕНЗИЙ</b> .....	94
10. Лабораторная работа <b>МЕТОДЫ И СРЕДСТВА АТТЕСТАЦИИ КОНТРОЛЬНЫХ ОБРАЗЦОВ ДЛЯ КАПИЛЛЯРНОЙ ДЕФЕКТОСКОПИИ</b> .....	102
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ 1</b> .....	108
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ 2</b> .....	111

## ВВЕДЕНИЕ

Капиллярные методы нашли широкое применение в неразрушающем контроле, при контроле ответственных деталей в авиастроении, судостроении, энергетическом машиностроении и других отраслях народного хозяйства. Для некоторых материалов и изделий этот метод является единственным способом определения пригодности деталей или установок к работе.

Капиллярный контроль позволяет диагностировать объекты любых размеров и форм, изготовленные из черных и цветных металлов и сплавов, пластмасс, стекла, керамики, а также других твердых неферромагнитных материалов.

Этот вид контроля позволяет обнаружить дефекты, выходящие на поверхность: трещины, поры, раковины, непровары, межкристаллитную коррозию и другие несплошности.

Поверхностные дефекты обнаруживаются по ярко окрашенным или светящимся индикаторным следам, которые образуются на проявляющем покрытии (проявителе) в местах расположения несплошностей.

Выявление дефектов, имеющих ширину раскрытия более 0,5 мм, капиллярными методами контроля не гарантируется. Минимальная ширина раскрытия трещин, выявляемых при капиллярной дефектоскопии, порядка 1 мкм.

Капиллярный контроль может проводиться при температуре от  $-40$  до  $+40$  °С и относительной влажности не более 90 %.

# 1. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ТЕХНОЛОГИИ КАПИЛЛЯРНОГО КОНТРОЛЯ

## 1.1. Краткие сравнительные характеристики методов неразрушающего контроля

Неразрушающий контроль, в зависимости от физических явлений, положенных в его основу, подразделяется на виды:

- магнитный;
- электрический;
- вихретоковый;
- радиоволновой;
- тепловой;
- оптический;
- радиационный;
- акустический;
- проникающими веществами.

Проводить сопоставление методов неразрушающего контроля между собой следует с учетом следующих обстоятельств. Многие из методов применимы для контроля только определенных типов материалов: радиоволновой и электроемкостный – для немагнитных, плохо проводящих ток материалов; магнитный – для ферромагнитных материалов, вихретоковый – для электропроводящих, акустический – для материалов, обладающих небольшим затуханием звука соответствующей частоты. Также следует иметь в виду различную область применения разновидностей методов: измерение размеров, исследование химсостава и структуры, поиск несплошностей. Поэтому сопоставление различных методов контроля можно проводить только в тех условиях, когда возможно применение нескольких методов. Проведем сопоставление для дефектоскопического контроля металлических ферромагнитных материалов типа стали, когда применимо большинство из рассмотренных методов.

Сравнение можно проводить по глубине расположения дефектов, которые этими методами выявляются. Контроль течеисканием рассчитан на выявление только сквозных дефектов. Визуальные и капиллярные методы контроля позволяют обнаруживать только дефекты, выходящие на поверхность (в том числе несквозные). Магнитные и вихретоковые методы позволяют обнаруживать как поверхностные, так и подповерхностные (залегающие на глубине нескольких миллиметров) дефекты. Радиационные и акустические методы могут обнаруживать как поверхностные дефекты, так и внутренние.

Минимальные размеры обнаруживаемых дефектов различными видами НК приведены на рис. 1.1.

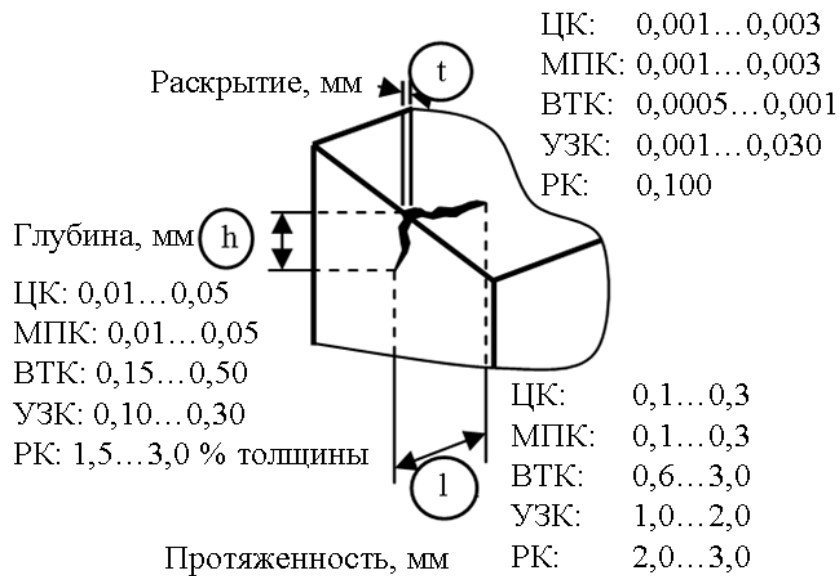


Рис. 1.1. Минимальные размеры обнаруживаемых дефектов:  
 ЦК – цветной контроль; МПК – магнитопорошковый контроль;  
 ВТК – вихретоковый контроль; УЗК – ультразвуковой контроль;  
 РК – радиационный контроль

Наиболее вредны для здоровья обслуживающего персонала радиационные и радиоволновые методы. Определенную токсичность имеют методы капиллярные и течеискания при использовании некоторых типов пробных веществ и ультрафиолетовых осветителей. Влияние остальных методов на здоровье обслуживающего персонала не установлено.

Наиболее благоприятны для автоматизации контроля вихретоковые, магнитные с феррозондовыми и индукционными преобразователями; радиационный радиометрический и некоторые тепловые методы. Главные их преимущества заключаются в отсутствии механического контакта преобразователя с объектом и представлении информации о дефектах в виде показаний приборов.

Перечисленным методам уступает ультразвуковой метод, для которого, как правило, необходим контакт преобразователей с изделием, например через слой воды. Трудность автоматизации других методов заключается в необходимости визуальной обработки информации о дефектах, которую эти методы представляют.

По стоимости выполнения контроля наиболее дорогие методы – радиографические и течеискания. Это связано с длительностью операций контроля, а также необходимостью капитальных затрат на оборудование и помещения.

Методы НК применяют во всех отраслях народного хозяйства. С их помощью контролируют качество деталей и конструкций, изготовленных из разнообразных материалов.

Все рассмотренные методы контроля часто входят в состав систем комплексного контроля, обеспечивающих выявление дефектов различных типов с высокой достоверностью за счет применения нескольких методов контроля в различных сочетаниях. Выбор методов, входящих в систему комплексного контроля, зависит главным образом от материала изделия и его толщины.

## 1.2. Классификация методов капиллярного контроля

Капиллярные методы контроля подразделяют на основные, использующие капиллярные явления, и комбинированные, основанные на сочетании двух или более различных по физической сущности методов контроля, одним из которых является капиллярный.

Основные капиллярные методы классифицируют в зависимости от проникающего вещества или способа получения первичной информации.

В зависимости от типа проникающего вещества различают два метода:

- проникающих растворов;
- фильтрующихся суспензий.

В зависимости от способа получения первичной информации различают методы яркостной (ахроматической) – Я, цветной (хроматической) – Ц, люминесцентной – Л и люминесцентно-цветной – ЛЦ дефектоскопии.

## 1.3. Физические основы метода

Капиллярные методы контроля объектов проникающими веществами применяют для обнаружения дефектов (типа трещин), выходящих на поверхность. Полости реальных трещин, чаще всего являющихся тупиковыми, имеют форму узкого клина, вершина которого обращена внутрь материала. Попав в такую трещину, проникающая жидкость смачивает ее полость и продолжает проникать внутрь нее даже после полного удаления с поверхности объекта контроля. В этом случае проникающая жидкость образует в полости трещины два мениска с радиусами  $R_1$  и  $R_2$  кривизны, причем  $R_2 > R_1$  (рис. 1.2, а). Эти мениски вызывают появление двух капиллярных давлений  $p_1$  и  $p_2$ , равнодействующая которых  $\Delta p$  направлена вглубь полости дефекта. Попав в полость дефекта, жидкость будет удерживаться там капиллярными силами.

Если на мениск, расположенный в устье трещины, наложить какое-либо пористое вещество, то он исчезнет и вместо него образуется система малых менисков различной формы и большой кривизны, каждый из которых создает свое капиллярное давление. Равнодействующая  $\Delta p$  созданных менисками капиллярных давлений существенно превышает давление  $p_1$  и действует в противоположном ему направлении.

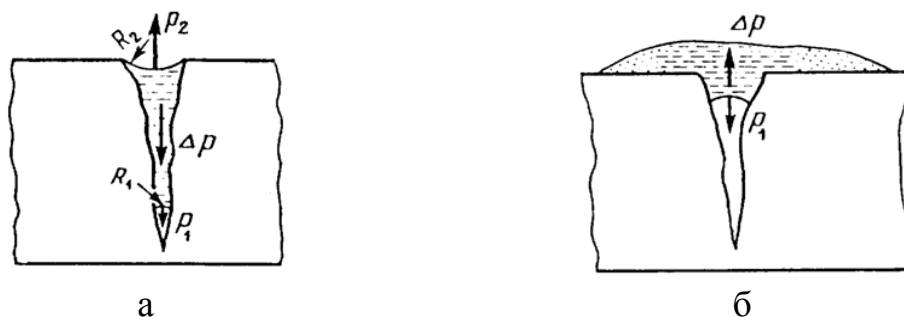


Рис. 1.2. Схемы проникновения жидкостей вглубь тупиковой трещины (а) и проявления индикаторных следов дефектов (б)

Под действием суммы давлений  $\sum_1^{\infty} p_m$  пенетрант из полости трещины поднимается на поверхность контролируемого объекта, несколько расплываясь над дефектным участком, и образует индикаторный след, который можно наблюдать невооруженным глазом или в лупу с небольшим увеличением (рис. 2, б). Вещества, вытягивающие пенетранты из полостей дефектов, называют проявителями.

На процесс проявления индикаторного рисунка дефектов существенно влияют сорбционные процессы. Под сорбцией понимают процесс поглощения паров и растворенных веществ твердыми телами или жидкостями. Различают адсорбцию и абсорбцию веществ.

*Адсорбция* – поглощение веществ из растворов на поверхности раздела двух сред (фаз) – твердого тела и жидкости.

*Абсорбция* – поглощение вещества всем объемом жидкости.

Адсорбированные частицы вещества удерживаются на поверхности некоторое время, зависящее от природы вещества, температуры и давления. При использовании в качестве проявителей сухих порошков или суспензий на поверхности каждой частицы проявителя адсорбируются молекулы пенетранта, выделяющегося из полостей несплошности материала. При физической адсорбции эти молекулы сохраняют свое первоначальное строение, а при химической образуют на поверхности частиц проявителя химическое соединение с ним. В случае использования в качестве проявителей лаков или красок наблюдается абсорбция



пенетрантов: весь проявитель, расположенный над полостью дефекта, равномерно поглощает находящийся в ней пенетрант, который при этом растворяет проявитель и сам растворяется в нем.

Если для проявления дефекта применяют пенетранты с высокой летучестью и проявитель быстро сохнет, то над дефектом образуется устойчивый индикаторный рисунок, неопределенно долго сохраняющий свои форму и цвет. При использовании малолетучих пенетрантов или медленно сохнувших проявителей на контролируемой поверхности образуется нестабильный, расплывающийся со временем индикаторный рисунок. Скорость сорбционных процессов в проявителе зависит главным образом от скорости диффузии проникающей жидкости и растворенных в ней веществ в слой проявителя. Количество  $m$ -диффундирующего вещества, проходящего за время  $\Delta\tau$  через площадку площадью  $F$ , определяют из следующего выражения:

$$m = D \cdot \frac{c_1 - c_2}{l} \cdot F \cdot \Delta\tau,$$

где  $D$  – коэффициент диффузии;  $c_1$  и  $c_2$  – концентрации проникающей жидкости в двух слоях проявителя, отстоящих друг от друга на расстоянии  $l$ .

При повышении температуры коэффициент диффузии увеличивается, что приводит к ускорению проявления дефектов, если проникающая жидкость при этом не испаряется. Потеря массы летучей жидкости вследствие испарения может превышать прирост ее поступления в проявитель, что приводит к ухудшению выявляемости или даже невыявлению дефектов.

Индикаторные рисунки, образующиеся при взаимодействии пенетранта и проявителя, либо обладают способностью люминесцировать при воздействии ультрафиолетового излучения, либо имеют цветовую окраску вследствие избирательного поглощения (отражения) части падающих на них световых лучей. Линии индикаторных рисунков имеют ширину 0,05–0,3 мм и высокие яркостный и цветовой контрасты с фоном, поэтому рисунок дефекта обнаружить значительно легче, чем сам дефект. Причем обнаружение его тем проще, чем шире индикаторная линия и выше ее контраст с фоном.

#### 1.4. Дефектоскопические материалы

Контроль изделий осуществляют с помощью дефектоскопических материалов, представляющих собой комплекты, компонентами каждого из которых являются индикаторный пенетрант (И), очищающая жидкость (М или О) и проявитель (П).

*Индикаторная жидкость (пенетрант)* – это окрашенная жидкость, предназначенная для заполнения полостей открытых поверхностных дефектов и последующего образования индикаторного рисунка. Жидкость представляет собой раствор или суспензию красителя в смеси органических растворителей, керосина, масел с добавками поверхностно-активных веществ (ПАВ), снижающих поверхностное натяжение воды, находящейся в полостях дефектов, и улучшающих проникновение пенетрантов в эти полости.

Индикаторные пенетранты готовят при температуре не выше 60 °С.

В качестве основы пенетрантов широко применяют бензол, керосин, скипидар, ксилол и другие вещества, трудно смываемые водой. Оптимальными для применения считают проникающие жидкости, имеющие коэффициент поверхностного натяжения  $\sigma = 26\text{--}28$  мН/м и динамическую вязкость  $\eta_{\text{ж}} = 1\text{--}2$  мПа·с.

При цветной дефектоскопии применяют жирорастворимые темно-красные красители (5С, Ж, родамин), а при люминесцентно-цветной – краситель родамин С.

*Очищающая жидкость (очиститель)* предназначена для удаления пенетрантов с поверхности изделий в процессе контроля. Чаще всего применяют воду с добавками ПАВ, кальцинированной соды, а также органические растворители, масло, керосиновые смеси и другие жидкости.

*Проявитель* позволяет, с одной стороны, извлекать пенетрант из полостей дефектов и образовывать индикаторные рисунки, а с другой – создавать на поверхности изделия фон, облегчающий рассмотрение этих рисунков. Проявители применяют в виде порошков, суспензий, красок или пленок. Обычно в качестве проявителей применяют такие порошки и их смеси, как оксид магния, силикагель, белая сажа, мел, каолин, тальк, маршаллит и др. Эти же порошки входят в состав суспензий на основе воды, ацетона, спирта, бензина и других жидкостей. В цветной дефектоскопии получили широкое распространение оксид цинка и титановые белила, а для люминесцентного контроля – оксид магния. Проявляющие краски и пленки содержат тонкодисперсные вещества, поглощающие проникающую жидкость; такие проявители применяют для контроля изделий сложной формы.

Дефектоскопические комплекты обычно выбирают, исходя из требуемой чувствительности контроля, его производительности, условий проведения, стабильности качества дефектоскопических материалов, а также химической инертности в отношении объекта контроля. Обычно применяют нетоксичные или малотоксичные негорючие и коррозионно-безопасные материалы. Высокочувствительные комплекты

(класс I) позволяют выявлять дефекты с раскрытием до 1 мкм, комплекты средней чувствительности (класс II) – с раскрытием от 1 до 10 мкм, пониженной чувствительности (класс III) – с раскрытием от 10 до 100 мкм, IV класс – с раскрытием от 100 до 500 мкм, технологический класс – не нормируется (т. е. что обнаружено).

Таблица 1.1

*Классы чувствительности*

Класс чувствительности	Наименование	Раскрытие, мкм
I	высокочувствительный	до 1
II	средней чувствительности	от 1 до 10
III	пониженной чувствительности	от 10 до 100
IV	низкой чувствительности	от 100 до 500
	технологический	не нормируется

Дефектоскопические материалы укомплектовывают в наборы, которые представляют собой взаимозависимое целевое сочетание дефектоскопических материалов: индикаторного пенетранта, проявителя, очистителя, приведенные в табл. 1.2.

Таблица 1.2

*Примеры наборов дефектоскопических материалов*

Комплект	Назначение	Раствор	Компоненты	Количество
Ц-II-217. П115. M204	Контроль точечных поверхностей	Индикаторная жидкость И217	Бензин Скипидар А Нориол А Жирорастворимый краситель Ж	300 мл 600 мл 100 мл 10 г/л
		Очиститель M204	Эмульгатор ОП-7 Вода	10 г/л 1 л
		Проявитель П115	Этиловый спирт Вода Каолин	500 мл 500 мл 350 г
Ц-III-И227. П115. M204	Контроль кованых (штампованных) поверхностей	Индикаторная жидкость И227	Керосин Бензин Скипидар А Жирорастворимый краситель Ж Жирорастворимый краситель 5С	200 мл 300 мл 500 мл 5 г/л 5 г/л
		Очиститель M204	Эмульгатор ОП-7 Вода	10 г/л 1 л
		Проявитель П115	Этиловый спирт Вода Каолин	500 мл 500 мл 350 г

Ц-II-ДК-6 ДАК-6	Контроль стали, цветных сплавов на основе Al	Индикаторная жидкость И6	Бензин Ксилол Скипидар Жирорастворимый краситель Ж Жирорастворимый краситель 5С	470 мл 30 мл 500 мл 5 г 5 г
		Проявитель П4	Этиловый спирт Каолин	1000 мл 350 г
		Очиститель М2	Этиловый спирт	–

Последовательность приготовления растворов:

**И217.** Краситель Ж растворяется в смеси скипидара и люминофора «Нориол А» при перемешивании и подогреве на водяной бане с температурой около 50 °С не менее 30 мин. К полученному раствору добавляется бензин. После достижения комнатной температуры раствор профильтровать.

**И227.** Краситель Ж растворяется в скипидаре, краситель 5С – в смеси керосина и бензина. Растворение красителей производится при перемешивании и подогреве на водяной бане с температурой 40 °С. Полученные растворы сливаются вместе. После достижения комнатной температуры раствор профильтровать.

**М204.** Эмульгатор растворить в воде при перемешивании.

**П115.** Каолин перемешать со спиртом до однородной массы, затем при перемешивании добавить воду.

Запись набора материалов расшифровывается следующим образом: римская цифра обозначает класс чувствительности; первая цифра индекса у индикаторного пенетранта И – метод контроля (1 – люминесцентный, 2 – цветной); вторая и третья цифры – номер по порядку (при данном методе контроля); первая цифра у индекса очистителя М и проявителя П обозначает применимость по наиболее высокому классу чувствительности, вторая и третья цифры – номер по порядку. Буква Н (после обозначения индикаторного пенетранта) указывает на способ контроля набором данного состава в режиме накопления красителя.

Часто дефектоскопические материалы применяют в виде наборов аэрозолей (Magnaflux, Namison и т. п.) – тонких распределений мельчайших частиц твердого или жидкого вещества в газе. Дефектоскопические материалы в виде аэрозолей длительное время сохраняют свои свойства и всегда готовы к применению. Кроме того, при использовании исключаются их потери, так как они не высыхают и не проливаются. В аэрозольный дефектоскопический комплект обычно входят баллоны с пенетрантом, очищающей жидкостью и проявителем. Аэрозольные комплекты применяют при контроле различных изделий.

Дефектоскопические материалы следует проверять на контрольных образцах при проведении контроля.

Оценку качества дефектоскопических материалов производят в связи с тем, что с течением времени их физико-химические и технологические свойства могут измениться. К параметрам качества дефектоскопических материалов, подлежащих контролю, относятся:

- вязкость;
- температура воспламенения;
- характеристика взрывоопасности;
- коррозионное воздействие;
- светостойкость и стойкость к УФ-излучению;
- стойкость при хранении;
- время сушки;
- санитарно-гигиенические свойства;
- выявляемость дефектов.



Рис. 1.3. Карта выбора средств Vucotest для цветного метода капиллярного контроля

Качество материалов оценивают или по их отдельным свойствам, или комплексно по эффективности выявления дефектов. Оценка отдельных свойств более проста, хотя и не полностью характеризует дефектоскопические качества материалов. Комплексная оценка отражает конечные результаты контроля, т. к. позволяет оценить как проникающую способность пенетрантов, так и выявляемость дефектов. При комплексной проверке материалов одновременно исследуют свойства пенетранта, очистителя и проявителя в условиях, приближенных к условиям дефектоскопии реальных изделий. Комплексную проверку осуществляют с помощью стандартных (контрольных) образцов. Для определения свойств пенетранта можно еще использовать и тест-панель. Тест-панель PSM-5 применяют для определения основных изменений, снижающих чувствительность пенетрантной системы, в частности:

- 1) в составе пенетрантного масла, т. е. уровне его загрязнения;
- 2) составе эмульгатора, т. е. уровне его загрязнения;
- 3) недосмыве или пересмыве гидрофильных эмульгаторов;
- 4) времени контакта пенетранта, т. е. выбрано оно слишком большим или слишком коротким;
- 5) концентрации проявителя;
- 6) контактном времени эмульгатора, т. е. выбрано оно слишком большим или слишком коротким;
- 7) времени проявления: критерием является плохая различимость, если время выбрано слишком коротким;
- 8) смываемости в зависимости от давления воды, температуры и т. д.;
- 9) температуре сушки (слишком высокая или слишком низкая).

Тест-панель PSM-5 способна показать любое изменение в пенетрантной системе.

### **1.5. Физические основы смачивающей способности**

При разработке и подборе жидкостей для капиллярной дефектоскопии (пенетрантов и очистителей) исследуют их различные физические и дефектоскопические свойства: поверхностное натяжение, вязкость, растворяющую способность, диффузионные и цветовые характеристики, коррозионную активность и т. д. Среди этих свойств одним из наиболее важных является смачивающая способность жидкостей.

В физике под смачивающей способностью жидкостей понимают проявление взаимодействия молекул на трехфазной границе существования твердой, жидкой и газообразной фаз, выражающееся в растекании жидкости по поверхности твердого тела и образовании устойчивой поверхности раздела жидкость – твердое тело.

Если жидкость касается твердого тела, то силы взаимодействия молекул жидкости между собой могут быть либо меньше, либо больше сил их взаимодействия с молекулами твердого тела. В первом случае наблюдается смачивание твердого тела, во втором – несмачивание. При нахождении в капилляре смачивающая жидкость представляет собой вогнутый мениск (рис. 1.4, а). Несмачивающая жидкость образует выпуклый мениск (рис. 1.4, б). Краевой угол  $\theta$  между плоскостью, касательной к поверхности жидкости, и поверхностью стенки в точке границы смачивания называется *углом смачивания*. Угол отсчитывают внутрь жидкости.



Рис. 1.4. Вогнутый (а) и выпуклый (б) мениски в капиллярных трубках, наполненных соответственно смачивающей и несмачивающей жидкостями

При  $\cos \theta = 1$  наблюдается полное смачивание, а при  $\cos \theta = -1$  – полное несмачивание. Существенное влияние на смачивание оказывает шероховатость поверхности – с ее повышением смачивание улучшается.

Явление смачивания тесно связано с явлением поверхностного натяжения. Поверхностное натяжение является следствием действия силы, называемой внутренним давлением, которая стягивает молекулы внутрь жидкости в направлении, перпендикулярном ее поверхности.

Лучшее смачивание обеспечивают жидкости с малым поверхностным натяжением и небольшой вязкостью. В дефектоскопии используются в основном жидкости с относительно низким поверхностным натяжением  $0,02-0,03$  Н/м и вязкостью  $(3-5) \cdot 10^{-6}$  м<sup>2</sup>/с.

При неполном смачивании (жидкость по поверхности не растекается, а капля стремится принять сферическую форму) смачивающую способность жидкости оценивают с помощью равновесного краевого угла смачивания  $\theta$  на плоскости, для которого справедливо уравнение Юнга:

$$\cos \theta = \frac{\sigma_{т.г} - \sigma_{т.ж}}{\sigma_{ж.г}}, \quad (1.1)$$

где  $\sigma_{т.г}$  – поверхностное натяжение на границе тело – газ (воздух);  $\sigma_{т.ж}$  – поверхностное натяжение на границе твердое тело – жидкость;  $\sigma_{ж.г}$  – поверхностное натяжение на границе жидкость – газ.

При полном смачивании (жидкость растекается по поверхности вплоть до образования мономолекулярного слоя), которое наблюдается в капиллярной дефектоскопии, равновесный краевой угол не устанавливается. Об эффективности смачивания судят по коэффициенту растекания:

$$S = \sigma_{т.г} - \sigma_{т.ж} - \sigma_{ж.г}. \quad (1.2)$$

Полное смачивание или полное несмачивание (практически никогда не наблюдается) являются крайними случаями. Между ними в зависимости от соотношения молекулярных сил промежуточное положение занимают переходные случаи неполного смачивания (рис. 1.5).

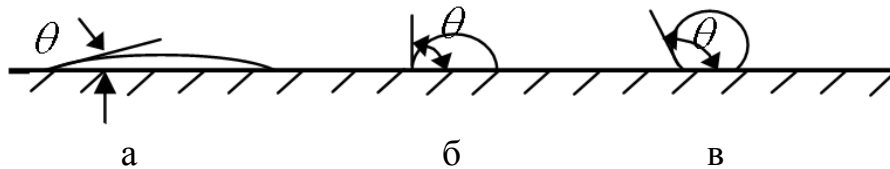


Рис. 1.5. Капли смачивающей и несмачивающей жидкостей:  
 $a - \theta < 90^\circ$ ;  $b - \theta = 90^\circ$ ;  $c - \theta \geq 90^\circ$

Однако из трех поверхностных натяжений  $\sigma_{т.г}$ ,  $\sigma_{т.ж}$  и  $\sigma_{ж.г}$  можно измерить общедоступными методами только одно – поверхностное натяжение на границе жидкости с газообразной средой. Поверхностное натяжение твердого тела на границе с жидкой и газообразной фазами трудно определить экспериментально.

## 1.6. Технологический процесс цветной дефектоскопии

Схема технологического процесса капиллярной дефектоскопии предусматривает выполнение следующих операций:

- подготовка изделия к контролю;
- нанесение пенетранта;
- очистка поверхности изделия от излишков пенетранта;
- нанесение проявителя;
- осмотр изделия и анализ индикаторных следов выявленных дефектов;
- удаление (в случае необходимости) остатков дефектоскопических материалов.



### 1.6.1. Подготовка изделий к контролю

Способ подготовки изделий к контролю выбирают в зависимости от их материала, вида загрязнений, наличия покрытий, вида предшествующей механической обработки и других факторов. Различные загрязнения и покрытия на поверхности контролируемых изделий существенно влияют на эффективность капиллярного контроля. Они могут перекрывать полости дефектов или полностью заполнять их, снижать смачиваемость пенетрантом материала изделия, влиять на интенсивность окраски индикаторной жидкости, образовывать окрашенный фон на изделии, вызывать появление ложных индикаторных рисунков мнимых дефектов и др.

Лакокрасочные и силикатные покрытия заполняют полости дефектов и вызывают появление в местах растрескивания ложных индикаторных рисунков мнимых дефектов, а также окрашенного или светящегося фона, поэтому такие покрытия необходимо удалить. Гальванические покрытия создают мнимые дефекты при наличии на поверхности изделий рисок, царапин, вмятин или растрескиваний. Если целью контроля является обнаружение относительно крупных трещин или поиск дефектов в покрытии, то его не удаляют; при необходимости выявления тонких трещин в основном в материале изделия покрытие следует удалить.

Оксидные пленки, образующиеся на поверхности изделий из алюминиевых сплавов, не снижают выявляемости дефектов, однако препятствуют их обнаружению в изделиях из стали, титановых, медных, магниевых и других сплавов. Оксидные пленки удаляют из полостей дефектов химическими способами.

Керосин, бензин, органические растворители и другие жидкие загрязнения заполняют полости дефектов и препятствуют проникновению в них индикаторных жидкостей. Кроме того, вследствие их разбавляющего действия на пенетранты снижается интенсивность окраски или люминесценции рисунков дефектов, а также ухудшаются капиллярные свойства пенетрантов из-за ухудшения смачиваемости материалов изделий в полостях дефектов. Для удаления таких загрязнений изделия промывают легколетучими растворителями или прогревают.

Применяют следующие основные способы очистки изделий.

*Механическая очистка* представляет собой обработку поверхности изделия струей абразивного материала (рис. 1.6, *а*) или специальным инструментом (щеткой (рис. 1.6, *б*), шабером, шлифовальным кругом, полировальными пастами и др.).



Рис. 1.6. Механическая очистка:  
а – подходящей струей; б – щеткой

Этим способом удаляют твердые, сильно пригоревшие нерастворимые отложения, лакокрасочные покрытия, оксидные пленки, продукты коррозии и окалину с изделий неотвественного назначения. Очистка механическим способом, хотя и обеспечивает высокую производительность процесса, но является низкокачественной. В процессе очистки не удаляются загрязнения из полостей дефектов, т. к. полости заполняются продуктами механической обработки. Механическим способом очистки пользуются лишь при необходимости обнаружения грубых дефектов. Если деталь с мелкими трещинами, то не рекомендуется применять металлические щетки, т. к. произойдет закупорка трещин.

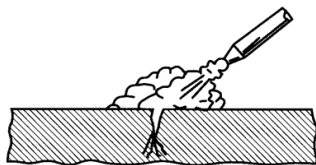
Гидропескоструйная очистка более эффективна, чем дробеструйная, однако при контроле изделий ответственного назначения после нее необходимо дополнительно очищать полости дефектов от следов абразива и продуктов механической очистки с помощью ультразвуковой обработки с последующим прогревом изделий для удаления из полостей дефектов следов влаги.

Для очистки изделий из цветных легких или мягких сплавов применяют обдувание косточковой крошкой (гранулы скорлупы грецких орехов или фруктовых косточек). При таком способе не происходит пластического деформирования материала и сужения полостей дефектов, но они сильно загрязняются косточковой пылью и частицами удаляемых загрязнений. Поэтому изделия ответственного назначения следует очищать дополнительно так же, как и после гидропескоструйной очистки.

При шлифовании и полировании поверхностей изделий полости дефектов вскрываются и становятся доступными для выявления, предотвращается появление ложных дефектов в местах сколов оксидных пленок, рисок, заусенцев. Однако одновременно происходит загрязнение полостей дефектов и перекрытие узких трещин тонким слоем пластически деформированного металла.

*Паровое обезжиривание* (рис. 1.7) обеспечивает высокую степень очистки. В этом случае применяют растворитель, нагреваемый в специальной ванне или разбрызгиваемый по очищаемой поверхности. Испа-

рясь, он превращается в горячий пар и затем конденсируется на поверхности холодного изделия, интенсивно растворяя находящийся на ней тонкий слой жировых отложений.



*Рис. 1.7. Обезжиривание горячим паром*

Основным преимуществом этого способа является то, что обработка всегда осуществляется чистым растворителем-конденсатом.

Однако такая очистка малоэффективна при удалении следов смазок, масел и других веществ, покрывающих изделие.

*Промывку водой* применяют для удаления с поверхности изделий механических нерастворимых загрязнений, остатков водных моющих растворов, а также растворов кислот, щелочей, солей. Растворимые загрязнения при этом удаляются как с поверхности, так и из полостей дефектов. В процессе очистки изделия несколько раз промывают горячей и холодной водой, а с целью устранения остатков влаги из полостей дефектов подогревают.

*Промывку органическими растворителями* применяют для удаления масел, смазок, нагара, лакокрасочных покрытий и других растворимых загрязнений. Для обработки чаще всего используют: бензин Б-70; ацетон; уайт-спирт; специальные растворители, в состав которых входят бутилацетат, этилацетат, ксилол, толуол, спирт и другие вещества; четыреххлористый углерод; трихлорэтилен; метиленхлорид. Промывать изделия следует многократно, последовательно применяя несколько растворителей, причем растворитель, используемый при каждой последующей промывке, должен хорошо смешиваться с остатками ранее примененного, растворять следы еще не удаленных загрязнений, быть более летучим и менее вязким. Для завершения обработки необходимо применять наиболее летучий и наименее вязкий растворитель, например бензин Б-70, ацетон или метиленхлорид.

Промежуток времени между обработкой растворителями и нанесением пенетранта не должен превышать 30 мин во избежание появления влаги в полостях дефектов. В течение этого времени должна быть исключена возможность конденсации атмосферной влаги на контролируемой поверхности, а также попадание на нее различных жидкостей и загрязнений. С целью удаления следов растворителя из полостей дефектов изделия сушат на воздухе или нагревают.

Степень очистки оценивают путем нанесения на обработанную поверхность двух капель авиационного бензина. После выдержки в течение 15–20 с на испытуемый участок накладывают фильтровальную бумагу – наличие на ней масляных пятен свидетельствует о низком качестве очистки.

*Химическую очистку* применяют для удаления нерастворимых загрязнений. При травлении в растворах кислот с поверхности изделий удаляют оксиды, тонкие поверхностные слои металла и загрязнения, при обработке в растворах щелочей (рис. 1.8) – жировые и масляные загрязнения, нагар, смолистые отложения и лакокрасочные покрытия.

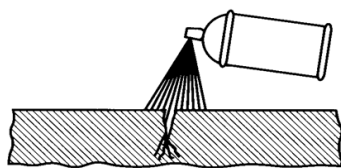


Рис. 1.8. Холодная очистка подходящим раствором

После травления деталь тщательно промыть и нейтрализовать слабым раствором кремниевой, хромовой кислот.

*Электрохимическая очистка* представляет собой обработку изделий в электролитах под действием электрического тока. Она обеспечивает быстрое и достаточно полное удаление с поверхности оксидов и других загрязнений, позволяет вскрывать полости дефектов, скрытые оксидными пленками или перекрытые тонким слоем деформированного металла. Применяют электролитическое обезжиривание в щелочных растворах, электрополирование, электролитическое травление и другие процессы электролитической обработки. Однако при электрохимической очистке из полостей дефектов практически не удаляются имеющиеся в них загрязнения. С этой целью применяют электрохимическую обработку в сочетании с ультразвуковой.

*Ультразвуковую очистку* проводят в жидкой среде, активно воздействующей на загрязнение изделий. Колебания, сообщаемые жидкости ультразвуком, позволяют усилить это воздействие, в связи с чем продолжительность ультразвуковой очистки в 5–10 раз сокращается по сравнению с обычной. Кроме того, обеспечивается возможность обработки при меньших концентрациях реактивов и более низких температурах, а также облегчается удаление загрязнений из полостей дефектов. Ультразвуковая очистка, осуществляемая в среде органических растворителей или водных моющих растворов, позволяет удалять с поверхности изделий и из полостей дефектов жировые загрязнения, частицы аб-

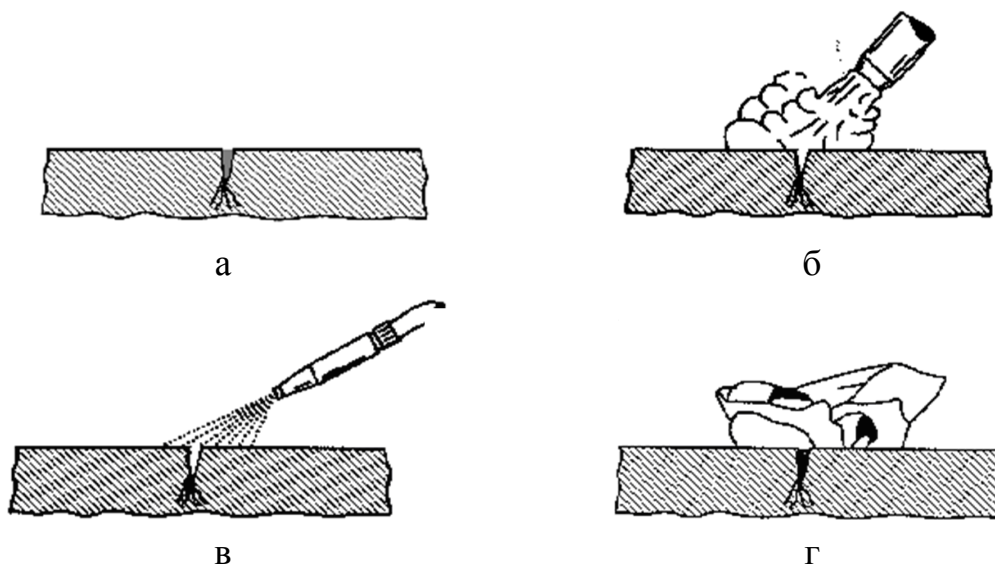
разивов, остатки полировальных паст, оксидные пленки, нагар, следы коррозии, металлическую и косточковую пыль, а также другие загрязнения. Очистку выполняют в ультразвуковых ваннах типов УЗВ-15М, УЗВ-16М, С-690 и др. Качество очистки моющими растворами оценивают по сплошности водяной пленки: если в течение 1 мин после обработки она не нарушается, его считают удовлетворительным. После очистки следы реактивов на изделиях нейтрализуют, изделия тщательно промывают и сушат.

*Анодно-ультразвуковая очистка* является наиболее эффективным способом подготовки изделий к контролю. Эта очистка водными растворами химических реагентов с одновременным воздействием ультразвука и электрического тока. Она обеспечивает удаление с поверхности изделий и из полостей дефектов твердых и высоковязких загрязнений, а также оксидных пленок без применения травильных составов. После очистки нейтрализуют следы очищающих жидкостей, изделия промывают и сушат. Промывку изделий выполняют путем их многократного окунания в ванны с горячей, а затем с холодной проточной водой. Продолжительность промывки в каждой ванне 0,5–1 мин. Скорость анодно-ультразвуковой обработки в 2,5–4 раза выше, чем электролитической. Анодно-ультразвуковую очистку осуществляют в ультразвуковых ваннах типов УЗВ-15М, УЗВ-16М, УЗВ-17М, С-690 и др. Составы электролитов и режимы обработки выбирают в зависимости от плотности и толщины слоя загрязнений.

Завершающей операцией подготовки изделий к контролю является *тепловая очистка (сушка)*, выполняемая после любого способа очистки. Сушку осуществляют выдержкой изделий на воздухе 20–30 мин (рис. 1.9, а), обдуванием струей сжатого воздуха (рис. 1.9, б), водно-воздушным обдуванием (рис. 1.9, в), нагревом в печи или сушильном шкафу до температуры 70–80 °С, вытиранием неволокнистым впитывающим материалом (рис. 1.9, г), а также высокотемпературным нагревом в вакуумных камерах или в среде инертных газов.

Обдувание сжатым воздухом увеличивает скорость испарения растворителя и уменьшает возможность конденсации влаги на поверхности изделия. Часто обдувание выполняют теплым воздухом, подогретым до 40–50 °С (рис. 1.9, б).

При термической сушке необходим правильный выбор режима сушки, иначе это может привести к закупорке полостей дефектов вследствие окисления материала изделия и загрязняющих веществ или их полимеризации с превращением в плотные нерастворимые осадки. Изделия целесообразно нагревать до температуры, превышающей точку кипения растворителя, находящегося в полостях дефектов.



*Рис. 1.9. Процесс сушки: а – на воздухе (после обработки теплой водой); б – обдуванием теплым воздухом (макс. 50 °С); в – водно-воздушным обдуванием; г – вытиранием не волокнистым впитывающим материалом*

Вакуумная сушка малопроизводительна и требует относительно сложного и дорогого оборудования, поэтому наиболее целесообразна сушка в среде инертных газов, например в аргоне. Высокотемпературную сушку выполняют в вакуумных или газовых печах при 500–600 °С в течение 1–2 ч.

При сорбционной очистке на поверхность изделия наносят сорбент, например в виде сухого порошка, который впитывает в себя жидкие загрязнения из полостей дефектов. Затем сорбент удаляют, обдувая изделие струей сжатого воздуха.

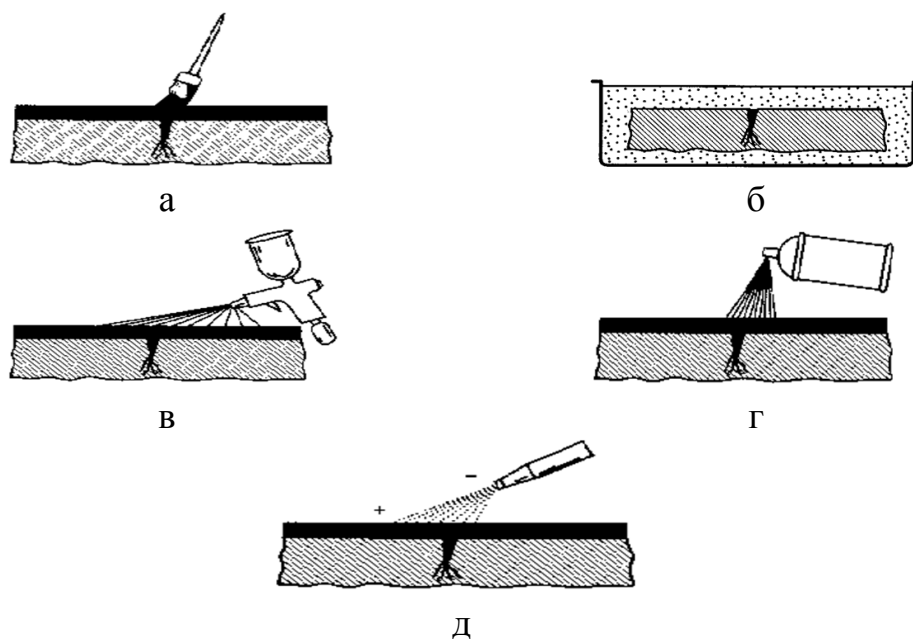
### **1.6.2. Заполнение полостей дефектов пенетрантом**

Индикаторный пенетрант наносят на подготовленную контролируемую поверхность кистью (рис. 1.10, а); губкой 4–6 раз в течение 10–15 мин, не допуская высыхания предыдущего слоя; погружением в ванну (рис. 1.10, б), а также с помощью пульверизатора-краскораспылителя (рис. 1.10, в) или аэрозольного баллона (рис. 1.10, г).

Для заполнения дефектов индикаторным пенетрантом применяют следующие способы:

1. Капиллярный способ, являющийся наиболее простым, широко применяют в производственных условиях. При этом проникающую жидкость наносят на контролируемую поверхность и выдерживают на ней столько времени, сколько требуется для заполнения ею полостей дефектов под действием капиллярных сил. Для ускорения процесса заполнения полостей дефектов пенетрантом, пенетрант или контролируемое изделие

предварительно подогревают. Подогрев выполняют в случае применения малолетучих пенетрантов на основе масла. При этом уменьшаются вязкость и поверхностное натяжение жидкостей, а также улучшается смачиваемость материала в полости дефекта. Нагрев пенетрантов на основе масел до 60 °С приводит к ускорению заполнения полостей дефектов в 4–5 раз, а для некоторых жидкостей даже в 30–50 раз. При подогревании изделия также увеличивается скорость пропитки и проникающая жидкость заполняет полость дефекта на большую глубину.



*Рис. 1.10. Процесс нанесения проникающей жидкости:  
 а – кистью; б – погружением в ванну; в – пистолетом сжатого воздуха  
 или краскораспылителем; г – из аэрозольного баллона; д – электростатическим  
 или вакуумным методом*

2. Вакуумный способ (рис. 1.10, д) заключается в заполнении полостей дефектов пенетрантом при пониженном давлении в полостях. Вакуумирование изделия может быть предварительным или одновременным с пропиткой.

При предварительном вакуумировании изделия помещают в герметичную камеру, из которой откачивают воздух. Затем в камеру подают пенетрант и разгерметизируют ее. При этом жидкость заполняет полости дефектов под действием капиллярного и атмосферного давлений. Способ одновременного вакуумирования заключается в том, что в герметичную камеру с изделиями сначала подают малолетучий пенетрант, а затем его излишки удаляют и создают вакуум. Воздух, покидая полости дефектов при откачке, проходит через пленку жидкости, оставшейся в полости дефектов так же, как и при предварительном вакуумировании.

Способы пропитки пенетрантом с применением вакуума применяют редко в связи со сложностью процесса и быстрым испарением легких фракций проникающих жидкостей, что меняет их состав и свойства.

3. При компрессионном способе пропитки пенетрант заполняет полости дефектов под действием капиллярного и внешнего избыточного давлений. Однако эффективность этого способа невелика, т. к. с увеличением давления ухудшаются капиллярные свойства жидкостей.

4. Ультразвуковой способ пропитки значительно ускоряет процесс заполнения полостей дефектов пенетрантом, особенно со средней или высокой вязкостью. Влияние ультразвука наиболее эффективно, если направление колебаний совпадает с плоскостью полости дефекта. Обычно применяют ультразвуковые установки с двумя излучателями ультразвука при периодической или непрерывной подаче контролируемых изделий.

5. При деформационном способе пропитки на изделие воздействуют или упругими колебаниями звуковой частоты, что улучшает условия смачивания полостей дефектов и обеспечивает заполнение всего их объема, или статической нагрузкой, которая увеличивает раскрытие трещин и улучшает условия их (особенно с низкой вязкостью).

6. Пропитка в магнитном или электромагнитном поле может применяться для ускорения заполнения полостей дефектов пенетрантами (например, на основе магнитных жидкостей), обладающими магнитными свойствами. При нанесении на изделие магнитный пенетрант размещают таким образом, чтобы градиент магнитного поля был направлен по нормали к контролируемой поверхности.

Необходимые способы очистки, их сочетание и требуемую чистоту контролируемых поверхностей определяют в технической документации на контроль. При высоком классе чувствительности контроля предпочтительны не механические, а химические и электрохимические способы очистки, в том числе с воздействием на объект контроля ультразвука или электрического тока. Эффективность этих способов обусловлена оптимальным выбором очищающих составов, режимов очистки, сочетанием и последовательностью используемых способов очистки, включая сушку.

Температура контролируемого объекта и индикаторного пенетранта, а также продолжительность заполнения полостей дефектов должны быть в пределах, указанных в технической документации на данный дефектоскопический материал и объект контроля.



### 1.6.3. Удаление пенетранта с поверхности изделий

Способ удаления проникающей жидкости с поверхностей контролируемых изделий выбирают с учетом ее типа, шероховатости поверхности, условий контроля и его производительности. Применяют смывание кистью (рис. 1.11, а), протирку (рис. 1.11, б), обдувание и гашение цвета или люминесценции пенетранта; часто указанные способы комбинируют между собой.

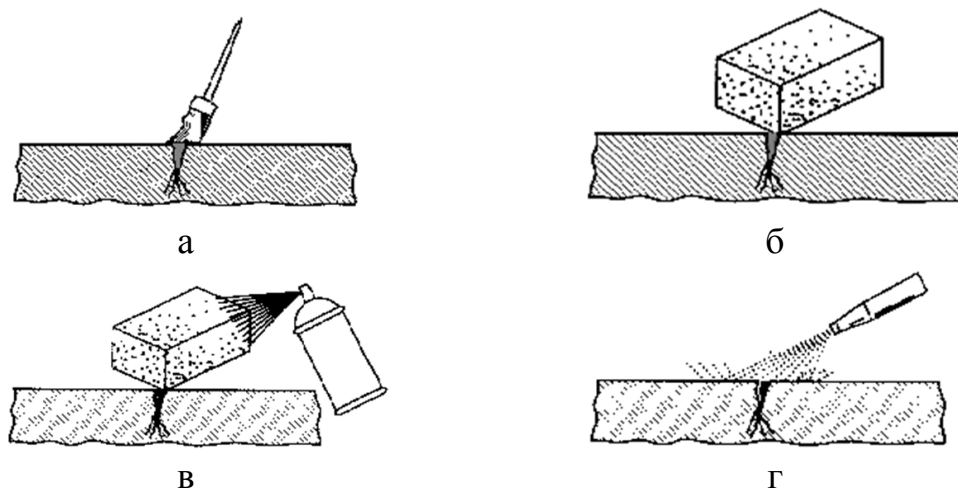


Рис. 1.11. Удаление индикаторного пенетранта с поверхности изделий:  
а – смывать кистью; б – гигроскопичным неволокнистым материалом;  
в – системосвязанным специализированным очистителем;  
г – сбивать струей воды (макс. 2,0 бар)

Индикаторный пенетрант удаляют влажной безворсовой тканью типа мадаполам (рис. 1.11, б), щеткой, губкой и т. п., смоченными очистителем, а также с помощью пульверизатора – краскораспылителя или аэрозольного баллона (рис. 1.11, в). Промывку изделий (рис. 1.11, г) выполняют при их массовом производстве в цеховых условиях, применяя воду, органические растворители или специальные очищающие жидкости. Часто изделие промывают в ультразвуковой ванне, что ускоряет процесс обработки. Нерастворимые в воде пенетранты, содержащие масло, керосин, скипидар и другие органические растворители, удаляют струей воды, имеющей температуру не более 32 °С, под давлением с применением эмульгаторов. Эмульгатор позволяет нейтрализовать масло- и жирорастворимую часть и смыть ее потом водой. При этом струя должна быть направлена по касательной к обрабатываемой поверхности, а давление не должно превышать 20 кПа.

Обдувание применяют главным образом для удаления невысыхающих или малолетучих пенетрантов с поверхности литых или кова-

ных изделий перед их механической обработкой. Выполняют его струей песка, дробы, косточковой крошки или опилок.

В условиях массового производства применяют комбинированный способ удаления пенетранта, представляющий собой следующие сочетания:

- промывка нелетучими органическими растворителями с протиркой изделия ветошью;
- промывка изделия водой или очищающей жидкостью с протиркой ветошью или сушкой;
- обдувание изделия суспензией песка или дробы в воде с протиркой ветошью или сушкой.

При контроле в условиях низких температур от  $-40$  до  $+8$  °С индикаторный пенетрант с контролируемой поверхности удаляют безворсовой тканью типа мадаполам, смоченной в этиловом спирте.

Удаляют индикаторный пенетрант до полного отсутствия свечения или окрашенности поверхности, или до исчезновения розового фона на салфетке. Полноту удаления индикаторного пенетранта следует определять визуально.

#### **1.6.4. Нанесение проявителя**

Способ нанесения проявителя выбирают с учетом типа и свойств последнего, степени сложности изделия, условий контроля, его чувствительности и производительности. Оптимальная толщина слоя проявителя составляет 7–20 мкм, ее контролируют с помощью толщиномера МИП-10 или МИП-30Н. Проявитель можно наносить на контролируемую поверхность одним из ниже перечисленных способов.

Нанесение кистью является наиболее простым способом и применяется при контроле небольших изделий простой формы в полевых или лабораторных условиях. Однако этот способ не обеспечивает равномерности толщины слоя проявителя, трудоемок и малопроизводителен.

Распыление (рис. 1.12, а) заключается в нанесении проявителя с помощью струи воздуха, фреона, инертных газов или механическим способом с использованием краскораспылителей типов СО-6А, СО-19А, СО-74 и др. Оно обеспечивает более высокую чувствительность контроля за счет равномерности толщины слоя проявителя даже на изделиях сложной формы. Однако распыление струей газа связано с большими потерями проявителя (20–40 % и более) вследствие туманообразования, а также требует установки мощной системы вентиляции и очистки воздуха.

Электрораспыление (рис. 1.12, б), осуществляемое струей воздуха или механическим способом в электростатическом поле, обеспечивает равномерность слоя проявителя, на 30–70 % уменьшает его расход по сравнению с пневматическим распылением, позволяет резко улучшить санитарно-гигиенические условия труда, повысить его производительность и даже полностью автоматизировать процесс. Однако этот способ требует применения специальных проявителей в виде красок и суспензий.

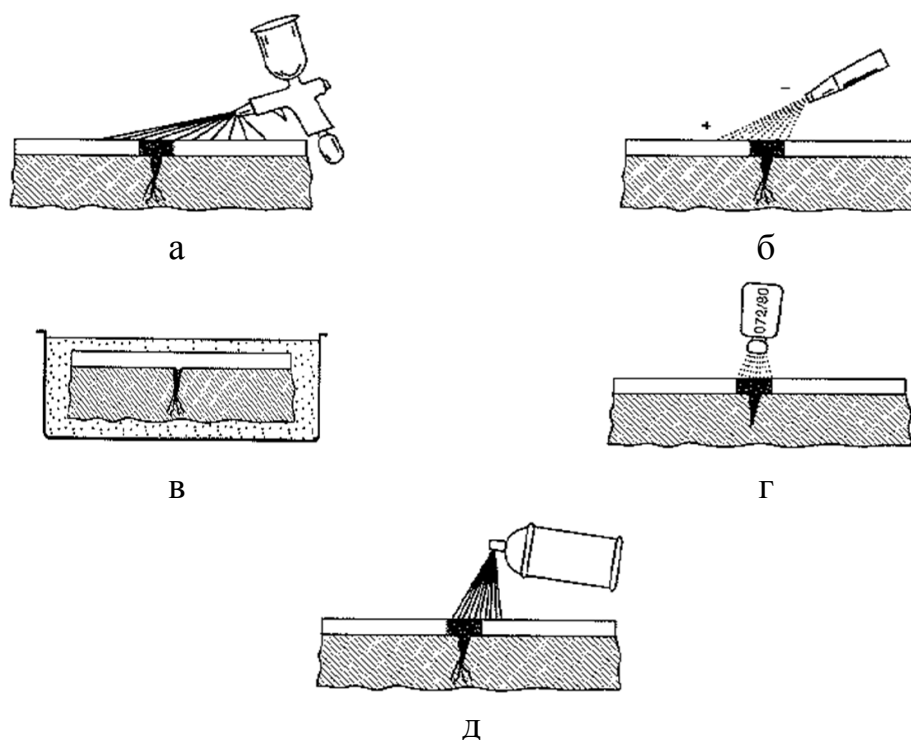


Рис. 1.12. Процесс проявления:

*а – пистолетом сжатого воздуха или краскораспылителем; б – нанесением жидкого проявителя в электростатическом поле с распылением его струей воздуха; в – нанесением жидкого проявителя погружением в него объекта; г – в особых случаях контроля – нанесением порошкообразного проявителя (например сильная пористость); д – нанесением жидкого проявителя на среднюю часть зоны аэрозольным баллончиком*

При контроле неответственных изделий простой формы в цеховых условиях проявитель наносят погружением (рис. 1.12, в) или обливанием струей. Эти способы просты, экономичны и позволяют автоматизировать процесс, но ведут к образованию потеков проявителя на изделиях и не обеспечивают равномерности его слоя, что приводит к распылению индикаторного рисунка и снижению чувствительности контроля. Эффективность способа погружения несколько увеличивается при электроосаждении, когда через ванну с проявителем пропускают электрический ток.

Способ воздушной взвеси применяют для нанесения сухих порошков в цеховых условиях. Порошок проявителя распыляют в специальных камерах, создавая его взвесь в виде пылевидного облака. Такой способ обеспечивает равномерность слоя проявителя, и, следовательно, высокую чувствительность контроля.

Способ посыпания (рис. 1.12, з) применяют при контроле изделий в цеховых условиях с применением вязких пенетрантов.

Способ наложения липких пленок-проявителей используют в случае локального контроля малогабаритных изделий простой формы при небольшом объеме работ.

Также применяют такой метод, как нанесение жидкого проявителя аэрозольным баллончиком (рис. 1.12, д). Наносить проявитель из аэрозольного баллона необходимо одним движением на расстоянии 300–350 мм от контролируемой поверхности и под углом 45°.

### **1.6.5. Проявление дефектов**

Проявление дефектов, т. е. образование их индикаторного рисунка, обеспечивается выдержкой изделий на воздухе (при нормальной или повышенной температуре) или в вакууме, а также путем сообщения изделиям вибраций. Можно комбинировать эти способы между собой.

Наиболее распространенным является временной способ – выдержка изделий при температуре окружающей среды. Продолжительность выдержки зависит от физических свойств дефектоскопических материалов и температуры окружающей среды. Ее подбирают экспериментально так, чтобы была обеспечена наибольшая четкость индикаторного рисунка. Чрезмерно большая выдержка снижает четкость рисунка и затрудняет его анализ. При люминесцентной и цветной дефектоскопии время проявления обычно составляет 1–20 мин. Иногда контролируемое изделие осматривают дважды: через 3–4 мин для обнаружения крупных трещин и через 15–20 мин для обнаружения мелких.

Тепловым способом проявляют дефекты при использовании малолетучих пенетрантов и проявителей (порошков и суспензий). Подогрев осуществляют струей теплого (70–80 °С) воздуха или в печи при 40–80 °С. При использовании в качестве проявителей красок и легколетучих жидкостей изделия подогревают до 40–50 °С. В противном случае может произойти загрязнение полостей дефектов остатками дефектоскопических материалов.

Выдержку в вакууме применяют при использовании малолетучих пенетрантов и проявителей в виде порошков или суспензий. В вакууме процесс проявления ускоряется, но эффективность этого способа ниже, чем теплового. При использовании летучих пенетрантов и проявителей

красок вакуумное проявление не применяют, т. к. изменяются состав и свойства проявителя.

Вибрационный способ проявления применяют для обнаружения зарождающихся трещин при усталостных испытаниях образцов изделий, а также в случае эксплуатации последних в условиях действия остаточных или рабочих напряжений.

При ультразвуковом способе проявления объект выдерживают, одновременно воздействуя на него ультразвуковыми колебаниями.

Последние три способа пока не нашли широкого практического применения.

#### **1.6.6. Осмотр изделий и анализ индикаторных рисунков дефектов**

Осмотр контролируемой поверхности рекомендуется проводить через 3–5 мин и через 15–20 мин после высыхания проявителя. Для выявления дефектов по I классу чувствительности рекомендуется проводить дополнительный осмотр через 40–60 мин.

Осмотр изделий при капиллярном контроле выполняют в три этапа:

- 1) визуальный осмотр для оценки качества нанесения проявителя;
- 2) общий осмотр поверхности для обнаружения рисунка дефектов;
- 3) анализ индикаторных рисунков выявленных дефектов.

Если состояние проявителя в зонах контроля затрудняет рассмотрение индикаторного рисунка, изделие промывают и повторяют все технологические операции. При удовлетворительном качестве нанесения проявителя выполняют общий осмотр контролируемой поверхности или невооруженным глазом, или применяя лупу до семикратного увеличения. Целью осмотра является обнаружение окрашенного или люминесцирующего индикаторного рисунка. Виды дефектов определяют по характеру их индикаторных следов, которые можно разделить на три группы:

- 1) сплошные или прерывистые линии различной конфигурации;
- 2) скопления отдельных коротких линий, сетки, различные полосы;
- 3) точки или звездочки.

Следы 1-й группы соответствуют шлифовочным, усталостным или закалочным трещинам, волосовинам, непроаям, оксидным пленкам и другим подобным дефектам, 2-й группы – коррозионному растрескиванию материалов, 3-й группы – порам, язвенной коррозии, выкрашиванию или эрозии материала.

Различают протяженные и округлые индикаторные следы.

*Протяженный индикаторный след* характеризуется отношением длины к ширине больше трех. Трещины, закаты, подрезы, резкие запа-

дания направленного металла, заковы, близко расположенные поры образуют протяженный индикаторный след.

*Округлый индикаторный след* характеризуется отношением длины к ширине, равным или меньшим трех.

Обнаруженный индикаторный рисунок анализируют. В результате анализа контролер должен установить действительное наличие дефекта, его характер и размеры. Различают ограниченный и полный анализ индикаторных рисунков дефектов.

При ограниченном анализе изучают только геометрию и размеры рисунка. Изделия бракуют, если количество и размеры выявленных штрихов, линий и точек превышают допустимые ТУ. Такой анализ обеспечивает высокую производительность контроля, позволяет использовать специалистов с невысокой квалификацией, но может привести к необоснованной выбраковке изделий со сложной поверхностью или невысокой чистотой обработки.

Полный анализ рисунка предполагает изучение места его расположения, направления, цвета, яркости и других признаков. При таком анализе необходим более тщательный осмотр изделий с применением сложной аппаратуры, выполняемый высококвалифицированными контролерами.

Различают действительные и мнимые дефекты. К мнимым дефектам относятся различные допускаемые ТУ изменения качества материала изделий, их микрогеометрии, незначительные повреждения и загрязнения поверхности, вызывающие образование индикаторных рисунков, по основным признакам похожих на рисунки действительных дефектов. Мнимые дефекты проявляются при неполном удалении пенетранта с поверхности изделия, а также при невозможности его удаления из узких глубоких повреждений поверхностного слоя материала, особенно содержащих следы загрязнений и коррозии.

Анализ дефектов выполняют с использованием дополнительных признаков, главными из которых являются следующие:

- место расположения рисунка;
- направление линий рисунков относительно оси симметрии изделия и действующих нагрузок;
- цвет, яркость и насыщенность рисунка;
- скорость образования рисунка и характер его изменения с течением времени;
- конфигурация линий рисунка, наличие изломов и разветвлений;
- четкость и степень подобия контуров линий рисунка;
- микрорельеф проявителя в зоне рисунка;

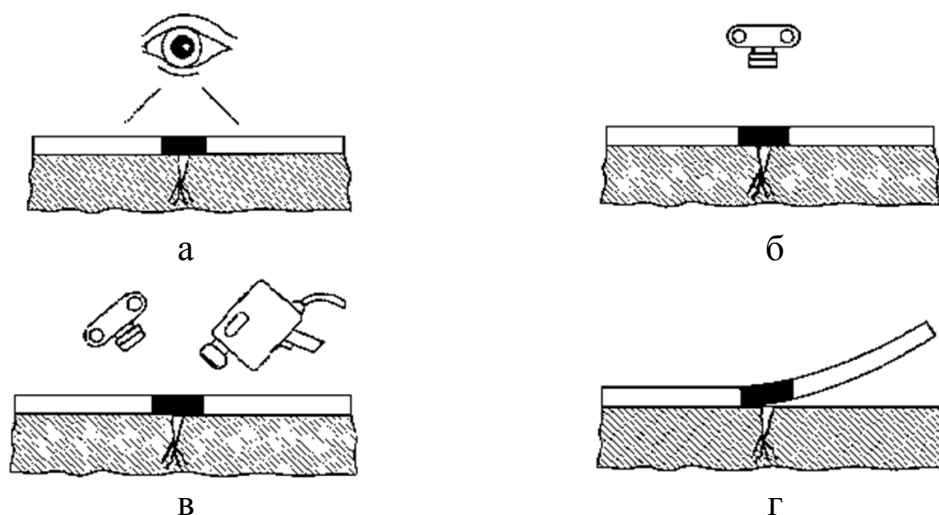
– наличие подобного рисунка в соседних зонах изделия.

Иногда бывает достаточно рассмотреть два-три дополнительных признака. В сложных случаях проводят анализ по всем дополнительным признакам или прибегают к дополнительному контролю изделия другими методами.

При полном анализе достигается наибольшая достоверность контроля, снижаются потери от необоснованной выбраковки изделий, создается возможность контроля изделий со сложной поверхностью, а также бывших в эксплуатации.

Различают визуальный, фотоэлектрический, телевизионный и инструментальный способы обнаружения индикаторных следов.

При визуальном способе (рис. 1.13, а) оператор осматривает видимый индикаторный след несплошности, выявленной люминесцентным, цветным, люминесцентно-цветным или яркостным методом.



*Рис. 1.13. Контроль поверхности и документирование:*

*а – визуальный осмотр; б – фотооптический осмотр; в – документирование с помощью фотопленки или видеозаписи; г – документирование на пленку отклеиванием жидкими или твердыми пленками*

При фотоэлектрическом способе (рис. 1.13, б) анализируют результаты измерения светового потока фотоэлементом. Для этого изделие помещают в затемненную камеру и подвергают воздействию УФ-излучения. Фотоэлемент регистрирует свечение в видимой области.

При телевизионном способе (рис. 1.13, в) сигнал от видимого индикаторного следа высвечивают на экране дисплея или записывают на магнитную пленку для последующего воспроизведения. Телевизионное обнаружение позволяет регулировать контрастность и яркость изображения дефекта, что повышает чувствительность контроля.

При инструментальном способе обнаружения сигнал о наличии дефекта получают путем его регистрации с помощью специальных приборов, учитывающих радиоактивное излучение или акустические импульсы индикаторных веществ, находящихся в полостях дефектов.

Результаты контроля заносят в журнал в виде протокола (заключения), где указывают размеры и расположения контролируемых участков, основные характеристики выявленных дефектов (тип и размеры индикаторных следов, степень их локализации и ориентацию относительно базовых осей или поверхности контролируемого объекта), виды дефектоскопических материалов, условный уровень чувствительности, тип применяемого оборудования, время контроля, фамилию дефектоскописта, а также нормативно-техническую документацию, по которой выполняется контроль.

Значения освещенностей для выявления протяженных индикаторных следов дефектов типа трещин в зависимости от класса чувствительности приведены в табл. 1.3.

Таблица 1.3

*Освещенность при цветном методе контроля*

Класс чувствительности	Освещенность при цветном методе контроля для ламп, Лк			
	люминесцентных		накаливания	
	комбинированная	общая	комбинированная	общая
I	2500	750	2000	500
II				
III	2000	500	1500	400
IV	750	300	500	200

В качестве источников света следует использовать люминесцентные лампы типа ЛБ или ЛБХ, а также лампы накаливания. Применять газоразрядные лампы высокого давления (ДРЛ, металлогалогенные) не допускается.

Наличие дефектов, выходящих на поверхность контролируемого изделия, проявляется в виде яркоокрашенного рисунка в местах наличия дефектов. При осмотре рекомендуется применять лупу 5- или 7-кратного увеличения и другие оптические средства с увеличением 2,5 и более.

**1.6.7. Удаление дефектоскопических материалов после контроля**

Если дефектоскопические материалы впоследствии могут оказать вредное влияние на эксплуатационные свойства проконтролированных изделий, то их сразу удаляют с поверхности изделий.



Следы проявителя и других дефектоскопических материалов удаляют с изделий, прошедших контроль и признанных годными, протиркой, промывкой, анодной обработкой, обдуванием, снятием пленки проявителя или его выжиганием. Способ удаления выбирают в зависимости от вида дефектоскопического материала, условий контроля, объема работ, требований к производительности процесса очистки и других факторов.

Протиркой сухой или смоченной водой ветошью удаляют остатки высохших проявителей (порошков и суспензий) при локальном контроле или небольшом объеме работ. Следы красок удаляют ветошью, смоченной органическими растворителями.

Промывкой в воде очищают поверхности от проявителей на основе порошков и водо-растворимых проявляющих красок при массовом производстве изделий в цеховых условиях. Проявители-порошки удаляют струей воды или последовательным погружением в две-три ванны с проточной водой, проявляющие краски – последовательным погружением изделий в ванны с органическими растворителями. Для ускорения промывки на изделия и жидкости воздействуют колебаниями звуковой и ультразвуковой частоты.

Анодной обработкой удаляют проявители-краски при массовом производстве изделий в цеховых условиях, обдуванием – различные проявители после дефектоскопии литья, поковок и штамповок.

Снятие пленки проявителя отклеиванием или отслоением (рис. 1.13, з) производят при изготовлении дефектограмм – слепков проявляющей краски с зафиксированным рисунком дефектов.

Выжиганием удаляют в заводских условиях сгораемые или разлагающиеся при нагревании проявители, продукты разложения которых не оказывают вредного воздействия на материал изделий. Процесс выжигания проявителя обычно совмещают с термообработкой изделий или с другими операциями, выполняемыми при высокой температуре.

### **1.6.8. Оформление результатов контроля**

Обнаруженные в результате капиллярных методов контроля недопустимые дефекты необходимо замаркировать и отметить на эскизе объекта контроля. Результаты проведения контроля заносятся в бланки заключений.

**Условное обозначение обнаруженных дефектов при оформлении результатов капиллярного контроля.**

Обнаруженные дефекты могут быть охарактеризованы по следующим признакам.

**По локализации:**

- А** – на единичные;
- Б** – групповые, расположенные в ограниченных зонах контролируемой поверхности;
- В** – повсеместно распределенные.

**По ориентации относительно главных осей объекта контроля:**

- ||** – параллельные;
- ⊥** – перпендикулярные;
- <** – расположенные под углом;
- без знака** – дефекты, не имеющие преобладающей ориентации.

**По допустимости:**

- – допустимые (малозначительные или исправимые);
- без знака** – недопустимые (критические, значительные, исправимые).

*Примечание.* Дефекты, приведенные выше, относятся к поверхностным. К обозначению «сквозной дефект» добавляют знак «\*». Например, единичный сквозной дефект обозначают **А\***.

**Примеры обозначения характерных дефектов:**

- ⊙||** – единичные допустимые дефекты, расположенные параллельно главной оси объекта;
- ⊙⊥** – групповые допустимые дефекты, расположенные перпендикулярно к главной оси объекта;
- ⊙<** – повсеместно распределенные допустимые дефекты, расположенные под углом к оси объекта;
- ⊙** – повсеместно распределенные допустимые дефекты без преобладающей ориентации;
- А** – единичные недопустимые дефекты без преобладающей ориентации.

### **1.6.9. Меры безопасности при проведении работ**

Работы по капиллярной дефектоскопии должны производиться только при закрытых дверях в помещении. На наружной стороне двери, ведущей в помещение, должна быть сделана надпись: «С огнем не входить», «Огнеопасно».

Следует помнить, что при работе с дефектоскопическими материалами выделяются пары легколетучих растворителей (ацетон, бензин, эфиры уксусной кислоты и др.), которые могут проникать в организм человека через органы дыхания, а при непосредственном контакте – через кожу. При превышении предельно допустимой концентрации (ПДК) дефектоскопические материалы оказывают на организм человека вред-

ное воздействие. Многие дефектоскопические материалы пожаро- и взрывоопасны, поэтому перед выполнением лабораторной работы необходимо пройти инструктаж по технике безопасности и провести противоаварийную тренировку.

Все дефектоскопические материалы и органические растворители должны храниться в металлической таре под вытяжкой.

**Необходимо:**

1. Все работы с применением дефектоскопических материалов проводить строго на отведенных для этого рабочих местах, оборудованных воздухоприемниками вытяжной вентиляции.
2. При выполнении работ с жидкостями и красками работающий должен находиться в потоке поступающего чистого воздуха.
3. При работе с дефектоскопическими материалами следует применять спецодежду (халаты, нарукавники, фартуки), а также для защиты рук – бензо- и маслостойкие перчатки или защитные мази.
4. Для снижения утомляемости зрения рекомендуется делать перерывы на 10–15 минут каждый час.
5. В производственных помещениях должны быть предусмотрены средства, предотвращающие вредное влияние на работающих шума и ультразвука; к таким средствам относятся защитные наушники и антифоны.

**При несоблюдении мер безопасности и наличии медицинских противопоказаний приступать к лабораторной работе запрещается!**

## 1.7. Контрольные вопросы

1. Как различают методы капиллярного контроля в зависимости от способа получения первичной информации?
2. Что такое адсорбция?
3. Какие классы чувствительности установлены в капиллярном контроле?
4. Какие параметры качества дефектоскопических материалов подлежат контролю?
5. Какие способы очистки изделий при подготовке их к капиллярному контролю вы знаете?
6. Какие способы нанесения пенетранта вы знаете?
7. Какие способы нанесения проявителя вы знаете?
8. Через какое время должен проводиться осмотр контролируемой поверхности при выполнении капиллярного контроля по I и II классам чувствительности?

9. Какова должна быть комбинированная освещенность при цветном методе капиллярного контроля при работе по II классу чувствительности и применении люминесцентных светильников?
10. Каковы должны быть меры безопасности при проведении капиллярного контроля в помещении?

### **1.8. Список используемой литературы**

1. ГОСТ 18353–79. Контроль неразрушающий. Классификация видов и методов. – М.: Изд-во стандартов, 1980. – 40 с.
2. Глазков Ю.А. К вопросу оценки смачивающей способности жидкостей для капиллярной дефектоскопии // Дефектоскопия. – № 11. – 1990. – С. 57–62.
3. Боровиков А.С., Прохоренко П.П., Дежкунов Н.В. Физические основы капиллярной дефектоскопии. – Минск: Наука и техника, 1983. – 256 с.
4. Зимон А.Д. Адгезия жидкости и смачивание. – М.: Химия, 1974. – 414 с.
5. Сумм Б.Д., Горюнов Ю.В. Физико-химические основы смачивания и растекания. – М.: Машиностроение, 1978. – 416 с.
6. Калиниченко Н.П., Кулешов В.К., Калиниченко А.Н. Контроль проникающими веществами. Капиллярный контроль: учебное пособие. – 2-е изд., перераб. и доп. – Томск: Изд-во ТПУ, 2006. – 128 с.

## 2. Лабораторная работа

### ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС КАПИЛЛЯРНОГО КОНТРОЛЯ. ЦВЕТНОЙ МЕТОД

Цель работы – приобретение практических навыков:

- при реализации технологического процесса цветного метода капиллярной дефектоскопии;
- обнаружении дефектов и расшифровке полученных результатов;
- оформлении результатов контроля.

Применяемое оборудование и приборы:

- набор дефектоскопических материалов для цветного метода капиллярного контроля (рис. 2.1);
- контрольный образец (рис. 2.2);
- линейка;
- лупа общего осмотра  $2^{\times}$ ;
- лупа измерительная  $10^{\times}$ ;
- измеритель шероховатости TR200 или другой (рис. 2.3);
- люксметр типа ТКА/ПКМ (рис. 2.4).



Рис. 2.1. Пример набора дефектоскопических материалов MAGNAFLUX SK3-S Kit



Рис. 2.2. Пример контрольного образца для капиллярной дефектоскопии



Рис. 2.3. Измеритель шероховатости TR200



Рис. 2.4. Прибор комбинированный (Люксметр+Яркомер) ТКА-ПКМ

## 2.1. Цветной метод капиллярного контроля

Схема технологического процесса цветного метода капиллярной дефектоскопии предусматривает выполнение следующих 3 блоков операций:

- 1) предварительная подготовка;
- 2) контрольные операции;
- 3) заключительные операции.

Капиллярный контроль проводится по технологическим картам контроля, в которых указываются следующие сведения (Приложение 1):

- нормативный документ, по которому проводится контроль;
- наименование изделия;
- обозначение типов изделий;
- объем и места контроля;
- зоны контроля (эскиз);
- требуемый класс чувствительности контроля;
- требования к подготовке поверхности;
- вид и способ контроля;
- тип и номер набора дефектоскопического комплекта;
- индикатор несплошностей и методика поверки порошка или суспензии;
- освещенность.

Перед проведением контроля качество дефектоскопических материалов проверяется на контрольных образцах.

### 2.1.1. Предварительная подготовка

Предварительная подготовка заключается в следующем:

- подготовка дефектоскопических материалов и оборудования (комплект аэрозольных баллончиков, лупа, линейка и т. д.);
- подготовка источников света;
- подготовка салфеток;
- подготовка защитных перчаток;
- подготовка контрольных образцов;
- подготовка контролируемого изделия.

Перед использованием дефектоскопических материалов из аэрозольных баллонов следует энергично взболтать содержимое баллонов.

### *Требования к поверхности контролируемых изделий*

Перед проведением контроля поверхность объекта контроля должна быть очищена от всевозможных загрязнений, лакокрасочных

покрытий, моющих составов и дефектоскопических материалов, оставшихся от предыдущего контроля.

Очистка контролируемой поверхности объекта контроля производится в соответствии с ГОСТ 18442-80, требованиями нормативно-технической документации и с учетом конкретных условий производства.

Независимо от выбранного способа очистки поверхность объекта контроля должна быть обезжирена бензином, ацетоном, водным очистителем или очистителем, входящим в комплект набора дефектоскопических материалов. Качество очистки считается удовлетворительным, если после протирки поверхности объекта контроля бязью, марлей, смоченными в спирте, на них не остается следов загрязнений.

Шероховатость поверхности объекта контроля при проведении капиллярного контроля должна быть для I–III класса чувствительности не более  $R_z = 20$  мкм и для IV класса чувствительности не более  $R_z = 80$  мкм по ГОСТ 2789-73.

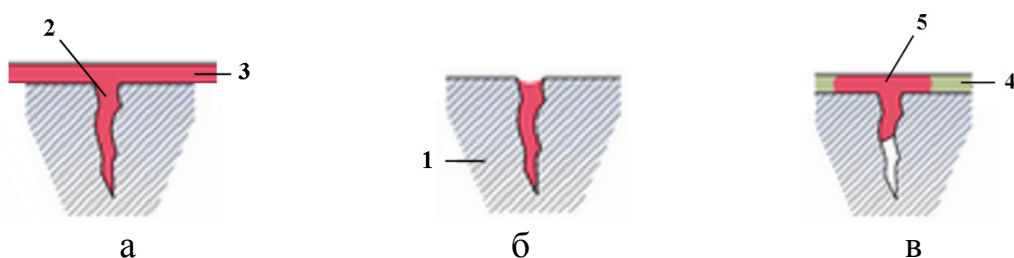
Поверхность объекта контроля после очистки должна быть осушена. Сушку осуществляют следующими методами:

- выдержкой изделий на воздухе 20–30 мин;
- обдуванием струей сжатого воздуха, подогретого до 40–50 °С;
- нагревом в сушильном шкафу до температуры 70–80 °С;
- вытиранием неволокнистым впитывающим материалом.

### 2.1.2. Контрольные операции

Основные операции контроля:

- заполнение полостей дефектов индикаторным пенетрантом;
- удаление избытка индикаторного пенетранта;
- нанесение проявителя;
- проявление дефектов.



*Рис. 2.5. Основные операции капиллярного контроля:  
а – проникающая жидкость 3 заполнила полость дефекта 2;  
б – проникающая жидкость удалена с поверхности детали 1,  
но осталась в полости дефекта; в – на деталь нанесен проявитель 4,  
над дефектом образован индикаторный рисунок 5*

При проведении контроля дефектоскопические материалы в большинстве случаев наносятся следующими способами:

- а) кистевым;
- б) аэрозольным.

### ***Кистевой способ нанесения дефектоскопических материалов***

Кистевое нанесение дефектоскопических материалов производится на участке протяженностью не более 1000 мм. Площадь контролируемого участка не должна превышать 0,8 м<sup>2</sup>.

Контроль проводится в следующей последовательности:

- 1) проверить чувствительность дефектоскопического набора на контрольных образцах;
- 2) на предварительно подготовленную контролируемую поверхность нанести кистью индикаторный пенетрант и выдержать его 10–15 минут. В течение указанного времени индикаторный пенетрант следует наносить 4–6 раз. При этом высыхание предыдущего слоя не допускается;
- 3) удалить избыток индикаторного пенетранта сначала сухой х/б салфеткой, а затем слегка смоченной очистителем. При контроле в условиях низких температур от –40 до +8 °С удаление индикаторной жидкости с контролируемой поверхности производится сухой х/б салфеткой с последующей протиркой чистой салфеткой, смоченной в этиловом спирте;
- 4) осушить контролируемую поверхность, протерев ее насухо х/б салфеткой. Качество поверхности после этого контролируется протиркой чистой салфеткой. Салфетка при этом не должна окрашиваться;
- 5) не более чем через 1 мин после удаления пенетранта нанести проявитель на контролируемую поверхность тонким ровным слоем мягкой кистью. Для ускорения высыхания проявляющей жидкости допускается применение слабой струи теплого воздуха температурой 70–80 °С.

### ***Контроль аэрозольным способом нанесения дефектоскопических материалов***

Аэрозольное нанесение дефектоскопических материалов проводится на участке протяженностью не более 2000 мм, или площади 2 м<sup>2</sup>.

Контроль проводится в следующей последовательности:

1. Проверить работоспособность аэрозольных баллонов, качество распыления и чувствительность дефектоскопических наборов на контрольных образцах.



2. Нанести на предварительно подготовленную контролируемую поверхность с помощью аэрозольного баллона индикаторный пенетрант и выдержать его в течение 10–15 минут. В течение указанного времени индикаторный пенетрант наносится 4–6 раз. При этом высыхание предыдущего слоя не допускается. Расстояние распылительной головки аэрозольного баллона до контролируемой поверхности 300–350 мм, угол наклона – 45°. Перед нанесением индикаторного пенетранта следует энергично взболтать содержимое баллона.
3. Удалить избыток индикаторного пенетранта сначала сухой х/б салфеткой, а затем слегка смоченной очистителем. При контроле в условиях низких температур от –40 до +8 °С удаление индикаторной жидкости с контролируемой поверхности производится сухой х/б салфеткой с последующей протиркой чистой салфеткой, смоченной в этиловом спирте.
4. Осушить контролируемую поверхность, протерев ее насухо салфеткой. Качество поверхности после этого контролируется протиркой чистой х/б салфеткой. Салфетка при этом не должна окрашиваться.
5. В течение 1–2 минут энергично взбалтывать баллон с проявителем.
6. Не более чем через 1 мин после удаления пенетранта нанести проявитель на контролируемую поверхность тонким ровным слоем из аэрозольного баллона. При этом струя проявителя должна проходить по одному месту контролируемого участка один раз, обеспечивая одинаковую толщину наносимого слоя. Расстояние распылительной головки аэрозольного баллона до контролируемой поверхности 250–300 мм. Баллон располагать под углом 45° к контролируемой поверхности.

### ***Проявление дефектов***

Проявление заключается в выдержке объекта контроля после обработки его поверхности дефектоскопическими материалами до момента полного и четкого появления индикаторных следов дефектов.

### ***2.1.3. Заключительные операции***

#### ***Осмотр и анализ индикаторных рисунков***

Осмотр и анализ индикаторных рисунков представляет собой сочетание или отдельное использование способов наблюдения и регистрации индикаторного следа путем обнаружения дефекта по цветному индикаторному следу в видимом излучении.

Обнаружение дефектов следует производить осмотром поверхности объекта контроля дважды через 3–5 минут для выявления крупных дефектов, через 15–20 минут для выявления мелких дефектов и по 1 классу чувствительности через 40–60 минут.

При цветном методе капиллярной дефектоскопии с визуальным способом выявления дефектов следует применять комбинированное освещение (к общему освещению добавляют местное). Применять одно общее освещение допускается в случаях, когда по условиям технологии использовать местное освещение невозможно. На стационарных рабочих местах применять только местное освещение не допускается.

### ***Оформление результатов контроля***

Обнаруженные в результате капиллярных методов контроля недопустимые дефекты необходимо замаркировать и отметить на эскизе объекта контроля в технологической карте (Приложение 1).

Результаты проведения контроля заносятся в бланки заключений.

#### **2.1.4. Окончательная очистка объекта контроля**

Окончательная очистка объектов проводится в случаях, оговоренных в НТД, и представляет собой один или сочетание нескольких технологических приемов удаления проявителя, а при необходимости, и удаления остатков индикаторного пенетранта.

Удаление остатков дефектоскопических материалов производится следующими способами;

- протирка – удаление проявителя салфетками с применением или без применения воды либо органических растворителей;
- промывка – удаление промывкой в воде или органических растворителях с необходимыми добавками и применением вспомогательных средств (щетki, ветоши, губки).

## **2.2. Порядок выполнения работы**

2.2.1. Получить объект контроля и контрольный образец у преподавателя.

2.2.2. Подготовить к работе приборы и средства контроля:

- основное оборудование;
- вспомогательные средства контроля;
- дефектоскопические материалы;
- обтирочные материалы.

### 2.2.3. Подготовить объект контроля к работе:

- осмотреть контролируемую поверхность на отсутствие ржавчины, органических загрязнений;
- проверить шероховатость;
- измерить освещенность поверхности;
- проверить качество дефектоскопического набора на контрольном образце;
- обезжирить поверхность х/б салфеткой, слегка смоченной в очистителе;
- осушить поверхность выдержкой на воздухе (время не должно превышать 30 мин).

2.2.4. Нанести на предварительно подготовленную контролируемую поверхность с помощью аэрозольного баллона индикаторный пенетрант и выдержать его не менее 5 минут. В течение указанного времени индикаторный пенетрант наносится 4–6 раз. При этом высыхание предыдущего слоя не допускается. Расстояние распылительной головки аэрозольного баллона до контролируемой поверхности 300–350 мм. Баллон располагать под углом 45° к контролируемой поверхности.

2.2.5. Удалить избыток индикаторного пенетранта х/б салфеткой: сначала сухой, а затем слегка смоченной очистителем. Индикаторный пенетрант удаляют до полного отсутствия на поверхности окрашенного фона. Полноту удаления индикаторного пенетранта определяют визуально. Качество удаления излишков пенетранта проверяется протиркой светлой чистой салфеткой. Салфетка не должна окрашиваться в розовый цвет.

2.2.6. Перед нанесением проявителя аэрозольный баллон необходимо энергично взбалтывать в течение 1 мин.

2.2.7. Не более чем через 1 мин после удаления пенетранта нанести проявитель на контролируемую поверхность тонким ровным слоем из аэрозольного баллона. При этом струя проявителя должна проходить по одному месту контролируемого участка один раз, обеспечивая одинаковую толщину наносимого слоя. Расстояние распылительной головки аэрозольного баллона до контролируемой поверхности 250–300 мм. Распыление выполнить под углом 45°.

2.2.8. Осмотреть поверхность объекта контроля при освещенности более 500 лк:

- через 3–5 мин – на наличие крупных дефектов;
- через 15–20 мин – на наличие дефектов по II или III классам чувствительности;
- через 60 мин – на наличие дефектов по I классу чувствительности.

2.2.9. Проанализировать выявленные индикации:

- замаркировать относительно нулевой точки;
- измерить размеры;
- оценить их характер.

2.2.10. Провести оценку выявленных индикаторных следов.

2.2.11. Оформить результаты контроля: заполнить технологическую карту и заключение (Приложение 1).

### **2.3. Содержание отчета**

- цель работы;
- применяемые материалы и оборудование;
- ответы на контрольные вопросы;
- выводы;
- документированные материалы.

### **2.4. Контрольные вопросы**

1. Каковы основные технологические этапы капиллярного контроля?
2. Какие классы чувствительности установлены для капиллярного контроля?
3. Какие способы предварительной очистки объектов контроля вы знаете?
4. Какие способы заполнения полостей дефектов пенетрантом применяются при капиллярном контроле?
5. Какие существуют способы удаления избытка пенетранта с контролируемой поверхности?

### **2.5. Список используемой литературы**

1. Козлов В.В. Поверка средств неразрушающего контроля. – М.: Издательство стандартов, 1989. – 215 с.
2. ГОСТ 18442–80. Контроль неразрушающий. Капиллярные методы. Общие требования. – М.: Изд-во стандартов, 1987. – 24 с.
3. Капиллярный контроль: учебное пособие для подготовки специалистов I, II и III уровня / Н.П. Калиниченко, А.Н. Калиниченко. – Томск: Изд-во ТПУ, 2008. – 292 с.
4. Глазков Ю.А. Капиллярный контроль: учеб. пособ. / под общ. ред. В.В. Ключева. – М.: Издательский дом «Спектр», 2011. – 144 с.

### 3. Лабораторная работа

## КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ДЕФЕКТОСКОПИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ КАПИЛЛЯРНОГО КОНТРОЛЯ

Цель работы – приобретение практических навыков:

- при реализации технологического процесса цветного метода капиллярной дефектоскопии;
- проверке качества дефектоскопических материалов и поверке контрольных образцов.

Применяемое оборудование и приборы:

- набор дефектоскопических материалов для цветного метода капиллярного контроля;
- контрольный образец;
- линейка;
- штангенциркуль;
- лупа общего осмотра  $2^x$ ;
- лупа измерительная  $10^x$  (рис. 3.1);
- люксметр типа ТКА/ПКМ.



*Рис. 3.1. Лупа измерительная ЛИИ 3-10<sup>x</sup>*

### 3.1. Контроль качества дефектоскопических материалов

Определяемые свойства дефектоскопических материалов должны соответствовать требованиям технических условий на них.

Обычно из большого количества регламентированных в ТУ различных физико-химических и технологических свойств дефектоскопических материалов, при использовании этих материалов, определяется три-четыре наиболее существенных свойства, которые указываются в технической документации.

Проверка дефектоскопических материалов должна проводиться в вытяжном шкафу при скорости воздуха в рабочем объеме шкафа  $(1 \pm 0,3)$  м/с при атмосферном давлении  $(100 \pm 4)$  кПа, температуре окружающего воздуха  $(293 \pm 5)$  К и относительной влажности  $(65 \pm 15)$  %.

Требования безопасности такие же, как и при проведении капиллярного НК (ГОСТ 18442–80).

### 3.1.1. Контроль качества пенетрантов

При контроле качества пенетрантов проверяемыми показателями могут быть: внешний вид, плотность, вязкость, интенсивность окраски или яркость люминесценции, смачиваемость, коррозионная активность по отношению к объекту контроля и другие свойства.

**Внешний вид пенетрантов** обычно контролируется визуально, при этом оценивают цвет, прозрачность, расслоения, наличие осадка или взвешенных частиц. Для контроля этих свойств пенетрант наливают в прозрачную пробирку и рассматривают в проходящем свете на фоне молочного стекла. При попадании влаги в пенетрант, о чем говорит его помутнение или расслоение, пенетрант бракуют. При наличии механических примесей, не влияющих на цвет и яркость пенетранта, допускается его использование после фильтрования через четыре-пять слоев марли.

**Вязкость пенетранта** определяют по ГОСТ 8420–74 с помощью вискозиметров (например, ВЗ-1 (рис. 3.1) или ВЗ-4).

**Интенсивность окраски пенетрантов** для цветного или люминесцентного методов контроля оценивают или визуально, или с помощью фотометров (рис. 3.2).



Рис. 3.1. Вискозиметр ВЗ-1



Рис. 3.2. Карманный фотометр photoFlex

Для визуальной оценки 5–10 мл проверяемого пенетранта разбавляют до 100 мл бесцветным растворителем. В такой же пропорции разбавляют контрольный пенетрант. В рамку устанавливают пробирку с проверяемым, а рядом с двух сторон пробирки – с контрольным пенетрантом. Качество пенетранта считается удовлетворительным, если его раствор не светлее контрольного.

При проверке с помощью фотометра пенетрант считается удовлетворительным, если показатель его интенсивности окраски не менее чем 0,8 интенсивности контрольного.

При контроле яркости люминесценции пенетранта рекомендуется пользоваться рекомендациями ГОСТ 18442–80.

**Яркость свечения люминесцентных пенетрантов** можно оценить визуально, аналогично вышеприведенной методике для цветных пенетрантов. Для этого пенетрант разбавляют легколетучим растворителем до получения 10 % раствора. Проверяемые и контрольный растворы наливают в пробирки и сравнивают при ультрафиолетовом облучении.

**Смачивающую способность пенетранта** проверяют следующим способом. На обезжиренную ацетоном, бензином или спиртом стеклянную или металлическую поверхность наливают несколько капель пенетранта. Если пенетрант не растекается по поверхности, а собирается в капли, то его бракуют.

### 3.1.2. Контроль качества проявителей

Проверку качества проявителей пенетранта, в зависимости от их вида, проводят по различным показателям. Так, пленкообразующие проявители проверяют по следующим показателям: внешнему виду, белизне, вязкости и времени высыхания.

При оценке **внешнего вида проявитель** наносят в один слой на прозрачную стеклянную пластинку (40 × 40 мм). Пленку проявителя рассматривают в проходящем и отраженном свете. Не допускается наличие нерастворенных крупинок и комков. Пленку следует также проверить при ультрафиолетовом излучении на отсутствие люминесценции.

**Белизну проявителя** определяют фотометром сравнения его белизны с белизной баритовой пластинки (из комплекта фотометра с коэффициентом отражения белого цвета 91 %). Для получения пленки испытываемого проявителя его наносят пульверизатором на черную стеклянную пластинку (40 × 40 мм) до ее полного укрытия. Коэффициент отражения проявителя должен быть не менее 80–83 %. Иногда допускается определять белизну визуально, сравнивая контролируемый прояви-

тель со шкалой стандартных пластинок, расположенных в порядке уменьшения белизны. Аналогично определяют белизну проявителей в виде порошка и суспензии.

**Вязкость пленкообразующего проявителя** определяют вискозиметрами (например, ВЗ-1 или ВЗ-4 по ГОСТ 8420–74). Условная вязкость проявителей, наносимых распылением, должна находиться в диапазоне 28–30 сСт, а наносимых кистью – в диапазоне 35–40 сСт.

**Время высыхания пленкообразующего проявителя** определяют, нанося его на металлическую (стеклянную) пластинку в один слой и выдерживая при температуре  $(293 \pm 5)$  К. Если по истечении установленного времени на пленке не остается следов от прикосновения ватного тампона, то проявитель удовлетворяет требованиям.

У проявителей в виде суспензии (на водной основе) контролируют внешний вид, укывистость, белизну и время оседания твердых частиц.

**Укывистость** определяют визуально с помощью металлического шарика на рукоятке (шарик диаметром 25–30 мм из нержавеющей сплава с шероховатостью не хуже  $R_z = 20$ ). В суспензию на несколько секунд погружают обезжиренный шарик. После высыхания суспензии частицы проявителя должны ровным слоем покрывать шарик. Не допускается неравномерное распределение слоя высохшего порошка.

Порошкообразный проявитель проверяют на дисперсность, влажность и белизну.

**Дисперсность порошка** определяют его просеиванием через сито по ГОСТ 3584–73.

**Влажность порошка** определяют его прокаливанием.

### **3.1.3. Комплексная проверка дефектоскопических материалов**

Комплексная проверка дефектоскопических материалов заключается в определении их способности к выявлению дефектов на контрольных образцах. Количество, расположение, характер и размеры поверхностных дефектов на контрольных образцах известны. Конструкция и технология изготовления стандартных образцов с искусственными дефектами приведены в ГОСТ 23349–84.

В отдельных случаях в качестве контрольных образцов могут использоваться различные изделия с поверхностными дефектами (преимущественно трещинами), возникшими в процессе их изготовления или эксплуатации. Размеры дефектов должны быть известны.

Для проверки качества набора дефектоскопических материалов контрольные образцы с известными дефектами подвергают контролю капиллярными методами по установленной технологии.



Индикаторные следы выявленных дефектов сравнивают с дефектограммой (или фотограммой) этого же образца, полученной при его контроле с использованием качественных дефектоскопических материалов.

Полнота выявления дефектов характеризуется отношением суммарной длины выявленных трещин к длине трещин, имеющихся в контрольном образце (оно должно быть не менее 95 %). При этом визуально сравнивают индикаторные следы с дефектограммой по контрасту, резкости и состоянию фона.

Для проверки дефектоскопических материалов используют не менее двух образцов с трещинами одинакового характера. Один из них применяют как арбитражный при неудовлетворительном выявлении дефектов на рабочем контрольном образце.

## **3.2. Порядок выполнения работы**

3.2.1. Получить контрольный образец у преподавателя.

3.2.2. Подготовить к работе приборы и средства контроля:

- основное оборудование;
- вспомогательные средства контроля;
- дефектоскопические материалы;
- обтирочные материалы.

3.2.3. Подготовить контрольный образец к работе:

- обезжирить поверхность х/б салфеткой, слегка смоченной в очистителе;
- осушить поверхность выдержкой на воздухе (время не должно превышать 30 мин).

3.2.4. Нанести на предварительно подготовленную контролируемую поверхность с помощью аэрозольного баллона индикаторный пенетрант и выдержать его не менее 5 минут. В течение указанного времени индикаторный пенетрант наносится 4–6 раз. При этом высыхание предыдущего слоя не допускается. Расстояние распылительной головки аэрозольного баллона до контролируемой поверхности составляет 300–350 мм, угол наклона – 45°.

3.2.5. Удалить избыток индикаторного пенетранта х/б салфеткой: сначала сухой, а затем смоченной очистителем. Индикаторный пенетрант удаляют до полного отсутствия на поверхности окрашенного фона. Полноту удаления индикаторного пенетранта определяют визуально. Качество удаления излишков пенетранта проверяется протиркой светлой чистой салфеткой. Салфетка не должна окрашиваться в розовый цвет.

3.2.6. Перед нанесением проявителя аэрозольный баллон необходимо энергично взбалтывать в течение 1 мин.

3.2.7. Не более чем через 1 мин после удаления пенетранта нанести проявитель на контролируемую поверхность тонким ровным слоем из аэрозольного баллона. При этом струя проявителя должна проходить по одному месту контролируемого участка один раз, обеспечивая одинаковую толщину наносимого слоя. Расстояние распылительной головки аэрозольного баллона до контролируемой поверхности составляет 250–300 мм. Распыление выполнить под углом 45°.

3.2.8. Осмотреть поверхность контрольного образца при освещенности более 500 лк:

- через 15–20 мин – на наличие дефектов по II классу чувствительности;
- через 60 мин – на наличие дефектов по I классу чувствительности.

3.2.9. Проанализировать выявленные индикации:

- замаркировать относительно клейма;
- измерить необходимые размеры.

### **3.3. Содержание отчета**

- цель работы;
- применяемые материалы и оборудование;
- ответы на контрольные вопросы;
- выводы;
- документированные материалы.

### **3.4. Контрольные вопросы**

1. Какие способы контроля качества дефектоскопических материалов вы знаете?
2. В чем заключается комплексная проверка качества дефектоскопических материалов?
3. Какие изделия могут использоваться в качестве контрольных образцов?
4. Сколько контрольных образцов и какие рекомендуется использовать при оценке качества дефектоскопических материалов?
5. По какому параметру и критерию оценивают качество дефектоскопических материалов?

### **3.5. Список используемой литературы**

1. Козлов В.В. Поверка средств неразрушающего контроля. – М.: Издательство стандартов, 1989. – 215 с.
2. ГОСТ 18442–80. Контроль неразрушающий. Капиллярные методы. Общие требования. – М.: Изд-во стандартов, 1987. – 24 с.
3. Капиллярный контроль: учебное пособие для подготовки специалистов I, II и III уровней / Н.П. Калиниченко, А.Н. Калиниченко. – Томск: Изд-во ТПУ, 2008. – 292 с.

## 4. Лабораторная работа

# ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС КАПИЛЛЯРНОГО КОНТРОЛЯ.

### ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЙ МЕТОД

Цель работы – приобретение практических навыков при:

- реализации технологического процесса люминесцентного метода капиллярной дефектоскопии;
- обнаружении дефектов и расшифровке полученных результатов;
- оформлении результатов контроля.

Применяемое оборудование и приборы:

- набор дефектоскопических материалов для люминесцентного метода капиллярного контроля (например, MAGNAFLUX, SHERWIN или др.);
- контрольный образец;
- линейка;
- лупа общего осмотра 2<sup>x</sup>;
- измеритель шероховатости TR200 или другой;
- система УФ-освещения MAGNAFLUX ZB-100F (рис. 4.1) предназначена для возбуждения люминесценции красителей и пигментов, входящих в состав люминесцентных пенетрантов и магнитопорошковых суспензий, и имеет оптимальное соотношение цена-качество. Система применяется с люминесцентными составами в капиллярной дефектоскопии. Генерирует и излучает ультрафиолетовый свет с длиной волны 365 нм. Эта длина волны является предпочтительной для дефектоскопии методом неразрушающего контроля;
- контрастные очки для защиты от УФ-излучения;



Рис. 4.1. Система УФ-освещения  
MAGNAFLUX ZB-100F

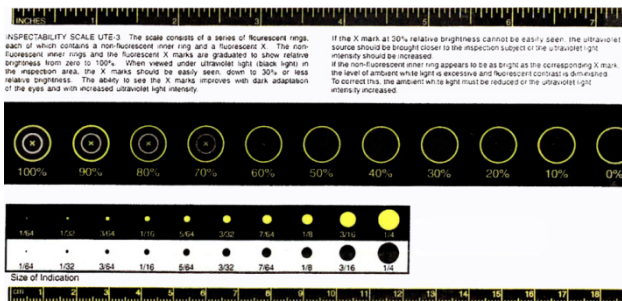


Рис. 4.2. Компаратор UTE-3

- компаратор УТЕ-3 (для правильного установления интенсивности УФ-излучения на рабочем месте при использовании флуоресцентных пенетрантов, рис. 4.2);
- измеритель интенсивности УФ-излучения.

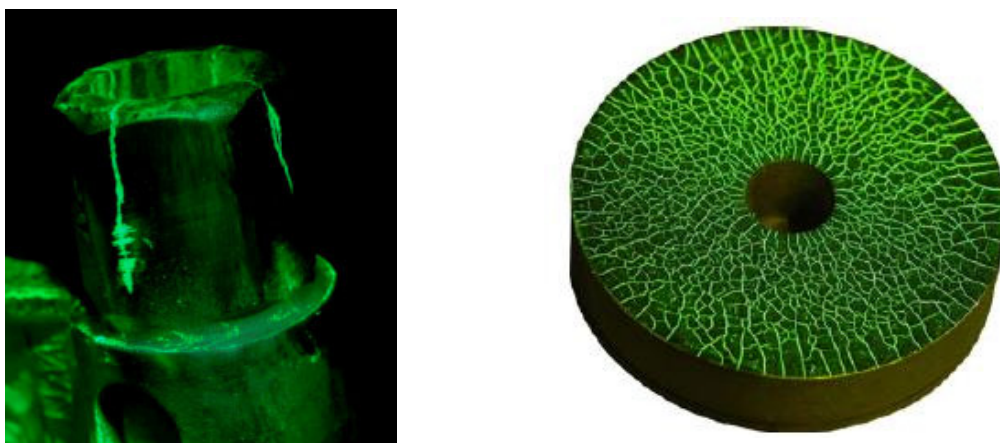
#### 4.1. Основные понятия о люминесценции

В зависимости от способа получения первичной информации капиллярные методы подразделяют:

- на яркостный (ахроматический);
- цветной (хроматический);
- люминесцентный;
- люминесцентно-цветной.

Контроль люминесцентным методом капиллярной дефектоскопии выполняется в условиях затемнения и требует ультрафиолетовых облучателей (УФ-облучателей), что делает его более трудоемким и опасным для здоровья контролера. Однако в отличие от цветного люминесцентный метод более чувствителен, так как люминесценция индикаций лучше обнаруживается глазом, чем цветовой контраст.

При контроле люминесцентным методом поверхностные дефекты обнаруживаются по ярко светящимся индикаторным следам, которые образуются на проявляющем покрытии (проявителе) в местах расположения несплошностей.



*Рис. 4.3. Примеры результатов люминесцентного метода капиллярного контроля*

Высокая чувствительность этих методов дает возможность находить трещины с шириной раскрытия у выхода на поверхность более 0,001 мм, глубиной более 0,01 мм и длиной более 0,1 мм.

Капиллярный контроль может проводиться при температуре от  $-40$  до  $+40$  °С и относительной влажности не более 90 %.

**Люминесцентный метод** – жидкостный метод неразрушающего контроля, основанный на регистрации контраста люминесцирующего в длинноволновом ультрафиолетовом излучении видимого индикаторного рисунка на фоне поверхности объекта контроля.

**Люминесценция** – избыточное излучение над тепловым излучением тела, если это избыточное излучение обладает конечной длительностью от  $10^{-10}$  с и больше.

Т. е. отличие люминесценции от свечения нагретых тел заключается в том, что свечение люминофоров происходит без нагревания («холодный свет») и люминесценция продолжается в течение некоторого времени после выключения источника возбуждения.

В капиллярном методе контроля люминесценцию используют как один из способов контраста для визуального обнаружения индикаторных пенетрантов после проявления. Для этого люминофор либо растворяют в основном веществе пенетранта, либо само вещество пенетранта является люминофором.

Существует деление люминесценции на флуоресценцию и фосфоресценцию.

**Флуоресценция** – свечение, прекращающееся при выключении источника возбуждения.

**Фосфоресценция** – свечение, продолжающееся заметный промежуток времени после прекращения возбуждения.

Ввиду того, что люминесцирующие вещества после прекращения возбуждения обладают послесвечением конечной длительности, термины «флуоресценция» и «фосфоресценция» имеют чисто условный характер. В ряде случаев флуоресценцией называют свечение в момент возбуждения, а фосфоресценцией – свечение после прекращения возбуждения.

Наиболее полно процессы люминесценции отражены в классификации, в основу которой положены механизмы возникновения свечения: свечение дискретных центров и рекомбинационное свечение.

Под свечением дискретных центров понимают свечение, возникающее в тех случаях, когда поглощающими и излучающими центрами являются одни и те же частицы (атомы, ионы или молекулы). Этот вид свечения присущ в основном веществам в газообразном состоянии, органическим и неорганическим веществам в растворах и чистым органическим.

Второй вид свечения – рекомбинационное – наблюдается тогда, когда акты поглощения и излучения разделены не только во времени, но

и пространственно, т. е. когда энергию поглощают одни молекулы, передают их другим, последние переходят в возбужденное состояние и только затем высвечиваются.

По мере увеличения концентрации люминесцирующего вещества в растворе выход люминесценции возрастает, соответственно возрастает и яркость свечения. Однако при достижении некоторой определенной величины концентрации люминесценция сопровождается не усилением яркости свечения, а, напротив, ее уменьшением. При значительном повышении концентрации возможно практически полное гашение люминесценции.

В основе теорий, объясняющих концентрационное гашение, лежит тот факт, что увеличение концентрации люминесцирующего вещества, то есть увеличение числа частиц в единице объема, приводит к значительному уменьшению расстояний между ними.

Гашение может происходить также в результате добавления в раствор некоторых веществ, называемых гасителями.

**Гаситель** – это состав, предназначенный для устранения люминесценции остатков проникающей жидкости без удаления ее с контролируемой поверхности.

Взаимодействие гасителей с люминесцирующими веществами может быть химическим (в результате образования новых нелюминесцирующих продуктов при взаимодействии люминофора с гасителем) или физическим (за счет передачи энергии возбужденной молекулы молекуле гасителя).

Явление гашения люминесценции используется с целью уменьшения фона пористой поверхности. Для этого в очищающую жидкость вводят специальные тушители. В результате люминесценция пенетранта, остающегося на поверхности после обработки очищающей жидкостью, резко уменьшается. Однако это явление может играть и отрицательную роль. Например, наличие в полостях дефектов некоторых типов загрязнений (даже в небольших количествах) приводит в результате тушения люминесценции к уменьшению чувствительности и достоверности контроля.

## **4.2. Технологический процесс люминесцентной дефектоскопии**

Схема технологического процесса капиллярной дефектоскопии аналогична схеме капиллярного контроля цветным методом, за исключением этапа «очистка поверхности изделия от излишков пенетранта», где добавлена операция «гашение», и предусматривает следующие операции (рис. 4.4):

- 1) подготовка изделия к контролю;



- 2) нанесение пенетранта;
- 3) очистка поверхности изделия от излишков пенетранта;
- 4) нанесение проявителя;
- 5) осмотр изделия и анализ индикаторных следов выявленных дефектов;
- 6) удаление (в случае необходимости) остатков дефектоскопических материалов.

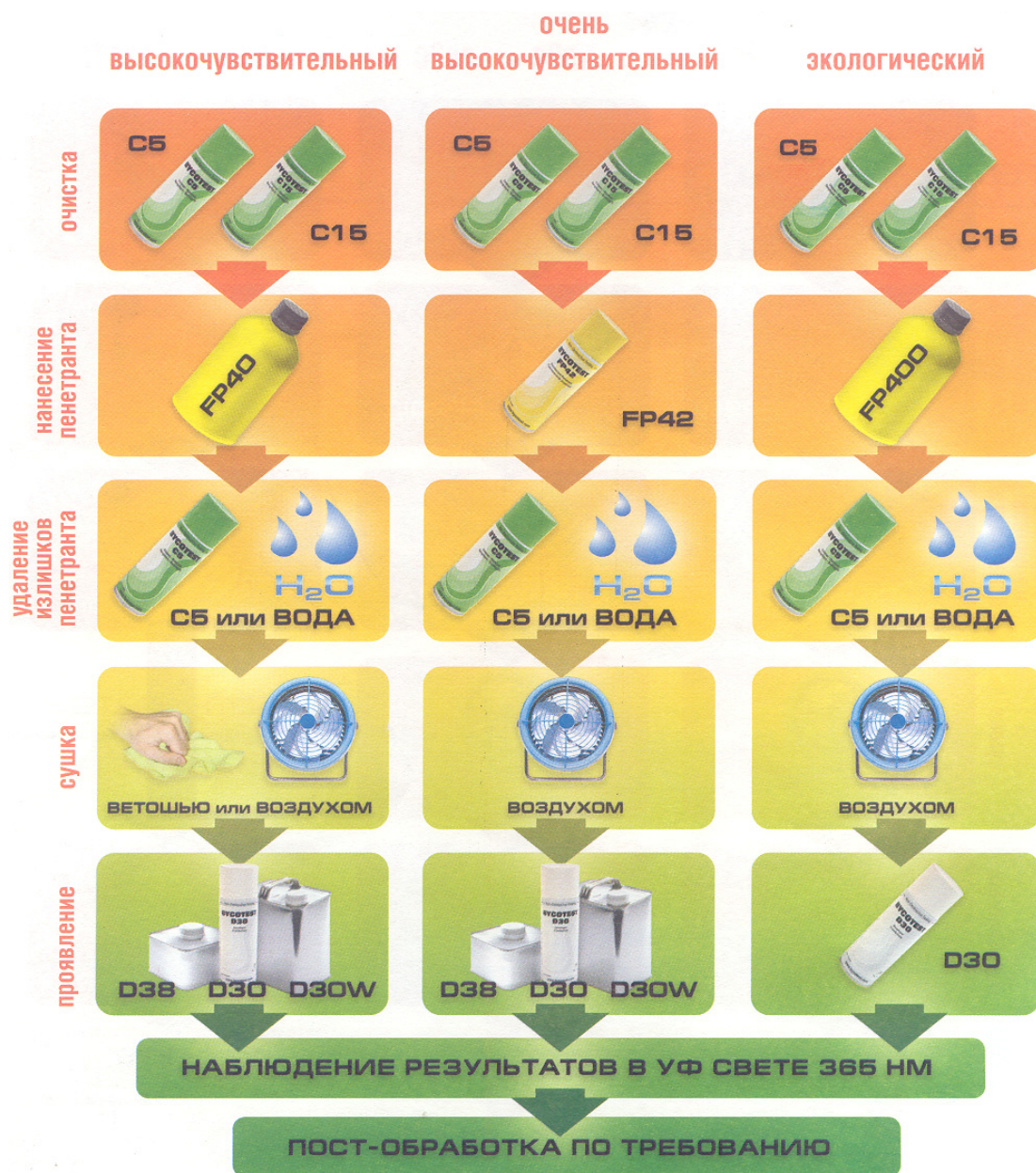


Рис. 4.4. Карта выбора средств Vucotest для люминесцентного метода капиллярного контроля



Удаление излишков пенетранта производится методом промывки водой или за счет смывания растворителем. Удаление пенетранта с поверхности детали должно быть выполнено так, чтобы он не извлекался из поверхностных несплошностей. Должно быть удалено оптимальное количество проникающей жидкости. Слишком слабое удаление вызовет проявление чрезмерного индикаторного фона от пенетранта, и визуальная картина рисунков несплошностей на поверхности детали будет неотличима от этого фона. Если удаление пенетранта с поверхности детали будет слишком энергичным, картина рисунков на контролируемой поверхности будет слишком слабой или совсем отсутствовать.

Величины размеров капелек, давления, температуры и угла наклона водяной струи при промывке детали водой могут влиять на эффективность удаления излишков пенетранта. Температуру воды для промывки следует ограничивать 10–38 °С, давление не более 270 кПа (2 бар). Душевая насадка должна быть минимум в 300 мм от поверхности детали и направляться под углом к ней в диапазоне между 45 и 70°.

Операция промывки флуоресцирующих пенетрантов должна контролироваться с близкого расстояния, чтобы избежать чрезмерного удаления пенетранта. Промывка должна быть остановлена в момент достижения приемлемого фонового уровня флуоресценции остатков пенетранта.

Чистота отмывки поверхности изделия от избытка люминесцентного пенетранта контролируется в затемненном помещении с источником ультрафиолетового излучения.

Интенсивность ультрафиолетового излучения в помещении, где производятся контроль детали и обработка результатов, проверяется с помощью калиброванного измерителя интенсивности УФ-излучения. Его интенсивность должна быть минимум 1000 мкВт на квадратный сантиметр (мкВт/см<sup>2</sup>) на поверхности рабочего стола.

При значении интенсивности УФ-излучения меньше требуемой для надежного обнаружения индикаторных рисунков дефектов сокращают расстояние между источником и поверхностью объекта контроля до получения требуемого значения интенсивности УФ-излучения.

Установлено, что при отсутствии контроля за интенсивностью УФ-излучения она может падать в два и даже десять раз в зависимости от длительности работы, фокусировки и типа лампы, так что потеря интенсивности УФ-излучения может свести на нет приращение яркости, достигнутое при создании новых люминесцентных индикаторных жидкостей.

Интенсивность подсветки видимым светом в затемненном помещении для контроля проверяется с помощью источников ультрафиолетового излучения с применением люксметра. Интенсивность подсветки видимым светом не должна превышать 20 лк на поверхности рабочего стола.

### 4.3. Осмотр изделий и анализ индикаторных рисунков дефектов

При контроле изделий люминесцентным методом обнаружение дефекта производится в длинноволновом УФ-излучении с длиной волны 315–400 нм (с преобладанием длины волны 365 нм) в затемненном пространстве или отдельной камере по светящемуся индикаторному следу.

УФ-облученность, необходимая при контроле изделий, приводится в табл. 4.2, в зависимости от классов чувствительности.

Таблица 4.1

*Способ удаления проникающей жидкости с поверхности деталей*

	<b>Технологическая характеристика</b>
Протирка	Удаление проникающей жидкости ветошью или бумагой с применением или без применения очищающего состава или растворителя
Промывка	Удаление проникающей жидкости растворителем – водой, органическим растворителем или специальным очищающим составом или парами органических растворителей
Обдувание	Удаление проникающей жидкости струей песка, дроби, косточковой крошки, опилок
Гашение люминесценции	Устранение люминесценции проникающей жидкости воздействием на нее вещества – гасителя или облучением
Комбинированный	Удаление проникающей жидкости последовательно двумя и более способами (промывкой и протиркой, обдувкой и протиркой и т. д.)

Таблица 4.2

*УФ-облученность в зависимости от классов чувствительности*

Класс чувствительности	УФ-облученность при использовании люминесцентного метода	
	Отн. ед.	МкВт/см <sup>2</sup>
I	300 ± 100	3000 ± 1000
II		
III	150 ± 50	1500 ± 500
IV	75 ± 25	750 ± 250
Технологический	До 50	До 500

#### **4.4. Меры безопасности при проведении люминесцентных работ**

При работе с УФ-облучателями выполняются дополнительные требования в соответствии с ГОСТ 23349–78:

- спецодежда должна закрывать лицо, грудь, руки;
- облучатели снабжают устройствами, защищающими лицо работающих от прямых лучей;
- глаза закрывают контрастными очками для защиты от УФ-излучения. Контрастные очки сконструированы специально для отражения длинной ультрафиолетовой волны. Препятствуют возникновению опалесценции глаз во время длительного пребывания при ультрафиолетовом освещении. Эти очки снижают усталость и обеспечивают оптимальную контрастность во время визуального осмотра дефектов при капиллярном методе неразрушающего контроля. Очки для защиты от УФ-излучения рассчитаны с учетом устойчивости к низкоэнергетическим ударам. Очки с непрямой вентиляцией также рассчитаны на защиту от пыли и брызг жидкости. Поглощают УФ-излучения с длиной волны до 365 нм.

#### **4.5. Порядок выполнения работы**

4.5.1. Получить объект контроля и контрольный образец у преподавателя.

4.5.2. Подготовить к работе приборы и средства контроля:

- основное оборудование;
- вспомогательные средства контроля;
- дефектоскопические материалы;
- обтирочные материалы.

4.5.3. Подготовить объект контроля к работе:

- осмотреть контролируемую поверхность на отсутствие ржавчины, органических загрязнений;
- проверить шероховатость;
- измерить освещенность поверхности;
- проверить качество дефектоскопического набора на контрольном образце;
- обезжирить поверхность х/б салфеткой, слегка смоченной в очистителе;
- осушить поверхность выдержкой на воздухе (время не должно превышать 30 мин).

4.5.4. При локальном контроле нанести однократно на предварительно подготовленную зону контроля с помощью аэрозольного балло-

на индикаторный пенетрант и выдержать его не менее 5 минут. Расстояние распылительной головки аэрозольного баллона до контролируемой поверхности 300–350 мм, угол наклона баллона – 45°. Температура поверхности детали 10–50 °С.

4.5.5. Удалить избыток индикаторного пенетранта одним из вышерассмотренных способов: водой или очистителем.

Влагу с поверхности детали удаляют протиркой сухой ветошью, кратковременной обдувкой сжатым воздухом либо подсушиванием при небольшой температуре (не выше 50 °С).

4.5.6. Перед нанесением проявителя аэрозольный баллон необходимо энергично взбалтывать в течение 1 мин.

4.5.7. После сушки нанести проявитель на контролируемую поверхность тонким ровным слоем из аэрозольного баллона. При этом струя проявителя должна проходить по одному месту контролируемого участка один раз, обеспечивая одинаковую толщину наносимого слоя. Расстояние распылительной головки аэрозольного баллона до контролируемой поверхности 250–300 мм. Распыление выполнить под углом 45°.

4.5.8. Осмотреть поверхность объекта контроля при УФ-излучении:

- через 3–5 мин – на наличие крупных дефектов;
- через 15–20 мин – на наличие дефектов по II или III классам чувствительности;
- через 60 мин – на наличие дефектов по I классу чувствительности.

Осмотр можно проводить также через более длительный промежуток времени. Однако увеличение времени выдержки до осмотра более 3 часов ухудшает четкость индикаторных рисунков и приводит к уменьшению яркости люминесценции.

Ультрафиолетовый облучатель должен быть включен не менее чем за 15 минут до осмотра. Деталь осматривают в затемненном помещении при облучении ультрафиолетовыми лучами с длиной волны 365 нм.

Дефекты выявляются в виде светящихся ярким желто-зеленым цветом точек, линий и других геометрических фигур, соответствующих рисунку дефектов на поверхности деталей.

4.5.9. Проанализировать выявленные индикации:

- замаркировать относительно нулевой точки;
- измерить размеры;
- оценить их характер.

4.5.10. Провести оценку выявленных индикаторных следов.

4.5.11. Оформить результаты контроля: заполнить технологическую карту и заключение (Приложение 1).

## 4.6. Содержание отчета

- цель работы;
- применяемые материалы и оборудование;
- ответы на контрольные вопросы;
- выводы;
- документированные материалы.

## 4.7. Контрольные вопросы

1. Какова технология люминесцентного капиллярного контроля?
2. Каковы требования к УФ-облученности для соответствующих классов чувствительности?
3. Какая должна быть выдержка деталей после нанесения пенетранта?
4. Как проверяется работоспособность дефектоскопических материалов?
5. Каковы меры безопасности при проведении работ?
6. Чем измеряется интенсивность ультрафиолетового излучения?

## 4.8. Список используемой литературы

1. ГОСТ 18442–80. Контроль неразрушающий. Капиллярные методы. Общие требования. – М.: Изд-во стандартов, 1987. – 24 с.
2. Капиллярный контроль: учебное пособие для подготовки специалистов I, II и III уровня / Н.П. Калиниченко, А.Н. Калиниченко. – Томск: Изд-во ТПУ, 2008. – 292 с.
3. Глазков Ю.А. Капиллярный контроль: учебное пособие / под общ. ред. В.В. Ключева. – М.: Издательский дом «Спектр», 2011. – 144 с.
4. Каталог продукции BYCOTEST. Средства капиллярного и магнитопорошкового контроля. – М.: Российское бюро Бикотест АБ, 2008. – 17 с.
5. Сполдинг У., Гермес М. Капиллярный метод контроля: учебное руководство. Американское общество по неразрушающим методам контроля. – ASNT. – 1999. – 91 с.

## 5. Лабораторная работа

### ИЗУЧЕНИЕ СМАЧИВАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ПРОНИКАЮЩИХ ЖИДКОСТЕЙ

Цель работы – сравнительная оценка смачивающей способности проникающих жидкостей по отношению к конструкционным материалам.

Применяемое оборудование и приборы:

- набор пластин, размерами 100 × 100 мм из оргстекла, дюралюминия, стали;
- проникающие жидкости из различных наборов: рецептурный пенетрант ИЗ, пенетрант SKL-LO (фирмы Magnaflux), пенетрант UP-ST (Китай), пенетрант Sherwin, пенетрант Vycotest; пенетрант Spotcheck;
- жидкости: керосин, скипидар, бензин;
- ветошь;
- пипетка;
- перчатки резиновые;
- халаты х/б;
- линейка;
- циркуль измерительный;
- секундомер;
- лупа измерительная ЛИ 3-10<sup>x</sup>.

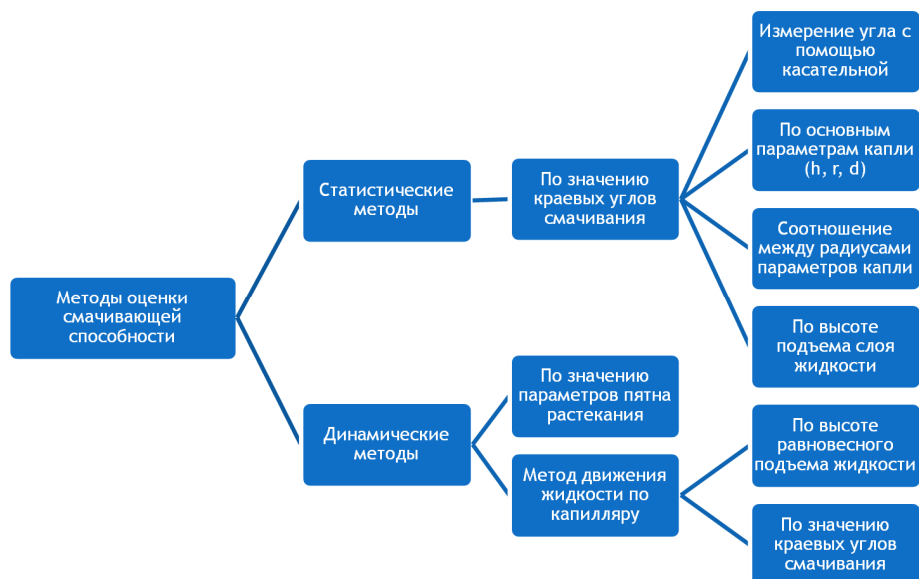


Рис. 5.1. Методы оценки смачивающей способности

## 5.1. Методы оценки смачивающей способности

**Измерение краевого угла по форме капли, находящейся на пластинке.** Каплю проектируют на экран (рис. 5.2), добиваясь максимальной резкости в изображении контура капли. На снимке или на рисунке проекции капли проводят касательную в точке пересечения контура капли с подложкой и измеряют угол наклона этой касательной.

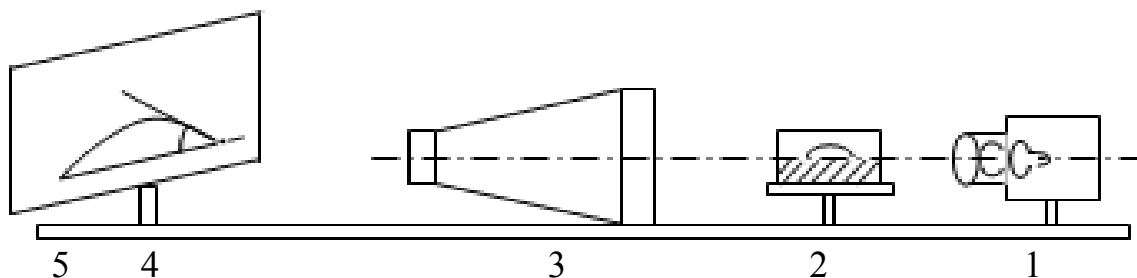


Рис. 5.2. Схема установки для определения краевого угла:

1 – источник света; 2 – испытываемая поверхность;  
3 – увеличитель; 4 – экран; 5 – контур капли

Возможная ошибка измерения краевого угла может составлять 3–5°.

**Краевой угол может быть определен по высоте подъема слоя жидкости, примыкающей к стенке сосуда** (рис. 5.3).

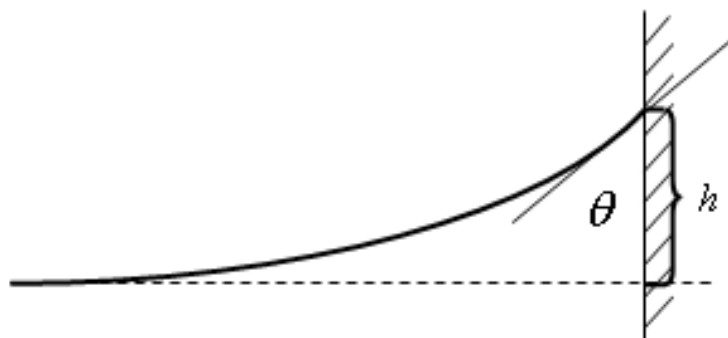


Рис. 5.3. Высота подъема жидкости по вертикальной стенке

В соответствии с законом Гаусса–Лапласа можно написать:

$$\sin \theta = 1 - \frac{\rho_{\text{ж}} \cdot g \cdot h^2}{\sigma_{\text{жг}}}, \quad (5.1)$$

где  $\rho_{\text{ж}}$  – плотность жидкости;  $g$  – скорость свободного падения;  $h$  – высота подъема жидкости.

**Можно определить значение краевого угла по основным размерам прилипшей капли:** по высоте  $h$  и радиусу или диаметру площади контакта капли с поверхностью  $r_k$  (рис. 5.4).

Зная эти размеры, рассчитывают угол по следующим формулам:

$$\text{при } \theta < 90^\circ \quad \cos \theta = \frac{r_k^2 - h^2}{r_k^2 + h^2}, \quad (5.2)$$

$$\text{при } \theta > 90^\circ \quad \cos \theta = 1 - \frac{h}{r_k}. \quad (5.3)$$

Определение краевого угла из соотношения между радиусами, которые характеризуют кривизну поверхности капли.

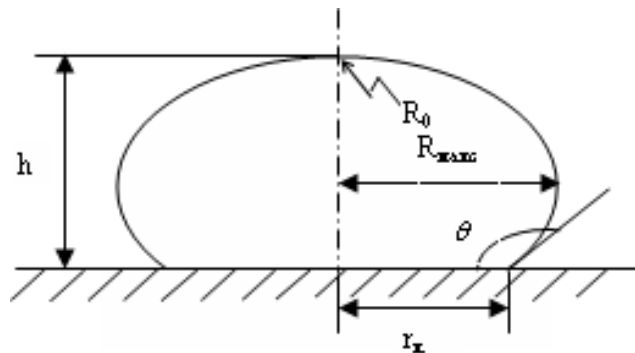


Рис. 5.4. Капля жидкости на горизонтальной поверхности

Для  $\theta > 90^\circ$  соотношения между  $r_0$  и  $r_{\max}$  определяют из следующих условий:

$$r_0 \approx r_{\max} \frac{r_{\max}}{2a^2}; \quad a = \sqrt{\frac{2\sigma_{\text{ж.г}}}{\rho_{\text{ж}} \cdot g}}, \quad (5.4)$$

где  $r_0$  – радиус кривизны вершины капли;  $r_{\max}$  – наибольшее расстояние точек медиального сечения капли от ее оси;  $a$  – капиллярная постоянная.

Для различных отношений  $h/r_0$  и  $r_0/r_k$  по таблицам определяют краевой угол.

Помимо статистических методов определения краевого угла, можно применить динамические методы, в частности движение жидкости по капилляру. При этом используется следующая формула:

$$\cos \theta = \frac{2 \cdot \eta \cdot l^2}{r \cdot \sigma_{\text{ж.г}} \cdot \tau}, \quad (5.5)$$

где  $\tau$  – время, в течение которого жидкость пройдет по капилляру расстояние  $l$ ;  $\eta$  – вязкость жидкости;  $r$  – радиус капилляра.



Смачивающую способность также определяют, фиксируя высоту равновесного поднятия жидкостей в вертикальных сквозных капиллярах, другой способ определения – по значению краевых углов смачивания, основанный на измерении давления, с которым одна жидкость замещает другую на спрессованном в цилиндре порошке, или определение расхода жидкости, впитывающейся в порошок. Применяются также и другие способы.

Указанные способы непригодны для оценки смачивающей способности жидкостей, предназначенных для капиллярной дефектоскопии, по ряду причин. У этих жидкостей отсутствует статический равновесный краевой угол смачивания, так как они хорошо растекаются по поверхности твердого тела, образуя переменный (динамический) угол смачивания, значение которого близко к нулю. При оценке смачивающей способности по высоте капиллярного поднятия жидкостей необходимо использовать капилляры из материалов, по отношению к которым оценивается смачивающая способность данных жидкостей, в основном из металлов. Определять с необходимой точностью высоту подъема жидкостей в таких непрозрачных капиллярах, а также изготавливать их сложно. Наконец, смачивающая способность жидкостей по отношению к порошкам не соответствует смачивающей способности к монолитному материалу того же состава из-за дополнительного влияния капиллярности и разной шероховатости поверхности на процесс замещения жидкостей.

Наиболее распространен в капиллярной дефектоскопии способ сравнительной оценки смачивающей способности жидкостей путем измерения радиуса или диаметра пятна, образованного каплей нормированного объема испытываемой жидкости, растекающейся по горизонтальной твердой поверхности за установленное время, или определения диаметра этого пятна с течением времени (скорости растекания). Считается, что чем больше радиус (диаметр или площадь) пятна растекания, при прочих равных условиях, тем лучше смачивающая способность жидкости.

Фактически таким образом оценивается не смачивающая способность как степень взаимодействия твердого тела и жидкости и их способность образовать устойчивую поверхность раздела жидкость–твердое тело, а растекаемость. Но смачивание и растекание – два разных, хотя и связанных друг с другом физико-химических явления, которым соответствуют два разных параметра качества жидкостей.

Растекание жидкостей – это явление двухмерного самопроизвольного движения жидкостей по поверхности, обусловленное действием смачивающей способности, вязкости жидкости, ее плотности и массы.

И смачивающая способность, и растекаемость представляют собой важные характеристики жидкостей для капиллярного контроля. Обе эти характеристики можно оценить в ходе одного эксперимента. При этом растекаемость определяют измерением параметров пятна растекания или скорости перемещения фронта жидкости по твердой поверхности. Смачивающую способность жидкостей определяют известным способом, заключающимся в измерении радиуса (диаметра, площади) пятна растекания капель жидкостей нормированного объема на твердой поверхности при заданной температуре за установленное время, дополнительно измеряют также плотность, вязкость и испаряемость жидкостей, а смачивающую способность одной жидкости по отношению к другой оценивают по соотношению коэффициентов растекания, определяемых с учетом влияния каждого указанного выше фактора на размеры пятна растекания. Процесс растекания капли является двухмерным: смоченная площадь представляет собой круг. Продолжительность растекания проникающих жидкостей для капиллярной дефектоскопии обычно составляет от десятков секунд до нескольких минут. Следовательно, растекание происходит по гидродинамическому вязкому режиму, при котором радиус пятна растекания равен:

$$r = (4\Delta\sigma \cdot m / \aleph \pi \rho \eta)^{1/4} \cdot t^{1/4}, \quad (5.6)$$

где  $r$  – радиус капли в момент времени  $t$ ;  $\Delta\sigma$  – движущая сила, отнесенная к единице длины периметра смачивания (при полном смачивании это – коэффициент растекания (2));  $\Delta\sigma = S$ ;  $m$  – масса растекающейся капли жидкости;  $\aleph$  – коэффициент, равный примерно 10, учитывающий увеличение сил трения в жидкости из-за наличия угловых компонентов скорости ее течения;  $\rho$  – плотность жидкости;  $\eta$  – вязкость жидкости.

Для испаряющейся жидкости в формуле (5.6) вместо  $m$  необходимо записать  $(m - m_{\text{и}})$ , где  $m$  – масса капли жидкости в начальный момент растекания;  $m_{\text{и}}$  – масса части жидкости, испарившейся за время растекания капли. Количество испарившейся жидкости может быть определено взвешиванием или расчетом по формуле:

$$m_{\text{и}} = a\pi \sum_{i=1}^n r_i^2 \cdot \Delta t_i, \quad (5.7)$$

где  $a$  – экспериментально определяемая удельная испаряемость жидкости (интенсивность испарения), т. е. масса жидкости, испаряющейся с единицы площади поверхности в единицу времени;  $n$  – количество измерений радиуса (диаметра, площади) пятна растекания;  $\Delta t_i$  – промежуток времени между  $i$ -м и  $(i - 1)$ -м измерениями размера пятна;  $r_i$  – радиус пятна в  $i$ -й момент измерения.

Для двух жидкостей 1 и 2, смачивающая способность которых сравнивается, с помощью формулы (5.6) можно составить соотношение:

$$\frac{r_1}{r_2} = \left( \frac{\Delta \sigma_1 m_1}{\Delta \sigma_2 m_2} \cdot \frac{\rho_2 \eta_2}{\rho_1 \eta_1} \right)^{\frac{1}{4}} \cdot \left( \frac{t_1}{t_2} \right)^{\frac{1}{4}}. \quad (5.8)$$

Возведя обе части равенства в четвертую степень и переместив отношение радиусов в правую часть равенства, а отношение  $\frac{\Delta \sigma_1}{\Delta \sigma_2} = \frac{S_1}{S_2}$  – в левую, а также введя поправку на испарение жидкости, получим:

$$\frac{S_1}{S_2} = \frac{r_1^4}{r_2^4} \frac{\rho_1 \eta_1}{\rho_2 \eta_2} \frac{m_2 - m_{2и}}{m_1 - m_{1и}} \frac{t_2}{t_1}, \quad (5.9)$$

где  $S_1, S_2$  – коэффициенты растекания жидкостей 1 и 2;  $r_1, r_2$  – радиус пятна растекания тех же жидкостей за время  $t_1, t_2$  соответственно;  $\rho_1, \rho_2$  – плотности жидкостей 1 и 2;  $\eta_1, \eta_2$  – вязкость указанных жидкостей;  $m_1, m_2$  – масса капель жидкости в начальный момент растекания, определяемая, например, по формуле  $m = \rho V$ , где  $V$  – нормированный объем капли жидкости;  $m_{1и}, m_{2и}$  – масса части капель жидкостей, испаряющейся за время  $t_1$  и  $t_2$ .

Соотношение (5.9) позволяет оценивать смачивающую способность жидкостей по размеру пятна растекания их капель с учетом влияния плотности, вязкости и испаряемости жидкостей. Каждый в отдельности из этих параметров широко используется для оценки качества жидкостей. Их определяют известными способами. Плотность жидкостей, например, находят способом гидростатического взвешивания. Вязкость жидкостей измеряют с помощью стеклянных вискозиметров (ВПЖ-2, Пинкевича), устанавливая время истечения заданного объема жидкости через калиброванный капилляр вискозиметра. Фирма Helling предлагает измеритель вязкости жидкостей в виде погружной измерительной чашки. Данная жидкость наливается в чашку и капает сквозь узкое отверстие. Мерой вязкости является число капель, которое проходит через отверстие в заданное время. Удельную испаряемость жидкостей определяют, например, взвешивая пробу испытываемой жидкости, залитой в чашку Петри известного диаметра до и после ее выдержки на воздухе при 20 °С в течение 30–60 мин, и рассчитывая массу жидкости, испарившейся за 1 мин с 1 см<sup>2</sup> площади поверхности жидкости.

## 5.2. Смачивающая способность проникающих жидкостей по отношению к конструкционным материалам

Ниже приводятся данные сравнительной оценки смачивающей способности по отношению к некоторым применяемым в машиностроении конструкционным материалам следующих проникающих жидкостей различного состава: рецептурный пенетрант ИЗ, пенетрант SKL-LO (фирмы Magnaflux), пенетрант UP-ST (Китай); жидкости: керосин, скипидар.

Жидкости испытывались на поверхностях стали, оргстекла и дюралюминия. Пластины из стали и дюралюминия предварительно были отполированы пастой ГОЭ, и все пластины обезжирены бензином.

Результаты представлены на рис. 5.5–5.8.

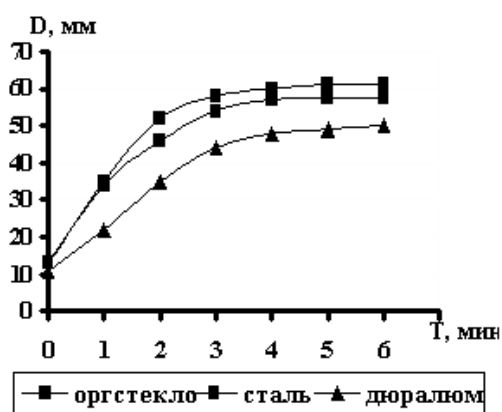


Рис. 5.5. Зависимость от времени растекаемости керосина на поверхностях оргстекла, стали и дюралюминия

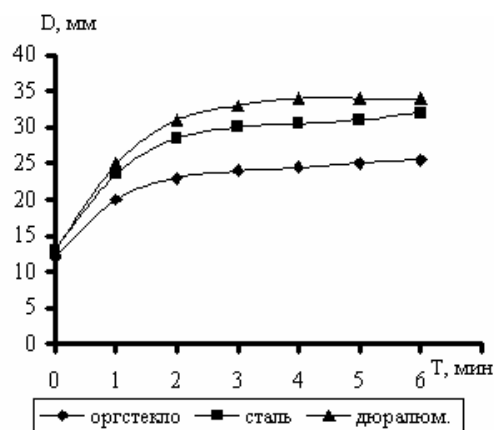


Рис. 5.6. Зависимость от времени растекаемости скипидара на поверхностях из оргстекла, стали и дюралюминия

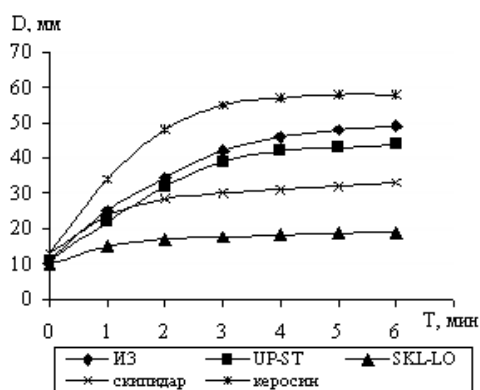


Рис. 5.7. Зависимости от времени растекания проникающих жидкостей на стальной поверхности

Наиболее характерной особенностью смачивания названных поверхностей является резкое отличие формы кривой изменения диаметра пятна в зависимости от времени. Из рис. 5.5 видно, что лучше растекается капля керосина на поверхностях из оргстекла и стали, а скипидар (рис. 5.6) – на стальной и дюралюминиевой пластинах.

Как видно из рис. 5.7, наилучшей растекаемостью обладает керосин. Индикаторная жидкость SKL-LO (фирмы Magnaflux) подвержена ощутимому влиянию летучести составов, что может приводить к неточности суждения о дефектоскопических свойствах испытуемого индикаторного материала.

На основании проделанных экспериментов можно сделать вывод о возможности определения неизвестного класса чувствительности имеющихся в распоряжении индикаторных жидкостей (пенетранта) путем сравнения их с индикаторными жидкостями известного класса чувствительности.

### 5.3. Порядок выполнения работы

1. На очищенную, обезжиренную очистителем и высушенную поверхность пластин, расположенных строго горизонтально, нанести пипеткой каплю одной из вышеуказанных жидкостей, после чего определять средний размер пятна жидкости в зависимости от времени выдержки. Первое измерение провести непосредственно после нанесения капли. Последующие измерения проводить через 15 с, 30 с, 1 мин, 2 мин, 3 мин, 4 мин, 5 мин, 6 мин.

2. Результаты измерений внести в табл. 5.1.

Таблица 5.1

*Диаметры пятен смачивающих жидкостей для различных материалов*

№ п/п	Материал	Смачивающая жидкость	Время $t$ , с	Диаметр $D$ пятна, мм

### 5.4. Содержание отчета

- цель работы;
- применяемые материалы и оборудование;
- по результатам измерений построить графики зависимостей  $D = f(t)$ ;
- ответы на контрольные вопросы;
- выводы.

## 5.5. Контрольные вопросы

1. Физический смысл смачивающей способности жидкости.
2. Что такое поверхностное натяжение жидкостей?
3. Какими физическими характеристиками должны обладать жидкости, применяемые в капиллярной дефектоскопии?
4. Перечислите способы оценки смачивающей способности жидкостей.

## 5.6. Список используемой литературы

1. Глазков Ю.А. К вопросу оценки смачивающей способности жидкостей для капиллярной дефектоскопии // Дефектоскопия. – № 11. – 1990. – С. 57–62.
2. Зимон А.Д. Адгезия жидкости и смачивание. – М.: Химия, 1974. – 414 с.
3. Боровиков А.С., Прохоренко П.П., Дежкунов Н.В. Физические основы капиллярной дефектоскопии. – Минск: Наука и техника, 1983. – 256 с.
4. Сумм Б.Д., Горюнов Ю.В. Физико-химические основы смачивания и растекания. – М.: Машиностроение, 1978. – 416 с.

## 6. Лабораторная работа

### ОЦЕНКА ПРОНИКАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ПЕНЕТРАНТОВ

#### Цель работы:

- визуализация физических процессов, происходящих при реализации технологии капиллярного контроля;
- исследование проникающей способности пенетрантов.

#### Применяемое оборудование и приборы:

- набор пластин размерами  $50 \times 24$  мм из стекла и оргстекла;
- пенетранты из наборов дефектоскопических материалов: Sherwin, Sonapen VP-600;
- очиститель;
- микрометр;
- конденсаторная бумага размером  $3 \times 3$  мм, толщиной 10, 15, 23, 33 мкм;
- х/б салфетки;
- кисть;
- линейка;
- перчатки резиновые;
- халаты х/б;
- секундомер.

#### **6.1. Контрольные образцы и эталоны чувствительности**

Качество материалов оценивают или по их отдельным свойствам, или комплексно по эффективности выявления дефектов. Оценка отдельных свойств более проста, хотя и не полностью характеризует дефектоскопические качества материалов. Комплексная оценка отражает конечные результаты контроля, т. к. позволяет оценить как проникающую способность пенетрантов, так и выявляемость дефектов. При комплексной проверке материалов одновременно исследуют свойства пенетранта, очистителя и проявителя в условиях, приближенных к условиям дефектоскопии реальных изделий.

Способность наборов дефектоскопических материалов к выявлению дефектов проверяют на контрольных образцах с поверхностными трещинами известных размеров или на разборных образцах, имитирующих трещину в месте контакта сопрягаемых частей образца. Форму, материал и технологию изготовления образцов выбирают таким обра-

зом, чтобы обеспечить стабильность размеров трещин и свойств материала в течение установленного срока их службы, а также стойкость образцов против коррозии при воздействии дефектоскопических материалов. Образцы должны иметь чистую поверхность, полости трещин также должны быть свободны от загрязнений.

Однако контрольные образцы имеют некоторые недостатки:

- не позволяют визуализировать физические процессы, происходящие при реализации технологии капиллярного контроля;
- затруднительность очистки полостей дефектов от индикаторных жидкостей.

Учитывая недостатки контрольных образцов и метода оценки индикаторных жидкостей по их смачивающей способности по отношению к заданным материалам (в связи с различной летучестью их жидкой основы), представлялось правильным изучение характерных для них особенностей заполнения капиллярных микрополостей. Такие полости ликвидируют возможность свободного испарения летучих составляющих.

Эталонирование чувствительности методов осуществляется на эталонах чувствительности с естественными или искусственными дефектами. Натурные образцы, используемые в качестве эталонов, имеют главным образом трещины шлифовочного, термического, усталостного или хрупкого происхождения. Более удобными являются разборные эталоны, имитирующие трещины, имеющие различные раскрытия и протяженности (рис. 6.1), т. е. в имитаторах трещину заменяют зазором.

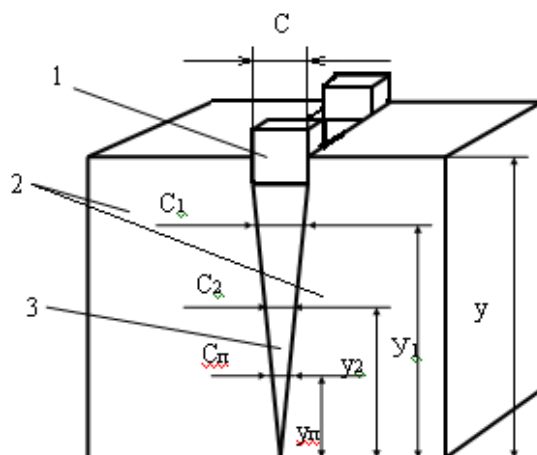


Рис. 6.1. Схема приспособления для получения клиновидной щели

Применяют плоскокольцевые, цилиндрические и плоские разборные эталоны. Преимущество эталонов чувствительности состоит в том, что они могут быть многократно использованы и позволяют визуализировать процесс проникновения пенетранта.



Допускается чувствительность определять с использованием контрольного образца, приведенного на рис. 6.2. При этом чувствительность подсчитывается по формуле:

$$k = l_1 \times S/l, \quad (6.1)$$

где  $l_1$  – длина невыявленной зоны, мм;  $l$  – длина клина, мм;  $S$  – толщина щупа, мм.

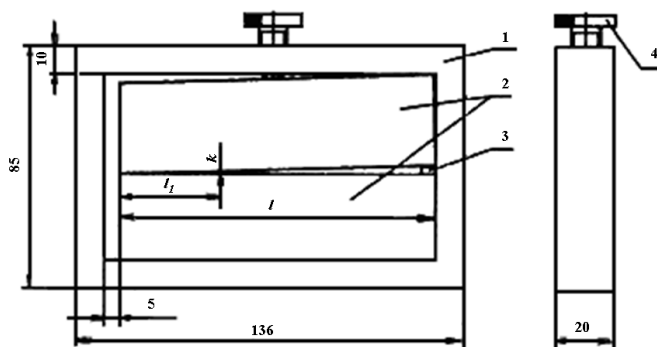


Рис. 6.2. Контрольные образцы для проверки чувствительности дефектоскопических материалов:

1 – рамка; 2 – эталонные пластины (2 шт.); 3 – щуп (ГОСТ 882); 4 – винт

Контрольный образец с искусственным дефектом (рис. 6.3) представляет собой рамку из коррозионно-стойкой стали аустенитного класса с закрепленными в ней двумя эталонными пластинами (длина 110 мм, ширина 30 мм, толщина 20 мм) и щупом. Шероховатость ( $R_a$ ) контактных поверхностей пластин, притертых друг к другу, между которыми выявляется щуп, должна быть не более 0,32 мкм по ГОСТ 2789. Шероховатость остальных поверхностей должна быть не более 6,3 мкм. Клиновидная трещина между эталонными пластинами создается с помощью щупа соответствующей толщины (в зависимости от класса чувствительности).

В тех случаях, когда чувствительность контроля ниже заданной, контролируемая партия дефектоскопических материалов к использованию не допускается.

## 6.2. Имитаторы дефектов

Имитаторы дефектов применяются в настоящее время в основном при создании новых дефектоскопических материалов для исследовательских целей, таких как изучение смачивающей способности пенетранта по отношению к конкретному конструкционному материалу, проверка технологической эффективности и отработка технологических приемов использования новых материалов и т. д., а также для количественных оценок (глубина проникновения и т. п.).

С одной стороны, на имитаторе дефектов легко повторить эксперимент, так как многие имитаторы являются разборными и материалы легко полностью удалить, с другой стороны, моделируемые имитаторами дефекты далеки от реальных, и поэтому поведение пенетранта можно проследить лишь с некоторым приближением. Последний фактор привел к тому, что на практике в настоящее время используют в основном тест-объекты с максимально приближенными к натурным дефектами, такие, например, как никель-хромовые компараторы или мониторы пенетрантных систем типа PSM-5.

Для количественного анализа и сравнения заполнения индикаторными жидкостями капиллярных щелей в СССР А.С. Боровиковым применялся имитатор капиллярной щели, как показано на рис. 6.3. На нем исследовалось распространение фронта жидкости вдоль глубины полости.

Изучалась также связь заполняемости капиллярных полостей с величиной поперечного размера индикаторной полосы, либо определялась геометрическая составляющая коэффициента чувствительности капиллярных методов дефектоскопии в статических условиях при воздействии вакуума и ультразвука.

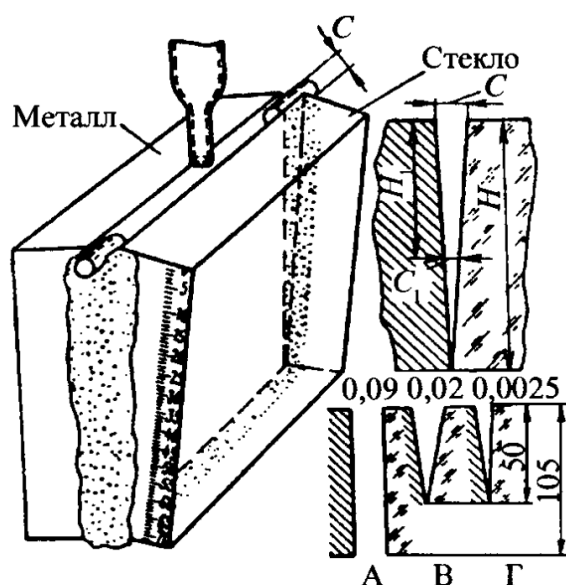


Рис. 6.3. Схема приспособления для получения клиновидной щели

Имитатор состоял из закрепленных под углом друг к другу металлической и стеклянной пластин. На торце стеклянной пластины были нанесены деления.

Изготавливают плоскокольцевые, цилиндрические и плоские разборные эталоны.



Возможно использование плиток Иогансона в качестве элементов для имитации капиллярных несплошностей (рис. 6.6).



Рис. 6.6. Общий вид имитатора несплошностей, собранного из плиток Иогансона

На рис. 6.7 показана конструкция разборного имитатора несплошности из двух плиток Иогансона размером 20–25 мм, шлифованных с одной из сторон плоскостей (со стороны, обращенной к наблюдателю) для полного снятия скругленных кромок. Направление шлифовочных рисок должно совпадать с направлением разъема.

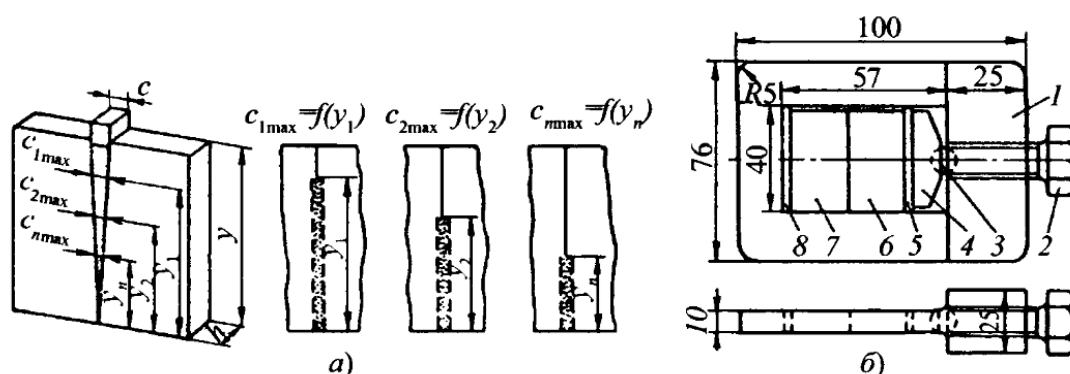


Рис. 6.7. Разборный имитатор несплошностей с плоской капиллярной полостью:

- а – схема сравнительного определения предела чувствительности;
- б – схема зажима: 1 – трубочина; 2 – болт; 3 – шаровая пята; 4 – башмак зажима; 5, 8 – прокладки; 6, 7 – плитки Иогансона

Подготовка эталона состоит в тщательной промывке эталонных плиток, заземлении листка фольги толщиной 0,1–0,005 мм и сжатии их в трубочине винтом. Особое внимание следует обращать на то, чтобы шлифованные поверхности плиток лежали в одной плоскости и линия стыка не была слишком заметной.

В описанном выше виде эталон используется для имитации сквозных трещин. Для имитации тупиковых трещин стыки плиток (кроме лицевого, шлифованного) промазываются клеем типа БФ и просушиваются по соответствующей технологии склеивания.

На рис. 6.8 показана схема сравнительного определения верхнего предела чувствительности с помощью описанного разборного эталона, где  $C_{1 \max}$ ,  $C_{2 \max}$ ,  $C_{n \max}$  – нижние пределы чувствительности (предельно большие раскрытия дефектов), соответствующие длинам индикаторных полос  $y_1$ ,  $y_2$ , ...,  $y_n$  и определяемые из соотношения:

$$C/y = C_n/y_n. \quad (6.2)$$

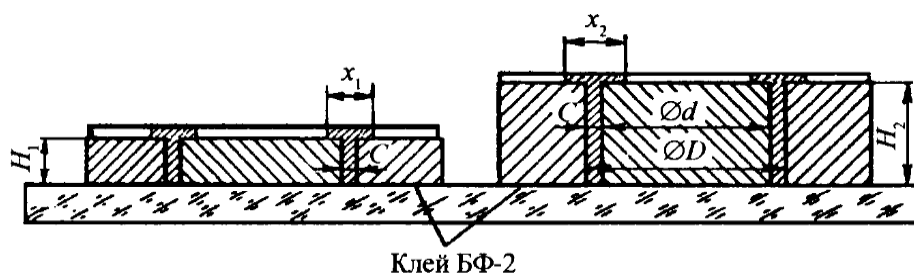


Рис. 6.8. Схема и общий вид цилиндрических эталонов с кольцевой щелью:  
 $C = 2-3$  мкм и  $H = 0,5-8$  мм

Нижний предел чувствительности определяется аналогичным образом.

Чувствительность, установленная с помощью разборного эталона, является относительной, что объясняется «идеальным» строением стенок капиллярной полости по сравнению с реальным дефектом.

В целях изучения влияния глубины капиллярной полости на ее индикацию применяются цилиндрические разборные имитаторы (рис. 6.8) несплошностей, создающие замкнутую кольцевую полость, что исключает специфическое влияние на индикаторный след эффекта концов трещины.

В качестве имитаторов несплошностей естественного происхождения и размеров применяют образцы типа усталостных.

Так, использовался цилиндрический образец с весьма незначительной конусностью и рядом диаметральных сверлений различного размера и с переменным шагом (рис. 6.9). На нем путем циклического нагружения удавалось получить большое количество усталостных трещин протяженностью от 11 до 0,2 мм.

Неудобство образца со сверлениями состоит в затруднительности очистки полостей отверстий от индикаторных жидкостей.

Удобнее пользоваться набором плоских образцов из соответствующего неферромагнитного сплава (например, никелевого), подвергшихся знакопеременному виброн нагружению при напряжениях, несколько превышающих предел усталости. Ряд таких образцов подвергается нагружению различным числом циклов с тем, чтобы иметь на каждом образце различную поврежденность трещинами вплоть до разрушения.

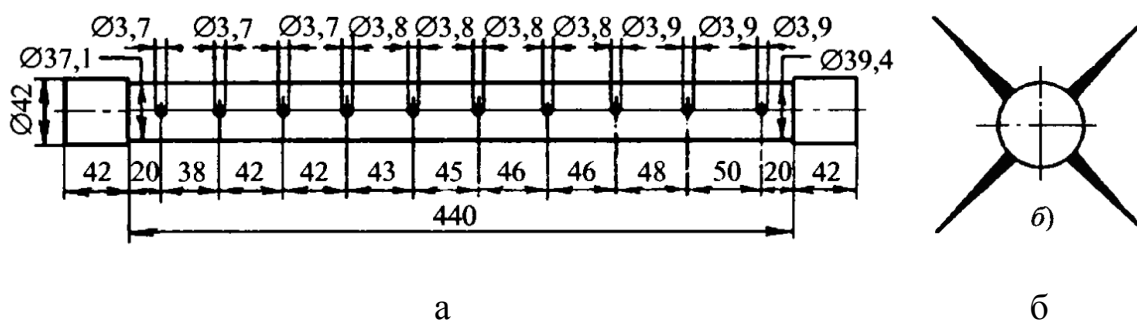


Рис. 6.9. Усталостный образец, применявшийся в качестве эталона чувствительности:  
 а – форма и размеры образца;  
 б – характер расположения трещин у отверстий в образце

Количество и относительная контрастность выявленных трещин на образцах, имеющих различную степень поврежденности, служит мерой чувствительности не только статистически, но и по размерам протяженности и раскрытия несплошностей. Для измерения раскрытия и протяженности несплошностей образцы полируют и рассматривают как плоские шлифы под микроскопом.

Использование наборов из плоских образцов целесообразно не только в капиллярной дефектоскопии, на таких образцах могут быть сопоставлены предельные чувствительности различных методов дефектоскопии: капиллярных, вихретоковых, ультразвуковых (поверхностные волны), рентгеновских и др.

В качестве имитаторов искусственных закалочных трещин фирмой «Magnaflux» предложено использовать образец из алюминиевого сплава размером  $50 \times 75 \times 3,2$  мм. Образец нагревают газовой горелкой в центральной части до  $510^\circ\text{C}$  и затем быстро охлаждают в воде, что ведет к образованию закалочных трещин.

С.И. Калашниковым предложено изготавливать имитаторы искусственных шлифовочных трещин из стали У10 (У12) в виде стержней диаметром 25 мм и длиной до 250 мм. Образцы закалывают до возможно большей твердости и шлифуют до диаметра 24 мм. На их поверхности наносят электролитический хром толщиной 0,3–0,4 мм, а затем засаленным твердым шлифовальным кругом шлифуют без охлаж-

дения (поперечная подача не менее 0,03 мм на один двойной ход, продольная – не менее 20 мм на один оборот образца).

Особый интерес представляет имитатор трещин, получаемых в слое хрупкого электролитического железа, нанесенного на пластичную основу, или в азотированном слое. Регулируя толщину хрупкого покрытия и деформацию основы, можно легко получить сетку трещин заданных глубины и раскрытия. Ферромагнитные свойства таких имитаторов позволяют использовать их также и для оценки чувствительности порошкового магнитного метода.

Ширина раскрытия полости может тарировано меняться в плоском и плоскокольцевом эталонах. Основное назначение цилиндрического эталона – изучение зависимости размеров индикаторных полос от глубины полости при неизменной ширине. Плоскокольцевой эталон в основном предназначен для исследования капиллярных полостей, совершенно незаметных невооруженным глазом. Эталон благодаря своей форме легко заполировывается, а в случае нужды и перешлифовывается. Плоский эталон, будучи собран из плоскопараллельных концевых мер, имеет «идеальные» рабочие поверхности и при выбранной конструкции позволяет полностью ликвидировать зазор в полости капилляра либо создать клиновидную щель заданных размеров при одностороннем расклинивании тонкой фольгой.

### 6.3. Порядок выполнения работы

6.3.1. Очистителем обезжирить поверхность пластинок.

6.3.2. Имитировать ширину раскрытия дефекта с помощью конденсаторной бумаги толщиной 10, 15, 23, 33 мкм, расположив их по верхним краям пластинки.

6.3.3. Установить пластинки строго вертикально и зажать их вместе с миллиметровой бумагой (рис. 6.10) микрометром, реализуя одинаковость зажимающего усилия с помощью трещотки до первого щелчка.

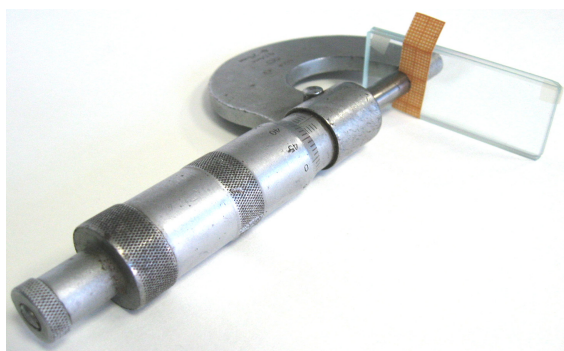


Рис. 6.10. Устройство для выполнения лабораторной работы

6.3.4. Кистью нанести пенетрант на среднюю часть раскрытия трещины и снять зависимость глубины его проникновения от времени  $y = f(t)$ .

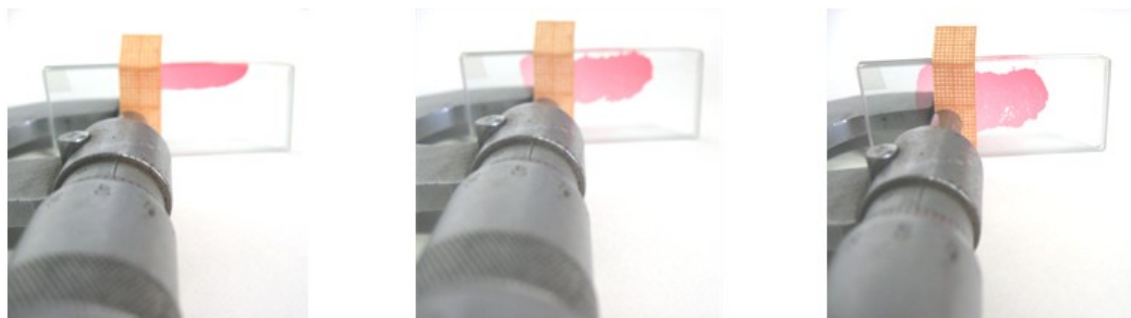


Рис. 6.11. Процесс проникновения пенетранта

Результаты измерений занести в табл. 6.1.

Таблица 6.1

Время $t$ , с	5	10	15	20	25	30	40	45	50
Глубина проникновения пенетранта $y$ , мм									

6.3.5. Снять зависимость глубины проникновения ( $y$ ) пенетранта SHERWIN от времени пропитки ( $T$ ) при различной ширине раскрытия трещины ( $c$ ) для стекла.

6.3.6. Снять зависимость глубины проникновения ( $y$ ) пенетранта SONAPEN VP-600 от времени пропитки ( $T$ ) при различной ширине раскрытия трещины ( $c$ ) для стекла.

6.3.7. Снять зависимость глубины проникновения ( $y$ ) пенетранта SHERWIN от времени пропитки ( $T$ ) при различной ширине раскрытия трещины ( $c$ ) для оргстекла ( $R_a = 0,16$  мкм;  $R_z = 0,33$  мкм).

6.3.8. Снять зависимость глубины проникновения ( $y$ ) пенетранта SHERWIN от времени пропитки ( $T$ ) при различной ширине раскрытия трещины ( $c$ ) для оргстекла с шероховатостью поверхности ( $R_a = 0,5$  мкм;  $R_z = 2,5$  мкм).

#### 6.4. Содержание отчета

- цель работы;
- применяемые материалы и оборудование;
- по результатам измерений построить графики зависимостей  $y = f(t)$  и сделать выводы;
- ответы на контрольные вопросы;
- выводы.



## 6.5. Контрольные вопросы

1. Каков физический смысл чувствительности?
2. Назовите известные Вам дефектоскопические материалы для капиллярной дефектоскопии и их краткую характеристику.
3. В чем недостаток метода оценки индикаторных жидкостей по их смачивающей способности?
4. Почему для определения чувствительности методов капиллярной дефектоскопии предпочтительнее использовать эталоны чувствительности?

## 6.6. Список используемой литературы

1. Неразрушающий контроль: справочник: в 8 т. / под общ. ред. В.В. Клюева. Т. 4: В 3 кн. Кн. 3: М.В. Филинов. Капиллярный контроль. – 2-е изд., испр. – М.: Машиностроение, 2006. – 736 с.
2. Карякин А.В., Боровиков А.С. Люминесцентная и цветная дефектоскопия. – М.: Машиностроение, 1972. – 240 с.
3. Капиллярный контроль: учебное пособие для подготовки специалистов I, II и III уровня / Н.П. Калиниченко, А.Н. Калиниченко. – Томск: Изд-во ТПУ, 2008. – 292 с.
4. Инструкция по контролю сварочных материалов и материалов для дефектоскопии (РД 34.10.125–94). – М.: АООТ «Энергомонтажпроект», 1994. – 48 с.
5. ГОСТ 18442–80. Контроль неразрушающий. Капиллярные методы. Общие требования. – М.: Изд-во стандартов, 1987. – 24 с.

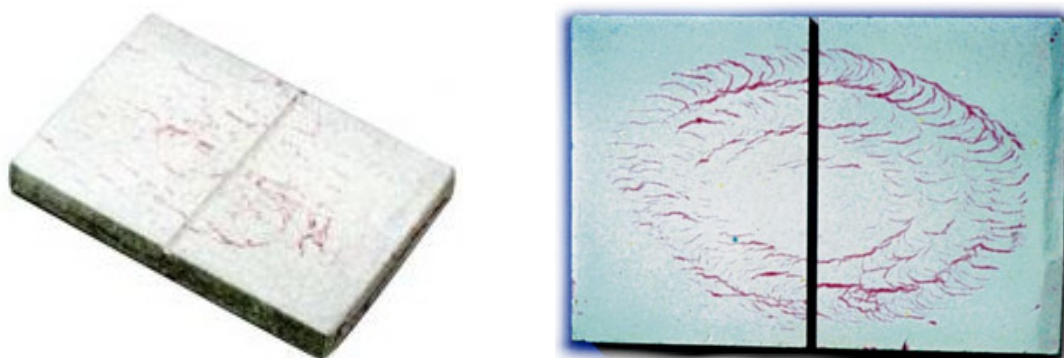
## 7. Лабораторная работа

### СРАВНЕНИЕ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ДЕФЕКТОСКОПИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

Цель работы: сравнение абсолютной чувствительности двух наборов дефектоскопических материалов.

Применяемое оборудование и приборы:

- наборы дефектоскопических материалов разных фирм-производителей, чувствительность которых необходимо сравнить;
- набор тест-панелей по JIS Z 2343;
- тест-объект по ASME V (рис. 7.1.);
- тест-панели по JIS Z 2343 показаны на рис. 7.2.



*Рис. 7.1. Тест-объект по ASME V*



*Рис. 7.2. Никель-хромовые тест-панели по JIS Z 2343  
(на крышке футляра видна эталонная фотография)*

Существует несколько способов проверки чувствительности, работоспособности дефектоскопических материалов:

- 1) с помощью контрольных образцов, в качестве которых могут применяться:
  - забракованные детали с мелкими трещинами;
  - специально изготовленные блоки, пластины, диски и т. д.;
  - плоские азотированные образцы из жаропрочной стали в виде пластин с поперечными трещинами, при этом трещины получают путем деформации образца;
- 2) применяют образцы:
  - из аустенитной хромоникелевой стали со звездообразными трещинами в хромовом покрытии;
  - латунные образцы с поперечными трещинами в слое никель-хромового покрытия;
  - со шлифовочными трещинами.

### 7.1. Тест-объекты

Тест-объект по ASME V, показанный на рис. 1, предназначен для контроля индикаторной способности пенетранта и сравнения двух пенетрантов, один из которых может быть принят за образец, в соответствии с ASME V, Статья 6, T-647.2.

Тест-объект представляет собой дюралевую пластинку  $50 \times 80$  мм. Посередине пластинка имеет канавку, сделанную фрезой. Наличие канавки позволяет оценивать не только способность дефектоскопических наборов к обнаружению дефектов, но и сравнивать разные наборы. Если экраном по канавке разделить образец на две части и каждую из них независимо обрабатывать разными дефектоскопическими наборами, то после проявления хорошо видно, какой из наборов лучше.

Существуют также модификации тест-объекта по ASME V с полностью разделенными пластинами.

Ценной особенностью тест-блока ASME V является наличие дефектов с малым раскрытием, но большой внутренней полостью, обладающих сильным капиллярным эффектом и забирающих большой объем пенетранта. Такие дефекты, часто встречающиеся на реальных изделиях, отсутствуют практически на всех российских и зарубежных тест-объектах, так что оценить поведение пенетранта не на обычной трещине, а на сложном дефекте с малым устьем и большим внутренним объемом практически можно только на блоке по ASME V.

Тест-блок по ASME V комплектуется эталонной фотографией.

Трещины наносят на обе стороны пластин: на одну сторону более грубые, на другую – более тонкие.

Этот тест-объект в течение длительного времени является самым распространенным в странах, использующих стандарт ASTM. Он сравнительно недорогой, около 40 долларов США (хромоникелевые образцы стоят 600–900 долларов США).

Обычно образец пригоден к использованию не более 15–20 раз, после чего трещины засоряются остатками дефектоскопических материалов, поэтому их рекомендуется чистить разными способами не позже чем через час после контроля. Например, образец промывают и выдерживают в течение 12 ч в ванне с обезвоженной легколетучей жидкостью (бензином или ацетоном), а затем сушат на воздухе или в сушильном шкафу. После длительного применения, помимо выдержки в растворителе, образцы периодически промывают в активном растворителе с применением ультразвука.

Если контрольный образец после очистки не соответствует паспортным данным, его следует заменить новым.

## 7.2. Компараторы

Данный класс тест-объектов предназначен для сравнения абсолютной чувствительности двух пенетрантных систем. Типичным представителем данного класса объектов является пара панелей по JIS Z 2343.

Компаратор представляет собой бронзовую пластину  $100 \times 70 \times 2$  мм с нанесенным никель-хромовым покрытием заданной толщины, на котором затем создают параллельные трещины путем приложения растягивающего усилия в направлении, перпендикулярном предполагаемому направлению трещин.

Бронзовая пластина более пластична по сравнению со слоем покрытия, и поэтому созданные трещины ограничиваются поверхностью бронзовой пластины. Таким образом, глубина трещин определяется толщиной слоя покрытия.

После создания трещин производится разрезание пластины симметрично пополам в направлении, перпендикулярном направлению трещин, и таким образом создается комплект из двух тест-панелей, обладающих очень высоким подобием.

Данное преимущество делает компаратор эффективным средством сравнения рабочих характеристик различных средств капиллярного контроля, слежения за «износом» пенетранта на линиях контроля.

Выпускаются четыре вида компараторов с глубиной трещин 50, 30, 20 и 10 мкм, при этом десятимикронные панели используются для контроля характеристик высокочувствительных пенетрантов, пятидесятимикронные соответственно для испытаний пенетрантов низкой чувствительности (т. н. технологического класса).

Допуск толщины покрытия – 10 %. Раскрытие трещины в среднем составляет 5 % от толщины покрытия.

**Метод использования.** Испытуемый пенетрант наносится на одну пластину, а пенетрант, принятый за образец, – на другую, в соответствии со стандартными методиками использования каждого из них.

При наличии в пенетрантной системе семейства взаимозаменяемых очистителей, проявителей и эмульгаторов процесс необходимо повторить для каждого из них, постоянно сравнивая полученную картину дефектов с полученной на другой пластине с помощью образцовой пенетрантной системы.

При работе с никель-хромовыми компараторами необходимо соблюдать следующие правила:

- запрещается подвергать их воздействию температур выше 100 °С в течение продолжительного периода времени;
- запрещается подвергать поверхность покрытия (рабочую поверхность панелей) ударным механическим воздействиям, в том числе вследствие падения;
- запрещается прикладывать к тест-панелям механические усилия на изгиб и растяжение;
- никогда не следует прикасаться руками к рабочей поверхности панелей, особенно если на ней присутствует проявитель. При касании рабочей поверхности панели удалите жировые отпечатки очистителем;
- панель следует удерживать только за края кончиками пальцев;
- панель допускается хранить только в полностью очищенном состоянии.

**Очистка компараторов.** По окончании работы тест-панели необходимо немедленно очистить от остатков дефектоскопических материалов; в противном случае дефекты засоряются и тест-объект может быть выведен из строя. Стандартная процедура очистки тест-панелей включает следующие шаги:

1. Погружают панели в 2–3 % раствор моющего средства и затем протирают мягкой тканью или проводят кистью вдоль трещин для удаления остатков дефектоскопических материалов.
2. Споласкивают панели водой.

3. Полностью высушивают панели феном или в печи при температуре не выше 70 °С.
4. После охлаждения панелей до комнатной температуры погружают панели в заранее подготовленный ацетон на 10 мин. На этом этапе очень эффективна ультразвуковая очистка, если она невозможна, панели легко взбалтывают в ацетоне.
5. Извлекают панели из ацетона и затем высушивают при нормальной температуре или повторяют действия шага 3.
6. Охлаждают панели до комнатной температуры и подвергают пароструйной очистке в корзине из нержавеющей стали (5–10 мин). По окончании этого шага панели готовы к дальнейшему использованию.
7. Снова охлаждают панели до комнатной температуры, и (если использовался люминесцентный пенетрант) панель помещают под источник ультрафиолетового излучения, используемый при стандартной процедуре контроля, и убеждаются в отсутствии остаточной флуоресценции как от поверхности, так и из трещин. Если использовался контрастный пенетрант, наносят слой сорбционного проявителя и убеждаются в отсутствии следов. Если наблюдаются следы, повторяют шаги 4–6. Проявитель удаляется водой или штатным очистителем.

При исчезновении на панели части рисунка с течением времени или огрублении индикаций вследствие накопления в трещинах остатков дефектоскопических материалов, панель подвергают глубокой или полной очистке.

Полная очистка тест-панелей компаратора включает следующие шаги:

1. Подготавливают два контейнера соответствующей емкости. В случае применения красочных проявителей наполняют первый контейнер ацетоном, а в случае применения обычного сорбционного (сухого или суспензионного) проявителя – спиртом или штатным очистителем пенетрантной системы; другой контейнер заливают водой с небольшим количеством эмульгатора или нейтрального моющего средства.
2. Помещают тест-панель с проявителем на поверхности в первый контейнер на период около 10 мин.
3. Тест-панель извлекают из контейнера и затем быстро промывают ее проточной водой, чтобы ацетон, спирт или штатный очиститель не успели испариться или разойтись. На этом шаге обычный проявитель может быть смыт просто водой под напором.

4. Затем панель помещают в эмульгатор, подготовленный во втором контейнере, и оставляют также на период около 10 мин.
5. Панель извлекают из контейнера и промывают ее проточной водой под повышенным давлением или под душем. На этом шаге проявитель с остатками пенетранта в основном удаляется. Однако, если на панели еще заметны следы дефектоскопических материалов, осторожно удаляют их полностью тонкой качественной кистью с мягким концом под струей воды или под душем. При этом допускается движение кисти только в направлении трещин и никогда – в перпендикулярном направлении.
6. На следующем шаге панель осторожно промокают промокающей бумагой или мягкой безворсной салфеткой и затем полностью высушивают струей разогретого воздуха (например, из бытовой фена) при температуре не выше 70 °С.
7. После высушивания панель охлаждают до комнатной температуры. Затем панель подвергают пароструйному обезжириванию или погружают в трихлорэтан. При отсутствии оборудования для пароструйной очистки используют ультразвуковую ванну с трихлорэтаном.
8. Панель извлекают из оборудования для очистки и, при использовании методики с трихлорэтаном, дают растворителю испариться, распределяя его по поверхности. При использовании флуоресцентным пенетрантом панель помещают под источник ультрафиолетового излучения, используемый при стандартной процедуре контроля, и убеждаются в отсутствии остаточной флуоресценции как от поверхности, так и из трещин. Если применялся контрастный пенетрант, наносят слой сорбционного проявителя и убеждаются в отсутствии следов. В противном случае повторяют шаг 7. Проявитель удаляется водой или штатным очистителем. После шага 8 панель готова к последующему использованию.
9. По окончании всего процесса полной очистки панель помещают в штатный футляр и хранят в сухих условиях.

### **7.3. Порядок выполнения работы**

7.3.1. Подготовить компаратор (тест-объект по ASME V) к работе (компаратор должен быть очищен, обезжирен и высушен вышерассмотренным образом).

7.3.2. Нанести в соответствии со стандартными методиками (на одну половину тест-объекта по ASME V) испытываемый набор дефектоскопических материалов (например, Spotcheck), соответственно на другую – набор, принятый за образец, например, Sherwin).

7.3.3. Сравнить между собой, после проявления, полученные результаты (какой из наборов выглядит лучше).

7.3.4. По окончании работы тест-панели необходимо немедленно очистить от остатков по стандартным процедурам.

## 7.4. Содержание отчета

- цель работы;
- применяемые материалы и оборудование;
- документированные материалы;
- ответы на контрольные вопросы;
- выводы.

## 7.5. Контрольные вопросы

1. Что такое пенетрант?
2. Пояснить термины «чувствительность дефектоскопических материалов», «работоспособность дефектоскопических материалов».
3. Назовите разновидности контрольных образцов, применяемых для проверки работоспособности дефектоскопических материалов.
4. Что такое контрольный образец?
5. Кто должен оценивать пригодность контрольных образцов к применению и почему?

## 7.6. Список используемой литературы

1. Неразрушающий контроль: справочник: в 8 т. / под общ. ред. В.В. Клюева. Т. 4: В 3 кн. Кн. 3: М.В. Филинов. Капиллярный контроль. – 2-е изд., испр. – М.: Машиностроение, 2006. – 736 с.
2. Глазков Ю.А. Капиллярный контроль: учебное пособие / под общ. ред. В.В. Клюева. – М.: Издательский дом «Спектр», 2011. – 144 с.
3. Капиллярный контроль: учебное пособие для подготовки специалистов I, II и III уровня / Н.П. Калиниченко, А.Н. Калиниченко. – Томск: Изд-во ТПУ, 2008. – 292 с.
4. Test- und Kontrollkörper [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.helling-ndt.de/eindringpruefung> (дата обращения: 25.04.2013).



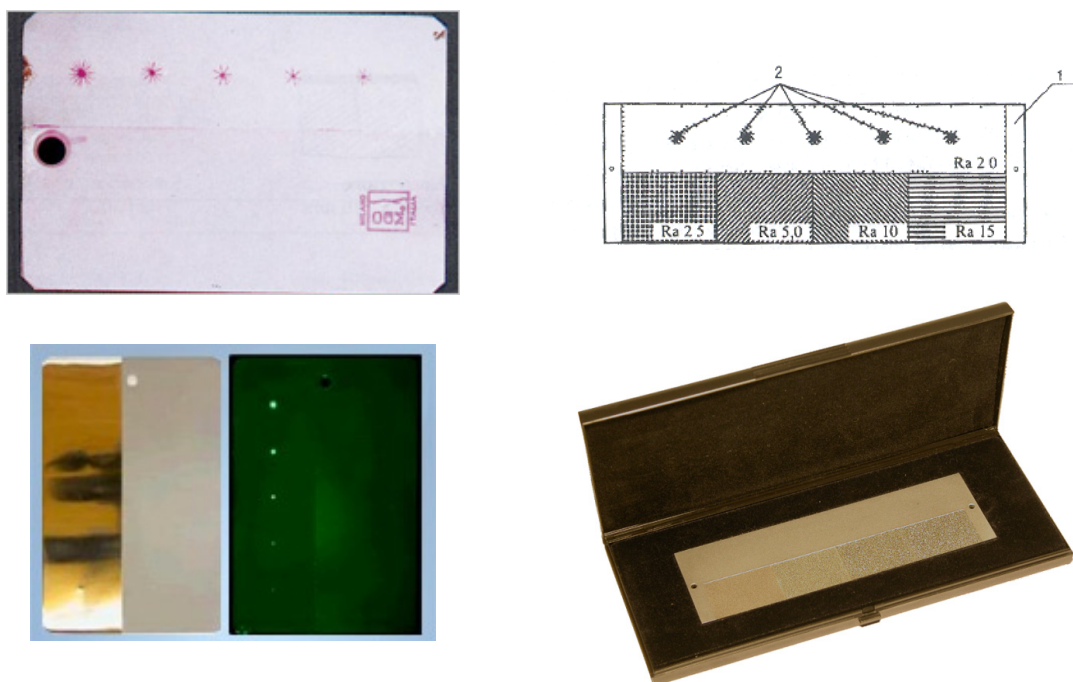
## 8. Лабораторная работа

### МОНИТОРЫ ПРОЦЕССА КАПИЛЛЯРНОЙ ДЕФЕКТΟΣКОПИИ

Цель работы: проанализировать работоспособность набора дефектоскопических материалов и правильность выполнения всего процесса капиллярной дефектоскопии изделий в целом.

Применяемое оборудование и приборы:

- набор дефектоскопических материалов;
- тест-панель PSM-5 (рис. 8.1).



*Рис. 8.1. Тест-панель PSM-5 с гладким (левая панель) и шероховатым (правая панель) полями дефектов*

#### 8.1. Мониторы процесса капиллярной дефектоскопии

Мониторы процесса капиллярной дефектоскопии, типичным представителем которых является тест-объект PSM-5, предназначены для слежения за качеством дефектоскопических материалов и правильностью выполнения всего процесса капиллярной дефектоскопии изделий.

Мониторы, как правило, используются на автоматических линиях контроля и пропускаются через весь процесс так же, как и обычные изделия.

## 8.2. Описание монитора пенетрантной дефектоскопии PSM-5

Тест-панель PSM-5 служит для контроля степени смывания флуоресцентного пенетранта. Панель состоит из пластины на аустенитной основе (X2CrNiMo12-12-3), рабочая сторона которой хромирована и имеет четыре ступени шероховатости. Пять звездообразных эталонов трещин, изготовленных методом давления, находятся на рабочей стороне тест-панели. Для контроля степени смывания флуоресцентного пенетранта используются четыре сегмента ( $25 \times 3$  мм) с различной степенью шероховатости – 2,5, 5, 10 и 15 мкм – и расположенные над ними пять звездообразных трещин. Оптимальное время удаления (очистки) избытков пенетранта устанавливается индивидуально пользователем с помощью данной тест-панели.

Тест-панель PSM-5 используется для контроля капиллярного процесса в целом. Изготавливается из нержавеющей стали, толщина 2,3 мм, размер  $100 \times 150$  мм. С рабочей стороны тест-панель хромирована и имеет пять звездообразных дефектов. Размеры дефектов располагаются по мере их возрастания. При капиллярном контроле они проявляются в виде звездообразных индикаций. Самый большой дефект становится видимым после обработки низкочувствительным пенетрантом. Самый маленький дефект трудно увидеть даже при использовании высокочувствительных пенетрантов. Самая маленькая трещина проявляется скорее как одна или две линии, чем солнцеобразная индикация или «звезда». Не существует двух идентичных панелей. Рисунок дефектов варьируется от панели к панели. Тест-панель выполняется в двух версиях. Обе версии изготовлены в соответствии со спецификацией Pratt-Whitney P/N TAM 146040. Панель не должна использоваться для определения чувствительности.

Смежная с хромированной полоса – это область «средней шероховатости», покрытая оксидной крошкой.

Серийный номер расположен на обратной стороне панели.

PSM-5 демонстрирует, что все элементы системы (как расходные материалы, так и оборудование) – очиститель, пенетрант, эмульгатор и проявитель – работают правильно, правильно выдерживаются все временные интервалы и т. д. Этот инструмент обращает внимание контролера на значительные изменения в рабочих параметрах системы.

Тест-панель PSM-5 не заменяет периодические поверки компонент на чувствительность, флуоресцентных пенетрантов – на яркость свечения, загрязнение водой и другими компонентами. Постепенное медленное изменение в качестве работы всей системы контроля не будет замечено при использовании этой панели.

Для проверки каждой пенетрантной системы используют разные панели.

Назначение панели PSM-5 состоит в том, чтобы вовремя сигнализировать о падении качества системы капиллярного контроля, понимаемой как совокупность материалов, оборудования и процедур контроля. Это не панель для проверки чувствительности. PSM-5 не заменяет никель-хромовые панели.

Тест-панель PSM-5 сигнализирует о следующих нарушениях в системе капиллярного контроля:

- состава пенетранта (по степени загрязнения);
- состава эмульгатора (по степени загрязнения);
- гидрофильного эмульгатора – слишком мало или слишком много воды.

А также в случае:

- неправильной концентрации проявителя;
- нарушения режима и времени контакта поверхности с пенетрантом;
- неправильного времени выдержки эмульгатора;
- неправильного времени выдержки проявителя;
- нарушения давления и температуры воды при смыве, времени нахождения под промывкой;
- если температура и время выдержки в сушилке – занижены или завышены.

**Обслуживание и хранение тест-панели PSM-5.** После проведения контроля панель немедленно очищают очистителями, осторожными движениями, с помощью мягкой чистой безворсовой ткани.

После пост-очистки панель высушивают, так как остатки растворителя или воды препятствуют проникновению пенетранта внутрь трещины при последующем использовании.

Наилучшим способом хранения панели является погружение ее в органический очиститель, предпочтительно спирт (возможен ацетон). Однако, после извлечения панели для использования, необходимо предусмотреть достаточное время для испарения очистителя из капилляров.

При невозможности организации хранения тест-панели, как описано выше, тест-панель необходимо после тестов поместить в очиститель на некоторое время (0,5–1 ч), затем высушить ее и нанести проявитель, дать проявителю высохнуть в течение 10 мин, после этого удалить проявитель очистителем или водой, высушить тест-панель и хранить завернутой в мягкую ткань (байка, бархат) в жесткой таре.

При загрязнении звездообразных трещин остатками пенетранта в результате недостаточной очистки после тестов, панель следует подвергнуть пароструйной очистке или очистке в ультразвуковой ванне, заполненной очистителем.

При невозможности проведения такого рода очистки, тест-панель следует полностью погружать в очиститель на 10–15 мин.

Сушить панель следует промоканием или сушкой в печи.

Панель следует тщательно предохранять от механических повреждений (царапин и т. п.).

### 8.3. Порядок выполнения работы

8.3.1. Визуальным осмотром убедиться в отсутствии остатков следов пенетранта, проявителя, иных следов и загрязнений.

8.3.2. Пропускают тест-панель через всю последовательность процедур контроля как обычное изделие минимум два раза. По прохождении всех процедур контроля анализируются как индикации звездообразных трещин, так и состояние поля шероховатости, при этом интерпретация полученных результатов дается следующим образом:

- основное заключение о работоспособности и стабильности целой системы, а также каких-либо ее компонентов по различию в индикациях панели от теста к тесту;
- число выявленных звездообразных трещин свидетельствует о работоспособности системы контроля;
- в случае плохого проявления (из-за нарушения технологии проявления или нестандартного качества проявителя) у звездообразных сеток трещин проявятся в основном центры; люминесцентный пенетрант будет иметь пониженную яркость, а контрастный – бледные индикации;
- разводы, пятна на поле шероховатости свидетельствуют о недостаточном удалении излишков пенетранта и повышенной вязкости пенетранта.

При контроле люминесцентными пенетрантами панель удерживают под таким углом, чтобы ультрафиолетовые лучи не отражались от хромированной полосы прямо в глаза оператора, в противном случае возможен пропуск слабо флуоресцирующих индикаций.

Минимальное время проявления панели, в отличие от обычных изделий, 10 мин (для проявления наименьших индикаций).

8.3.3. Оценка работоспособности системы капиллярного контроля производится по звездообразным индикациям следующим образом: наибольшая концентрическая сетка трещин имеет диаметр 6,4 мм; затем 4,0; 2,4; 1,6 мм; и, наконец, наименьшая концентрическая сетка трещин имеет диаметр менее 1 мм.

**Сверхвысококчувствительные** флуоресцентные пенетранты должны показывать все 5 индикаций, если система работает правильно.

**Высококчувствительные** флуоресцентные и контрастные пенетранты показывают 4 дефекта и иногда (но не обязательно) наименьший 5-й.

**Среднечувствительные** флуоресцентные и контрастные пенетранты должны обнаруживать 3 самых больших дефекта и иногда 4-й.

Пенетрантные системы средней чувствительности в некоторых случаях обнаруживают все 5 дефектов на панели. Это не указывает на непригодность или нестабильность системы, а означает, что данная система более высокого качества, чем заявлено в документации.

Сигналом того, что система контроля в целом нарушена, служит то, что системой обнаруживаются только 3 дефекта (при слабой индикации третьего) при полном отсутствии следов 4-го и 5-го.

#### **8.4. Содержание отчета**

- цель работы;
- применяемые материалы и оборудование;
- краткий теоретический материал;
- вывод о работоспособности всей системы в целом;
- ответы на контрольные вопросы;
- выводы.

#### **8.5. Контрольные вопросы**

1. Какое назначение имеют зоны с различной шероховатостью на испытательном образце PSM-5?
2. Каким образом делают заключение о работоспособности материалов с помощью PSM-5?
3. Заменяет ли тест-панель PSM-5 Ni-Cr панели?
4. О каких нарушениях в системе капиллярного контроля сигнализирует тест-панель PSM-5?

#### **8.6. Список используемой литературы**

1. Неразрушающий контроль: справочник: в 8 т. / под общ. ред. В.В. Клюева. Т. 4: В 3 кн. Кн. 3: М.В. Филинов. Капиллярный контроль. – 2-е изд., испр. – М.: Машиностроение, 2006. – 736 с.
2. ГОСТ Р ИСО 3452-3–2009. Контроль неразрушающий. Проникающий контроль. Часть 3. Испытательные образцы. – М.: Изд-во «Стандартинформ», 2011. – 12 с.
3. Капиллярный контроль: учебное пособие для подготовки специалистов I, II и III уровня / Н.П. Калиниченко, А.Н. Калиниченко. – Томск: Изд-во ТПУ, 2008. – 292 с.
4. Контрольные образцы, выполненные по зарубежным нормативам [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.ntcexpert.ru/cd/cd1> (дата обращения: 25.04.2013).

## 9. Лабораторная работа

### ТЕХНОЛОГИЯ КАПИЛЛЯРНОГО КОНТРОЛЯ МЕТОДОМ ФИЛЬТРУЮЩИХСЯ СУСПЕНЗИЙ

Цель работы: освоить технологию контроля методом фильтрующихся суспензий.

Применяемое оборудование и приборы:

- люминесцентный пенетрант Вуcotest PB50;
- портативный пульверизатор;
- контролируемый образец.

#### 9.1. Метод фильтрующихся суспензий

Метод фильтрующихся суспензий – жидкостный метод капиллярного неразрушающего контроля, основанный на использовании в качестве жидкого проникающего вещества индикаторной суспензии, которая образует индикаторный рисунок из отфильтрованных частиц дисперсной фазы.

Метод проникающих жидкостей может быть использован на большей части твердых материалов. Однако если испытываемые материалы являются пористыми, то сплошная окраска поверхности детали от пропитки ослабляет контраст индикаций. Поверхности таких пористых материалов поглощают так много контрольной жидкости, что вырисовывание дефекта не оказывается возможным. В этом случае имеет преимущество контроль методом фильтрующихся суспензий.

Метод фильтрующихся суспензий используется для обнаружения трещин и других дефектов в поверхностном слое пористых материалов, деталей и изделий, в том числе спеченных изделий (полученных методами порошковой металлургии), а также некоторых неметаллических материалов и изделий: бетона, изоляторов высокого напряжения, санитарно-бытовых изделий, огнеупорных и графитовых материалов, образцов горных пород и других объектов в процессе исследовательских работ, в цеховых и полевых условиях.

Наиболее важное применение этот метод находит в керамической промышленности.

Самые высокопроизводительные методы контроля – это методы фильтрующихся суспензий, т. к. в них отсутствует стадия проявления,

но по чувствительности эти методы уступают комбинированным методам и методам проникающих растворов.

Метод контроля фильтрующимися частицами (суспензиями), разработанный Т. де Форестом и Х.Н. Стаатсом в 1946 г., имеет торговое наименование (США) Partec of the Magnaflux Corporation. Метод и материалы защищены патентами США 25116867; 2635329 и 2636127.

## **9.2. Принципы метода**

Метод фильтрующихся суспензий используется для контроля пористых материалов, размер пор которых равен 100 меш или менее, где меш – число отверстий на 1 погонный дюйм сита (100 меш – сито с размером отверстий 0,147 мм).

Метод фильтрующихся частиц основан на процессе абсорбции, то есть поглощении вещества всем объемом жидкости.

Пористые материалы абсорбируют жидкость соразмерно площади их поверхности. Абсорбция так резко выражена, что взвешенные частицы притягиваются к месту нахождения дефекта. Фильтрующиеся суспензии должны содержать окрашенные или люминесцирующие взвешенные частицы. Будучи больше, чем ширина устья трещины, они отфильтровываются снаружи, осаждаются на поверхности деталей над дефектом и дают индикаторный след. В этом методе индикаторная суспензия играет роль проникающего вещества и образует индикаторный рисунок.

Метод контроля фильтрующимися частицами осуществляется следующим образом. Жидкость, в основном на масляной основе, распыляется на пористом материале, в котором подозревается наличие несплошности или дефекта. В месте нахождения дефекта поглощается больше жидкости, чем в зоне без дефекта. Жидкость проникает в дефект так энергично, что частицы, взвешенные в жидкости, фильтруются в дефекте. Частицы могут быть цветными или флуоресцентными. В промышленности используются преимущественно флуоресцентные частицы. Жидкости могут быть на любой основе. Однако, несмотря на низкую точку кипения, предпочитают все же углеводороды, так как они экономичны и соответствуют правилам безопасности.

## **9.3. Классификация пористости объектов контроля**

Пористость относительна, и лучшей проверкой пригодности метода фильтрующихся частиц является испытание конкретного материала. В основном пористые материалы могут быть разделены на пять групп.

**Очень пористые материалы.** Очень пористые материалы характеризуются величиной пор 60 меш, например, обожженный материал шлифовального круга или некоторые обожженные огнеупорные материалы такой же пористости. Метод фильтрующихся частиц редко используется на грубых материалах этого типа.

**Материал умеренной пористости.** Примерами материалов средней пористости в 100 меш являются обожженные шлифовальные круги, некоторые огнеупорные материалы и графитовые материалы, а также некоторые металлокерамические брикеты и отдельные типы бетона.

**Пористые материалы.** Примеры материалов средней пористости многочисленны, в эту группу включаются почти все типы необожженной и некоторые типы обожженной пористой керамики. Метод фильтрующихся частиц убедительно и надежно применяется к этой группе материалов.

**Материалы с незначительной пористостью.** Примерами таких материалов являются некоторые типы обожженных, частично остеклованных и неглазурованных керамических материалов, некоторые виды металлокерамики и отдельные виды угля и графита. В основном метод можно применять на материалах этого сорта, хотя имеют место очень низкие силы дифференциальной абсорбции и окончательная чувствительность будет определяться зоркостью глаза.

**Пористые глазурованные материалы.** Примерами таких материалов являются полуостеклованные изделия с глазурованной поверхностью. Если на глазурованной поверхности имеются трещины, которые распространяются насквозь до пористой подложки, то метод будет эффективен.

Одним из критериев применимости метода фильтрующихся частиц является **характер пористости контролируемого изделия.**

Тип пористости определяется связью пор между собой. Если поры тела обособлены друг от друга и не имеют связи между собой, то такая пористость **замкнутая (закрытая)**. Замкнутая пористость встречается в металлах, пластмассах, спекшейся керамике, стекле и т. д. Материалы с замкнутой пористостью не пропитываются смачивающими их жидкостями.

Когда поры тела сообщаются между собой или образуют сеть взаимосвязанных каналов, пористость называется **сквозной (открытой)**. Такая пористость встречается во многих видах обожженной керамики, бетонах, некоторых горных породах и т. п. Все они способны пропитываться смачивающими их жидкостями. Для люминесцентного контроля изделий из материалов со сквозной пористостью следует пользоваться способом фильтрующейся суспензии.



Для того чтобы установить, к какому типу относится пористость материала, достаточно смочить материал подкрашенной жидкостью и проследить (на сколе), проникает ли она вглубь. Выявляемость дефектов определяется средним размером пор материала  $d$ . Поры могут быть измерены на острых сколах или на шлифах с помощью микроскопа. Так, во многих сортах электрокерамики он составляет 20–30 мкм.

#### 9.4. Предварительное смачивание и связанные с ним особенности

В образовании индикаторных следов огромную роль играет применение воды. На практике преимущество предварительного смачивания заключается в том, что оно помогает получать отчетливые, резко очерченные индикаторные следы с существенным ослаблением фона. Однако преимущества от предварительного смачивания сводятся на нет, если между смачиванием и нанесением контрольной жидкости проходит очень много времени. В то же время слишком большое количество воды, нанесенной на пористую поверхность изделий, подобных керамическим, может закупорить поры, включая и те, которые находятся в пределах трещины, и не дать возможности образоваться индикаторным следам.

Предварительное смачивание дает положительный результат только на высушенных материалах. Добавление воды в глину играет все же более важную роль в связи с использованием контрольных жидкостей для определения несплошностей. В некоторых случаях применение воды обязательно. Если изделие невелико, например некоторые электрические изоляторы, то часто легче погрузить их очень быстро в резервуар с водой и контролировать в течение 5 мин. На большие изделия воду можно распылять или наносить губкой, но только перед контролем. В основном для поверхности глины необходимо такое количество воды, чтобы оно было только достаточно для изменения цвета основного материала. Если воды слишком много, то абсорбция контрольной жидкости замедлится, хотя и не остановится. ***Необходимое количество воды определяется практически.***

В некоторых случаях нет нужды в использовании воды. На керамических заготовках, поверхность которых не подвергается шлифованию и внешней отделке, часто возможно проводить контроль без операции предварительного смачивания. Однако имеется универсальное правило: всегда, когда есть сомнения, применять предварительное смачивание.

## 9.5. Дефектоскопические материалы

Фильтрующиеся суспензии являются специфическим видом пенетранта. В жидкий пенетрант добавляют нерастворимый порошок с диаметром частиц 0,01–0,1 мм, обладающий цветовым контрастом или люминесценцией. Порошок не проникает в дефект, а фильтруется и скапливается у его устья. Такой пенетрант не требует проявления.

В качестве индикаторной жидкости, используемой для контроля материалов с наибольшей пористостью фильтрующимися частицами, можно использовать легкую фракцию нефти. Этот материал является компромиссным с точки зрения стоимости, безопасности, запаха и скорости высыхания.

Для специального применения может быть использована другая суспендирующая среда. Суспензии могут быть успешно приготовлены в воде, гликолях, тяжелой фракции нефти и спирте. Суспензии на такой жидкой основе, кроме легкой фракции нефти, должны быть специально приготовлены для конкретного применения.

Во всех жидкостях, используемых для контроля фильтрующимися частицами, частицы подбираются нужных размеров и формы.

Для контроля только поверхности рекомендуется люминесцентная контрольная среда с основой из легкой фракции нефти, в которой взвешены ярко-желтые люминесцентные частицы.

В том случае, если стремятся к восстановлению пористого изделия, используется контрольная среда, частицы которой указывают на трещину с поверхности, а цветные красители окрашивают полость трещины так, что контролер может выводить дефект до дна.

Окрашенные, но не люминесцентные дефектоскопические суспензии, так же чувствительны при работе на пористых материалах, как и люминесцентные.

Однако они менее заметны на образцах сложной формы или деталях с выемками. Для таких случаев контроля рекомендуется люминесцентный материал. В общем, нелюминесцентные материалы могут быть использованы на объектах простой формы, таких как кирпичи, кокс и бетон, хотя люминесцентные материалы проще в работе и более надежны.

Среди не решенных еще вопросов метода фильтрующихся частиц можно отметить, например, задачу приготовления люминесцентных порошков для суспензий с наперед заданным и достаточно постоянным размером частиц, так как обычный помол не обеспечивает этого постоянства размера частиц и всегда порождает фон.

Для промышленного использования предложена люминесцирующая суспензия, состоящая из трех компонентов: измельченного до тон-

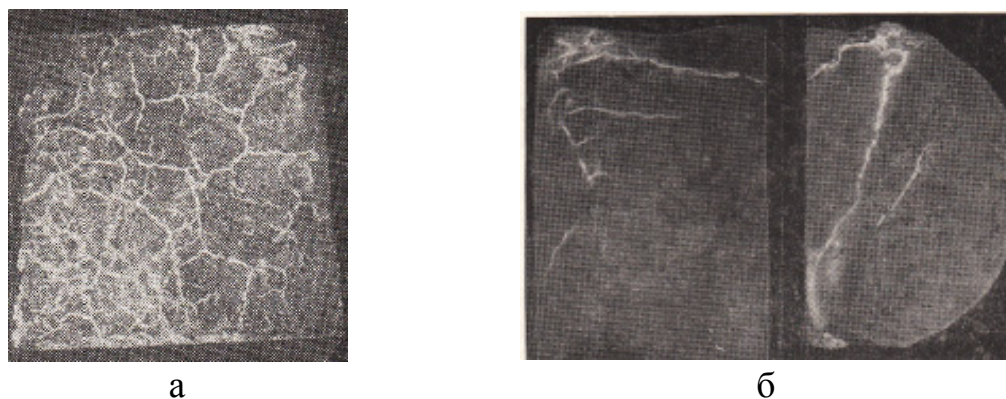
кодисперсного состояния нерастворимого в воде люмогена (светло-желтого или оранжево-красного) в количестве от 0,5 до 1 г; 0,05–0,5 г поверхностно-активного вещества (ОП-7 или ОП-10) и 1 л воды.

Порошок люмогена размалывается в шаровой мельнице с керамическими шарами, а затем размешивается с небольшим количеством воды и поверхностно-активным веществом до получения сметанообразной консистенции. В дальнейшем полученная смесь разбавляется водой до необходимой пропорции.

Суспензия наносится на контролируемую пористую поверхность с помощью пульверизатора, кисти или кратковременного погружения. Осмотр под ультрафиолетовым светом фокусируемого источника типа ДРШ-260 с фильтром УЭС-6 можно производить через 30–60 сек после нанесения суспензии.

Предлагаемая суспензия благодаря простоте найдет применение при дефектоскопии многих изделий из пористых материалов (керамик, бетонов, огнеупорных глин и т. п.), а также при исследовании пористых и трещиноватых проб горных пород.

Известны суспензии, с помощью которых можно выявлять трещины на поверхности бетона и в образцах горных пород размером от 2 до 150 мкм.



*Рис. 9.1. Выявляемость мелких трещин в образце бетона (а) и особенностей трещиноватости образца горной породы люминесцентным методом (б)*

Люминесцентный пенетрант Вуcotest PB50 – специальный пенетрант для контроля камня и бетона. Открывает трещины до 30 мкм.

### **9.6. Технологический процесс контроля методом фильтрующихся суспензий**

Схема технологического процесса контроля методом фильтрующихся суспензий предусматривает следующие операции:

- подготовка изделий к контролю;
- предварительное смачивание (в случае необходимости);
- нанесение суспензии;
- осмотр изделий и анализ индикаторных следов выявленных дефектов.

### **9.7. Оборудование для нанесения суспензии**

Для получения максимального эффекта при контроле пористых изделий необходимо дефектоскопическую суспензию применять таким образом, чтобы позволить частицам свободно передвигаться и выявлять местонахождения дефектов. Следует избегать использования оборудования, которое уменьшает подвижность частиц. Для нанесения суспензии фильтрующихся частиц следует осторожно пользоваться кистью, так как щетина кисти склонна располагать частицы таким образом, что получаются ложные индикаторные следы. Последние имеют сходство с истинными индикаторными следами дефектов и могут запутать наблюдателя.

Струйные распылители или подобное оборудование, которое наносит жидкость при помощи давления, должны также применяться с предосторожностями, так как при этом возможно удаление индикаторных следов, если применяемая жидкость разбрызгивается с очень большой силой.

Портативный пульверизатор может быть использован для нанесения на поверхность пористых изделий контрольной жидкости под углом около 60°, без образования ложных индикаторных следов.

Для нанесения дефектоскопического материала под давлением может быть использована емкость и распылитель с соплом.

Метод фильтрующихся частиц может применяться для контроля довольно простых изделий. При этом можно пользоваться самой обыкновенной пипеткой, столовой ложкой или масляным шприцем. Когда используются средства этого типа, необходимо, чтобы контрольная среда лилась или разбрызгивалась так равномерно, чтобы избежать подтеков.

#### **Условно-символьная запись технологии контроля:**

1. Метод и способ обнаружения индикаторного следа дефекта.
2. Класс чувствительности.
3. Условное обозначение дефектоскопических материалов.

Пример:

- Л-I-(U1П1М7) – люминесцентная фильтрующая суспензия, класс чувствительности 1;

- ФЦ-II-(U38) – цветная фильтрующая суспензия, класс чувствительности 2.

Нумерацию дефектоскопических материалов устанавливают в стандартах, технических условиях на конкретные материалы или конкретный вид изделия.

## **9.8. Порядок выполнения работы**

9.8.1. Подготовить образец к контролю.

9.8.2. Произвести предварительное смачивание образца водой (в случае необходимости).

9.8.3. Нанести суспензию.

9.8.4. Через 30–60 с после нанесения суспензии произвести осмотр образца и анализ индикаторных следов выявленных дефектов под ультрафиолетовым светом фокусируемого источника.

## **9.9. Содержание отчета**

- цель работы;
- применяемые материалы и оборудование;
- краткий теоретический материал;
- оценка качества контролируемого образца;
- ответы на контрольные вопросы;
- выводы.

## **9.10. Контрольные вопросы**

1. Какое применение нашел метод фильтрующихся суспензий?
2. Каковы преимущества предварительного смачивания?
3. Какие особенности проникающих жидкостей, применяемых при контроле методом фильтрующихся суспензий, вы знаете?
4. Какие вы знаете способы нанесения суспензии?

## **9.11. Список используемой литературы**

1. Карякин А.В., Боровиков А.С. Люминесцентная и цветная дефектоскопия. – М.: Машиностроение, 1972. – 240 с.
2. Неразрушающие испытания: справочник / под ред. Р. Мак-Мастера; пер. с англ. под ред. А.С. Боровикова, И.И. Кифера и К.И. Корнишина. Кн. 1. – М.; Л.: Изд-во «Энергия», 1965. – 504 с.

## 10. Лабораторная работа

### МЕТОДЫ И СРЕДСТВА АТТЕСТАЦИИ КОНТРОЛЬНЫХ ОБРАЗЦОВ ДЛЯ КАПИЛЛЯРНОЙ ДЕФЕКТΟΣКОПИИ

Цель работы: освоить методику измерения ширины и глубины трещин при аттестации образцов, предназначенных для проверки работоспособности дефектоскопических материалов.

#### Применяемое оборудование и приборы:

- контрольные образцы, предназначенные для аттестации;
- измерительный микроскоп МС-50 (увеличение 100–400 крат);
- металлографический микроскоп Polyvar Met (рис. 10.1), Neofot (рис. 10.2) или другой аналогичный при увеличении 1500–2000 крат;
- бинокулярный стереоскопический микроскоп типа МБС-2, МБС-9 или МБС-10 (рис. 10.3) при увеличении 16 крат;
- штангенциркуль ЩЦ-2.



*Рис. 10.1. Металлографический микроскоп Reichert Polyvar Met*



*Рис. 10.2. Инvertированный металлографический микроскоп Neophot*



*Рис. 10.3. Микроскоп стереоскопический МБС-10*



*Рис. 10.4. Инvertированный металлографический микроскоп Axio Observer A1m (Carl Zeiss)*

## 10.1. Назначение контрольных образцов

Для оценки технического состояния элементов и узлов оборудования применяют различные методы неразрушающего контроля. Одним из них является контроль проникающими веществами. Он в свою очередь включает в себя две группы методов: капиллярные методы и методы контроля течеисканием.

Капиллярные методы позволяют диагностировать изделия любых размеров и форм и обнаруживать дефекты, выходящие на поверхность, такие как трещины, поры, раковины, непровары и другие несплошности.

Основными средствами при проведении капиллярного контроля являются дефектоскопические материалы и контрольные образцы. Дефектоскопические материалы следует подвергать входному контролю. Способность наборов дефектоскопических материалов к выявлению дефектов проверяют на контрольных образцах с поверхностными трещинами известных размеров. Форму, материал и технологию изготовления образцов, выбирают таким образом, чтобы обеспечить стабильность размеров трещин и свойств материала в течение установленного срока их службы, а также стойкость образцов против коррозии при воздействии дефектоскопических материалов.

Контрольные образцы играют важную роль при определении класса чувствительности и комплексной оценки качества дефектоскопических материалов. Существуют различные способы изготовления контрольных образцов, такие как естественные образцы, комбинированные образцы, образцы с щелями, имитирующими трещины, образцы, полученные при азотировании, растяжении, вибронагружении, изгибе. Однако наибольшее распространение получили: азотирование, изгиб и естественные образцы.

Естественные образцы – объекты контроля или их части, с естественными дефектами.

Наибольшее распространение получили стальные азотированные образцы, характеризующиеся высокой устойчивостью против коррозии и стабильностью размеров трещин в течение длительного времени. Трещины в стандартных образцах получают, подвергая последние гальванической или термической обработке, шлифованию, деформированию (растяжение и изгиб). Азотирование образцов заключается в нанесение хрупкого слоя на более твердое основание. Трещины в них получают, подвергая образцы гальванической или термической обработке, шлифованию, деформированию.

Каждый контрольный образец должен иметь паспорт, в котором указывают предельные размеры поверхностных трещин, а также фотографии и эскизы индикаторных следов в ультрафиолетовой и видимой областях спектра с указанием набора дефектоскопических материалов, с помощью которых проводился контроль. Форма паспорта на контрольный образец является рекомендуемой, а содержание паспорта – обязательным. Паспорт оформляется службой неразрушающих методов контроля предприятия.

Для проверки качества пенетрантов и проявителей образцы с дефектами подвергают контролю и индикаторный рисунок выявленных трещин сравнивают с рисунком, зафиксированным на фотографии или дефектограмме, снятой заранее с образца при контроле заведомо кондиционными материалами. При анализе рисунка учитывают полноту выявления трещин, контрастность и яркость их рисунка, а также состояние фона образца. При хорошем качестве составов отношение суммарной длины выявленных трещин к длине трещин, имеющихся на образце, должно составлять не менее 95 %. При экспресс-проверках длину трещин не измеряют, а визуально сравнивают индикаторные рисунки.

## 10.2. Особенности измерения глубины трещин

Размеры трещин измеряют при температуре  $20 \pm 5$  °С, относительной влажности воздуха  $58 \pm 20$  %, при отсутствии вибрации микроскопа и пониженном уровне шума – в лаборатории. Измерения должен проводить оператор без патологических изменений органа зрения и остротой зрения каждого глаза не менее 0,9.

На образцах в виде пластин с поперечными трещинами, рассекающими поверхность образцов от одной боковой грани до другой, глубину трещин можно измерять на боковых гранях либо непосредственно по металлу, либо после выявления трещин методом цветной дефектоскопии. Для этого боковые грани образцов с трещинами в хрупком металлическом гальваническом или химическом покрытии либо в поверхностном слое, упрочненном химико-термической обработкой, при изготовлении должны быть защищены от попадания химических реагентов. В противном случае перед измерением глубины трещин боковые грани следует шлифовать и полировать до удаления покрытия или упрочненного слоя и достижения параметра шероховатости  $R_z$  не более 6,3 мкм.

Глубину трещин целесообразно измерять с помощью бинокулярного стереоскопического микроскопа, например типа МБС-2, МБС-9 или МБС-10, при увеличении 16 крат. Предварительно с помощью дифракционной решетки или меры, входящей в комплект микроскопа, же-



лательно уточнить цену деления окулярной шкалы при этом увеличении. Для неразрывных по длине трещин, распространяющихся от одной боковой грани до другой, глубину трещин лучше определять как среднее арифметическое значение измерений на двух гранях. При этом на каждой грани глубину трещин следует измерять трижды. Для трещин, выходящих только на одну грань, трещины измеряют на ней, а в паспорте на образец в графе «глубина трещины» указывают «переменная от 0 до ...» (измеренного значения).

На других типах образцов, на которых трещины не выходят на боковую поверхность, глубину трещин обычно оценивают с помощью образцов-свидетелей, подвергаемых металлографическому анализу, либо на шлифах, изготавливаемых на испытываемых образцах или на участках, отрезаемых от образцов. При изготовлении и аттестации образцов, в том числе в виде цилиндров или стержней, трещины на которых получены в упрочненном слое или в слое хрупкого покрытия, как правило, за глубину трещин принимают толщину упрочненного слоя или покрытия. Однако при этом обязательно проводят непосредственные выборочные измерения глубины трещин с тем, чтобы удостовериться, что трещины не проходят в основной материал образца либо под слой упрочненного слоя или покрытия и действительно их глубина соответствует толщине упрочненного слоя или покрытия.

Полученные результаты измерения глубины трещин желательно представлять в миллиметрах, округляя их до двух цифр после запятой по общепринятым правилам округления.

### **10.3. Особенности измерения ширины трещин**

Методика измерения ширины трещин при аттестации образцов, предназначенных для проверки работоспособности дефектоскопических материалов и для оценки чувствительности контроля, несколько отличается. И в том, и в другом случае ширину трещин измеряют на чистых образцах (без их выявления цветным или другим методом) на металлографическом микроскопе типа Neofot, Polyvar Met или другом аналогичном, как правило, при увеличении 1500–2000 крат. Для используемого увеличения с помощью дифракционной решетки определяют цену деления окулярной шкалы микроскопа. Измерения ширины каждой трещины выполняют, естественно, в направлении, поперечном ее контуру.

При аттестации образцов для проверки работоспособности дефектоскопических материалов достаточно проводить измерения в 3–5 точках (рис. 10.5). Например, на плоских образцах с трещинами, рассекающими поверхность от одной боковой грани до другой, измерения

можно выполнять в пяти точках: в средней части образца, то есть на его продольной оси, и с двух сторон от продольной оси. Окончательные результаты измерений после округления до двух цифр после запятой заносят в паспорт (свидетельство) на образец в следующем виде:

$$B \pm \Delta b, P, \text{ или } B, B_{\min}, B_{\max}, P,$$

где  $B$ ,  $B_{\min}$ ,  $B_{\max}$  – соответственно средний, минимальный и максимальный результаты измерения ширины трещины, мкм;  $\Delta b$  – границы погрешности измерения, мкм;  $P = 0,95$  – установленная вероятность, с которой погрешность измерения находится в этих границах.

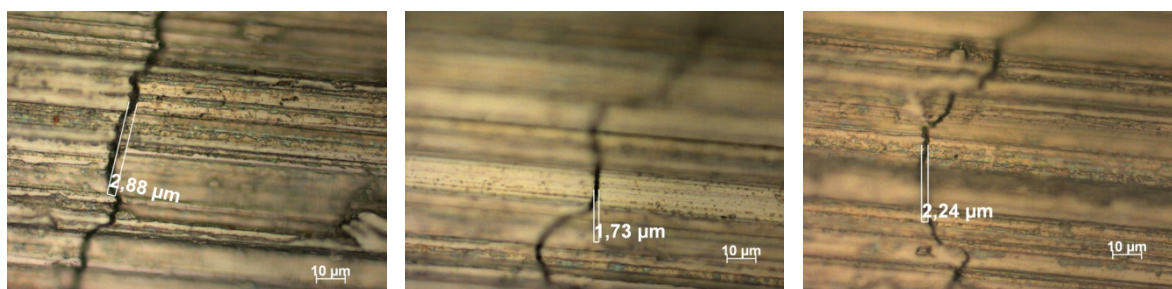


Рис. 10.5. Измерение ширины раскрытия трещины контрольного образца (в трех точках по длине)

Как указано выше, рекомендуется, чтобы относительная погрешность измерений ширины трещин не превышала  $\pm 20\%$ .

#### 10.4. Порядок выполнения работы

10.4.1. Получить контрольный образец, предназначенный для аттестации, у преподавателя.

10.4.2. Визуальным осмотром убедиться в отсутствии остатков следов пенетранта, проявителя, иных следов и загрязнений. В случае необходимости очистить образец с помощью очистителя.

10.4.3. Разместить образец на предметном столике микроскопа.

10.4.4. При минимальном усилении микроскопа обнаружить трещину контрольного образца.

10.4.5. Произвести измерение ширины раскрытия трещины при увеличении микроскопа  $400\text{--}2000\times$  в пяти точках по длине трещины (в средней части и с двух сторон от продольной оси образца).

10.4.6. Рассчитать среднеарифметическое значение раскрытия трещины и результат внести в паспорт (Приложение 2).

10.4.7. С помощью измерительного микроскопа типа МС-50 произвести измерение длины трещины и результат также внести в паспорт.

## 10.5. Содержание отчета

- цель работы;
- применяемые материалы и оборудование;
- краткий теоретический материал;
- результаты измерений;
- паспорт на контрольный образец (Приложение 2);
- ответы на контрольные вопросы;
- выводы.

## 10.6. Контрольные вопросы

1. Каким образом измеряют ширину раскрытия трещин при аттестации контрольных образцов, предназначенных для проверки качества дефектоскопических материалов?
2. Каким образом измеряют ширину раскрытия трещин при аттестации контрольных образцов, предназначенных для оценки порога чувствительности технологии контроля?
3. Какие способы определения глубины трещин контрольных образцов вы знаете?

## 10.7. Список используемой литературы

1. Козлов В.В. Поверка средств неразрушающего контроля. – М.: Издательство стандартов, 1989. – 215 с.
2. ГОСТ 18442–80. Контроль неразрушающий. Капиллярные методы. Общие требования. – М.: Изд-во стандартов, 1987. – 24 с.
3. Капиллярный контроль: учебное пособие для подготовки специалистов I, II и III уровня / Н.П. Калиниченко, А.Н. Калиниченко. – Томск: Изд-во ТПУ, 2008. – 292 с.
4. Глазков Ю.А. Капиллярный контроль: учеб. пособ. / под общ. ред. В.В. Ключева. – М.: Издательский дом «Спектр», 2011. – 144 с.
5. Капиллярный неразрушающий контроль. Контроль проникающими веществами: практ. пособ. для подгот. специалистов к сдаче сертификац. экзаменов на I, II и III уровни квалификации / П.П. Прохоренко, Н.П. Мигун, И.В. Стойчева, А.М. Серкин. – М.: ИПФ, 1998. – 160 с.: ил.
6. Глазков Ю.А. Метрологическое обеспечение образцов с трещинами для капиллярного контроля: тезисы докладов 8 Международной конференции «Неразрушающий контроль и техническая диагностика в промышленности». – М., 2009. – С. 64.

## Приложение 1

### ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ КАРТА № \_\_\_\_\_ капиллярной дефектоскопии

1. Изделие (наименование, №)
2. Размеры изделия, марка стали
3. Наименование нормативно-технических документов по объему контроля и нормам оценки качества
4. Объем и места контроля
5. Методика контроля согласно
6. Требуемая чувствительность контроля
7. Подготовка поверхности изделия, $R_z =$ мкм
8. Вид и способ контроля
9. Тип и номер набора
10. Индикатор несплошностей и методика поверки порошка или суспензии
11. Освещенность в люксах
12. Зоны контроля (эскиз)

13. Операции контроля			
№ п/п	Наименование и содержание	Технические требования	Средства контроля
13.1	Подготовительные операции		
13.2	Технология контроля (способы, режимы, положения детали, операции)		
13.3	Оценка результатов		
13.4	Заключительные операции		

Контроль произвел:

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**  
по результатам капиллярного контроля

Капиллярный контроль \_\_\_\_\_ методом изделия (наименование, №) \_\_\_\_\_ осуществляется дефектоскопическим комплектом \_\_\_\_\_ в соответствии с требованиями (наименование нормативно-технических документов по объему контроля) \_\_\_\_\_

и оценкой качества по \_\_\_\_\_ для \_\_\_\_\_ класса чувствительности по ГОСТ 18442 (Эталон № \_\_\_\_\_)

**Результаты контроля**

№ по схеме	Контроле-пригодность	Описание обнаруженных дефектов	Соответствие требованиям	Примечание

Контроль произвел:

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Вывод: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

## Приложение 2

### Паспорт

на контрольный образец  
для капиллярной дефектоскопии

Контрольный образец № \_\_\_\_\_.  
Контрольный образец из стали марки \_\_\_\_\_  
предназначен для оценки чувствительности  
капиллярного метода контроля.  
На образце имеется \_\_\_\_\_.  
Размеры трещин представлены в таблице.

Номер трещины от клейма	Размер трещины	
	Ширина раскры- тия, мкм	Длина, мм

Измерения размеров трещин проводились:

Первичная поверка контрольного образца проведена  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_ г.

Срок очередной поверки не позднее  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_ г.

Индикаторный рисунок дефекта

### Заключение

Поверку произвел:

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_ г.

Учебное издание

КАЛИНИЧЕНКО Николай Петрович  
КАЛИНИЧЕНКО Алексей Николаевич

**ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ  
ПО КОНТРОЛЮ ПРОНИКАЮЩИМИ  
ВЕЩЕСТВАМИ.  
КАПИЛЛЯРНЫЙ КОНТРОЛЬ**

Учебное пособие


Выпускающий редактор *Д.В. Заремба*  
Редактор *В.Ю. Пановица*  
Компьютерная верстка и дизайн обложки  
*О.Ю. Аршинова*

Подписано к печати 16.05.2013. Формат 60x84/16. Бумага «Снегурочка».  
Печать XEROX. Усл. печ. л. 13,03. Уч.-изд. л. 11,78.  
Заказ 529-13. Тираж 100 экз.



Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
Система менеджмента качества  
Издательства Томского политехнического университета сертифицирована  
NATIONAL QUALITY ASSURANCE по стандарту BS EN ISO 9001:2008



ИЗДАТЕЛЬСТВО  ТПУ . 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30  
Тел./факс: 8(3822)56-35-35, www.tpu.ru