

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ
Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования
«ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Н.П. Калиниченко, А.Н. Калиниченко

КАПИЛЛЯРНЫЙ КОНТРОЛЬ

**Учебное пособие
для подготовки специалистов I, II и III уровня**

Издательство
Томского политехнического университета
2008

УДК 681.518.54

К17

Калиниченко Н.П.

К17 Капиллярный контроль: учебное пособие для подготовки специалистов I, II и III уровня / Н.П. Калиниченко, А.Н. Калиниченко. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008. – 292 с.
ISBN 5-98298-200-8

Учебное пособие содержит краткие сравнительные характеристики методов неразрушающего контроля (НК), классификацию методов капиллярного контроля, описание физических основ, технологических процессов цветного, люминесцентного метода капиллярного контроля. Приведены: сравнение отечественных стандартов и стандарта США по контролю проникающими веществами; требования к квалификационному экзамену специалиста III уровня по капиллярному методу контроля; сравнение требований в области применения нормативных документов при аттестации и перееаттестации российских и зарубежных специалистов на I, II, III международных уровнях; типичные индикаторные вопросы, соответствующие уровню III; нормы оценки качества для различных опасных производственных объектов; формы заполнения протоколов, актов, заключений по результатам капиллярного контроля.

Пособие разработано в рамках реализации Инновационной образовательной программы ТПУ «Неразрушающий контроль» и предназначено для студентов специальностей 200100 «Физические методы и приборы контроля качества», 220501 «Управление качеством».

УДК 681.518.54

Рекомендовано к печати Редакционно-издательским советом
Томского политехнического университета

Рецензент

Кандидат технических наук
директор компании «СМТ»

Чигорко А.Б.

ISBN 5-98298-200-8

© Калиниченко Н.П., Калиниченко А.Н., 2008
© Томский политехнический университет, 2008
© Оформление. Издательство Томского
политехнического университета, 2008

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	8
1. КАПИЛЛЯРНЫЙ МЕТОД ДЕФЕКТОСКОПИИ	9
1.1. Краткие сравнительные характеристики методов неразрушающего контроля	9
1.2. Классификация методов капиллярного контроля	12
1.3. Физические основы метода	13
1.4. Дефектоскопические материалы	15
1.5. Физические основы смачивающей способности	38
1.6. Способы оценки смачивающей способности	40
1.7. Смачивающая способность проникающих жидкостей по отношению к конструкционным материалам	45
Контрольные вопросы	47
2. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС ЦВЕТНОЙ ДЕФЕКТОСКОПИИ	51
2.1. Подготовка изделий к контролю	51
2.2. Заполнение полостей дефектов пенетрантом	59
2.3. Удаление пенетранта с поверхности изделий	63
2.4. Нанесение проявителя	72
2.5. Проявление дефектов	76
2.6. Осмотр изделий и анализ индикаторных рисунков дефектов	77
2.7. Удаление дефектоскопических материалов после контроля	88
2.8. Оформление результатов контроля	88
2.9. Меры безопасности при проведении работ	90
Контрольные вопросы	91
3. ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЙ МЕТОД	99
3.1. Основные понятия о люминесценции	99
3.2. Дефектоскопические материалы	101
3.3. Расчет и нормирование материалов	103
3.4. Технологический процесс люминесцентной дефектоскопии	105
3.5. Нанесение проявителя	108
Контрольные вопросы	116

4. СРАВНЕНИЕ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ СТАНДАРТОВ И СТАНДАРТА США ПО КОНТРОЛЮ ПРОНИКАЮЩИМИ ВЕЩЕСТВАМИ	121
4.1. Общие положения	122
4.2. Общие требования	123
4.3. Требования к участку для проведения контроля	123
4.4. Дополнительные разделы	124
4.5. Аппаратура	124
4.6. Дефектоскопические материалы	125
4.7. Проведение контроля	125
4.8. Обработка объекта дефектоскопическими материалами	126
4.9. Нанесение проявителя	127
4.10. Осмотр контролируемой поверхности и регистрация дефектов	127
4.11. Оформление результатов контроля	128
4.12. Выводы	129
5. ВЫБОР ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ КАПИЛЛЯРНОГО КОНТРОЛЯ	130
5.1. Стационарное оборудование	130
5.2. Переносное оборудование	132
5.3. Осветители	133
Контрольные вопросы	134
6. ИЗМЕРЕНИЕ И КОНТРОЛЬ ПАРАМЕТРОВ КАПИЛЛЯРНОГО ПРОЦЕССА	139
6.1. Функциональные испытания	139
6.2. Методы проверки параметров процесса	145
6.3. Влияние проверяемых объектов на процесс капиллярного контроля.....	148
6.4. Регулирование параметров процесса	149
6.5. Достоверность и воспроизводимость	151
Контрольные вопросы	151
7. РУКОВОДЯЩАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ США НА ПРОЦЕССЫ, ОБОРУДОВАНИЕ И МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ КАПИЛЛЯРНОГО КОНТРОЛЯ	160
Контрольные вопросы	179
8. ЕВРОПЕЙСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ЭКЗАМЕНАЦИОННЫМ ОБРАЗЦАМ, ИСПОЛЬЗУЕМЫМ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРАКТИЧЕСКИХ ЭКЗАМЕНОВ ПРИ АТТЕСТАЦИИ СПЕЦИАЛИСТОВ ПО НК	183
8.1. Область применения	183
8.2. Общие положения	183
8.3. Аттестационные образцы литья для всех методов неразрушающего контроля	184

8.4. Аттестационные образцы сварных соединений	185
8.5. Аттестационные образцы проката и поковок	186
9. АТТЕСТАЦИЯ СПЕЦИАЛИСТОВ III УРОВНЯ ПО ВИК И КАПИЛЛЯРНОМУ КОНТРОЛЮ	188
9.1. Квалификационный экзамен специалиста НК III уровня	188
9.2. Оценка квалификационных экзаменов кандидатов на III уровень	190
9.3. Аттестация и переаттестация российских и зарубежных специалистов в области НК на I, II, III международных уровни	191
Вопросы на знание EN 473:2000	204
Приложение 1. ПЕРЕЧЕНЬ РЕАКТИВОВ И МАТЕРИАЛОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ ДЛЯ КАПИЛЛЯРНОГО КОНТРОЛЯ	210
Приложение 2. СПОСОБЫ ПРОВЕРКИ ПРИГОДНОСТИ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ КАПИЛЛЯРНОГО КОНТРОЛЯ (РД 34.10.125–94. ИНСТРУКЦИЯ ПО КОНТРОЛЮ СВАРОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ И МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ДЕФЕКТОСКОПИИ)	211
Приложение 3. ОРИЕНТИРОВОЧНЫЙ РАСХОД ДЕФЕКТОСКОПИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ И ПРИНАДЛЕЖНОСТЕЙ	215
Приложение 4. ПРИГОТОВЛЕНИЕ ИНДИКАТОРНЫХ ПЕНЕТРАНТОВ, ПРОЯВИТЕЛЕЙ, ОЧИСТИТЕЛЕЙ ДЛЯ ЛЮМИНЕСЦЕНТНОГО МЕТОДА	216
Приложение 5. УСЛОВНОЕ ОБОЗНАЧЕНИЕ ОБНАРУЖЕННЫХ ДЕФЕКТОВ ПРИ ОФОРМЛЕНИИ РЕЗУЛЬТАТОВ КАПИЛЛЯРНОГО КОНТРОЛЯ	218
Приложение 6. ОСНОВНЫЕ ПРИЧИНЫ НЕВЫЯВЛЕНИЯ ДЕФЕКТОВ	223
Приложение 7. ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ КАРТА КАПИЛЛЯРНОЙ ДЕФЕКТОСКОПИИ	225
Приложение 8. ЗАКЛЮЧЕНИЕ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ КАПИЛЛЯРНОГО КОНТРОЛЯ	227
Приложение 9. ПЕРЕЧЕНЬ НТД ПО КОНТРОЛЮ ПРОНИКАЮЩИМИ ВЕЩЕСТВАМИ (КАПИЛЛЯРНЫЙ МЕТОД)	228
Приложение 10. НОРМЫ ПОВЕРХНОСТНЫХ ДЕФЕКТОВ ДЛЯ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ И ОСНОВНОГО МЕТАЛЛА (ОСТ 26–5–99)	235
Приложение 11. НОРМЫ НА ПОВЕРХНОСТНЫЕ ДЕФЕКТЫ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ГПМ (РД РОСЭК–004–97)	237

Приложение 12. ОБЪЕМ КОНТРОЛЯ И НОРМЫ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ КОТЛОВ ПАРОВЫХ И ВОДОГРЕЙНЫХ, ТРУБОПРОВОДОВ ПАРА И ГОРЯЧЕЙ ВОДЫ В ПРОЦЕССЕ ИХ ИЗГОТОВЛЕНИЯ (РД 2730.940.103–92)	239
Приложение 13. ОБЪЕМ КОНТРОЛЯ И НОРМЫ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ТРУБНЫХ СИСТЕМ КОТЛОВ И ТРУБОПРОВОДОВ ПРИ МОНТАЖЕ И РЕМОНТЕ ОБОРУДОВАНИЯ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ (РД 153–34.1–003–01 (РТМ-1с))	242
Приложение 14. ОБЪЕМ КОНТРОЛЯ И НОРМЫ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ СТАЦИОНАРНЫХ ПАРОВЫХ, ГАЗОВЫХ И ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ТУРБИН В ПРОЦЕССЕ МОНТАЖА, РЕМОНТА И ЭКСПЛУАТАЦИИ (РД.24.020.11–93)	245
Приложение 15. ОБЪЕМ КОНТРОЛЯ И НОРМЫ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПАРОВЫХ И ВОДОГРЕЙНЫХ КОТЛОВ, ТРУБОПРОВОДОВ ПАРА И ГОРЯЧЕЙ ВОДЫ В ПЕРИОД ЭКСПЛУАТАЦИИ (ПБ 10–573–03, ПБ 10–574–03)	246
Приложение 16. ОБЪЕМ КОНТРОЛЯ И НОРМЫ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА СОСУДОВ, РАБОТАЮЩИХ ПОД ДАВЛЕНИЕМ В ПЕРИОД ЭКСПЛУАТАЦИИ (ПБ 03–576–03)	249
Приложение 17. ОБЪЕМ КОНТРОЛЯ И НОРМ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТИ ЛИТЫХ КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЕЙ ПАРОВЫХ ТУРБИН ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ (ИНСТРУКЦИЯ 108.27.00.01–87)	251
Приложение 18. НОРМЫ ДОПУСТИМЫХ ДЕФЕКТОВ ПРИ КОНТРОЛЕ ОБОРУДОВАНИЯ НПС НЕРАЗРУШАЮЩИМИ МЕТОДАМИ (РД 153–39.4–24–02)	253
Приложение 19. ЦВЕТНАЯ ДЕФЕКТОСКОПИЯ (SHERWIN). ТЕХНИКА ПРОВЕДЕНИЯ КОНТРОЛЯ	255
Приложение 20. НОРМЫ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ГАЗОПРОВОДОВ (СТО ГАЗПРОМ 2–2.4–083–2006)	258
Приложение 21. ЗАРУБЕЖНЫЕ СТАНДАРТЫ ПО КАПИЛЛЯРНОМУ КОНТРОЛЮ	263
Приложение 22. ПРИМЕНЕНИЕ ДЕФЕКТОСКОПИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ В АЭРОЗОЛЬНОЙ УПАКОВКЕ	265
Приложение 23. ВРЕМЯ ПРОПИТКИ ИЗДЕЛИЙ ЛЮМИНЕСЦИРУЮЩИМИ ПЕНЕТРАНТАМИ	266
Приложение 24. ПРИБОРЫ И ИНСТРУМЕНТЫ КАПИЛЛЯРНОГО МЕТОДА КОНТРОЛЯ	267
Приложение 25. ИНСТРУКЦИЯ ОЧИСТКИ КОНТРОЛЬНЫХ ОБРАЗЦОВ	268

Приложение 26. ОБЩИЕ ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ	269
Приложение 27. ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ В КАПИЛЛЯРНОМ НЕРАЗРУШАЮЩЕМ КОНТРОЛЕ	270
Приложение 28. ТЕРМИНЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СПОСОБОВ КАПИЛЛЯРНОГО НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ	279
Приложение 29. ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ КАПИЛЛЯРНОГО НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ	284
Приложение 30. ПРАВИЛА ХРАНЕНИЯ И ПРОВЕРКА КАЧЕСТВА ДЕФЕКТОСКОПИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ	287
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	289

ВВЕДЕНИЕ

Специалисты, работающие на опасных производственных объектах, осуществляющие НК, должны быть аттестованы в соответствии с «Правилами аттестации специалистов неразрушающего контроля» (ПБ 03–440–02).

Правила устанавливают систему квалификации и аттестации специалистов по одному или нескольким методам НК: акустико-эмиссионному; вихретоковому; магнитному; капиллярному; радиографическому; визуальному и измерительному; ультразвуковому; оптическому; тепловому; электрическому; вибродиагностическому.

Важнейшие национальные и международные нормы по аттестации персонала в области НК определяют квалификацию специалистов по пяти признакам: профессиональное обучение, практический опыт работы в области НК, физическая пригодность, прохождение курса обучения и сдача квалифицированного экзамена.

В данной работе приведена структурная схема квалификационного экзамена специалиста III уровня по капиллярному методу контроля.

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.

Кандидаты на присвоение III уровня по капиллярному контролю должны использовать настоящее учебное пособие в качестве обзорного материала, поскольку оно не содержит всей информации, необходимой для прохождения типичной проверки на уровень III. Контрольные вопросы, соответствующие уровню III, приведены в конце глав с целью определения степени освоения материала.

1. КАПИЛЛЯРНЫЙ МЕТОД ДЕФЕКТΟΣКОПИИ

1.1. Краткие сравнительные характеристики методов неразрушающего контроля

Неразрушающий контроль, в зависимости от физических явлений, положенных в его основу, подразделяется на виды [19]:

- 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 неметаллических, 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 разновидности методов: измерение размеров, исследование химического состава 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 (залегавшие 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.



Рис. 1. Минимальные размеры обнаруживаемых дефектов

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. Примеры применения основных методов неразрушающего контроля нарушения сплошности приведены в табл. 1.

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 (табл. 2).

Таблица 1

*Оценка выявляемости дефектов
типа нарушения сплошности различными видами НК*

Объекты контроля	Вид НК							
	Радиационный	Акустический	Вихрековый	Магнитный	Капиллярный	Тепловой	Оптический	Радиоволновой
Неферромагнитные материалы								
Проволока диаметром 1–14 мм	4	5	5	0	0	0	4	0
Прутки диаметром 30–100 мм	5	5	5	0	0	0	4	0
Трубы диаметром 30–156 мм	5	5	5	0	0	0	4	0
Листы, плиты толщиной 0,1–3,9 мм	5	5	5	0	4	0	4	0
Сортовой прокат	5	5	4	0	4	0	4	0
Отливки	5	4	3	0	5	0	4	0
Металлургические заготовки	5	4	0	0	5	3	4	0
Ферромагнитные материалы								
Прутки диаметром 30–100 мм	5	5	5	5	0	0	5	0
Трубы сварные диаметром 30–156 мм	5	5	5	4	4	0	4	0
Листы, плиты толщиной 0,1–3,9 мм	5	5	5	4	4	0	4	0
Сортовой прокат	5	5	4	4	4	0	4	0
Отливки	5	4	0	4	4	0	4	0
Диэлектрики								
Резина	5	4	0	0	4	0	4	5
Керамика	5	4	0	0	4	3	4	5
Многослойные материалы	4	5	0	0	0	3	0	5
Бетон, железобетон	5	3	0	0	4	0	4	5
Стекло	3	4	0	0	0	3	5	3
Стеклопластики	3	4	0	0	5	5	5	5
Соединения								
Сварные	5	5	3	5	4	3	0	0
Паяные	5	5	3	0	3	3	0	0
Резьбовые	0	0	3	5	4	0	0	0
Детали и изделия								
Железнодорожные рельсы	3	5	3	4	3	0	0	0
Котлы и радиаторы	5	4	4	3	4	3	4	0
Примечание. Оценка вида НК: 5 – отл.; 4 – хор.; 3 – удовл.; 0 – неудовл.								

Таблица 2

Примеры комплексного контроля изделий и сварных соединений

Толщина материала, мм	Стали		Сплавы	
	Углеродистые и низколегированные	Высоколегированные с мелкозернистой структурой	Алюминиевые	Титановые
до 4	Р + М (К)	Р + К	Р + К	Р + К
свыше 4 до 25	Р + М (К) или УЗ+М(К)	Р + К или УЗ + К	Р + К или УЗ + К	Р + К или УЗ + К
свыше 25 до 80	Р + М (К) или УЗ+М(К)	Р + М (К) или Р+УЗ+М(К)	Р + К или УЗ + К	Р + К или УЗ + К
свыше 80 до 250	УЗ+М(К) или Р+М(К)	Р + К или Р+УЗ+М(К)	Р + К или УЗ + К	УЗ + К или Р + К

Примечание: Р – радиационная, УЗ – ультразвуковая, М – магнитная, К – капиллярная дефектоскопия

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. Чувствительность основных методов капиллярной дефектоскопии представлена в табл. 3.

Комбинированные капиллярные методы контроля в зависимости от характера физических полей (или излучений) и особенностей их взаимодействия с контролируемым объектом классифицируют следующим образом: капиллярно-электростатический – КЭ; капиллярно-электроиндуктивный – КИ; капиллярно-магнитопорошковый – КМ; капиллярно-радиационный излучения – КРИ; капиллярно-акустический эмиссионный – КАЭ; капиллярно-электроразрядный – КЭР.

Чувствительность основных методов КД

Метод КД	Раскрытие, мкм	Глубина, мкм	Протяженность, мкм
Люминесцентный:			
порошковый	10...30	100...300	2...3
суспензионный	5...10	30...40	1...2
красочный	1...2	10...30	> 0,1
лаковый	2...5	10...30	0,1...0,5
Цветной:			
суспензионный	5...10	40...50	2...3
красочный	1...2	10...30	0,1...0,3
Люминесцентно-цветной:			
красочный	> 1	> 10	> 0,1

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. 2, а). Эти мениски вызывают появление двух капиллярных давлений p_1 и p_2 , равнодействующая которых Δp направлена вглубь полости дефекта. Попав в полость дефекта, жидкость будет удерживаться там капиллярными силами.

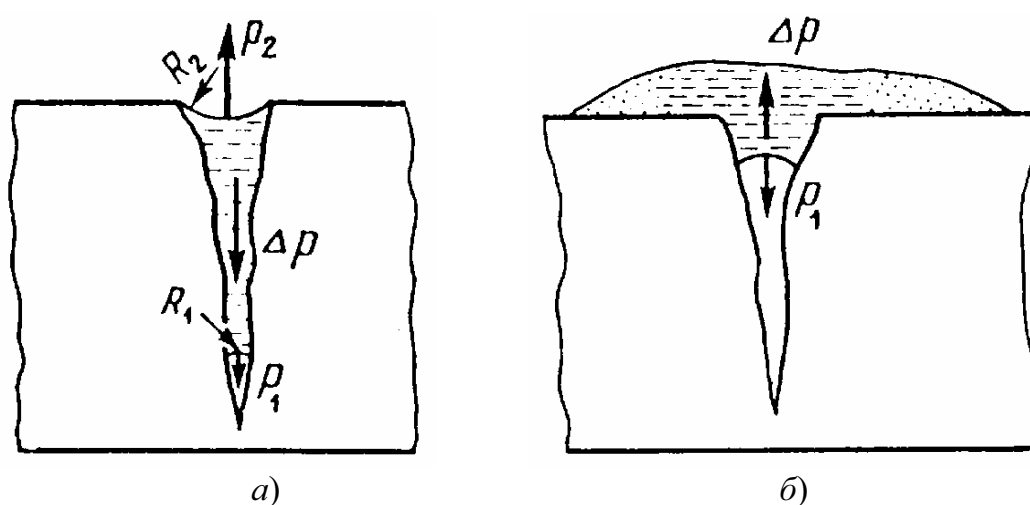


Рис. 2. Схемы проникновения жидкостей вглубь тупиковой трещины (а) и проявления индикаторных следов дефектов (б)

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 Δp созданных менисками капиллярных давлений существенно превышает давление p_1 и действует в противоположном ему направлении.

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.

Для эффективного обнаружения дефектов требуется высокая концентрация красителя в индикаторном рисунке для обеспечения уровня яркости, который может быть различим глазом или регистрирующим устройством. Минимальная толщина системы краситель/жидкость, при

которой обеспечивается видимость рисунка, является характеристикой красителя, концентрации красителя и типа красителя (является ли он люминесцирующим или нелюминесцирующим). Люминесцентные красители также требуют определенного минимума толщины для выделения люминесцентного свечения.

Поскольку высокая эффективность обнаружения дефектов желательна при поиске небольших плотных несплошностей, большая проникающая способность жидкостей может вызывать затруднения. Одним из нежелательных обстоятельств при контроле изготовленных деталей, имеющих штампованные поверхности или другие поверхности с высокой естественной шероховатостью, которые могут способствовать удерживанию значительного количества пенетранта, является то, что неровности поверхности будут непрерывно опоражниваться во время последующих операций контроля. Затрудненный выпуск пенетранта из этих поверхностей может также способствовать затруднению обнаружения дефектов. Более вязкие пенетранты могут уменьшить до некоторой степени выпуск из этих неровностей; однако, лучше попытаться ограничить попадание пенетрантов в такие неровности, насколько это возможно.

Пенетрант должен быть видимым, после того как он введен, а затем извлечен из несплошности. Наиболее простым способом для осуществления этого требования является добавление красителя в пенетрант, с тем чтобы его цвет контрастировал с фоном. Керосиново-меловой способ был вначале предназначен для обеспечения видимости темных пятен в зоне дефектов на белом фоне; добавление красителя к керосину усовершенствовало систему капиллярного контроля за счет появления цветового контраста.

Индикаторные пенетранты приготавливают 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.

Красный цвет обеспечивает более высокий цветовой контраст по сравнению со множеством других цветов. Красные красители недороги и легко растворяются в масле. При использовании эмульгаторов или растворителей для удаления избытка пенетранта с поверхности деталей, небольшое количество пенетранта задерживается в поверхностных де-

фектах, а затем после нанесения проявителя эта часть пенетранта растворяется слоем проявителя. Для того, чтобы скомпенсировать такое растворение, используются повышенные концентрации красителя. Наиболее чувствительными видимыми окрашенными пенетрантами являются те, которые содержат очень темный красный краситель и максимальное количество красителя, которое может быть растворено в носителе пенетранта без выпадения осадков.

Красные красители видны в очень тонких пленках; однако, люминесцентные красители видны в еще более тонких пленках. Одной из основных причин, по которым пенетрант с видимым красителем рассматривается менее чувствительным, чем люминесцентный, является то, что люминесцентный пенетрант может обеспечить яркую индикацию при меньшем количестве жидкости в более тонком слое.

Цветные красители могут использоваться в пенетрантах последующего эмульгирования, в водосмываемых и органосмываемых пенетрантах. Последние два типа обычно являются наиболее чувствительными. Для улучшения достаточной чувствительности наилучшими проявителями являются растворяющие суспензионные или пленочные проявители.

Обычно цветной пенетрант имеет легколетучий компонент, который может полностью испариться за короткое время контакта пенетранта с поверхностью объекта контроля, оставляя при этом высокую концентрацию красителя в несплошности. Летучесть характеризуется давлением паров или температурой кипения жидкости. Низкая летучесть желательна при работах в открытых резервуарах во избежание потерь пенетранта при хранении. Быстро испаряемый пенетрант будет сохнуть быстрее на поверхности контролируемого объекта во время их контакта, оставляя при этом пленку, которая трудно удаляется. Такое условие должно быть сбалансировано с преимуществом повышенной концентрации красителя в несплошностях. Следовательно, летучесть является важным вспомогательным условием. При использовании материалов с низкой температурой воспламенения и токсичных летучесть может рассматриваться исходя из соображений безопасности.

Для удаления избыточной части пенетранта с поверхности детали используется растворитель. Растворитель, содержащийся в пленкообразующем проявителе, растворяет тяжелые составляющие пенетранта в трещине и частицы красителя и обеспечивает повышенную подвижность пенетранта при контакте с проявителем. Порошок и пленка в проявителе обеспечивают высокую чувствительность и разрешающую способность. Вследствие высокой летучести такой пенетрант обычно содержится в аэрозольных баллонах. Такая система капиллярного контроля наиболее практично может быть использована для проверки сварки, локализованных небольших

площадей или небольших деталей. Подобный специальный пенетрант был разработан для того, чтобы продемонстрировать, как отклонение одной из составляющих может оптимизировать одну из характеристик пенетранта для специальных областей применения при сохранении других свойств. Основным преимуществом цветного пенетранта является то, что он может быть использован при обычном освещении, а комплект необходимых материалов может быть размещен в небольшой переносной сумке.

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.

Избыток пенетранта удаляют протиркой ветошью, салфетками, а фон устраняют ветошью, пропитанной растворителем. В этом процессе используются углеводородные растворители промышленного типа и хлорированные растворители. Растворители могут быть также использованы для предварительной очистки деталей с целью промывки и удаления с помощью щетки масла, смазки и грязи. Иногда необходимы растворители краски (смывки), позволяющие удалить лакокрасочное покрытие с контролируемого объекта; они также могут быть использованы для удаления пенетранта.

Углеводородные растворители и многие смывки являются легковоспламеняемыми. Их не следует использовать вблизи открытого огня. Хлорированные растворители имеют высокую температуру воспламенения и не горят, если на них не воздействует пламя топлива с более высокой точкой воспламенения.

Для предохранения рук, находящихся в контакте с растворителем в течение длительного времени, должны быть использованы резиновые или пластиковые перчатки.

Растворители используются в некоторых процессах с последующим эмульгированием для устранения фона с таких деталей, как литые лопасти турбины.

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.

Проявитель имеет четыре основные функции:

- 1) извлечение достаточного количества пенетранта из несплошности для образования индикаторного рисунка;
- 2) увеличение ширины индикаторного рисунка, достаточной для того, чтобы он стал видимым;

- 3) увеличение яркости люминесценции люминофора по отношению к его основной яркости;
- 4) увеличение толщины пленки пенетранта в зоне индикаторного рисунка для превышения установленного порога видимости тонкой пленки люминофора.¹

Необходимым условием обеспечения проявителем этих требований является его способность адгезии к поверхности. Адгезия достигается различными механизмами в зависимости от разных типов проявителей. Шероховатость поверхности детали также влияет на адгезию проявителя к ней.

Первая функция в механизме проявления усиливается при нагревании за счет самопроявления или повторного выделения пенетранта вследствие капиллярного действия и растворения. Сухие и суспензионные в воде проявители не могут извлечь пенетрант из несплошности, кроме как за счет капиллярного действия. Нагрев должен зависеть от способности пенетранта к расширению и понижению его вязкости с целью обеспечения самопроявления. Проявитель создает пористое покрытие, обеспечивая множество путей для проявления капиллярного действия пенетранта. Таким образом, проявитель обеспечивает «промокательное» действие, которое позволяет извлечь большее количество пенетранта из несплошностей.

Все функции проявителя, по крайней мере частично, достигаются за счет капиллярного действия. Такое действие вытягивает пенетрант в стороны от дефекта на поверхности детали, делая его видимым. Капиллярное действие создает множество тонких пленок пенетранта вокруг частиц проявителя, что повышает яркость их свечения.

Капиллярное действие работает также вертикально через проявитель, увеличивая толщину раствора-люминофора.

Растворители в суспензионных проявителях (безводных) и пленочных проявителях являются также растворителями и для пенетранта. Добавленный в пенетрант растворитель понижает его вязкость и увеличивает объем. Такой процесс позволяет пенетранту достигать поверхности детали и проникать в проявитель, образуя индикаторный рисунок за счет капиллярного действия.

Имеются две характеристики индикаторных рисунков, которые в широком пределе управляются проявителями: чувствительность и разрешающая способность. Чувствительность является результатом того, что проявитель способен образовывать индикаторные рисунки при не-

¹ Примечание. В дополнение к этому проявитель создает также одноцветный фон, обеспечивающий высокий оптический контраст индикаторного рисунка.

большом объеме извлеченного пенетранта. Разрешающая способность представляет собой свойство проявителя показать, что два или более индикаторных рисунка, примыкающих друг к другу, являются по существу двумя отдельными проявлениями.

Имеется пять основных видов проявителей, используемых с пенетрантами:

- 1) сухой порошок;
- 2) водная суспензия;
- 3) суспензия в растворителе;
- 4) раствор в воде;
- 5) пластиковая пленка.

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.

Сухие порошковые проявители

Сухие порошки использовались для капиллярного контроля, начиная с середины 50-х годов. Первыми порошками были тяжелые порошки, которые могли заполнять погружной бункер. Вскоре стали применять легкие порошки, например смесь силиконового аэрогеля и талька или другие. Эти порошки не токсичны, однако легкая пыль может быть суспензирована в воздухе, оказывая вредное действие на некоторых людей. Низкая плотность порошка позволяет деталям погружаться в него подобно погружению в жидкость. Частицы порошка имеют склонность к агломерации и скреплению друг с другом, однако размешивание при погружении деталей разрушает сгруппированные частицы. Порошок должен быть сухим. Некоторые технологии требуют периодически помещать его в сушильную печь для удаления влаги.

Детали с грубыми поверхностями не нуждаются в длительном контакте с проявителем, поскольку грубая поверхность будет удерживать достаточное количество проявителя при быстром погружении или с использованием распылителя.

Правильно нанесенный сухой проявитель равнозначен по чувствительности суспензионному в воде, мокрому проявителю, нанесенному погружением, и обычно показывает лучшую разрешающую способность.

Сухой проявитель создает четкий тонкий слой на поверхности. Это обеспечивает некоторые определенные преимущества над проявителями со сплошным слоем, который остается при использовании мокрого проявителя. Часть проявителя, которая находится в зоне индикаторного рисунка, ограничивает объем выпуска пенетранта; это обеспечивает лучшую разрешающую способность, чем при использовании мокрого проявителя. Легкое покрытие поверхности не может абсорбировать большое количество пенетранта, который просачивается из газовых или усадочных пористостей. Если пористость является распространенной, сухой порошок будет в значительной степени уменьшать общий фон.

Весьма существенным преимуществом сухого проявителя является низкая стоимость обслуживания. Единственно необходимой является проверка при ультрафиолетовом облучении, осуществляемая периодически, для убеждения в том, что отсутствует слишком большая вредная люминесценция. Он должен время от времени осушаться, если появляется увлажнение или склонность к слеживанию. Такой проявитель является идеальным только при контроле небольших партий и его не следует использовать ежедневно.

Сухой порошок может наноситься на детали с помощью автоматических устройств или в камере Вильсона. Наиболее предпочтительными для напыления проявителя на деталь являются электростатические сопла, которые увеличивают его адгезию. Камеры Вильсона или электростатические устройства нанесения требуют намного меньше порошка для начальной загрузке системы, чем погружной резервуар.

Удаление сухого проявителя обычно не требуется. Однако, если это потребуются, достаточно обдуть детали воздухом и обрызгать небольшим количеством воды. Из глухих углублений проявитель обычно может быть удален сжатым воздухом.

Суспензионные водные проявители

Суспензионные водные (мокрые) проявители имеют много преимуществ, которые, однако, компенсируются некоторыми недостатками. Мокрый проявитель обычно поставляется в виде сухого порошка, который должен быть смешан с водопроводной водой; кроме того, он поставляется также в готовом виде. Порошок содержит в себе поверхностно-активное вещество для смачивания поверхности деталей, с тем чтобы проявитель полностью покрывал детали. Порошок содержит также ингибитор коррозии для предохранения контролируемых объектов и резервуаров в оборудовании. Он содержит также диспергатор для уменьшения слеживаемости порошка. В некоторых случаях добавляются гели для поддержания частиц в суспензированном виде. Хорошо

перемешанный порошок проявителя не должен оседать по глубине более чем на 50 % в течение 15 минут.

Преимуществом мокрого проявителя является то, что он может быть легко визуально обнаружен, если покрыта вся поверхность. Толщина покрытия может регулироваться концентрацией частиц. Концентрация может быть измерена простым гидрометрическим испытанием. Поставщики могут предоставить графики для корреляции концентрации в зависимости от гидрометрических показаний.

Мокрые проявители можно весьма эффективно наносить распылением. Иногда необходимо разрушать слежавшиеся комки при использовании напыляющего оборудования.

Некоторые испытания выявили, что очень тонкие трещины на хромированных пластинах могут быть обнаружены после напыления почти чистой жидкости из верхней части проявителя, в котором образовался осадок. Тщательно перемешанный проявитель обладает гораздо меньшей чувствительностью. Почти чистая жидкость содержит очень тонкие частицы в суспензии и обеспечивает оптимальную смесь, необходимую для обнаружения очень тонких трещин. Другим возможным подходом является смешивание 227 граммов проявителя с 3,8 литрами воды, а затем после выдержки в течение 4 часов растворение этого объема еще 35 литрами воды. Разбавленная таким образом суспензия после этого распыляется с расстояния 1,2 м от поверхности контрольных хромированных пластин. При этом обнаруживаются тончайшие трещины. Описанная процедура обычно не используется в промышленности. Этот пример представлен для того, чтобы показать потенциальные возможности мокрых проявителей.

Мокрый проявитель образует сплошное покрытие на поверхности детали. Такое покрытие содержит непрерывные цепочки пор, в которых реализуется капиллярное действие пенетранта. Если покрытие будет слишком толстым, возможно, что объем пенетранта из дефекта задержится в его слое и будет недостаточным для образования индикаторного рисунка сверху покрытия. Сплошное покрытие может также привести к расплыванию индикаторного рисунка до такой степени, что он не будет виден.

Мокрые проявители имеют некоторые недостатки. Если проявитель не используется в течение двух или трех дней, иногда трудно снова перемешать его до состояния суспензии. Поддерживание проявителей в полностью суспензированном виде является весьма важным, поскольку верхний слой воды может удалить некоторую часть покрытия при извлечении деталей из резервуара. Это может вызвать образование полос на их поверхности. Детали должны быть тщательно высушены и иногда повернуты в сушилке так, чтобы в их критических областях не образова-

лось толстое покрытие проявителя, которое будет маскировать индикаторные рисунки. Мокрые проявители имеют повышенную стоимость. Концентрация порошка в проявителе должна проверяться ежедневно; при сухом климате вода испаряется более быстро, чем при влажном климате. Попадание брызг от промывочной установки в резервуар с проявителем будет уменьшать концентрацию. Периодически должна осуществляться проверка проявителя для убеждения в том, что поверхностно-активное вещество не истощено. Обслуживание системы перекачки суспензии является постоянно существующей проблемой. Стеkanie мокрого проявителя в сушилке затрудняет обслуживание этого оборудования. Удаление мокрого проявителя, который попал в сушилку, весьма затруднительно. Высохший проявитель также трудно удаляется с грубых поверхностей контролируемых объектов и всегда требуется дополнительная операция промывки, чтобы удалить проявитель. Удаление из глухих отверстий и полостей также является очень трудоемкой операцией. Для некоторых критических деталей отверстия должны быть закупорены, чтобы проявитель оставался снаружи, поскольку остаток может впоследствии привести к неправильному функционированию детали.

Водорастворимые проявители

Водорастворимые проявители обычно поставляются в виде кристаллического порошка, который позволяет получить прозрачный раствор при смешивании с водой. При испарении воды с контролируемой поверхности эти вещества перекристаллизуются. Границы кристаллов обеспечивают капиллярное действие пенетранта; кристаллическая структура рассеивает люминесцентное излучение, что увеличивает видимую толщину пленки путем отражения от граней прозрачного кристалла.

Водорастворимые проявители не содержат суспензированных частиц: смачивающие агенты (поверхностно-активные) и ингибиторы коррозии должны быть добавлены. В некоторых географических областях необходимо добавить фунгицид для предотвращения роста грибков.

Водорастворимые проявители должны наноситься на детали после удаления пенетранта, но до сушки их поверхности. Эти проявители не должны подвергаться сушке на открытом воздухе. Они должны сушиться при повышенной температуре с использованием рециркулярного нагретого воздуха. Температура поверхности контролируемых деталей не должна превышать 82 °С.

Водорастворимые проявители могут быть использованы при различных концентрациях. Оптимальная концентрация должна быть определена путем сравнительных испытаний на чувствительность с другими

проявителями, которые показали удовлетворительные результаты. Имеется недостаточное количество данных по применению разных уровней концентрации, однако концентрация может быть удовлетворительно замерена при помощи гидрометра. Таблицы перевода концентрации в значения удельного веса (показания гидрометра) должны быть получены от изготовителя. Этот вид проявителя имеет хорошую поверхностную адгезию, хотя он легко удаляется водой.

Водорастворимые проявители имеют недостатки, подобные мокрым проявителям. Они не имеют растворяющей основы для пенетрантов, основанных на масле; проявители обладают только капиллярным действием. Нанесение на детали способом погружения может обеспечить неоднородное покрытие поверхности, маскировку дефектов и недостаточное проявление в областях, покрытых тонким слоем. Было также обнаружено, что водорастворимые проявители могут изменить цвет красителя пенетранта по направлению к голубому. Водорастворимый проявитель не рекомендуется для использования с водосмываемым пенетрантом.

Суспензионные проявители на основе растворителей

Суспензированные в растворителе проявители используются для капиллярного контроля почти с начала его применения. Они преимущественно применялись с цветными пенетрантами, чтобы обеспечить однородный белый фон. Для цветных пенетрантов необходим высококонтрастный фон и высокая чувствительность безводного проявителя для реализации чувствительности.

Вследствие высокой летучести и воспламеняемости суспензионного проявителя требуется его хранить в герметичных сосудах. Поэтому обычным видом поставки этих проявителей являются портативные резервуары.

Причиной высокой чувствительности суспензионного проявителя на основе растворителя является то, что он имеет двойное действие. Он может реагировать с пенетрантом в несплошности путем его разбавления, уменьшая при этом его вязкость и увеличивая объем. Такое растворяющее действие существенно увеличивает проникновение пенетранта в слой порошка на детали, что обеспечивается множеством капилляров, в которые он может проникнуть. Сразу после начала процесса проявления капиллярное действие продолжит извлечение пенетранта из несплошности для получения индикаторного рисунка.

Дисперсионной средой суспензионных проявителей являются нефтяные растворители, спирт и хлор – производные углеводов. Хлорированные растворители используются наиболее часто, поскольку их высокая температура воспламенения предопределяет их низкую вос-

пламеняемость. Поставляются также проявители на основе нехлорированных растворителей, однако для специальных целей.

В проявители добавляются диспергаторы для предотвращения агломерации и осаждения порошка. Проявители, используемые для люминесцентных пенетрантов, имеют более низкую концентрацию частиц, поскольку в этом случае необходимы более легкие покрытия порошка. Добавляются также поверхностно-активные агенты для обеспечения достаточной адгезии с поверхностью испытуемых объектов.

Суспензионные проявители на основе растворителя обычно наносятся на детали путем распыления. Вследствие их воспламеняемости и быстрой потери растворителя из-за испарения по практическим и экономическим соображениям их не следует хранить в открытых резервуарах. Они могут распыляться из сосудов под давлением с использованием краскораспылителей или электростатических систем распыления. Рабочее помещение, где распыляется проявитель, должно вентилироваться для удаления паров растворителя.

Использование суспензионных проявителей при ручном распылении имеет некоторые особенности. Цветные пенетранты требуют однородного покрытия, плотность которого достаточна для обеспечения белого контрастного фона, но которое не маскирует индикаторные рисунки. Для проявления люминесцентных пенетрантов достаточно очень легкого покрытия. Суспензионные проявители не должны наноситься при ультрафиолетовом излучении, поскольку при этом затруднен контроль количества нанесенного проявителя. Многократное нанесение тонких слоев проявителя краскораспылителем, произведенное с расстояния около 305 мм от поверхности детали, обеспечит наилучшие результаты.

Перед нанесением проявителя поверхности деталей должны быть осушены. Затем детали должны быть охлаждены. Когда деталь охлаждена до такой степени, что до нее можно дотронуться рукой, может быть нанесен проявитель. Горячая деталь будет испарять растворитель настолько быстро, что будет утрачено растворяющее действие пенетранта. Первый слой проявителя должен быть подсушен перед наложением второго слоя.

Для суспензионных проявителей на основе растворителя желательны следующие свойства:

- 1) частицы порошка должны быть прозрачными, бесцветными для люминесцентных пенетрантов, белыми для цветных пенетрантов;
- 2) частицы должны быть легко диспергируемыми;
- 3) компоненты проявителей должны быть химически инертными и стабильными;
- 4) отсутствие коррозии по отношению к контролируемым материалам;

- 5) селективные растворители должны иметь подходящий баланс упругости паров;
- 6) смешиваемость растворителей с жидкими пенетрантами;
- 7) отсутствие агломерации частиц суспензии;
- 8) легкость удаления с деталей после проведения контроля;
- 9) отсутствие токсичности;
- 10) отсутствие серных и галогенных включений;
- 11) высокий показатель преломления для ультрафиолетовых лучей и люминесцентного излучения.

Пленочные проявители

Проявители на основе пластика или смолы (пленочные проявители) были сначала использованы для жидких пенетрантов с высокой разрешающей способностью. Такие проявители состоят из чистого лака или коллоидной дисперсии смолы. К смоле может добавляться порошок проявителя, чтобы при использовании цветных пенетрантов обеспечить необходимый фон и увеличить показатель преломления. Проявитель напыляется на поверхность деталей в виде очень тонких пленок; высоколетучие растворители при этом испаряются за секунды.

Эффективный механизм действия проявителя заключается в том, что пенетрант растворяется в пластиковой пленке благодаря действию растворителей. Аморфное пластиковое покрытие не обеспечивает капиллярного действия в боковом от дефекта направлении для того, чтобы вызвать расширение индикаторных рисунков. Проявитель, по существу, фиксирует индикаторные рисунки в виде тонких линий. Пленочные проявители наносятся на детали путем распыления. Для правильного применения пленочных проявителей необходимы опыт и знание технических приемов их нанесения. За один проход может быть нанесен тонкий слой проявителя. Толстые влажные слои вызовут растекание пенетранта в пластике и смазывание индикаторных рисунков.

Обычно для проявления дефектов достаточно двух проходов краскораспылителем, если нет необходимости регистрировать дефекты в слое проявителя. В том числе в два слоя наносится пигментированный проявитель при использовании цветных пенетрантов. Если необходимо регистрировать дефекты в отделенном от деталей слое проявителя, дополнительно наносят 5 или 6 слоев непигментированного проявителя до получения пленки достаточной толщины. Можно напылить меньше проявителя, а затем наложить на него прозрачную липкую ленту в зонах, где необходимо регистрировать дефекты.

Чувствительность и разрешающая способность пленочных проявителей весьма высоки; однако такие проявители имеют высокую стои-

мость и не могут быть применены для промышленного использования или для обработки больших деталей. Некоторые их свойства весьма желательны для специальных областей применения, и, в частности, если необходима регистрация индикаторных рисунков.

К недостаткам этих проявителей относится высокая стоимость и необходимость применения специальных технических приемов распыления. Удаление проявителя дополнительно увеличивает стоимость, поскольку проявитель удаляется с использованием специальных дорогих растворителей. Около 8 слоев проявителя необходимо для закрепления рисунков; это увеличивает стоимость материалов и затраты труда.

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).

Класс чувствительности	Чувствительность контроля (ширина раскрытия), мкм
I	Менее 1
II	От 1 до 10
III	От 10 до 100
IV	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. 4.

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 необходимо 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 необходимо профильтровать.

Таблица 4

Комплект	Назначение	Раствор	Компоненты	Кол-во
Ц-II-217.П115. М204	Контроль точечных поверхностей	Индикаторная жидкость И217	Бензин Скипидар А Нориол А Жирорастворимый краситель Ж	300 мл 600 мл 100 мл 10 г/л
-"-	-"-	Очиститель М204	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. М204	Контроль кованных (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 М204	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	—

M204. 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, Namicon) – 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. Рекомендации по применению дефектоскопических материалов в аэрозольной упаковке приведены в приложении 1.

1.4.1. Контроль материалов для капиллярной дефектоскопии

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, подлежащим контролю, относятся:

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

Вязкость является свойством жидкости, которое определяется молекулярным или внутренним трением.

Удельный вес (плотность) пенетранта определяют по отношению к плотности дистиллированной воды при 45 °С. Это обычно не представляет затруднений для пенетрантов на нефтяной основе. Пенетрант должен иметь удельный вес меньше, чем у воды, чтобы вода не всплывала на поверхности пенетранта в ванне. Иначе при погружении в ванну контролируемого объекта вода может мешать проникновению пенетранта на его поверхность и в полости дефектов.

Летучесть характеризуется давлением паров или температурой кипения жидкости. Низкая летучесть желательна при работах в открытых резервуарах во избежание потерь пенетранта при хранении. Быстро испаряемый пенетрант будет сохнуть быстрее на поверхности контролируемого объекта во время их контакта, оставляя при этом пленку, которая трудно удаляется. Такое условие должно быть сбалансировано с преимуществом повышенной концентрации красителя в несплошностях. Следовательно, летучесть является важным вспомогательным условием. При использовании материалов с низкой температурой воспламенения и токсичных летучесть может рассматриваться исходя из соображений безопасности.

Большинство ссылок на воспламеняемость нефтепродуктов относится к их температуре воспламенения. В некоторых технических условиях приведена требуемая минимальная температура воспламенения 25 °С; поставщики пенетранта обычно считают температуру 57 °С в качестве наилучшей минимальной температуры. Как правило, при контроле воспламеняемости в закрытом тигле используется температура до 80 °С, тогда как контроль с открытой крышкой проводится при температуре выше 80 °С. Стандарт Американского общества по испытанию материалов D-93 устанавливает использование закрытого испытания «Пенски-Мартин», тогда как открытый режим испытаний «Кливленд» по стандарту D-92 использует режим испытаний при температуре выше 80 °С.

Воспламеняемость рассматривается как категория безопасности, когда нефтепродукты хранятся в открытых резервуарах. Пожарные страховые компании обычно весьма строго подходят к этому вопросу. В некоторых распыляемых проявителях содержится такое количество спиртов, которое может привести к воспламенению при комнатной температуре. Многие из поставщиков пенетрантов, которые занимаются поставкой воспламеняемых проявителей, могут поставлять также невоспламеняемые типы, в которых использован хлорированный раствор.

Весьма важно, чтобы пенетрант был химически совместим с материалом, подвергаемым контролю. Пенетранты, содержащие хлориды, хлор или серу, часто не могут быть использованы для аустенитных сталей,

титана и сталей с высоким содержанием никеля. Стандарт Американского общества по испытанию материалов ASTM E-165-75 рекомендует, чтобы содержание хлора было ограничено до 1 % в соответствии с ASTM-D-808. Такой контроль может обеспечивать приемлемые аналитические результаты при содержании серы 1000 частей на миллион или более.

Космические службы, использующие жидкое ракетное топливо, предъявили требования к пенетрантам, которые были бы совместимы с жидким кислородом. Проверка на совместимость с жидким кислородом является испытанием на взрывоопасность.

Имеются другие условия совместимости для определенных видов продуктов. При появлении новых областей применения совместимость органического материала пенетранта или других растворов должна быть установлена. Должны быть учтены потенциальные реакции в соответствии с действительными рабочими условиями продукта. В таких областях применения, как контроль серебряных сплавов, когда печатные платы имеют рабочую температуру выше комнатной, или при использовании для реактивных двигателей, когда величины рабочих температур весьма высоки, тепло может выжечь легколетучие компоненты пенетранта, которые оставят следы в соединениях внахлестку, в щелях и других углублениях. В таких случаях сухой осадок, содержащий хлориды или серу, может нежелательно реагировать с металлом. Коррозия, вызванная компонентами пенетранта, может произойти, если следы пенетранта приведут к образованию электролита между металлами, образуя ячейку катодной коррозии.

Пенетрант не должен реагировать с металлом контролируемой детали и не должен вступать в реакцию с материалом резервуара, в котором он содержится. Mil-I-25135 требует, чтобы все жидкие компоненты пенетранта были испытаны на коррозионное воздействие на сталь, алюминий и магний. Полоски из этих материалов полируются до тех пор, пока они не станут гладкими и блестящими; затем три полоски того же металла помещаются в испытательную трубку, содержащую материал пенетранта, подлежащий проверке. Металлические образцы должны быть достаточно длинными, чтобы выступать над поверхностью жидкого материала пенетранта. Проверке подвергаются пенетранты, эмульгаторы, мокрые проявители и растворители. В испытательную трубку вместе с металлическими образцами помещается также термометр. Затем испытательные трубки помещаются в контейнер с горячей водой; в течение нескольких часов поддерживается температура в 50 °С. Должно отсутствовать образование раковин, коррозии или потускнения на погруженной области, на поверхности раздела жидкость/воздух или в зоне паров над жидкостью.

Проверки на возможность пенетрантов действовать в качестве электролита для образования ячейки катодной коррозии обычно не тре-

буются. В стандарте ASTM (часть 10) приведен ряд видов испытания на коррозию, на некоторые из которых ссылаются пользователи капиллярного неразрушающего контроля.

Совместимость с контролируемым материалом (металлом) является другой категорией взаимодействия между пенетрантом и металлом. Некоторые такие реакции ускоряются при высоких значениях температур, например в горячих секциях реактивных двигателей, или, наоборот, в холодных условиях, при которых хранятся хладагенты. Другим важным условием совместимости является возможность применения пенетранта в системе, где он может реагировать с химическими веществами, ранее содержащимися в системе. Сильный окислитель, такой как жидкий кислород (LOX), является хорошим примером этого. Последние данные, полученные при использовании пенетранта на системах LOX, допускают использование промышленного пенетранта на несмонтированных деталях, которые могут быть соответственным образом очищены после проверки. Частично изготовленные компоненты, которые не могут быть соответствующим образом очищены, должны использовать специальные пенетранты, предназначенные специально для совместимости с LOX.

Входному контролю должны подвергаться:

- материалы для приготовления индикаторных пенетрантов, проявителей и очистителей;
- наборы дефектоскопических материалов в аэрозольной упаковке.

Входной контроль материалов для капиллярной дефектоскопии включает проверку на соответствие данных, приведенных в сопроводительной документации, требованиям стандартов и технических условий, а также определение чувствительности контроля (в соответствии с заданным классом чувствительности) с использованием комплекта дефектоскопических материалов.

При входном контроле готовых наборов дефектоскопических материалов в аэрозольной упаковке проверяют:

- на соответствие полученных наборов заказу;
- наличие сопроводительной документации (упаковочного листа, этикетки) с проверкой полноты приведенных в них данных;
- комплектность набора согласно сопроводительной документации;
- исправность аэрозольного баллончика; проверяют путем распыления состава на образец фона или на любую чистую поверхность (лист бумаги, в колпачок баллончика и др.);
- отсутствие повреждения упаковки и самих материалов;
- действие срока годности.

Входной контроль материалов при приготовлении индикаторных пенетрантов, проявителей и очистителей (красители жирорастворимые

темно-красные, нориол, скипидар, спирт этиловый, керосин, каолин и т. д.) на предприятии предусматривает проверку соответствия данных, приведенных в сопроводительном документе требованиям стандартов, и срока годности материала.

Дефектоскопические материалы (пенетранты в аэрозольной упаковке и приготовленные на предприятии, очистители, проявители) перед их использованием подлежат:

- проверке годности их рабочих составов для выполнения контроля;
- проверке чувствительности контроля с использованием комплекта дефектоскопических материалов.

Проверку качества дефектоскопических материалов следует производить не менее чем на двух эталонных паспортизованных образцах с трещинами одинакового характера и близкими по размерам.

Один образец (рабочий) следует применять постоянно при контроле материалов, второй образец (эталонный) используется как арбитражный в случае невыявления трещин на первом рабочем образце. Если на эталонном образце трещины тоже не выявляются, то проверяемый дефектоскопический материал (материалы) признается негодным к употреблению и подлежит списанию. Перед приготовлением нового дефектоскопического материала из тех же компонентов рекомендуется выполнить проверку основных компонентов.

В том случае, когда на эталонном образце трещины выявляются, а на рабочем нет, тогда рабочий образец следует или тщательно очистить перед повторным контролем, или заменить новым. Эталонные контрольные образцы подлежат ежегодной аттестации в организации их изготовившей.

Чувствительность контроля (k) с использованием дефектоскопических материалов определяется на эталонных паспортизованных образцах с трещинами определенного размера согласно классу чувствительности по ГОСТ 18442. Допускается чувствительность определять с использованием контрольного образца, приведенного на рис. 3. При этом чувствительность подсчитывается по формуле:

$$k = l_1 \cdot S / l,$$

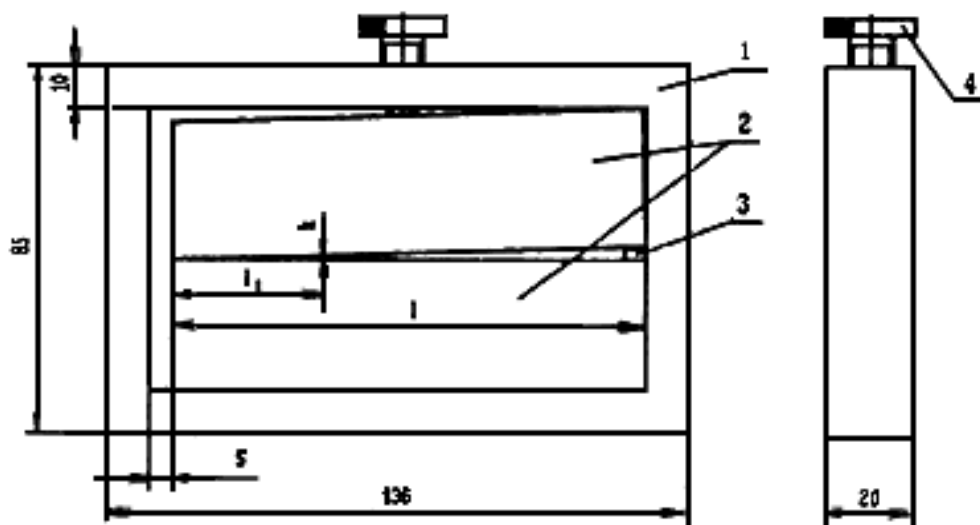
где l_1 – длина невыявленной зоны, мм.

l – длина клина, мм.

S – толщина щупа, мм.

Примечание. Чувствительность капиллярного контроля конкретных сварных соединений должна задаваться нормативно-технической, конструкторской или производственно-технологической (контрольной) документацией согласно ГОСТ 18442.

Контрольный образец с искусственным дефектом (рис. 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 (Ra) 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).



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

Рис. 3. Контрольные образцы
для проверки чувствительности дефектоскопических материалов

В тех случаях, когда чувствительность контроля получается ниже заданной для конкретных сварных соединений (сварных узлов), контролируемая партия дефектоскопических материалов к употреблению не допускается.

На баллончиках и емкостях, в которых находятся дефектоскопические материалы, прошедшие входной контроль и допущенные к применению, наклеивается этикетка с указанием о допуске материала к контролю, класса чувствительности и даты очередной проверки.

После использования контрольные образцы следует очистить. Очистку контрольных образцов следует проводить либо выдержкой их в ацетоне не менее 5 ч, либо промывкой в ацетоне при воздействии ультразвука в режиме кавитации в течение 60 мин. После очистки образцы должны быть высушены и прогреты в течение 15 мин при максимально возможной температуре, не вызывающей окисления металла.

1.4.2. Способы проверки пригодности материалов для капиллярного контроля

1.4.2.1. Контроль пенетранта

При контроле пригодности пенетранта осуществляют проверку двух-трех основных показателей на соответствие требованиям технических условий:

- 1) по внешнему виду;
- 2) вязкости;
- 3) плотности;
- 4) температуре кипения или замерзания;
- 5) интенсивности окраски или яркости люминесценций.

Внешний вид пенетранта определяют путем налива в пробирку или колбу из бесцветного стекла и рассмотрения в проходящем свете на фоне стекла.

При осмотре обращают внимание на цвет жидкости, степень прозрачности, наличие расслаивания, осадка и взвешенных частиц. При попадании влаги в жидкость, что характеризуется помутнением или расслаиванием жидкости, ее использование не допускается. При накоплении в жидкости механических примесей, не влияющих на цвет и яркость, допускается отфильтровать жидкость через четыре-пять слоев марли и повторно проверить.

Содержание механических примесей в пенетранте определяют в соответствии с ГОСТ 6370.

Вязкость пенетранта определяют в соответствии с ГОСТ 33.

Интенсивность окраски красных пенетрантов проверяют визуально, сравнивая их с эталонными на визуальном колориметре, фотоколориметре или спектрофотометре. Для проверки 5–10 мл пенетранта смешивают с бесцветным растворителем или 90–95 мл смеси растворителей. В той же пропорции разбавляют эталонный пенетрант. При визуальном контроле интенсивности окраски пробирку с используемым пенетрантом устанавливают в рамку между двумя пробирками с эталонным пенетрантом. Качество используемого пенетранта считается удовлетворительным, если испытуемый пенетрант не светлее эталонного.

При проверке интенсивности окраски с помощью приборов определяют степень снижения окраски испытуемого пенетранта, сравнивая ее с эталонной. Проверяемый пенетрант бракуют, если по интенсивности окраски он хуже эталонного на 20 %.

В ряде случаев вместо растворов испытуемого и эталонного пенетранта используют образцы карточек цвета. Такие карточки изготавливают по следующей технологии: из одной пачки беззольных бумаж-

ных фильтров отбирают пять-шесть фильтров одинаковой толщины и близкой структуры; стеклянную чашку диаметром на 20–30 мм больше диаметра фильтра заполняют на 2/3 высоты красным пенетрантом, срок хранения которого не истек. Фильтры поочередно опускают в пенетрант на 5 с, извлекают и удаляют избыток пенетранта сухим бумажным фильтром, не допуская высыхания окрашенных фильтров, наносят на них краскораспылителями в течение 1–3 с тонкий равномерный слой проявителя, окрашенные фильтры сушат при комнатной температуре 30–60 мин; осматривают полученные карточки цвета и бракуют дефектные с подтеками, неровным слоем и недостаточным количеством проявителя. Цвет полученных карточек соответствует цвету индикаторного рисунка выявляемых дефектов. При проверке цвета партии пенетранта, поступившего на предприятие, изготавливают пробные карточки цвета в соответствии с изложенной технологией. Их сравнивают визуально с образцовыми в дневном отраженном свете. Эти карточки можно использовать также для более точного сравнения цвета пенетрантов с помощью спектрофотометра. Полученные карточки сохраняют цвет в течение 2–3 лет.

Яркость свечения люминесцентных пенетрантов следует проверять аналогичным способом. При визуальной оценке яркости пенетранта необходимо разбавить легколетучим растворителем, например хлористым метилом, до получения 10 % раствора. Испытуемый и эталонный растворы пенетрантов необходимо залить в пробирки и сравнить в ультрафиолетовых лучах.

Для люминесцентных пенетрантов, применяемых при люминесцентно-цветном контроле и изменяющих интенсивность или цвет после испарения летучих растворителей, карточки цвета покрывают тонким слоем проявителя.

При измерении яркости люминесценции на приборах пенетранты бракуют, если яркость испытуемого пенетранта на 25 % меньше, чем у эталонного.

1.4.2.2. Контроль проявителя

При входном контроле качества порошкообразных проявителей предусматривают проверку двух-трех основных показателей на соответствие требованиям технических условий:

- по белизне (или цвету);
- комковатости;
- степени помола (дисперсности);
- загрязнению посторонними веществами или пенетрантом в результате многократного использования.

Белизну порошкообразного проявителя определяют при помощи фотометра любой конструкции путем сравнения с белизной баритовой пластинки. При снижении белизны на 10 % по сравнению с первоначальной при длительной работе проявитель бракуют.

Допускается определить белизну, сравнивая невооруженным глазом испытуемый проявитель со шкалой эталонных пластинок, расположенных в порядке уменьшения белизны, или с эталонным образцом проявителя.

Комковатость и степень помола (дисперсность) порошкообразного проявителя проверяют визуально или пропуская пробу порошка либо суспензии через сито с сеткой. В случае образования комков порошок прокаливают при температуре 105–150 °С, измельчают и просеивают. Комки растирают, суспензию взбалтывают или размешивают.

Загрязнение порошкообразного проявителя или суспензии посторонними веществами или пенетрантом проверяют, сравнивая визуально эталонный и рабочий проявители в дневном свете и ультрафиолетовых лучах (для люминесцентного метода). Потемневший, а также загрязненный пенетрантом проявитель (имеющий окраску при дневном свете и люминесцирующий в ультрафиолетовых лучах) бракуют и не восстанавливают.

Содержание влаги в порошкообразных проявителях определяют по ГОСТ 19609.14 путем прокаливания.

Допускается определять влажность проявителя путем сравнения его внешнего вида (наличие комков, изменение цвета) с эталонным.

1.4.2.3. Контроль проявляющих красок

При входном контроле проявляющих красок предусматривают проверку следующих их показателей:

- внешнего вида и цвета пленки после высыхания;
- условной вязкости;
- продолжительности высыхания.

Для определения внешнего вида и цвета пленки краску наносят краскораспылителем на пластинку из листового алюминиевого сплава или стекла до полного ее покрытия. Пластинку рассматривают в дневном отраженном свете, обращая внимание на наличие крупинки, точек и пятен. Для определения цвета пластинку сравнивают с эталоном картотеки цветов. Пластинку для люминесцентного или люминесцентно-цветного методов рассматривают также в ультрафиолетовых лучах, обращая внимание на наличие посторонних люминесцирующих веществ.

Условную вязкость проявляющей краски определяют при температуре 18–20 °С с помощью, например, вискозиметров ВЗ-1 или ВЗ-4 по методике, изложенной в ГОСТ 8420. Вискозиметр ВЗ-1 обеспечивает измерение вязкости в пределах 5–150 с, ВЗ-4 – в пределах 12–200 с при температуре помещения.

Для определения времени высыхания проявляющую краску наносят на стеклянную или металлическую пластинку в один слой и выдерживают при температуре 20–22 °С. Считают, что краска удовлетворяет требованиям, если по истечении установленного времени на пленке не остается следов от прикосновения ватным тампоном.

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. Для определения свойств пенетранта можно еще использовать и тест-панель. Тест-панель PSM-5 используется для определения основных изменений, снижающих чувствительность пенетрантной системы, в частности:

- состава пенетрантного масла, т. е. уровня его загрязнения;
- состава эмульгатора, т. е. уровня его загрязнения;
- недосмыва или пересмыва гидрофильных эмульгаторов;
- время контакта пенетранта, т. е. выбрано оно слишком большим или слишком коротким;
- концентрации проявителя;
- контактного времени эмульгатора, т. е. выбрано оно слишком большим или слишком коротким;
- времени проявления: критерием является плохая различимость, если время выбрано слишком коротким;
- смываемости в зависимости от давления воды, температуры и т. д.;
- температуры 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. Одним из наиболее важных свойств 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. 4, а). Несмачивающая жидкость образует выпуклый мениск (рис. 4, б). Краевой угол θ между плоскостью, касательной к поверхности жидкости, и поверхностью стенки в точке границы смачивания называется *углом смачивания*. Угол отсчитывают внутрь жидкости.

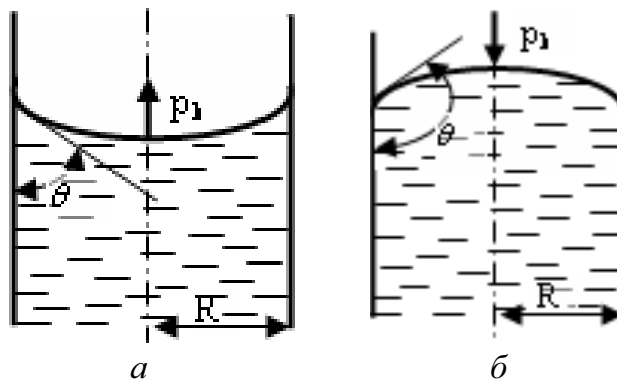


Рис. 4. Вогнутый (а) и выпуклый (б) мениски в капиллярных трубках, наполненных, соответственно, смачивающей и несмачивающей жидкостями

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 ($3-5 \cdot 10^{-6}$ м²/с) [13].

При неполном смачивании (жидкость по поверхности не растекается, а капля стремится принять сферическую форму) смачивающую способность жидкости оценивают с помощью равновесного краевого угла смачивания θ на плоскости, для которого справедливо уравнение Юнга [10, 11, 13]:

$$\cos \theta = \frac{\sigma_{т.г} - \sigma_{т.ж}}{\sigma_{ж.г}}, \quad (1)$$

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.

Величину $\cos \theta$ принято называть смачиванием и обозначать буквой W . 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 [10–13]:

$$S = \sigma_{т.г} - \sigma_{т.ж} - \sigma_{ж.г} \quad (2)$$

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. 5).



а) $\theta < 90^\circ$; б) $\theta = 90^\circ$; в) $\theta > 90^\circ$

Рис. 5. Различные случаи неполного смачивания

Однако из трех поверхностных натяжений – $\sigma_{т.г}$, $\sigma_{т.ж}$ и $\sigma_{ж.г}$ – можно измерить общедоступными методами [32, 33] 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. Способы оценки смачивающей способности

Известны способы оценки смачивающей способности по значению краевых углов смачивания.

Измерение краевого угла по форме капли, находящейся на пластинке [34]. Каплю проектируют на экран (рис. 6), 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. 6).

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

Краевой угол может быть определен по высоте подъема слоя жидкости, примыкающей к стенке сосуда (рис. 7).

В соответствии с законом Гаусса–Лапласа можно написать [35]:

$$\sin \theta = 1 - \frac{\rho_{жс} \cdot g \cdot h^2}{\sigma_{ж.г}}, \quad (3)$$

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

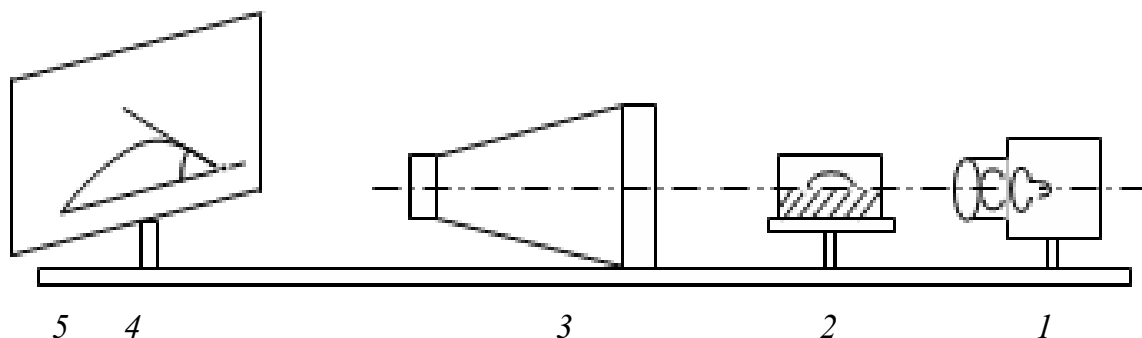


Рис. 6. Схема установки для определения краевого угла:
 1 – источник света; 2 – испытуемая поверхность;
 3 – увеличитель; 4 – экран; 5 – контур капли

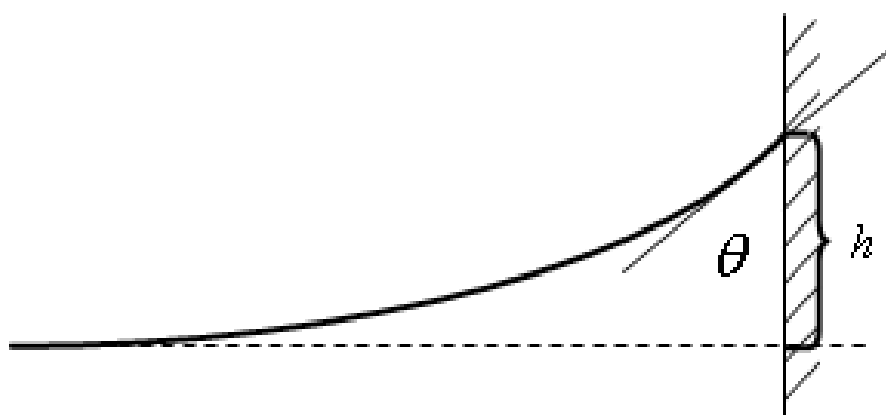


Рис. 7. Высота подъема жидкости по вертикальной стенке

Можно определить значение краевого угла по основным размерам прилипшей капли [33, 34]: по высоте h и радиусу или диаметру площади контакта капли с поверхностью r_k (рис. 7).

Зная эти размеры, рассчитывают угол по следующим формулам:

при $\theta < 90^\circ$ $\cos \theta = \frac{r_k^2 - h^2}{r_k^2 + h^2}$, (4)

при $\theta > 90^\circ$ $\cos \theta = 1 - \frac{h}{r_k}$. (5)

Определение краевого угла из соотношения между радиусами, которые характеризуют кривизну поверхности капли [36].

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

$$r_0 \approx r_{\max} \frac{r_{\max}}{2a^2}; \quad a = \sqrt{\frac{2\sigma_{ж.г}}{\rho_{ж.г} \cdot g}}, \quad (6)$$

где r_0 – радиус кривизны вершины капли;

$r_{\text{макс}}$ – наибольшее расстояние точек медиального сечения капли от ее оси (см. рис. 8);

a – капиллярная постоянная.

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

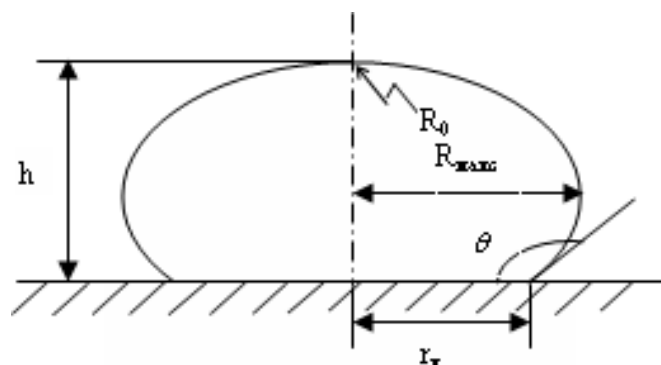


Рис. 8. Капля жидкости на горизонтальной поверхности

Помимо статистических методов определения краевого угла можно применить динамические методы, в частности движение жидкости по капилляру. При этом используется следующая формула [37]:

$$\cos \theta = \frac{2 \cdot \eta \cdot l^2}{r \cdot \sigma_{ж.с.} \cdot \tau}, \quad (7)$$

где τ – время, в течение которого жидкость пройдет по капилляру расстояние l ;

η – 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 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 [3] 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 каплей 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, рас-

текание происходит по гидродинамическому вязкому режиму, при котором радиус пятна растекания равен [11]:

$$r = (4\Delta\sigma \cdot m / \aleph \pi \rho \eta)^{1/4} \cdot t^{1/4}, \quad (8)$$

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;

ρ – плотность жидкости;

η – вязкость жидкости.

Для испаряющейся жидкости в формуле (8) вместо m необходимо записать $m - m_u$, где m – масса капли жидкости в начальный момент растекания; m_u – масса части жидкости, испарившейся за время растекания капли. Количество испарившейся жидкости может быть определено взвешиванием или расчетом по формуле

$$m_u = a\pi \sum_{i=1}^n r_i^2 \cdot \Delta t_i, \quad (9)$$

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;

Δt_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 (8) можно составить соотношение:

$$\frac{r_1}{r_2} = \left(\frac{\Delta\sigma_1 m_1}{\Delta\sigma_2 m_2} \cdot \frac{\rho_2 \eta_2}{\rho_1 \eta_1} \right)^{1/4} \cdot \left(\frac{t_1}{t_2} \right)^{1/4}. \quad (10)$$

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:

$$\frac{S_1}{S_2} = \frac{r_1^4}{r_2^4} \frac{\rho_1 \eta_1}{\rho_2 \eta_2} \frac{m_2 - m_{2u}}{m_1 - m_{1u}} \frac{t_2}{t_1}, \quad (11)$$

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;

ρ_1, ρ_2 – плотность жидкостей 1 и 2;

η_1, η_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_{1u}, m_{2u} – масса части капель жидкостей, испаряющейся за время t_1 и t_2 .

Соотношение (11) 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 (см. приложение) 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 см² площади поверхности жидкости.

1.7. 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. 9–12.

Наиболее характерной особенностью смачивания названных поверхностей является резкое отличие формы кривой изменения диаметра

пятна в зависимости от времени. Из рис. 9 видно, что лучше растекается капля керосина на поверхностях из оргстекла и стали, а скипидар (рис. 10) – на стальной и дюралюминиевой пластинах.

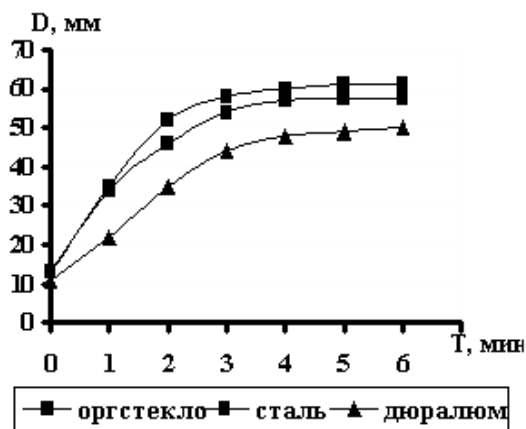


Рис. 9. Зависимость от времени растекаемости керосина на поверхностях оргстекла, стали и дюралюминия

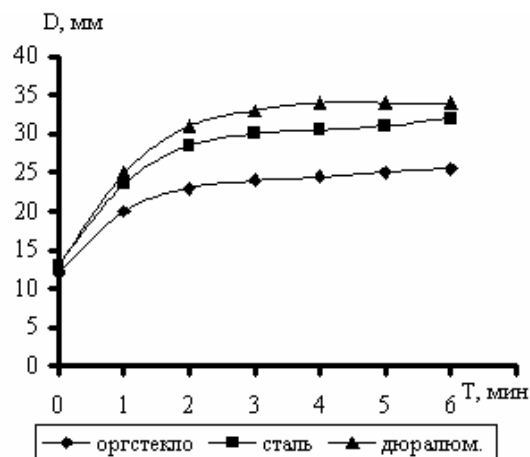


Рис. 10. Зависимость от времени растекаемости скипидара на поверхностях из оргстекла, стали и дюралюминия

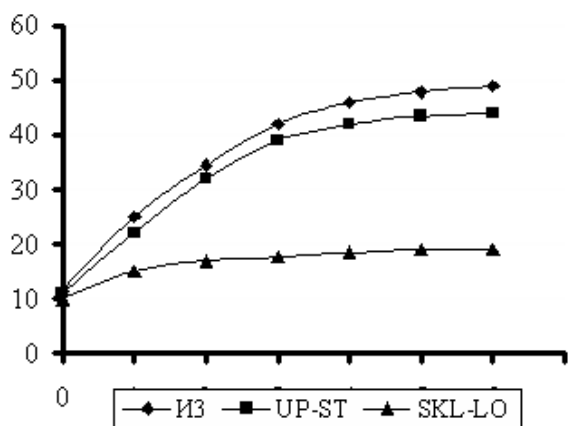


Рис. 11. Зависимости от времени растекания индикаторных жидкостей на стальной поверхности

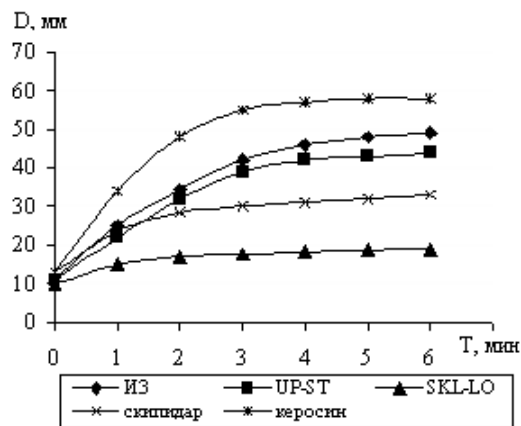


Рис. 12. Зависимости от времени растекания проникающих жидкостей на стальной поверхности

Как видно из рис. 12, 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.

Контрольные вопросы

1. Какой наибольший краевой угол смачивания может иметь пенетрант, обладая самопроизвольным смачиванием?
 - а) 15.
 - б) 5.
 - в) 40.
 - г) 90.

2. Краевой угол смачивания измеряется у поверхности раздела воздух–жидкость на твердом материале. Что из нижеприведимого является справедливым?
 - а) Краевой угол смачивания является одинаковым на всех материалах, имеющих однородную шероховатость поверхности.
 - б) Различные материалы с одинаково гладкой обработкой могут иметь различные краевые углы смачивания.
 - в) Краевой угол смачивания является одинаковым для всех металлов.
 - г) Ни одно из вышеприведенных положений не является справедливым.

3. Размер индикаторного рисунка зависит:
 - а) от размера несплошности;
 - б) эффективности удерживания дефекта;
 - в) способа капиллярного контроля;
 - г) всего вышеприведенного;
 - д) только от пунктов а и в.

4. Какой из видов небольшого индикаторного рисунка наиболее легко может быть обнаружен?
 - а) Тонкий короткий индикаторный рисунок.
 - б) Широкий короткий индикаторный рисунок.
 - в) Тонкий длинный индикаторный рисунок.
 - г) Мелкий короткий индикаторный рисунок.

5. В каком из нижеприведенных случаев капиллярное действие позволяет осуществить более быстрый контроль?
 - а) Широкая длинная трещина.
 - б) Длинная загрязненная трещина.
 - в) Тонкая чистая трещина.
 - г) Широкая мелкая трещина.

6. Масло в трещине может влиять на скорость пропитки путем частичного заполнения трещины и возможности влияния на одно из следующих свойств, которым является:
- а) поверхностное натяжение;
 - б) краевой угол смачивания;
 - в) вязкость;
 - г) все из вышеприведенного.
7. Какое из нижеприведенных испытаний является наилучшим для определения эффективности удерживания дефекта?
- а) Испытание промывкой водой.
 - б) Испытание по яркости люминесценции.
 - в) Испытание на чувствительность.
 - г) Испытание на стабильность люминесценции.
8. Какой из проверяемых на чувствительность образцов является наиболее практичным для сравнения находящегося в работе пенетранта с образцом свежего неиспользованного пенетранта?
- а) Потрескавшийся алюминиевый блок.
 - б) Образцы в виде хромированных пластин с трещинами.
 - в) Деталь с известной трещиной.
 - г) Менисковые линзы.
9. Пенетрант, обладающий низким поверхностным натяжением, малым краевым углом смачивания при соприкосновении и небольшой вязкостью (свойства быстрого смачивателя), может иметь также следующие из нижеприведенных нежелательных свойств:
- а) хороший кинетический параметр пропитки;
 - б) хороший статический параметр пропитки;
 - в) чрезмерное вытекание;
 - г) высокую эффективность абсорбции красителя.
10. Человеческий глаз неодинаково воспринимает все цвета в видимом диапазоне. Какой из нижеперечисленных цветов может быть наиболее легко определен при их одинаковой яркости?
- а) Красный.
 - б) Желто-зеленый.
 - в) Голубой.
 - г) Пурпурный.

11. Цветной пенетрант не является настолько чувствительным, как большинство люминесцентных пенетрантов. Почему?
- а) Красный видимый краситель требует наличия более толстой пограничной пленки.
 - б) Окрашенный пенетрант не излучает достаточного количества света, которое воспринимается глазом.
 - в) Толстое покрытие проявителя, обеспечивающее хороший белый фон, может маскировать индикаторный рисунок.
 - г) Все приведенное выше.
 - д) Только приведенные выше пункты а и в.
12. Свойством, которое управляет скоростью пропитки, является:
- а) вязкость пенетранта;
 - б) поверхностное натяжение пенетранта;
 - в) летучесть пенетранта;
 - г) смачивающее действие пенетранта.
13. Способность пенетранта заполнять дефект определяется:
- а) его поверхностным натяжением;
 - б) краевым углом смачивания;
 - в) вязкостью;
 - г) поверхностным натяжением и краевым углом смачивания.
14. Пенетрант должен быть легче воды, с тем чтобы водное загрязнение всегда находилось у дна резервуара. Это свойство относится:
- а) к вязкости;
 - б) поверхностному натяжению;
 - в) летучести;
 - г) удельному весу.
15. Быстрое испарение пенетранта может повлиять на вязкость, а также на экономичность и безопасность использования пенетранта. Скорость испарения пенетранта определяется:
- а) летучестью;
 - б) вязкостью;
 - в) поверхностным натяжением;
 - г) удельным весом.

16. Воспламеняемость является свойством углеводородов и типы масел и растворителей влияют на безопасность использования пенетранта. Какая из проверок является наилучшей для оценки воспламеняемости?
- а) Вязкость.
 - б) Температура воспламенения.
 - в) Летучесть.
 - г) Удельный вес.
17. До какого процентного содержания в пенетранте часто рекомендуется ограничить содержание хлоридов?
- а) 0,01 %.
 - б) 0,1 %.
 - в) 1,0 %.
 - г) 1,1 %.
18. До какого процентного содержания в пенетранте часто рекомендуется ограничить содержание серы?
- а) 0,01 %.
 - б) 0,1 %.
 - в) 1,0 %.
 - г) 1,1 %.
19. Многие технические условия, включая Mil-1-25-135, требуют проведения испытаний на коррозию материалов пенетранта:
- а) с алюминием;
 - б) магнием;
 - в) сталью;
 - г) всем вышеперечисленным;
 - д) вышеперечисленными а и б.
20. Какой уровень электрического сопротивления должны иметь пенетранты при проведении электростатического распыления, чтобы обеспечить безопасность операторов при использовании ручных распылителей?
- а) Высокое сопротивление.
 - б) Среднее сопротивление.
 - в) Низкое сопротивление.
 - г) Величина сопротивления не имеет значения.

2. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС ЦВЕТНОЙ ДЕФЕКТΟΣКОПИИ

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.

2.1. 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, маг-

ниевых 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.

Перед тем как будет выполняться процесс тщательной очистки, должен быть определен вид загрязнения или покрытия на поверхности изделия. Приведенный ниже перечень включает в себя большинство из наиболее часто встречающихся покрытий и загрязнений. Буквы (а), (б) и (в) показывают влияние этих веществ на поведение пенетранта на описанных выше этапах его взаимодействия с объектом капиллярного контроля:

- 1) стабилизаторы, масла для механической обработки или смазки и другие органические компоненты, содержащие жидкость (а) (б);
- 2) нагар, лаковое покрытие и другие плотно удерживаемые вещества (б) (в);
- 3) накипь, ржавчина, окислы, продукты коррозии, наплавленный металл и осадки расплавленного шлака (б) (в);
- 4) краска и органические защитные покрытия (б);
- 5) вода и гидроокиси, оставшиеся после испарения воды (а);
- 6) концентрированные кислоты или щелочи, а также другие химически активные осадки, включая галогены (б);
- 7) полировочные, формовочные, волоочильные или другие смазки (а) (б);
- 8) осадки после предшествующего капиллярного контроля (б);
- 9) обработка поверхности, как например фосфатирование, хромирование, оксидирование, анодирование и т. п. (б) (в).

Часто бывает трудно идентифицировать состав загрязнения. В некоторых случаях требуется проведение химического анализа. Если требуется высокая достоверность капиллярного контроля, необходимо произвести точный химический анализ трудно удаляемых поверхностных загрязнений.

Непосредственные подрядчики часто предусматривают специфические способы очистки для использования их субподрядчиками и потребителями. Способы очистки также отражаются в технических условиях на проведение технологического процесса капиллярного контроля. Важно, чтобы процессы очистки не вызвали коррозию объектов контроля, чтобы средства очистки не вступали в химическую реакцию с дефектоскопиче-

скими материалами, а также чтобы была уверенность в том, что соответствующая очистка обеспечивает получение максимально достоверных результатов капиллярного контроля.

Часто требуется проведение травления. Например, оно предусмотрено в Mil-I-6866, после проведения механической обработки, шлифовки.

Удаление краски и очистка являются также определяющими при контроле летательных аппаратов, находящихся в эксплуатации. Для проведения контроля и для снятия загрязнений, предварительной и окончательной очистки проверяемых зон поверхности военно-воздушными силами США допускается только весьма квалифицированный персонал. Военно-морское ведомство обеспечивает свой персонал подробными технологиями очистки, которые применимы для уникальных условий, связанных с воздействием воздушной и водной сред.

Данные, имеющие отношение к состоянию поверхности, которое может влиять на капиллярный контроль, опубликованы в журнале «Materials evolution»; «Количественная оценка влияния механической обработки на эффективность капиллярного контроля», авторы I. Coog, R. Lord и R. Roehos, июль 1974 г.; «Требования к тщательной проверке очистки летательных аппаратов и ее влияние на процесс проведения люминесцентного капиллярного контроля», автор R. Fricher, сентябрь 1972 г.

Во многих библиотеках компаний имеется учебное пособие под названием Metals Handbook (8-е издание, том 11, страницы от 20 до 44). Там приведены подробные данные по методам проверки и предварительной очистки, химическим реагентам для травления и процессам, подлежащим использованию для некоторых специфических металлов, а также видам загрязнений поверхности, обнаруженных на различных изделиях.

Предварительная очистка всегда имела большое значение при нанесении гальванопокрытий. Некоторые практические рекомендации были опубликованы Американским обществом по испытанию материалов /ASTM/, которое предоставило специфические данные для промывки моющими средствами, обезжириванию, горячей и холодной очистки каустической содой, протравки, электрохимического травления и электрополирования всей поверхности и некоторых специальных материалов. Ниже представлен перечень документов ASTM в качестве дополнительного источника получения специальных данных по предварительной очистке:

- ASTM /A 380/. Удаление окалины и очистка поверхностей нержавеющей сталей.
- ASTM /B 183/. Подготовка низкоуглеродистой стали для гальванопокрытия.
- ASTM /B 320/. Подготовка чугуновых отливок для гальванопокрытия.

- ASTM /В 322/. Очистка металлов перед гальванопокрытием (часть 9).
- ASTM /В 600/. Удаление окалины и очистка поверхностей титана и титановых сплавов ASTM /Е 165/. Капиллярный неразрушающий контроль.

Влияние различных покрытий и загрязнений на состояние полостей дефектов и на результаты контроля показано в приложении 4.

Применяют следующие основные способы очистки изделий.

Механическая очистка представляет собой обработку поверхности изделия струей абразивного материала (рис. 13, а) или специальным инструментом (щеткой (рис. 13, б), шабером, шлифовальным кругом, полировальными пастами и др.).

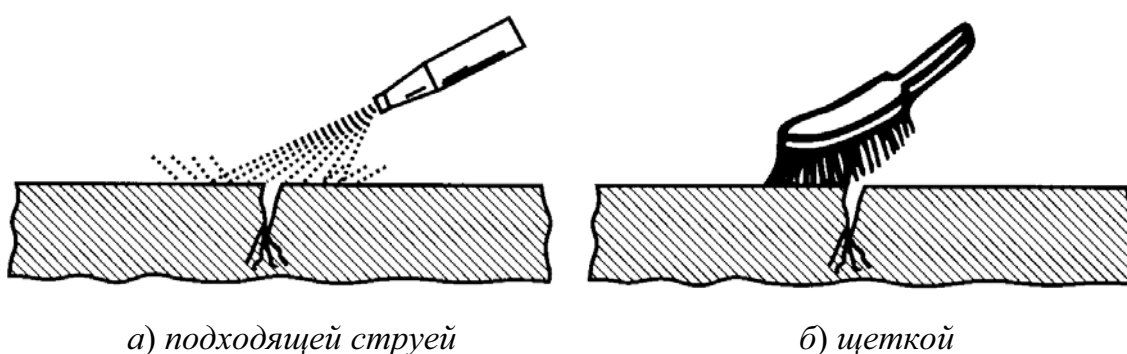


Рис. 13. Механическая очистка

Этим способом удаляют твердые, сильно пригоревшие нерастворимые отложения, лакокрасочные покрытия, оксидные пленки, продукты коррозии и окалину с изделий неответственного 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 пластическо-

го 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 гидropескоструйной 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.

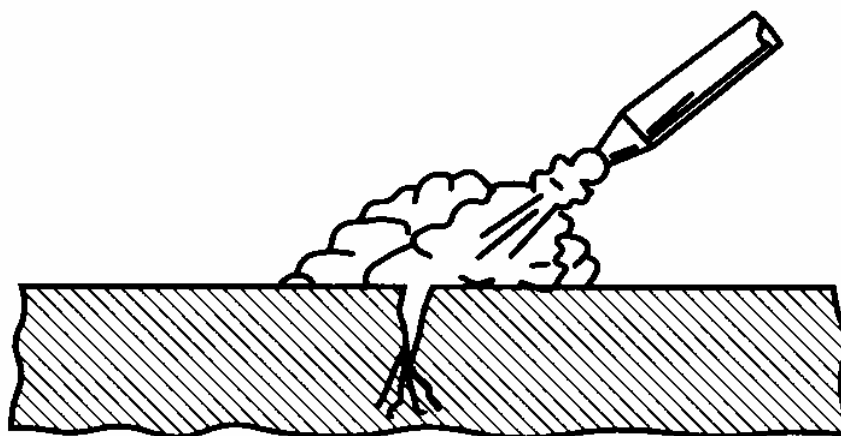


Рис. 14. Обезжиривание горячим паром

Паровое обезжиривание (рис. 14) обеспечивает высокую степень очистки. В этом случае применяют растворитель, нагреваемый в специальной ванне или разбрызгиваемый по очищаемой поверхности. Испаряясь, он превращается в горячий пар и затем конденсируется на поверхности холодного изделия, интенсивно растворяя находящийся на ней тонкий слой жировых отложений.

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 раствори-

мых 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. 15) – жировые и масляные загрязнения, нагар, смолистые отложения и лакокрасочные покрытия.

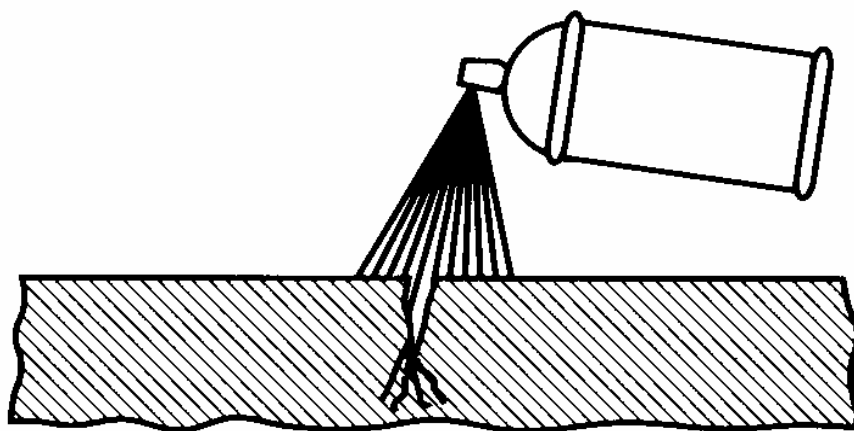


Рис. 15. Холодная очистка подходящим раствором

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 абразивов, 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. Это 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. 16, а), обдуванием струей сжатого воздуха (рис. 16, б), водно-воздушным обдуванием (рис. 16, в), нагревом в печи или сушильном шкафу до температуры 70–80 °С, вытиранием не волокнистым впитывающим материалом (рис. 16, 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. 16, б).

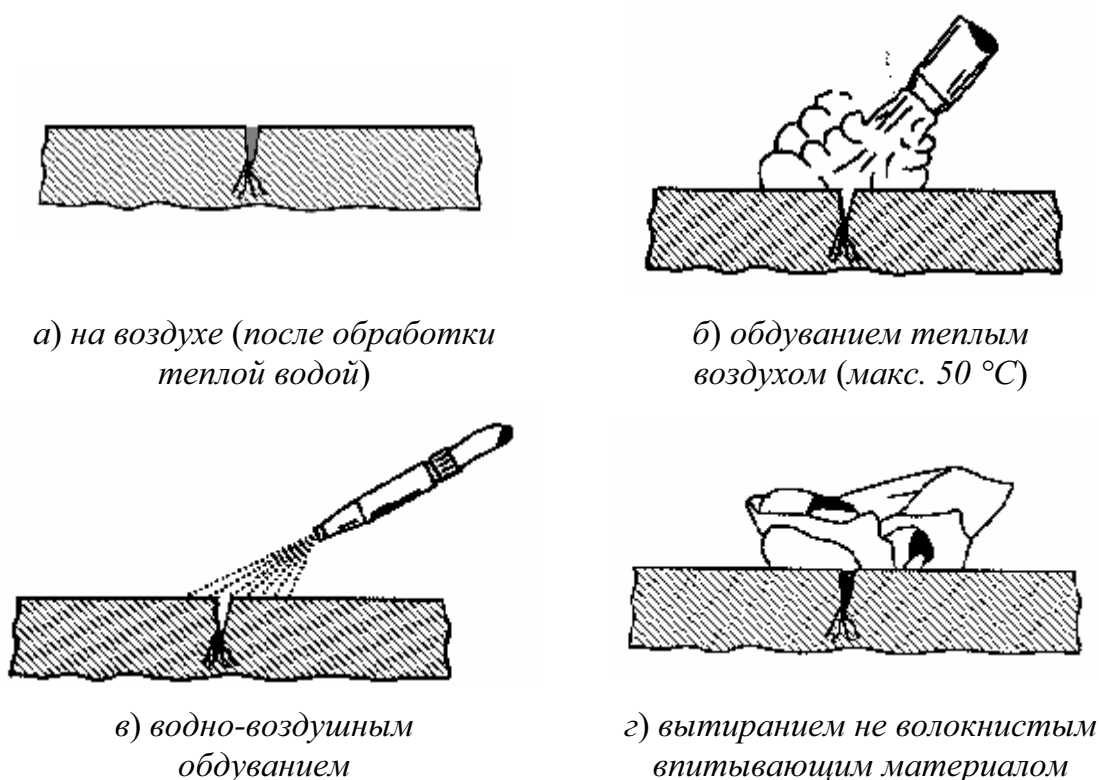


Рис. 16. Процесс сушки

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. Изде-

лия целесообразно нагревать до температуры, превышающей точку кипения растворителя, находящегося в полостях дефектов.

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.

2.2. Заполнение полостей дефектов пенетрантом

Пенетрант должен быть нанесен так, чтобы оставаться на поверхности и покрывать любые несплошности в течение времени, достаточном для его проникания в полости дефектов. Пенетрант, который находится на контролируемом объекте, может частично проникать в дефекты, частично испаряться. Период испарения во время полного контакта пенетранта и поверхности объекта может изменить чувствительность контроля. Легко летучие компоненты, находясь на воздухе в тонкой пленке, испаряются быстрее. Такое испарение существенно увеличивает концентрацию цветного красителя в остающемся пенетранте.

Индикаторный пенетрант наносят на подготовленную контролируемую поверхность кистью (рис. 17, а); губкой 4–6 раз в течение 10–15 мин, не допуская высыхания предыдущего слоя; погружением в ванну (рис. 17, б), а также с помощью пульверизатора-краскораспылителя (рис. 17, в) или аэрозольного баллона (рис. 17, 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 последний или контролируемое изделие предварительно подогревают. Подогрев выполняют в случае применения малолетучих пенетрантов на основе масла. При этом уменьшается 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.

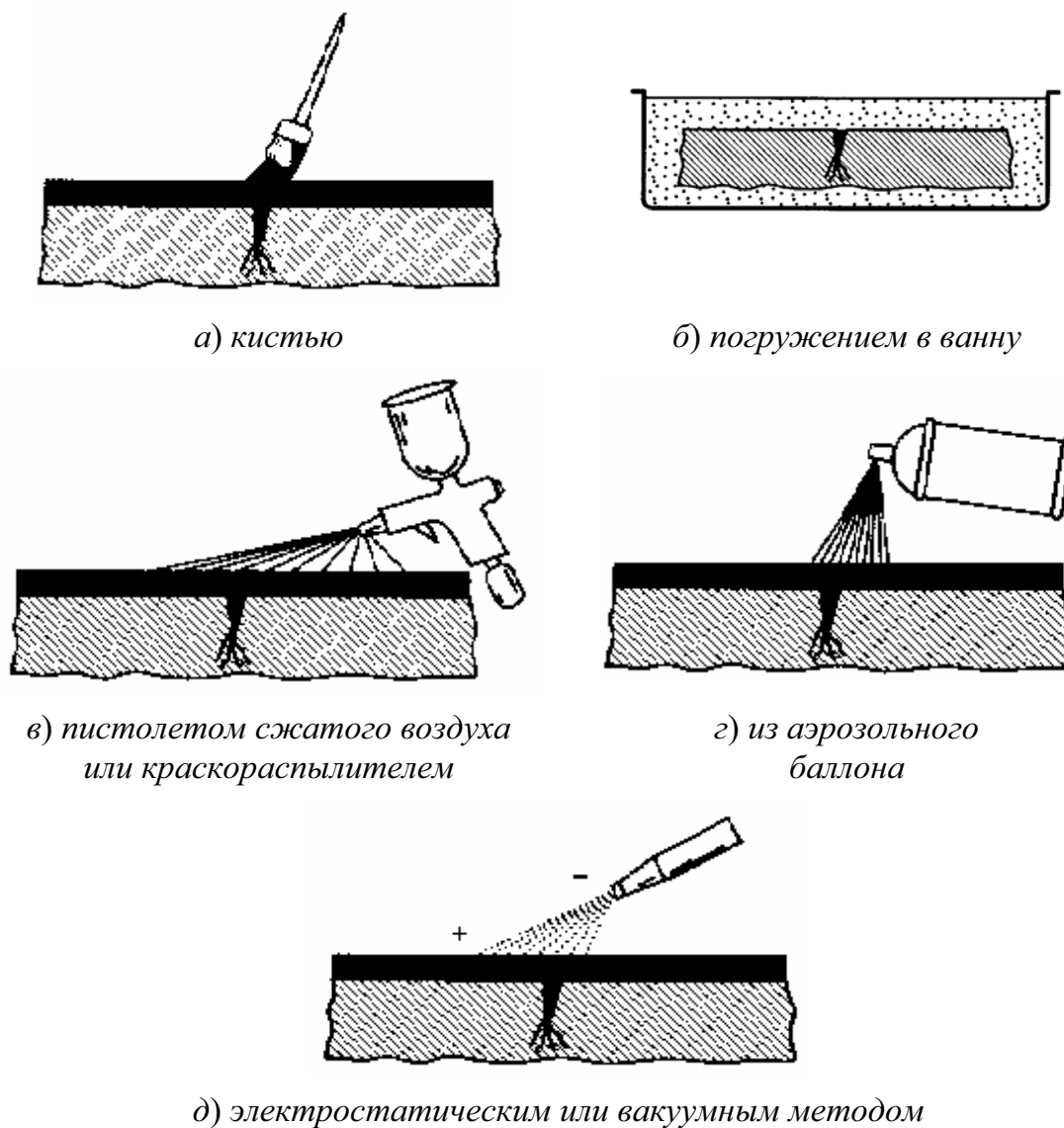


Рис. 17. Процесс нанесения проникающей жидкости

Погружение в жидкость горячих деталей уменьшает выделение паровой фазы пенетранта. Такая процедура увеличивает чувствительность вследствие уменьшения вязкости пенетранта. Вязкость используемых в промышленности пенетрантов была уменьшена с 1960 г. от $1/2$ до $1/3$ от ее первоначального значения.

2) Вакуумный способ (рис. 17, 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.

Электростатическое распыление обеспечивает однородное покрытие деталей сложной формы, уменьшает избыточное распыление и общий расход пенетранта.

Основной принцип электростатического распыления заключается в том, что распылитель присваивает отрицательный электрический заряд пенетранту при его распылении. Контролируемый объект имеет потенциал заземления. Электростатическое взаимодействие между двумя противоположными зарядами приводит к тому, что пенетрант прочно скрепляется с деталью.

Электростатические распылители системы, в которых применяется ручное распыление, требуют использования пенетрантов с высоким электрическим сопротивлением, с тем чтобы они не были опасны для оператора.

Подходящие для электростатического распыления пенетранты должны обладать двумя характеристиками: иметь низкую вязкость (1), чтобы жидкость могла легко разделяться на очень небольшие капли (например, атомизироваться) и легко сцепляться с деталью, и они должны легко принимать и удерживать электрический заряд (2), помещенный на каплях жидкости. Большинство используемых в промышленности пенетрантов имеют характеристики, соответствующие возможности их использования в электростатических распылительных системах.

Электростатическое распыление наиболее широко применяется для нанесения пенетранта, особенно в автоматических установках. При использовании такого способа обеспечивается очень тонкое покрытие пенетранта при минимальном расходе. Опыт показывает, что этот процесс является экономичным. При этом отсутствуют потери жидкости, нет загрязнения или ухудшения качества пенетранта в резервуаре в течение длительного времени.

Пенетрант обычно наносится распылением из сопла. При этом может выполняться местный контроль с использованием набора материа-

лов. Использование кисти является хорошим способом нанесения пенетранта на небольшую локализованную площадь, особенно в труднодоступных местах. Небольшое количество пенетранта может быть нанесено только на участок детали, где это требуется, ограничивая при этом также необходимость очистки. Распыление сжатым воздухом с помощью краскораспылителей остается широко применяемым методом, используемым в промышленности для нанесения пенетранта, в частности, для проверки больших деталей.

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.

Время контакта пенетранта с поверхностью объекта контроля является весьма важным фактором. Это время зависит от раскрытия трещины, скорости проникания пенетранта и вида загрязнения, находящегося в трещине. Достаточное время проникания для отливок и термически обработанных деталей может изменяться от нескольких минут до нескольких десятков минут. Но диапазон продолжительности контакта пенетранта может расширяться. Например, коррозионные трещины могут быть обнаружены при использовании только наиболее чувствительного люминисцентного пенетранта при минимальном времени контакта пенетранта с поверхностью объекта порядка нескольких часов. Контактное время в течение ночи и обработка на следующий день является общепринятой процедурой, когда возможно появление таких несплошностей.

Рекомендуемые значения продолжительностей контакта пенетранта с поверхностью объекта приведены во многих литературных источниках. В более новых документах представлены более короткие значения продолжительности контакта, чем в старых. Военно-воздушные силы и военно-морской флот США предусматривают более длительные времена контакта пенетранта с поверхностью деталей для обнаружения плотных усталостных трещин; их обнаружение должно быть максимально достоверным.

2.3. Удаление пенетранта с поверхности изделий

Способ удаления проникающей жидкости с поверхностями контролируемых изделий выбирают с учетом ее типа, шероховатости поверхности, условий контроля и его производительности. Применяют смывание кистью (рис. 18, а), протирку (рис. 18, б), обдувание и гашение цвета или люминесценции пенетранта; часто указанные способы комбинируют между собой.

Индикаторный пенетрант удаляют влажной безворсовой тканью типа мадаполам (рис. 18, б), щеткой, губкой и т. п., смоченной очистителем, а также с помощью пульверизатора – краскораспылителя или аэрозольного баллона (рис. 18, в). Промывку изделий (рис. 18, 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 масложирораство-

римую часть и смыть ее потом водой. При этом струя должна быть направлена по касательной к обрабатываемой поверхности, а давление не должно превышать 20 кПа.

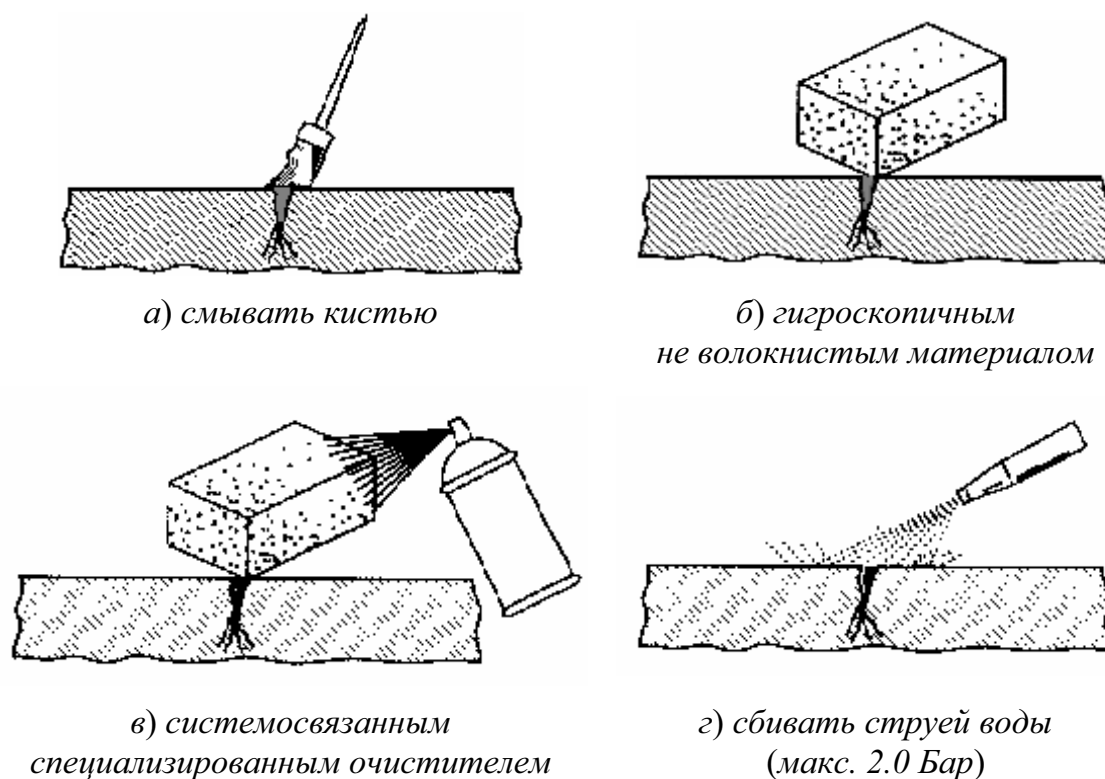


Рис. 18. Удаление индикаторного пенетранта с поверхности изделий

Обдувание применяют главным образом для удаления невысыхающих или малолетучих пенетрантов с поверхности литых или кованых изделий перед их механической обработкой. Выполняют его струей песка, дроби, 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 дроби 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 либо до исчезновения розового фона

на салфетке. Полноту удаления индикаторного пенетранта следует определять визуально.

При использовании растворяющего очистителя он никогда не наносится на слой пенетранта распылением. Иначе очиститель в достаточно большом количестве может проникать в поверхностные несплошности материала и вымывать удерживаемый в них пенетрант.

Рекомендуется удалять излишний пенетрант с поверхности объектов контроля протиркой ветошью или салфеткой до тех пор, пока он не будет больше вытираться. Растворителем пропитывают ветошь или салфетку и протирают контролируемую поверхность. Такая процедура устранит последний тонкий слой пленки избыточного пенетранта, с тем чтобы после нанесения проявителя не появлялся нежелательный фон.

Имеется несколько очень специфичных методов капиллярного контроля, при котором погружение в растворитель используется перед эмульгированием. Обычно погружение в растворитель применяется при контроле деталей с грубой поверхностью, таких как литые лопатки турбины, либо лопатки, имеющие диффузионное покрытие, или алюминиевые анодированные детали. При контроле таких объектов может возникать значительный фон, который не может быть устранен эмульгированием. Процесс обычно состоит в быстром погружении деталей в авиационный керосин, а затем погружении в резервуар с эмульгатором. Продолжительность процесса и способы его выполнения должны быть отработаны экспериментально для каждой детали.

С проверяемых объектов пенетрант удаляют и эмульгированием. Эмульгаторы имеют два основных типа липофильные и гидрофильные. Каждый из этих материалов для удаления должен быть рассмотрен отдельно, поскольку их способы применения имеют отличия.

Эмульгаторы являются очень сложными химическими соединениями; некоторые сведения по их смешиванию и взаимодействию с пенетрантами могут помочь персоналу, осуществляющему неразрушающий контроль, лучше понять некоторые характеристики использования и свойства, определяющие их работу.

Липофильные эмульгаторы

Основанные на нефти пенетранты нерастворимы в воде, однако вода является наиболее доступным и самым дешевым видом из имеющихся растворителей. Необходимо, чтобы некоторое химическое соединение могло растворяться как в воде, так и в нефтяных растворителях в качестве связывающего агента. Эмульгаторы, используемые для пенетрантов последующего эмульгирования с начала 50-х годов, являлись видом жидкого мыла. Такие эмульгаторы смешиваются из ряда компо-

нентов, которые совместно обеспечивают желаемые свойства. Наиболее обычным свойством является цвет, который контрастирует с цветом пенетранта для индикации того, что вся покрытая пенетрантом поверхность контролируемой детали покрыта эмульгатором. Краситель эмульгатора является также люминесцирующим, для того чтобы можно было под ультрафиолетовым облучением проверить полное удаление эмульгатора при промывке деталей. Краситель имеет относительно низкую концентрацию. Он является водорастворимым и поэтому не будет оставаться на поверхности после промывки детали.

Липофильные эмульгаторы обладают тремя основными свойствами, которые должны быть сбалансированы, чтобы получить соответствующие характеристики промывки. Эмульгатор должен диффундировать или взаимодействовать с пенетрантом достаточно медленно, чтобы обеспечить время для обработки и предусмотреть возможность ее контроля в зависимости от шероховатости поверхности. Тремя свойствами эмульгаторов, которые регулируют характеристики промывки, являются: активность (1), вязкость (2) и допуск (3) по воде. Эти свойства должны быть сопоставлены с характеристиками масляной основы пенетранта. Если основа пенетранта практически нерастворима в воде, необходимо использовать более активный эмульгатор. Высокоактивный эмульгатор с низкой вязкостью может быть скорректирован посредством смешивания с более вязким эмульгатором, чтобы обеспечить желаемые характеристики промывки.

Активность эмульгатора определяется скоростью, с которой эмульгатор взаимодействует с пенетрантом, достаточной для того, чтобы произвести удаление водой. Взаимодействие проявляется в способности эмульгатора растворять пенетрант.

Вязкость и активность эмульгатора взаимосвязаны. Более вязкий эмульгатор будет медленнее диффундировать в пенетрант. Уравновешивание активности с вязкостью обеспечивает управляющее воздействие, необходимое для получения заданного времени контакта эмульгатора с поверхностью объекта. Вязкость может изменяться в диапазоне от 10 до 100-сантистокс. При более высокой вязкости расходуется большее количество эмульгатора из-за растекания по деталям во время обработки. Если может быть использован эмульгатор с более низкой вязкостью для получения желаемых результатов, он будет более экономичным.

Добавление воды уменьшает активность эмульгатора. На практике емкость с эмульгатором обычно располагается вблизи узла промывки. Если вода случайно выплескивается или вбрызгивается в эмульгатор, то результаты контроля ухудшаются. Обычно в соответствии с требованиями технических условий эмульгаторы должны содержать не более 5 % воды. В некоторых случаях допуск по воде составляет до 15–20 %.

Хотя добавление воды уменьшает активность эмульгатора, в то же время вода уменьшает его вязкость и, следовательно, увеличивает его активность. Уменьшение вязкости до некоторой степени компенсирует потерю активности из-за добавления воды. Проверка влияния воды может быть осуществлена с помощью двух закупоренных испытательных трубок или бутылок. Они заполняются наполовину свежим эмульгатором, затем постепенно опорожняются, и при этом наблюдается расход потока. Весьма небольшое количество воды (около 1 % по объему) добавляется в одну из испытательных трубок; эта смесь встряхивается, затем отстаивается в течение нескольких минут и расход потока наблюдается снова. Такое простое сравнение показывает, жидким или густым делает вода этот эмульгатор. Путем медленного добавления воды и наблюдения эмульгатора может быть определено количество воды, которое сделает его непрозрачным или мутным.

Следующей стадией является отбор пробы используемого эмульгатора из резервуара и добавление воды к ней в небольших измеряемых количествах. Сравнение количества воды, которое способствовало непрозрачности или замутнению эмульгатора, по отношению к испытанию на свежем материале определяет, насколько соблюдается в резервуаре допуск по содержанию воды. Некоторые эмульгаторы незначительно мутнеют перед тем, как достигается требуемый допуск; мутность может быть устранена добавлением большего количества воды. Некоторые эмульгаторы будут непрозрачными, но незамутненными, а у других будут наблюдаться оба последствия.

Во избежание опасного возгорания температура воспламенения эмульгатора не должна превышать 51 °С при испытании в закрытом тигле (ASTM-D-93).

Летучесть эмульгатора должна быть низкой, чтобы избежать или свести к минимуму потери от испарения и предотвратить чрезмерное испарение, которое происходит в непосредственном окружении емкости с эмульгатором.

Допустимое содержание пенетранта является существенным требованием к эмульгатору, поскольку покрытые пенетрантом детали погружаются в эмульгатор. Эмульгатор должен выдерживать содержание до 20 % по объему пенетранта, оставаясь по промываемости настолько свежим, как и новый эмульгатор, и осуществлять требуемую чувствительность.

Липофильные эмульгаторы могут быть использованы способом погружения, обливания, воздушного или электростатического распыления. Нанесение кистью не рекомендуется, поскольку оно оставляет случайное покрытие и происходит смешивание эмульгатора с пенетрантом, что приводит к невозможности контроля времени эмульгирования.

Липофильные эмульгаторы могут оставаться на пенетрантах с масляной основой только в течение ограниченного времени. Действие эмульгирования начинается сразу после того, как деталь погружена в резервуар, или началось распыление. Неровность поверхности является очень важным фактором при определении времени контакта эмульгатора с поверхностью объекта. Время контакта для каждого вида деталей должно быть установлено экспериментально. Если поверхность хорошо механически обработана или является плоской, необходимо попытаться использовать время для контакта эмульгатора с поверхности объекта в пределах от 30 до 45 секунд, а затем деталь должна быть немедленно промыта. Если фон не является чрезмерным, то можно считать, что время выбрано правильно. Если фон является повышенным, следует попытаться применить более длительное время эмульгирования. Наибольшие пределы времени эмульгирования для пенетранта составляют от 3 минут до 5 минут. Эти значения времени являются максимальными. Лучшие процессы дают более хорошие результаты при более короткой продолжительности эмульгирования. Поскольку контакт с поверхностью объекта является критичным, на позиции эмульгирования необходимо использовать реле времени.

Гидрофильные эмульгаторы

Гидрофильные эмульгаторы, используемые при капиллярном контроле, по существу являются поверхностно-активными веществами, или очистителями. Понятие «гидрофильный» обозначает водопроницаемость или водорастворимость. Гидрофилики имеют неограниченный допуск по содержанию воды. Эмульгаторы поставляются в виде концентрата и при использовании смешиваются с водопроводной водой до желаемой степени разбавления.

Известно, что первая ссылка на использование очистителя для капиллярного контроля была сделана фирмой «Ролс ройс» и отмечена Великобританским патентом, заявленным в 1959 г. и зарегистрированным в 1962 году. Патент представляет некоторые интересные данные для применения очистителей. Наиболее предпочтительным раствором очистителя для использования на горячих частях и вращающихся деталях реактивных двигателей был водорастворимый неионогенный. Для невращающихся деталей и деталей, которые не применяются в горячих частях двигателя, был использован сульфированный анионоактивный очиститель.

Гидрофильные эмульгаторы могут быть нанесены на детали погружением, обычным воздушным распылением или электростатическим распылением. Для разных способов нанесения используются различные уровни растворения. Обычно содержание воды находится в пределах от 65 до 90 % в резервуарах для обработки погружением, доходя в некото-

рых случаях до 95 %. При нанесении распылением растворение может находиться в диапазоне от 100:1 до 300:1. Одним из преимуществ гидрофильных эмульгаторов является то, что детали могут оставаться в емкости с ним от 5 до 20 минут. Такой широкий диапазон продолжительности контакта эмульгатора с поверхностью объекта обеспечивает меньшую зависимость от точности контроля времени контакта.

Процесс капиллярного контроля при использовании гидрофильных эмульгаторов несколько отличается от обычного, поскольку перед погружением в эмульгатор деталь промывают щеткой для удаления максимально возможного избыточного количества пенетранта. Более подробные данные по обработке приведены в разд. 2.

Преимущества гидрофильных эмульгаторов

Начальная стоимость гидрофильного концентрата примерно равна цене липофильных эмульгаторов. Однако, высокая растворимость в воде обеспечивает существенное преимущество в стоимости. Опыт показывает, что срок работы резервуаров для двух типов эмульгаторов является примерно одинаковым, в зависимости от концентрации. Меньшее растворение обеспечивает некоторое увеличение службы резервуара с гидрофильным эмульгатором. Эксплуатационные затраты могут быть уменьшены при использовании гидрофильных эмульгаторов из-за разницы в процессе обработки. Гидрофильные растворители содержат предельно большое количество воды; это позволяет предварительным обрызгиванием водой удалить до 80 % пенетранта с поверхности детали перед эмульгированием. Таким образом, предварительное обрызгивание во многом ограничивает содержание пенетранта в эмульгаторе. Вода для предварительной промывки может быть собрана и отделена для сохранения наибольшего количества пенетранта. Пониженная вязкость гидрофильного эмульгатора позволит более быстро осушать детали, что обеспечивает его преимущество при осушке над более вязким липофильным эмульгатором. Растворимые гидрофильные эмульгаторы являются непожароопасными и сравнительно мало токсичны. Липофильные эмульгаторы имеют высокую температуру воспламенения, но они могут в значительной степени способствовать пожару при возгорании.

Свойства гидрофильных эмульгаторов

Эмульгатор должен удовлетворять требованиям общей чувствительности. Проверки на чувствительность для тонких и грубых образцов должны быть осуществлены при различных уровнях концентрации, чтобы определить оптимальный уровень чувствительности. Некоторые данные показывают, что нижние уровни концентрации 5 % обеспечивают

наилучшую чувствительность. Загрубление испытуемых образцов не было обнаружено в этих данных тем не менее, 5 % концентрации может быть обнаружено, чтобы оставить фон с концентрацией более 20 % на необработанных поверхностях. Гидрофильный концентрат легко растворяется без какого-либо замутнения и осаждения каких-либо его компонентов. Концентрированный и растворенный эмульгатор не должен быть коррозионным по отношению к стали в течение долгого периода хранения в резервуаре, чтобы обеспечить достаточную безопасность резервуаров. Во многих случаях гидророзфильные эмульгаторы попадают в систему канализации. Если это происходит, они должны быть биологически дезактивированы, в особенности при отсутствии пены, и они не должны содержать других известных нежелательных включений, таких, как фенольные соединения, хром или другие тяжелые металлы, цианиды, сульфаты или хлорированные углеводороды. Гидрофильные эмульгаторы, используемые при контроле деталей горячих частей реактивных двигателей, должны соответствовать требованиям изготовителей двигателей по химическим примесям, таким как галогены и сера.

Гидрофильные эмульгаторы могут быть использованы путем погружения, обливания или распыления; диапазон концентраций в воде составляет от 5 % до 33 %. Опыт показывает, что концентрация 5 % позволяет получить наибольшую чувствительность при постоянном уменьшении чувствительности вплоть до концентрации около 30 %. Заметные потери наблюдаются в диапазоне концентраций от 5 % до 20 %, особенно для пенетрантов группы У. Однако, допустимое содержание пенетранта в растворе при концентрации эмульгатора 5 % ниже, чем при 20 %, и срок службы содержащего резервуара является более коротким. Несмотря на некоторое уменьшение чувствительности, американские пользователи предусматривают концентрацию в диапазоне от 20 % до 33 %. Концентрация 33 % обеспечивает оптимальный срок службы содержащего резервуара; при этом чувствительность близка к значению при концентрации 20 %.

Технология применения гидрофильных эмульгаторов

Технология применения гидрофильных эмульгаторов несколько отличается от обычно используемой для липофильных эмульгаторов. Гидрофильные эмульгаторы, имеющие более низкий допуск на содержание пенетранта, требуют промывки деталей для удаления пенетранта последующего эмульгирования с использованием грубого обрызгивания воздушно-водяной смеси и короткого периода сушки для удаления воды перед погружением в эмульгатор.

Некоторые системы предусматривают повторное использование пенетранта, и его смесь с промывочной водой перекачивается в сепарирующую

щий резервуар, в котором пенетрант может всплыть к поверхности и сливаться с нее. Промывочная вода извлекается из нижней части резервуара для повторного использования. Такая система требует применения двухступенчатого насоса с откачивающей ступенью низкого давления для перекачки воды из промывочного резервуара в сепарирующий резервуар и со ступенью высокого давления для подачи к промывочной форсунке.

Такой же тип системы может быть использован на промывочной позиции для извлечения масла из сточной системы. В засушливых местностях, где промышленная вода рециркулируется, такая система может оказаться предпочтительной.

Время эмульгирования составляет от 5 до 20 минут для деталей, погружаемых в эмульгатор. При некоторых значениях концентраций более длительный период контакта эмульгатора с поверхностью объекта может обеспечить оперативные преимущества. Детали после обработки пенетрантом могут быть помещены в резервуар с эмульгатором, где они могут содержаться во время циклов нанесения пенетранта на другую партию деталей и их предварительной промывки, предшествующим загрузке деталей в эмульгатор.

Типичный процесс удаления пенетранта с небольших деталей и использованием гидрофильного эмульгатора заключается в следующем:

- предварительная промывка;
- распыливание водой в течение 30–60 секунд при давлении до 137 кПа и температуре 21–27 °С;
- погружение в эмульгатор.

Иногда требуется разбавление эмульгатора для обеспечения желаемой чувствительности. Эмульгатор слегка взбалтывается сжатым воздухом, продуваемым через ванну. Можно оставлять детали погруженными в эмульгатор по меньшей мере в течение 2–3 минут. Однако, в этой операции время не является критическим параметром: детали могут оставаться погруженными в эмульгатор до 20 минут.

Окончательная промывка

Вода для окончательной промывки должна иметь температуру 16–27 °С. Промывка должна быть осуществлена опрыскиванием или сочетанием погружения и опрыскивания. Время обрызгивания должно составлять 60–120 секунд, или, если это требуется, быть достаточным для удаления всего эмульгатора и эмульгирующего пенетранта.

Удаление пенетранта струйной промывкой

Гидрофильные эмульгаторы могут быть использованы для удаления пенетранта в смеси эмульгатора с промывочной водой, образующейся

в распылительной форсунке. Концентрация эмульгатора, измеренная в промывочной воде, составляет примерно 250 частей воды на 1 часть эмульгатора. Струйная промывка используется после нанесения чрезмерного слоя пенетранта на поверхность детали, осуществляется путем введения свежего моющего водяного раствора. Время промывки зависит от шероховатости поверхности, вязкости пенетранта, уровня чувствительности пенетранта, сложности и размера детали и температуры воды.

Технологический процесс является таким же, как и при использовании погружения в резервуар, за исключением того, что эмульгатор наносится распылением смеси эмульгатор/вода до тех пор, пока избыток пенетранта не будет удален. Это является идеальным способом удаления пенетранта при контроле больших деталей, а также для применения на заводах, которые не имеют больших резервуаров. Предварительная промывка, эмульгирование обрызгиванием и окончательная промывка могут быть выполнены в одной опрыскивающей кабине, оборудованной водораспылительной форсункой и смесительным соплом для эмульгатора.

2.4. Нанесение проявителя

Проявители в соответствии с их чувствительностью могут быть подразделены следующим образом:

- суспензированные водные проявители (наносимые погружением);
- сухие проявители (наносимые погружением);
- суспензированные в растворителе проявители (распыляемые).

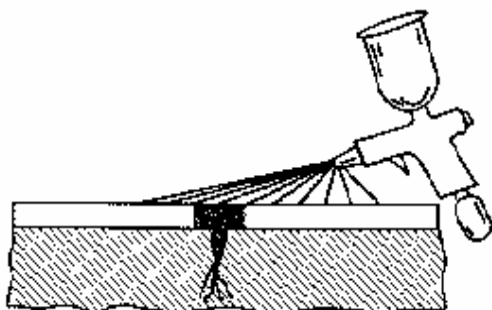
Другими, реже используемыми проявителями являются водорастворимые и пластиковые пленочные.

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 перечисленных ниже способов.

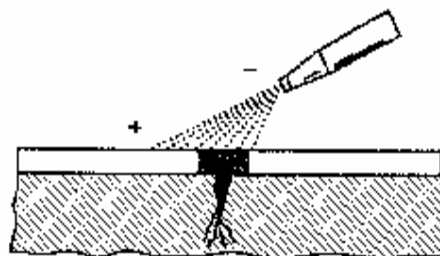
Нанесение кистью является наиболее простым способом и применяется при контроле небольших изделий простой формы в полевых или лабораторных условиях. Однако этот способ не обеспечивает равномерности толщины слоя проявителя, трудоемок и малопроизводителен.

Распыление (рис. 19, 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 слож-

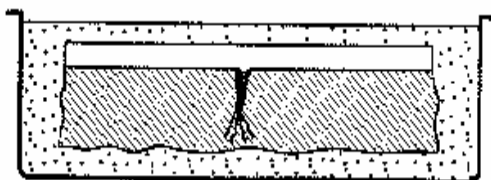
ной формы. Однако распыление струей газа связано с большими потерями проявителя (20–40 % и более) вследствие туманообразования, а также требует установки мощной системы вентиляции и очистки воздуха.



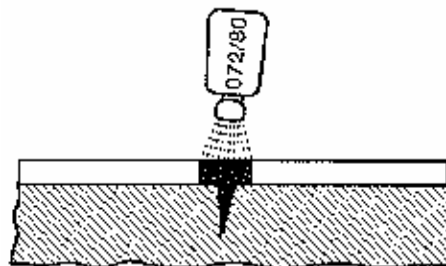
а) пистолетом сжатого воздуха или краскораспылителем



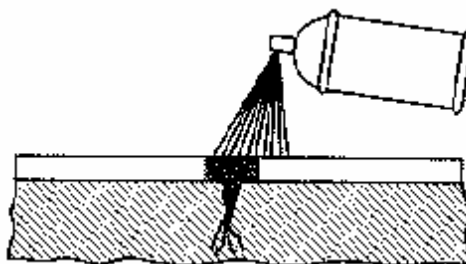
б) нанесением жидкого проявителя в электростатическом поле с распылением его струей воздуха



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

Рис. 19. Процесс проявления

Электрораспыление (рис. 19, 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 сани-

тарно-гигиенические условия труда, повысить его производительность и даже полностью автоматизировать процесс. Однако этот способ требует применения специальных проявителей в виде красок и суспензий.

При контроле неотчетливых изделий простой формы в цеховых условиях проявитель наносят погружением (рис. 19, в) или обливанием струей. Эти способы просты, экономичны и позволяют автоматизировать процесс, но ведут к образованию потёков 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. 19, г) 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. 19, д).

Суспензированный в растворителе проявитель всегда должен наноситься на детали распылением. Распыление может осуществляться с помощью аэрозольного баллона, пульверизатора со сжатым воздухом или электростатического распылителя. Весьма важно поддерживать проявитель в перемешиваемом состоянии, так как порошок проявителя быстро осаждается. Поскольку имеется тенденция к агломерации частиц, необходимо проводить хорошее перемешивание. Во всех случаях подающая трубка для распыления должна быть расположена вблизи днища контейнера, где концентрация проявителя является наибольшей.

Нанесение проявителя на деталь, обработанную цветным пенетрантом, должно осуществляться равномерным покрытием, осуществляемым множеством легких проходов распылителя. Должно быть нанесено наибольшее количество проявителя, чтобы обеспечить тонкий белый фон. Толстое покрытие будет маскировать хорошие индикаторные рисунки. Необходимо получить некоторый опыт перед нанесением равномерного покрытия. Баллоны или распылительное сопло должны быть расположены на расстоянии около 30 см от поверхности; второй слой покрытия должен быть нанесен на светлые области между проходами

первого слоя. Иногда хорошие результаты дает нанесение второго слоя поперек направления первого слоя.

Напыление проявителя на деталь, обработанную люминесцентным пенетрантом, должно быть выполнено весьма тщательно, чтобы получить очень легкое покрытие; требуется такое количество покрытия, чтобы его можно было только увидеть. Обычно бывает достаточно одного слоя; если накладывается второй слой, следует проводить только ретуширование отдельных участков.

Сухие проявители наносятся погружением детали в бункер с проявителем, опылением детали из распылительной форсунки или в камере или путем электростатического распыления. Они рекомендуются для применения только с люминесцентными пенетрантами. Наилучшим образом они используются на нагретых деталях.

Суспензированные в воде проявители могут быть нанесены путем погружения или распыления.

Водорастворимые проявители представляют собой раствор в воде. Этот вид проявителя может быть нанесен путем погружения или распыления. Из-за его водной основы он не может быть рекомендован для использования с водосмываемым пенетрантом. Соответствующие рекомендации по смешиванию компонентов могут быть получены от поставщиков.

Пластиковые пленочные проявители поставляются в аэрозольных баллонах. Проявители, используемые для цветного пенетранта, пигментируются для обеспечения белого фона; с люминесцентными пенетрантами могут применяться непигментированные проявители. Обычно для проявления требуется два слоя покрытия. Если проявитель используется для фиксирования индикаторного рисунка, достаточно нанесения его трех слоев в зону контроля.

Сушка после удаления пенетранта зависит от метода его удаления и применяемого проявителя. Сушка после удаления растворителем обычно осуществляется только выдержкой на воздухе. Сушка после удаления водой требует нагрева для испарения оставшейся воды и уменьшения вязкости пенетранта. Нагрев также необходим при использовании суспензированных и растворимых в воде проявителей, поскольку вода должна быть испарена из проявителя. Самопроявление под воздействием нагрева является естественным для проявителей на водной основе, поскольку только в таком состоянии они могут обеспечить капиллярное действие.

Сушилки могут подогреваться газом, электроэнергией или паром. Весьма существенно, чтобы воздух внутри сушилки циркулировал с помощью вентилятора, иначе тепло будет застаиваться вблизи от нагревателя. Движущийся воздух будет нарушать такие застойные места,

что уменьшит время сушки. Рециркуляция воздуха в нагретой системе является более экономичной, чем непрерывный подогрев холодного воздуха. Поэтому для сушки в большинстве случаев применяется циркулируемый нагретый воздух.

2.5. 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. В случае использования 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.

2.6. Осмотр изделий и анализ индикаторных рисунков дефектов

Осмотр является основной частью процесса капиллярного контроля. Однако, он не более важен, чем обработка деталей дефектоскопическими материалами, поскольку если неправильная обработка не позволит проявить индикаторные рисунки на соответствующем уровне чувствительности, они не могут быть обнаружены контролером.

Освещенность на рабочем месте осмотра при использовании цветного пенетранта должна иметь интенсивность, как минимум, 1000 лк.

Затемненная кабина для люминесцентного капиллярного контроля не должна иметь подсветку дневным светом, создающую освещенность более 20 лк. Ультрафиолетовое облучение в кабине должно иметь минимальную интенсивность 1500 мкВт/кв.см. Дефектоскопист должен быть адаптирован к темноте, перед тем как приступить к контролю деталей. Для определения адаптации к темноте может быть использована глазная градуировочная карта с индикациями при различных уровнях яркости люминесценции. Кабина для контроля должна содержаться в чистоте, поскольку скопление предметов или загрязнений, которые люминесцируют, будет уменьшать затемненность площади и будут отвлекать внимание дефектоскописта. Если кабина является выделенной частью освещенной комнаты, свет не должен проникать в кабину, чтобы не привести к отвлечению внимания или уменьшению требуемой затемненности.

Технический персонал является наиболее критичным и важным элементом контроля индикаторных рисунков. Приемка или браковка детали основана на оценке дефектоскописта. Он должен обладать очень хорошим зрением, превосходно различая цвета. Зрение должно проверяться не менее одного раза в год. Контроль монотонен и утомителен, физически, визуально и умственно. Хорошей процедурой является попеременное выполнение дефектоскопистом обработки деталей дефектоскопическими материалами и осмотра.

Дефектоскописты должны быть соответствующим образом проинформированы о важности проводимых ими работ. Их работа должна иметь тот же статус, отношение и компенсацию, что и другие инспекционные категории того же класса.

Индикаторные рисунки при капиллярном контроле

Вид индикаторных рисунков

Индикаторные рисунки определяются видами несплошностей, которые они отображают. Вид индикаторного рисунка может быть использован для оценки типа несплошности и причины ее образования. Размер и концентрация (количество несплошностей на единицу площа-

ди) могут быть использованы для оценки степени повреждения детали. При люминесцентном контроле плотные трещины, например усталостная или трещина коррозии под напряжением может быть выявлены индикаторным рисунком беловато-голубого цвета, тогда как индикаторный рисунок при наличии широкой трещины при использовании того же пенетранта должен быть зелено-желтым. Объясняется это тем, что плотная трещина слишком мала для образования насыщенного цвета рисунка красителем пенетранта. Индикаторный рисунок образуется путем увеличения чувствительности усиления действия компонентов каскадной системой люминофоров. Контролеры летательных аппаратов всегда учитывают это условие при анализе индикаторных рисунков плотных закрытых усталостных трещин.

Вид проявителя может в значительной степени влиять на внешнее изображение индикаторного рисунка следующим образом:

а) сухой проявитель будет обеспечивать более резкий, менее уширенный индикаторный рисунок при лучшем разрешении отдельных показаний в областях большей концентрации индикаторных рисунков;

б) мокрый проявитель обеспечивает более широкий индикаторный рисунок, поскольку равномерное покрытие порошком способствует более заметному прониканию пенетранта в слой проявителя в стороны от дефекта. Ряд близко расположенных рисунков, например, образованных группой пор, могут сливаться с образованием одного большого индикаторного рисунка;

с) суспензированный в растворителе проявитель, наносимый очень тонким слоем, должен обеспечить четкие люминесцентные индикаторные рисунки при очень хорошей степени разрешения. Утолщенное покрытие такого проявителя, используемого с цветными пенетрантами, обеспечит получение четких индикаторных рисунков, которые будут продолжать проявляться и постепенно обесцвечиваться с течением времени;

д) пленочные пластиковые проявители обеспечивают наиболее четкую индикацию при наилучшем разрешении по сравнению с любым другим проявителем. Индикаторные рисунки не имеют тенденции к выцветанию, что происходит при использовании порошковых проявителей.

Стабильность индикаторных рисунков

Некоторые индикаторные рисунки будут выцветать и даже исчезать с течением времени. Это было обычным явлением при ранее используемых цветных пенетрантах, которые содержали малую концентрацию красителя. При предельно толстом покрытии суспензированного в воде или в растворителе проявителя будут появляться индикаторные рисунки, которые будут выцветать в слое проявителя.

Индикаторные рисунки, которые могут быть перепроявлены, обычно индицируют большую несплошность, в которой содержится некоторое количество пенетранта. Тонкая трещина может содержать такое малое количество пенетранта, что он не может быть повторно выявлен.

На стабильность индикаторных рисунков влияет много факторов. Среди них наиболее значительными являются:

- a) способы предварительной очистки (следы кислот или щелочей на поверхности деталей могут обесцветить красители);
- b) тип пенетранта и его система окраски;
- c) технологический процесс контроля (например, способ удаления пенетранта);
- d) температура (высокая температура, слишком длительная сушка);
- e) тип проявителя;
- f) концентрация эмульгатора и полная продолжительность его контакта с поверхностью объекта контроля (например, переэмульгирование).

Освещение

Оборудование для освещения и интенсивность освещения, требуемые для различных уровней чувствительности, были рассмотрены в настоящем пособии.

Обычный дневной свет используется при контроле с цветными пенетрантами. Красный цвет на белом фоне является высоконтрастной цветной системой; освещенность в 1000 лк часто считается достаточной. Однако, во многих случаях для определения источника индикаторного рисунка необходимо удалить пенетрант и проявитель и осмотреть поверхность через лупу или микроскоп. Такая точная проверка требует освещенности более 2000 лк. Во многих случаях свет должен направляться под острым углом к осматриваемой поверхности. Малый угол освещения может способствовать образованию теней от нарушений поверхности, которые будут способствовать обнаружению очень небольших дефектов. Для тщательного контроля должны быть применены высокая интенсивность освещения или резкий свет при остронаправленной фокусировке. Глаз должен быть расположен почти под прямым углом над контролируемой поверхностью; свет не должен создавать ослепительного блеска.

При применении люминесцентных пенетрантов должно быть использовано ультрафиолетовое облучение. Интенсивность облучения на контролируемой поверхности уменьшается в виде функции квадрата расстояния осветителя от поверхности. Требования к интенсивности излучения являются более высокими; они обычно устанавливаются для контролируемой поверхности без указания расстояния до облучателя. Для проведения общего контроля считается достаточной интенсивность

облучения 1500 микроватт на квадратный сантиметр (1500 мкВт/см²). При критичном контроле обычно устанавливается облученность поверхности 3000 мкВт/см².

Вторичным компонентом системы освещения при люминесцентном контроле является затемненность рабочего места осмотра деталей. Полное затемнение является наилучшим.* Военные и промышленные технические условия обычно допускают до 20 лк светлого освещения в кабине. Все люминесцирующие посторонние объекты должны быть удалены для сведения к минимуму люминесцентного фона.

ГОСТ 18442 (п. 4.7.1.2.2) требует оснащения рабочих мест осмотра деталей слабыми светильниками отраженного или рассеянного светораспределения, обеспечивающими освещенность 10 лк по помещению. Прямая подсветка зоны контроля, направленная в глаза контролера, не допускается.

Индикаторные рисунки несплошностей

Несплошность представляет собой или повреждение, или трещину в проверяемой поверхности. Дефектом является несплошность, которая превышает минимально допустимый уровень трещины нежелательного вида.

Индикаторный рисунок является результатом неразрушающего контроля, который локализует несплошность некоторым видимым для глаза спектром или возможностью осуществления приборного контроля. Даже несмотря на то, что дефект локализован на поверхности детали, он может быть не обнаружен визуально, даже когда индикаторный рисунок имеется на его месте. Другие дефекты могут быть без труда обнаружены визуально; однако, гораздо быстрее можно обнаружить дефект, если индикаторный рисунок может привлекать глаз к соответствующему месту его расположения на поверхности детали. К примеру, трещины коррозии под напряжением, требующие для их обнаружения очень большого увеличения микроскопа, легко обнаруживаются при капиллярном контроле.

Капиллярный метод контроля может также определить разницу между широкими и узкими несплошностями. Яркость, размер, форма, расположение и продолжительность существования индикаторного рисунка обеспечивают все необходимые данные для возможности оценки несплошности. Капиллярный метод при использовании соответствующих технологий может также обнаружить вмятины, трещины и другие широкие и неглубокие дефекты.

* См. Примечание к параграфу «Осмотр» гл. 2. Отечественный стандарт (ГОСТ 18442 «Контроль неразрушающий»).

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 7-кратного 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, непропаям, 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 западания 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.

Виды и причины появления несущественных и ложных индикаторных рисунков

Необходимо пояснить терминологию. Несущественные индикаторные рисунки образуются линейными углублениями твердого припоя, деформированным поверхностным слоем металла и другими обычными причинами, при которых появляются несплошности. Такие индикаторные рисунки образуются от проникновения в эти углубления пенетранта, однако обычно причина их возникновения легко распознается. Другим видом индикаторного рисунка, который иногда относится к несущественным при капиллярном контроле деталей, является пористость, усадка или мелкие коррозионно-усталостные трещины, образующиеся при проведении сварки. Они обычно находятся в пределах допуска, определяемого процессом производства; при проведении сервисных проверок они обычно распознаются и не учитываются в качестве сигналов об обнаружении дефекта. Такие индикаторные рисунки просто указывают на несплошности, которые находятся в допустимых пределах.

Термин «ложный индикаторный рисунок» относится к индикациям, вызванным плохой промывкой или следами плохо удаленной краски либо другого покрытия, пропитываемых пенетрантом, который затем образует индикаторные рисунки. Обычно наличие ложных индикаторных рисунков является нецелесообразным и они классифицируются как специальный вид несущественных рисунков.

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.

Регистрация индикаторных рисунков

Много времени затрачивается для записи индикаторных рисунков при представлении отчетов или другой технической документации. При обнаружении эксплуатационных дефектов некоторые из повреждений

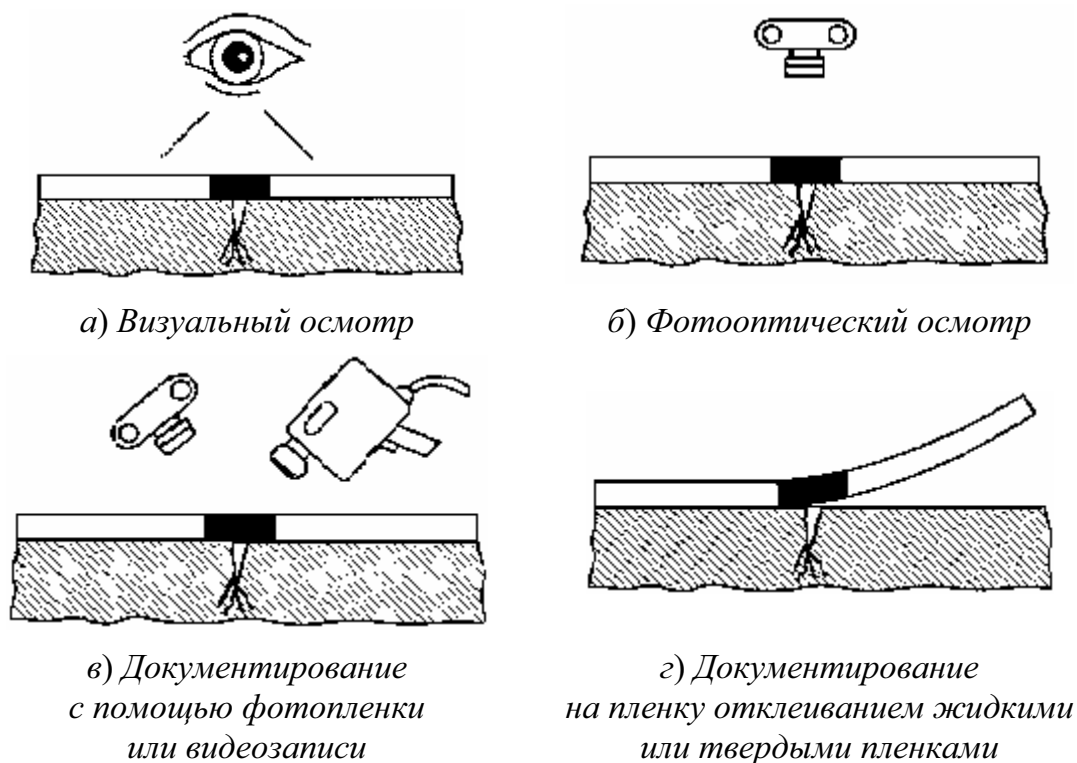


Рис. 20. Контроль поверхности и документирование

могут быть допущены, если они не превышают определенной длины и не развиваются. Длина дефекта должна быть зарегистрирована в инструкциях по эксплуатации, с тем чтобы величина повреждения или его развитие могли быть определены при последующих проверках.

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

При визуальном способе (рис. 20, а) оператор осматривает видимый индикаторный след несплошности, выявленной люминесцентным, цветным, люминесцентно-цветным или яркостным методом.

При фотоэлектрическом способе (рис. 20, 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. 20, в) сигнал от видимого индикаторного следа несплошности 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.

Регистрация с использованием слепков

Основными способами регистрации результатов контроля с использованием слепков являются применение прозрачной липкой ленты, пластикового пленочного проявителя или репродукционной ленты для электронной микроскопии.

Наиболее простым способом является применение липкой ленты. Область, окружающая индикаторный рисунок, очищается и осушивается. Для удаления избыточного количества проявителя из области вокруг индикаторного рисунка может быть использована художественная кисть. Липкую ленту шириной около 20 мм и более располагают над индикаторным рисунком. Затем ленту плотно прижимают к индикаторному рисунку; слишком сильное давление на индикаторный рисунок может нарушить его ширину и форму. Потом осторожно поднимают ленту с контролируемой поверхности и помещают ее на лист бумаги или в тетрадь. Если на краях ленты имеется слишком много проявителя, это ухудшает ее прилипание к бумаге. Для закрепления рисунка на бумаге необходимо, чтобы с каждой из его сторон на ленте были узкие чистые полосы.

Пластиковые пленочные проявители очень хороши для изготовления слепков индикаторных рисунков. На слой проявителя может быть наложен дополнительный слой чистого пластика или лака, либо липкая лента.

Репродукционная лента, применяемая для изготовления слепков для электронных микроскопов, может быть использована для регистрации очень небольших или очень тонких индикаторных рисунков. Индикаторный рисунок с помощью указанной ленты снимают с поверхности детали и закрепляют на карточке с отверстием так, чтобы он находился над отверстием. Рисунок оценивают, осматривая с обратной стороны под увеличением при ультрафиолетовом облучении. Процесс использования репродукционной ленты состоит в следующем. Отрезают небольшой кусок репродукционной ленты; накладывают его на индикаторный рисунок. Плотно прижимают ленту большим и указательным пальцами к поверхности детали. Удерживая ленту, помещают на края ленты каплю ацетона. Необходимо обратить внимание на то, чтобы лента не смещалась до испарения ацетона, после чего пальцы могут быть убраны без изменения ее положения. Оставляют ленту в таком положении на 10 минут или более. Ацетон способствует проявлению пенетранта: на репродукционной ленте останется четкий индикаторный рисунок. Слепок рисунка при желании может быть рассмотрен под микроскопом в ультрафиолетовом или видимом свете. Этот процесс требует некоторых знаний и опыта; может потребоваться проведение нескольких практических попыток. Если поверхность образца может быть расположена горизонтально, вместо пальцев для прижатия ленты к поверхности детали можно использовать какое-либо приспособление.

Капиллярный контроль в болтовых отверстиях является весьма сложным; регистрация индикаторных рисунков в этих случаях предельно затруднена.

Силиконовый каучук является хорошим материалом для того, чтобы скопировать шероховатость поверхности болтового отверстия. Когда каучук завулканизируется, он может быть извлечен из отверстия. Быстро вулканизирующаяся смесь силиконового каучука используется для регистрации индикаторных рисунков в глухих отверстиях, однако из-за реакции между компонентами каучука и пенетранта индикаторные рисунки являются не очень яркими. При выявлении трещин на плоской поверхности могут быть получены приемлемые результаты. Если материал контролируемого объекта ферромагнитный, вполне приемлемым является метод с использованием магнитных частиц, суспензированных в силиконовом каучуке. Сразу после нанесения сырого каучука деталь намагничивается; намагниченные частицы медленно мигрируют через каучуковую суспензию к областям неоднородности магнитного поля. Непрерывное намагни-

чивание во время цикла вулканизации позволяет получить хорошие индикаторные рисунки после снятия вулканизированной копии.

Фотографирование

Наилучшим способом регистрации индикаторных рисунков является их фотографирование. Снимок показывает расположение и ориентацию несплошности на детали и достаточно точно передает его размеры.

Черно-белые фотографии часто могут выявить индикаторный рисунок с высокой степенью контрастности. Цветное фотографирование является более сложным, поскольку чистый цвет труден для воспроизведения. Однако, если имеется хорошо разработанная технология, могут быть получены очень четкие слайды.

Фильтры весьма важны для люминесцентной фотографии; ультрафиолетовое излучение, используемое для облучения индикаторного рисунка, не должно достигать фотопленки. Одной из рекомендуемых процедур является применение фильтра K2 (зарегистрированный N 8). Этот фильтр задерживает лучи с длиной волны 440 нм; это ограничивает около половины синего диапазона. Чувствительная к синему свету позитивная пленка для диапозитивов воспринимает излучаемый индикаторным рисунком свет и позволяет получать изображение приемлемого качества. Другие источники рекомендуют использовать фильтры Wratten 2B и 2E при применении пленок самообработывающихся видов. Эти фильтры поглощают почти все ультрафиолетовое излучение, но пропускают достаточное количество излучаемого света для обеспечения экспонирования цветных диапозитивных пленок, менее чувствительных в синем диапазоне.

В одном из примеров использована пленка чувствительностью 32 ASA при установке объектива $f/16$; в эксперименте экспозиции были продолжительностью 2, 4, 8 и 16 минут. При оценке полученных изображений индикаторных рисунков при этих различных значениях времени экспозиции было обнаружено, что при некоторых из них получаются слишком широкие рисунки. Время экспонирования должно быть таким, чтобы точно воспроизводилась ширина индикаторного рисунка, чтобы изображение было максимально приближено к реальному видимому индикаторному рисунку.

Некоторые черно-белые самообработывающиеся пленки имеют чувствительность 3000 ASA. Экспонирование в течение одной секунды при пленке чувствительностью 3000 ASA будет близко эквивалентно к двухминутному экспонированию при чувствительности пленки 32 ASA. Пленка с чувствительностью 32 ASA может быть использована при экспозиции от пяти до восьми минут; при чувствительности пленки 3000 ASA трех секунд достаточно для начальных снимков с хорошим

результатом. Методика быстрого проявления самообработывающейся пленки может быть затем использована для проявления за очень короткий промежуток времени.

Из-за низкой яркости, фотографии люминесцентных индикаторных рисунков требуют значительного времени экспонирования. Для получения хороших фотографий могут быть использованы современные пленки, объективы, фильтры и камеры.

Значения освещенностей для выявления протяженных индикаторных следов дефектов типа трещин в зависимости от класса чувствительности приведены в табл. 5.

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 ярко окрашенного 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. Условные обозначения дефектов, обнаруживаемых капиллярным методом, приведены в приложении 5.

Таблица 5

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

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.

2.7. 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 водорастворимых 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. 20, г) производят при изготовлении дефектограмм – слепков проявляющей краски с зафиксированным рисунком дефектов.

Выжиганием удаляют в заводских условиях стораемые 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.

2.8. Оформление результатов контроля

Эскизирование представляет собой наиболее простой способ регистрации индикаторных рисунков. Эскиз должен иметь распознаваемый маркировочный знак, повторяемый на контролируемой поверхности, с тем чтобы индикаторный рисунок мог быть соответствующим образом расположен и ориентирован. Размеры и ориентация индикаторного ри-

сунка по отношению к детали должны быть предельно точными, поскольку они могут служить критерием браковки. Описание вида индикаторного рисунка должно быть также сопровождено эскизом, является ли он большим или малым, тонкой линией или толстой, яркой или тусклой и т. п. Такое описание является весьма важным, – как часть регистрации.

Обнаруженные в результате капиллярных методов контроля недопустимые дефекты необходимо замаркировать и отметить на эскизе объекта контроля.

Условное обозначение обнаруженных дефектов при оформлении результатов капиллярного контроля.

1. Обнаруженные дефекты могут быть охарактеризованы по следующим признакам.

По локализации:

A – на единичные;

B – на групповые, расположенные в ограниченных зонах контролируемой поверхности;

B – на повсеместно распределенные.

По ориентации относительно главных осей объекта контроля:

|| – на параллельные;

└ – на перпендикулярные;

< – на расположенные под углом;

без знака – на дефекты, не имеющие преобладающей ориентации.

По допустимости:

○ – на допустимые (малозначительные или исправимые);

без знака – на недопустимые (критические, значительные, исправимые).

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

Примеры обозначения характерных дефектов:

⊙ A || – 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.

Результаты проведения контроля заносятся в бланки заключений.

2.9. 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 вредное 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 – бензомаслостойкие 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!

Контрольные вопросы

1. Какая из нижеприведенных причин определяет, как загрязнение на поверхности детали влияет на капиллярный контроль?
 - а) Ограничение выделения пенетранта для образования индикаторных рисунков.
 - б) Ограничение ввода пенетранта в несплошность.
 - в) Уменьшение смачиваемости поверхности контролируемого объекта пенетрантом.
 - г) Все из вышеприведенного.
 - д) Только вышеприведенные пункты «а» и «б».

2. Что из нижеприведенного не может быть классифицировано как загрязнение поверхности?
 - а) Остатки от предшествующего капиллярного контроля.
 - б) Деформированный металл после механической обработки или полирования.
 - в) Смазочное масло.
 - г) Окалина.

3. Какой из нижеприводимых методов очистки следует использовать для удаления деформированного металла?
 - а) Травление.
 - б) Абразивная очистка.
 - в) Удаление окалина в растворе солей.
 - г) Ультразвуковая очистка.

4. Какой из методов очистки может быть рекомендован для удаления краски и лака перед проведением капиллярного контроля?
 - а) Сошлифовка.
 - б) Растворение.
 - в) Травление.
 - г) Паровая очистка.

5. Какой из перечисленных металлов деформируется при механической обработке или шлифовке?
- а) Сталь.
 - б) Алюминий.
 - в) Титан.
 - г) Все из вышеперечисленного.
 - д) Только вышеприведенные пункты «б» и «в».
6. Межкристаллитное напряжение и расслаивание относятся к определенной группе терминов. К какому из нижеприведенных явлений они могут быть отнесены?
- а) Окисление.
 - б) Коррозия.
 - в) Эрозия.
 - г) Усталость.
7. Пенетрант будет выявлять следы коррозии; как при наличии коррозии могут быть обнаружены трещины?
- а) Трещины при наличии коррозии не могут быть обнаружены.
 - б) Коррозионный налет должен быть удален.
 - в) Поверхность должна быть очищена растворителем.
 - г) Коррозионный налет на поверхности должен быть выборочно удален воздействием химических веществ в процессе, подобном травлению.
8. Некоторое загрязнение на поверхности контролируемой детали не может быть устранено обычными методами очистки; какие стадии должны быть выполнены для определения других способов очистки?
- а) Химический анализ загрязнения для определения его составляющих.
 - б) Обращение к консультанту.
 - в) Сошлифовка загрязнения и травление металла.
 - г) Выжигание загрязнения и травление металла.
 - д) Ничего из приведенного выше.
9. Изготовление лопаток турбин требует шлифования и полировки. Какой из методов может быть использован для удаления деформированного металла и заусениц?
- а) Тепловое удаление заусениц.
 - б) Травление.
 - в) Электрополирование.
 - г) Все перечисленное выше.
 - д) Только вышеприведенные пункты «а» и «в».

10. Какой из нижеперечисленных источников может наилучшим образом служить основанием для электроочистки деталей?
- а) Стандарты ASTM.
 - б) Учебное пособие ASNT.
 - в) Инструкция производителя оборудования.
 - г) Ничего из приведенного выше.
11. Какой из методов нанесения пенетранта обеспечивает наибольшую чувствительность?
- а) Выдерживание детали, непрерывно погруженной в пенетрант в течение всего периода контакта поверхности объекта с пенетрантом.
 - б) Погрузить деталь в пенетрант на короткий промежуток времени; вынуть и осушить в течение оставшейся продолжительности контакта с поверхностью.
 - в) Нанести пенетрант с помощью кисти; продолжать нанесение пенетранта, поддерживая поверхность покрытой жидкостью.
 - г) Все из вышеприведенного обеспечивает одинаковые значения чувствительности.
12. Какой является максимальная температура пенетранта в резервуаре при погружении в него горячих деталей?
- а) 32 °С.
 - б) 38 °С.
 - в) 43 °С.
 - г) 57 °С.
13. Какая из нижеприведенных процедур, при погружении горячих деталей является наилучшей?
- а) Погрузить на одну треть времени контакта с поверхностью; осушить.
 - б) Оставить деталь на все время контакта с поверхностью.
 - в) Оставить деталь до ее остывания; осушить.
 - г) Ничего из приведенного выше; для погружения горячих деталей отсутствуют рекомендованные технологии.
14. Какой из способов нанесения пенетранта позволяет покрывать деталь тонким слоем?
- а) Воздушной кистью.
 - б) Пневматическим распылителем.
 - в) Электрическим распылением.
 - г) Аэрозольным баллоном.

15. Требуется ли какая-либо корректировка времени контакта пенетранта с поверхностью объекта, если он имеет более высокую вязкость, чем применяемый ранее?
- а) Вязкость не влияет на время контакта с объектом.
 - б) Более высокая вязкость требует увеличения времени контакта.
 - в) Более низкая вязкость требует уменьшения времени контакта.
 - г) Ничего из приведенного выше.
16. Цветные пенетранты имеют низкую чувствительность. Что из нижеприведенного является наилучшей областью (областями) применения цветных пенетрантов?
- а) Обнаружение усталостных трещин.
 - б) Контроль сварных швов на строительных конструкциях.
 - в) Контроль трещин коррозии.
 - г) Обнаружение межкристаллических трещин.
 - д) Только приведенные в пунктах «б» и «в».
17. Что из нижеприведенного не является хорошим способом нанесения эмульгатора с целью удаления пенетранта с поверхности детали?
- а) Распыление.
 - б) Протираание щеткой.
 - в) Погружение.
 - г) Обмывание.
18. Гидрофильный и липофильный являются типами...
- а) пенетрантов;
 - б) эмульгаторов;
 - в) проявителей;
 - г) растворителей.
19. Что является приемлемой процедурой для удаления избытка пенетранта?
- а) Промыв водой, вытереть мокрую поверхность полотенцем; устранить фон полотенцем, смоченным в растворителе.
 - б) Вытереть избыток пенетранта сухим полотенцем; устранить фон полотенцем, пропитанным растворителем.
 - в) Смыть пенетрант с поверхности сильной струей.
 - г) Протереть поверхность ветошью, смоченной растворителем.

20. В какой концентрации с водой обычно используется гидрофильный эмульгатор в резервуаре для погружения?
- а) 0 % разбавления.
 - б) 5...33.
 - в) 20...33.
 - г) 0,0033...0,005 %.
 - д) 67...95 %.
21. Перед первоначальным применением, в каком количестве воды обычно растворяется липофильный эмульгатор, используемый в резервуаре для погружения?
- а) 0 % разбавления.
 - б) 5...33.
 - в) 20...33.
 - г) 0,0033...0,005 %.
 - д) 67...95 %.
22. До какого процента концентрации может быть разбавлен водой гидрофильный эмульгатор, используемый с помощью распылителя?
- а) 0 % разбавления.
 - б) 5...33.
 - в) 20...33.
 - г) 0,0033...0,005 %.
 - д) 67...95 %.
23. Какой из нижеприводимых растворителей содержит галогены?
- а) Керосин.
 - б) Спирт.
 - в) Трихлорэтилен.
 - г) Бензин.
 - д) Ничего из приведенного выше.
24. Какой из нижеприводимых проявителей используется с пенетрантом группы VI для получения такой же чувствительности, как для пенетранта группы V при использовании суспензированного в растворителе проявителя?
- а) Нет такого проявителя.
 - б) Сухой проявитель.
 - в) Суспензированный в воде проявитель.
 - г) Растворимый в воде проявитель.

25. Какая из стадий должна быть указана в блоке 1 в приведенном на диаграмме процессе капиллярного контроля с использованием удаления гидрофильным эмульгатором?
Нанесение пенетранта 1 2 3 4 Сушка
- а) Нанесение эмульгатора обливанием.
 - б) Предварительная промывка.
 - в) Наложение эмульгатора.
 - г) Промывка.
26. Какая из стадий должна находиться в вышеприведенном блоке 2?
- а) Нанесение эмульгатора обливанием.
 - б) Предварительная промывка.
 - в) Наложение эмульгатора.
 - г) Промывка.
27. Какая из стадий должна находиться в вышеприведенном блоке 3?
- а) Нанесение эмульгатора обливанием.
 - б) Предварительная промывка.
 - в) Наложение эмульгатора.
 - г) Промывка.
28. Какая из стадий должна находиться в вышеприведенном блоке 4?
- а) Нанесение эмульгатора обливанием.
 - б) Предварительная промывка.
 - в) Наложение эмульгатора.
 - г) Промывка.
29. Какой из диапазонов продолжительности контакта липофильного эмульгатора с поверхностью объекта является обычным для пенетранта группы V?
- а) 1/2...3 минут.
 - б) 1...5 минут.
 - в) 2...10 минут.
 - г) 3...20 минут.
30. Какой из диапазонов продолжительности контакта гидрофильного эмульгатора с поверхностью объекта является обычным для пенетранта группы V?
- а) 1/2...3 минут.
 - б) 1...5 минут.
 - в) 2...10 минут.
 - г) 3...20 минут.

31. Какая из нижеприведенных концентраций в процентном отношении гидрофильного эмульгатора в резервуаре для погружения обеспечит наибольшую чувствительность?
- а) 5 %.
 - б) 10 %.
 - в) 20 %.
 - г) 33 %.
 - д) 95 %.
32. Давление воды в измерительной системе измеряется в килопаскалях /кПа/. Если 1 фунт/кв. дюйм = 6,845 кПа, какое из измерений эквивалентно 30 фунтам на кв. дюйм?
- а) 195,46 кПа.
 - б) 205,35 кПа.
 - в) 215,35 кПа.
 - г) 225,55 кПа.
33. Какой из нижеприводимых проявителей способен обеспечить наибольшую чувствительность системы?
- а) Сухой.
 - б) Водорастворимый.
 - в) Суспензированный в воде.
 - г) Суспензированный в растворителе.
34. Какой из нижеприводимых способов нанесения сухого проявителя обеспечит наибольшую чувствительность?
- а) Погружение.
 - б) Создание взвеси проявителя в камере.
 - в) Электростатическое нанесение.
 - г) Опыление.
35. Какой из нижеприводимых проявителей наиболее легко удаляется?
- а) Суспензированный в растворителе.
 - б) Суспензированный в воде.
 - в) Сухой.
 - г) Водорастворимый.
36. Какой из этих способов должен быть использован при нанесении на детали суспензированного в растворителе проявителя?
- а) Погружение.
 - б) Распыление.
 - в) Создание взвеси.
 - г) Псевдооживленный слой.

37. Как много слоев пластикового пленочного проявителя должно быть нанесено перед тем, как покрытие может быть удалено?
- а) 1.
 - б) 2.
 - в) 4.
 - г) 5.
 - д) 10.
38. Какой из способов окончательной чистки должен быть использован для системы LOX (содержащий сильный окислитель, например жидкий кислород)?
- а) Паровое обезжиривание.
 - б) Как указано первоначально, учредителем контракта.
 - в) Промывка моющим средством.
 - г) Промывка спиртом.

3. ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЙ МЕТОД

Капиллярные методы подразделяют:

- в зависимости от типа проникающего вещества (методы проникающих растворов и фильтрующихся суспензий);
- в зависимости от способа получения первичной информации (яркостный (ахроматический), цветной (хроматический), люминесцентный и 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. Но в отличие от цветного метода 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.

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 $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$ и относительной влажности не более 90 %.

3.1. Основные понятия о люминесценции

Люминесценцией называется 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*, под которой подразумевают свечение, прекращающееся при выключении источника возбуждения, и *фосфоресценцию* – свечение, продолжающееся заметный промежуток времени после прекращения возбуждения. Но так как все люминесцирующие вещества после прекращения возбуждения обладают послесвечением конечной длительности, то 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. Этот вид свечения является основным в свечении так называемых кристаллофосфоров – сложных кристаллических веществ с дефектной структурой.

Свечения дискретных центров и рекомбинационное, глубоко отличные по механизму протекающих процессов, могут быть охарактеризованы по крайней мере четырьмя свойствами: спектрами излучения и поглощения, выходом, поляризацией и длительностью.

Выходом люминесценции называют степень превращения возбуждающей энергии в энергию люминесцентного излучения. Различают энергетический выход люминесценции (отношение энергии, излученной телом в виде люминесцентного свечения, к поглощенной энергии) и квантовый выход люминесценции (отношение количества излученных люминофором квантов света к количеству поглощенных квантов).

На выход люминесценции могут влиять свойства молекул и внешние факторы. Процессы, ведущие к снижению выхода люминесценции, называются тушением (или гашением). Различают два вида тушения: внешнее и внутреннее. При внешнем тушении происходит передача энергии возбужденных молекул невозбужденным в результате их взаимодействия (тушение посторонними примесями и некоторые виды концентрационного тушения). Внутреннее тушение вызывается процесса-

ми, происходящими внутри молекулы из-за взаимодействия ее частей (концентрационное и температурное тушения).

Уменьшение люминесценции при повышении температуры (температурное тушение) обусловлено тем, что с ростом температуры увеличивается колебательная энергия молекулы, то есть молекулы могут стать настолько активными, что возбуждение их светом приведет к разрыву (полному или частичному).

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

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

Тушение может происходить также в результате добавления в раствор некоторых веществ, называемых тушителями. Взаимодействие тушителей с люминесцирующими веществами может быть химическим (в результате образования новых нелюминесцирующих продуктов при взаимодействии люминофора с тушителем) или физическим (за счет передачи энергии возбужденной молекулы молекуле тушителя).

Явление тушения 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.

3.2. Дефектоскопические материалы

Индикаторная жидкость (пенетрант) – это окрашенная или люминесцирующая жидкость, предназначенная для заполнения полостей открытых поверхностных дефектов и последующего образования индикаторного рисунка. Жидкость представляет собой раствор или суспензию красителя или люминофора 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.

Чтобы достичь нужной чувствительности, требуются жидкости, имеющие высокую проникающую и окрашивающую способность. Они ясно видны при дневном свете или флуоресцируют в черном или ультрафиолетовом свете (УФ-свете). Количество проникающего вещества, которое может просочиться в очень мелкие поверхностные несплошности, совершенно незначительно. Следовательно, видимость жидкости, выявляющей дефект, должна быть очень высокой. Контраст между проникающей жидкостью и проявителем или поверхностью детали должен быть как можно больше.

Проникающие жидкости обычно классифицируют по различным группам. Одно из главных подразделений – по типу используемого красителя, флуоресцирующего при УФ-свете или высоко контрастирующего при дневном свете. Второе основное деление проникающих жидкостей производится по способу удаления их с поверхности деталей. Некоторые проникающие жидкости являются водосмываемыми и могут быть удалены с поверхности промыванием водопроводной водой. Другие удаляются специальными растворителями. Наконец, проникающие жидкости для последующей эмульсификации сами по себе не смываются водой, но отмываются при применении эмульгатора, специально наносимого после окончания пропитки. Во время короткого «эмульсионного периода» этот эмульгатор смешивается с избытком проникающей жидкости на поверхности детали, после чего смесь легко удаляется струей воды.

Люминесцирующими свойствами обладают некоторые из смачивающих веществ: нориол, трансформаторное масло. Люминесценция вызывается или усиливается введением специальных добавок (флюороля, дефектоля, триэтаноламина).

Гаситель – это состав, предназначенный для устранения окраски или люминесценции остатков проникающей жидкости без удаления ее с контролируемой поверхности. Гасители подразделяют на растворимые в воде и растворимые в органических растворителях.

Рецептура приготовления дефектоскопических материалов для люминесцентного контроля приведена в приложении 6.

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. Необходимое требование к дефектоскопическим материалам – это их совместимость, т. е. выбранный пенетрант должен хорошо смачивать поверхность материала объекта контроля, смываться очистителем без вымывания из дефектов, проявляться рекомендуемым проявителем.

Необходимо знать, что чувствительность является одним из наиболее важных показателей комплектов материалов. Под ней понимают способ-

ность данных материалов образовывать от минимального дефекта индикаторный рисунок, уверенно обнаруживаемый контролером. 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).

Общая чувствительность систем с использованием люминесцентных пенетрантов определяется концентрацией красителя (люминофора) и его цветовым оттенком, как и при использовании цветных пенетрантов. Имеется множество других факторов, управляя которыми можно достигать высокой эффективности контроля. Имеются также большие возможности развития средств контроля. В общем плане, системы люминесцентных пенетрантов потенциально имеют больше областей применения, чем цветные пенетранты.

Люминесцентные материалы воспринимают энергию от световых волн в ультрафиолетовой области электромагнитных колебаний. Эта энергия преобразуется в фотоны энергии с различной длиной световых волн. Наиболее часто при неразрушающем контроле используется ультрафиолетовое (УФ) излучение с пиковым значением 365 нанометров ($1 \text{ нм} = 10^{-9} \text{ м}$). Такое ультрафиолетовое излучение считается стандартным для неразрушающего контроля. Люминофоры для пенетранта выбираются так, чтобы абсорбировать энергию в диапазоне от 350 до 400 нанометров и испускать излучение в диапазоне от 475 до 575 нанометров. Испускаемое излучение в видимом спектре имеет цвет от зеленого до желтого.

Качество люминофоров определяется по тому, насколько они эффективно воспринимают ультрафиолетовое излучение и преобразуют его в видимый свет.

3.3. Расчет и нормирование материалов

Расход дефектоскопических материалов зависит от качества поверхности контролируемого объекта, ее расположения, консистенции материалов, способа их нанесения. Расход пенетранта 0,3...0,5 л/м². Большее значение соответствует неровной поверхности объекта контроля, вертикальному расположению поверхности. Очистителя расходуется в 2...3 раза больше, чем пенетранта. Расход порошкообразного проявителя 40...50 г, а суспензии – 300 г на 1 л пенетранта.

В общем виде расход пенетранта рассчитывают по формуле:

$$D = A_0 + B_0 t_1^{-1/2}, \quad (12)$$

для плоских объектов типа панелей:

$$0,049Д = 0,097 + 0,193(v/t_1)^{1/2}, \quad (13)$$

для объектов сложной формы типа литых деталей:

$$0,049Д = 0,465 + 0,192(v/t_1)^{1/2}, \quad (14)$$

для лопаток турбин, расположенных вертикально:

$$0,049Д = 1,4 + 0,4(v/t_1)^{1/2}, \quad (15)$$

где $Д$ – количество пенетранта, л/м²;

A_0 – количество пенетранта, оставшееся на поверхности объекта после полного стекания, л/м²;

B_0 – параметр, характеризующий скорость стекания пенетранта, л·мин^{1/2}/м²;

ν – вязкость кинематическая, сСт;

t_1 – продолжительность стекания пенетранта, мин.

Расход очистителя определяют в зависимости от расхода пенетранта, пользуясь, например, опытной зависимостью относительного расхода очистителя от продолжительности его стекания (рис. 21). При этом за единицу принимается расход пенетранта.

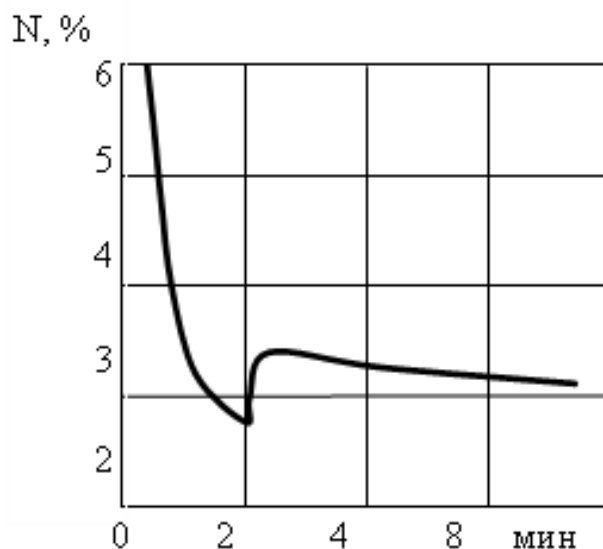


Рис. 21. Зависимость относительного расхода очистителя от времени его стекания (по Г.Н. Скоглунду)

На рисунке приведены данные для литых изделий и материалов для последующей эмульсификации водой. Сложный характер кривой объясняется особенностями взаимодействия очистителя и пенетранта, а также периодической потребностью очистки ванны. Приблизительно считают, что на каждый литр пенетранта требуется 2,8 л свежего очистителя.

Расход проявителя также определяют в зависимости от расхода пенетранта, принимаемого за единицу. При этом учитывают тип проявителя (сухой, мокрый) и пенетранта (водосмываемый, для последующей эмульсификации).

3.4. Технологический процесс люминесцентной дефектоскопии

Схема технологического процесса капиллярной дефектоскопии предусматривает следующие операции:

- 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.

3.4.1. Подготовка изделий к контролю

Способы подготовки изделий к контролю аналогичны способам, рассмотренным в разделе 2.1.

3.4.2. Процесс эмульгирования

Наряду с процессом с водосмываемой проникающей жидкостью существует люминесцентный процесс с последующей эмульсификацией. В этом случае добавляется операция нанесения эмульгатора.

Этот процесс имеет определенные преимущества перед процессом с применением водосмываемой люминесцирующей жидкости. Их можно суммировать следующим образом:

- большая чувствительность при выявлении очень тонких дефектов;
- на деталях с загрязненными дефектами данный процесс более совершенен, чем водосмываемый;
- могут быть выявлены мелкие повреждения поверхности, такие, как царапины и следы режущего инструмента, где такое состояние нежелательно;
- при повторном контроле деталей, подвергнутых до этого другим капиллярным методам дефектоскопии, можно получить лучшие результаты.

Проникающая жидкость для последующей эмульсификации имеет масляную основу, к которой добавляется яркий флуоресцирующий краситель. Она отличается от водосмываемой проникающей жидкости тем, что ее нельзя удалить промывкой водой до тех пор, пока она не содержит эмульгирующего вещества. Она обладает исключительно высокими

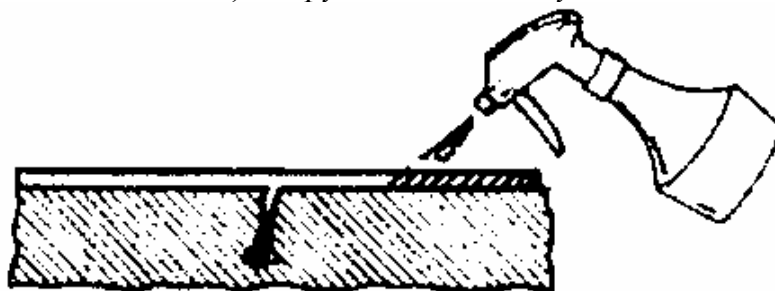
проникающими свойствами. Однако общее действие этого типа проникающей жидкости подобно действию водосмываемой.

Так как проникающая жидкость, применяемая в процессе с последующей эмульсификацией, не вымывается водой, будучи нанесенной на деталь, то эмульгатор нужно наносить после окончания пропитки перед промывкой водой.

Эмульгатор взаимодействует со стороны поверхности проникающей жидкости и образует смесь, смываемую струей воды. По истечении определенного времени поверхностный слой проникающей жидкости эмульгирует. Проникающая жидкость, просочившаяся внутрь трещины, не эмульгирует. Таким образом, можно вымыть всю проникающую жидкость с поверхности, в то время как в дефектах она полностью сохраняется.



а) Погружением в ванну



б) Поливанием

Рис. 22. Процесс нанесения эмульгатора

Эмульгатор можно наносить погружением детали в него (рис. 22, а) или поливанием им поверхности детали (рис. 22, б). Эмульгатор не следует наносить кистью, так как кистью можно удалить проникающую жидкость из мелких и подобных царапинам дефектов.

Возможное время пропитки при использовании такой проникающей жидкости приблизительно вдвое меньше, чем время, рекомендуемое для водосмываемой проникающей жидкости. Продолжительность, в течение которой эмульгатор остается на деталях, следует сводить до минимума, что даст хорошую промывку водой и одновременно обеспечит наибольшую чувствительность к мелким дефектам. Период эмульсификации может изменяться от 10 с до 5 мин, в зависимости от состояния поверхности детали и типа искомых дефектов. На гладких поверхностях это время мо-

жет быть гораздо меньше, чем на шероховатых поверхностях. Следует помнить, что оптимальное время для каждого вида детали и дефекта можно определить только экспериментально. Время пропитки изделий люминесцирующими веществами пенетрантов приведено в приложении 7.

Шероховатость поверхности может препятствовать эмульгатору, взаимодействовать с проникающей жидкостью и снижает, таким образом, промывную способность. Это может мешать применению данного процесса к деталям, имеющим весьма шероховатую поверхность, глухие отверстия или резьбы.

Дальнейшие операции технологического процесса с последующей эмульсификацией аналогичны процессу с люминесцирующей водосмываемой проникающей жидкостью.

3.4.3. Удаление пенетранта с поверхности изделий

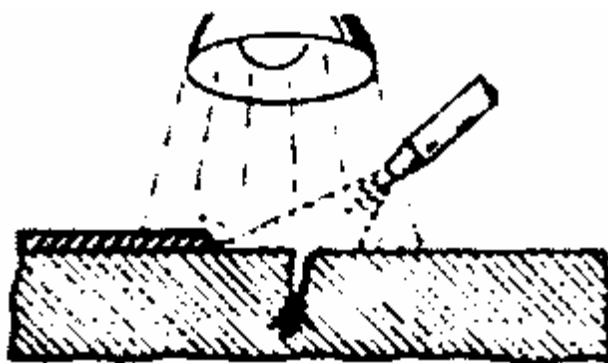
Способ удаления проникающей жидкости с поверхностей контролируемых изделий выбирают с учетом ее типа, шероховатости поверхности, условий контроля и его производительности (рис. 23). В табл. 6 приведены возможные способы удаления проникающей жидкости с поверхности деталей.

Таблица 6

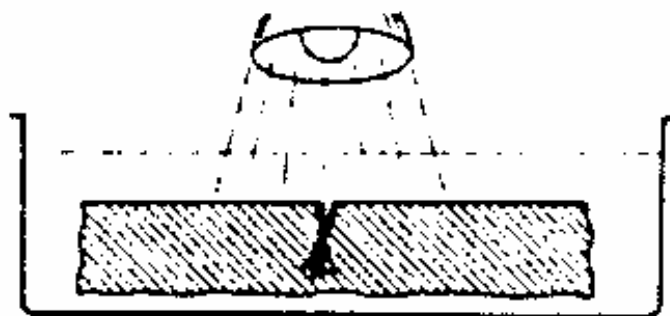
Способы удаления проникающей жидкости с поверхности деталей

Способ	Технологическая характеристика
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 или цвета	Устранение люминесценции или окраски 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.)

Гашением устраняется люминесценция или окраска, при использовании специальных проникающих жидкостей.



а) Сбиванием струей воды



б) Погружением в ванну

Рис. 23. Удаление индикаторного пенетранта с поверхности

Удаляют индикаторный пенетрант до полного отсутствия свечения или окрашенности поверхности. Чистота отмывки поверхности изделия от избытка люминесцентного пенетранта контролируется в ультрафиолетовом облучении (УФ-облучении).

После удаления пенетранта контролируемая поверхность подвергается сушке посредством выдержки на воздухе при температуре окружающей среды (рис. 16, а), протиркой мягкой бязью (рис. 16, г) или (в случае промывания водой) обдувается сухим и чистым сжатым воздухом (рис. 16, б) с температурой не ниже 50 °С при давлении 20 кПа, направленным по касательной к поверхности.

Степень сушки считается достаточной, когда поверхностная влага начинает исчезать. Длительная сушка или высокая температура сушки не рекомендуется, так как это способствует испарению пенетранта из полостей дефекта.

3.5. 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 контролируруемую поверхность одним из способов, приведенных в табл. 7.

Таблица 7

Способы нанесения проявителя

Способ	Технологическая характеристика
Нанесение кистью	Нанесение жидкого проявителя кистью, щеткой или заменяющими их средствами
Погружение	Нанесение жидкого проявителя кратковременным погружением в него детали
Обливание	Нанесение жидкого проявителя на поверхность детали струей с помощью насосов или самотеком
Воздушная взвесь	Нанесение порошкообразного проявителя путем создания его воздушной взвеси в камере, в которую помещена деталь
Посыпание	Нанесение порошкообразного проявителя припудриванием или обсыпанием детали
Наложение липких пленок	Нанесение ленты пленочного проявителя прижатием ее липкого слоя к детали
Электрораспыление	Нанесение проявителя в электростатическом поле с распылением его струей воздуха, механическим методом или под воздействием сил поля

3.4.5. Проявление дефектов

После нанесения проявителя детали выдерживают при температуре окружающей среды, при повышенной температуре, в вакууме или при вибрации до окончания процесса проявления, т. е. образования индикаторного рисунка. Способы проявления дефектов приведены в табл. 8.

Таблица 8

Способы проявления дефектов

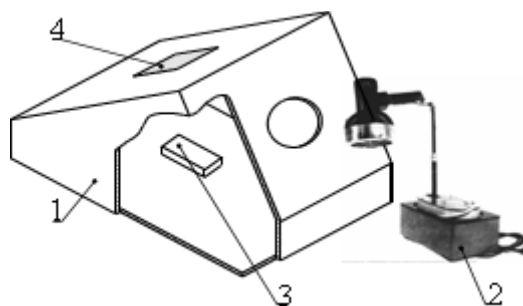
Способ проявления дефектов	Технологическая характеристика
1	2
Временной	Выдержка детали на воздухе до наиболее полного проявления обнаруживаемых дефектов
Тепловой	Проявление дефектов путем нагревания детали при атмосферном давлении
Вакуумный	Проявление дефектов путем вакуумирования пространства над поверхностью детали с постоянным или изменяющимся по определенному закону разрежением

1	2
Вибрационный	Проявление дефектов при воздействии на деталь вибрации, циклического или статического нагружения
Комбинированный	Проявление дефектов одновременно или последовательно двумя или более способами

3.4.6. 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.

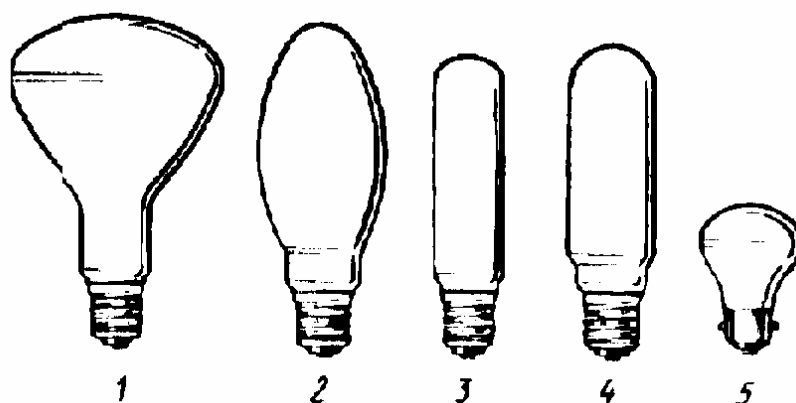
При контроле изделий люминесцентным методом обнаружение дефекта производится в длинноволновом УФ-излучении с длиной волны 315–400 нм (с преобладанием длины волны 365 нм) в затемненном пространстве или отдельной камере по светящемуся индикаторному следу. На рис. 24 показана установка для контроля люминесцентным методом капиллярной дефектоскопии.



1 – смотровая камера; 2 – УФ-облучатель КД-33Л;
3 – объект контроля; 4 – смотровое окно

Рис. 24. Установка для контроля
люминесцентным методом капиллярной дефектоскопии

В УФ-облучателях дефектоскопов, предназначенных для люминесцентного метода с визуальным способом выявления дефектов, в качестве источников УФ-излучения используют специализированные ртутные лампы в черных колбах и их аналоги (рис. 25), а также неспециализированные ртутные лампы с приставными светофильтрами из ультрафиолетового стекла УФС6 и УФС8. Следует помнить, что после выключения лампы можно повторно включить, только охладив ее в течение 10–15 мин.



1 – ДРУФ3-125; 2 – ДРУФ-125; 3 – ДРУФ-125-1; 4 – ДРУФ-250; 5 – ЛУФ-4-1

Рис. 25. Дефектоскопические УФ-лампы

УФ-облученность, необходимая при контроле изделий, приводится в табл. 9 в зависимости от классов чувствительности.

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

При визуальном способе (рис. 25, а) оператор осматривает видимый индикаторный след несплошности, выявленной люминесцентным или люминесцентно-цветным методом.

При фотоэлектрическом способе (рис. 25, 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.

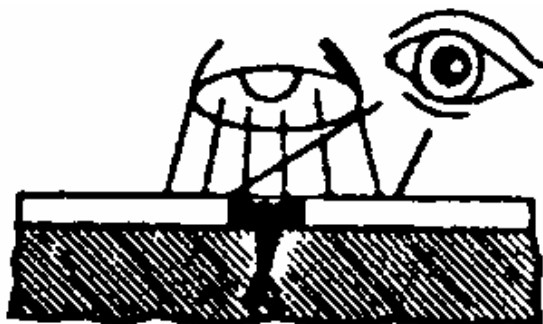
Таблица 9

УФ-облученность в зависимости от классов чувствительности

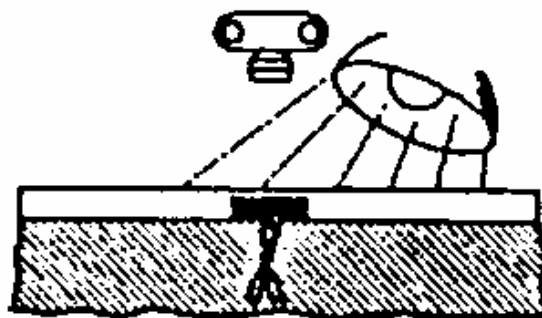
Класс чувствительности	УФ-облученность при использовании люминесцентного метода	
	Отн. ед.	МкВт/см ²
I	300 ± 100	3000 ± 1000
II		
III	150 ± 50	1500 ± 500
IV	75 ± 25	750 ± 250
Технологический	До 50	До 500

При телевизионном способе (рис. 26, в) сигнал от видимого индикаторного следа несплошности высвечивают на экране дисплея или записывают на магнитную пленку для последующего воспроизведения.

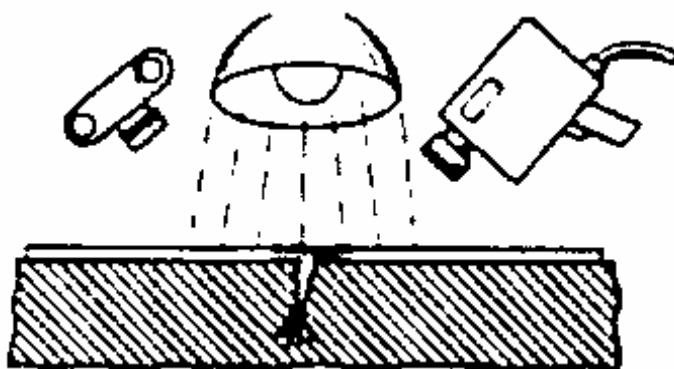
Телевизионное обнаружение позволяет регулировать контрастность и яркость изображения дефекта, что повышает чувствительность контроля.



а) Визуальный осмотр



б) Фотооптический осмотр



в) Документирование с помощью фотопленки или видеозаписи

Рис. 26. Контроль поверхности и документирование

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 (приложение 8, 9). В приложениях 10, 11 приведены нормы на поверхности дефектных соединений грузоподъемных машин, кромок под сварку и основного металла.

3.4.7. Меры безопасности при проведении люминесцентного контроля

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 вредное воздействие. Многие дефектоскопические материалы пожаро- и взрывоопасны. Поэтому дефектоскопические материалы хранят в плотно закрытой металлической таре под вытяжкой (срок хранения индикаторных пенетрантов и проявителей – 12 месяцев с момента изготовления). Отходы производства регенерируют, сливают в сборники или сжигают.

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 – бензостойкие перчатки или защитные мази.

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

- спецодежда должна закрывать лицо, грудь, руки (в качестве защитного материала, поглощающего УФ-излучение, следует применять полиамидную пленку типа ПМ марки А по техническим условиям толщиной не менее 30 мкм или другие материалы с аналогичными оптической плотностью и спектральной характеристикой);
- глаза закрывают очками со стеклами из светофильтров ЖС4 или ТС3 толщиной не менее 3,5 мм;
- сами облучатели снабжают устройствами, защищающими лицо работающих от прямых лучей.

Максимальные значения допустимых уровней эритемной облученности и дозы УФ-облучения в зоне работы контролера не должны превышать значений, указанных в табл. 10.

Таблица 10

Допустимые дозы облученности

Источник УФ-излучений	Максимально допустимая доза эритемного облучения, мэр•ч/м ²	Продолжительность непрерывной работы за рабочую смену, ч	Максимально допустимая эритемная облученность, мэр/м ²
Специализированные ртутные лампы в черных колбах	160	8,0	20
		3,0	50
		1,5	100
Неспециализированные лампы с приставными фильтрами	560	8,0	От 16 до 65
		3,5	150
		2,0	280

5. В дефектоскопах, при работе которых в воздух выделяются пыль и пары вредных веществ, должны быть предусмотрены встроенные отсосы, вентиляция, очистка и регенерация технологических выбросов и стоков.

6. Для снижения утомляемости зрения рекомендуется делать перерывы на 10–15 минут каждый час.

7. В производственных помещениях должны быть предусмотрены средства, предотвращающие вредное влияние на работающих шума и ультразвука; к таким средствам относятся защитные наушники и антифоны.

3.4.8. Методика определения УФ-облученности и ее видимой составляющей от УФ-облучателя

1. Ультрафиолетовую облученность следует определять по схеме, приведенной на рисунке 27, следующим способом.

В затемненном помещении под проверяемым ультрафиолетовым облучателем 1 устанавливают люминесцентный экран 4 на расстоянии D, равном расстоянию от облучателя до объекта контроля.

Экран располагают под углом 45° к оси потока ультрафиолетового излучения. На расстоянии 70 мм от экрана устанавливают датчик фотоэлектрического люксметра 2 общего назначения типа Ю-16 или Ю-116 по ГОСТ 14841–69, размещают поглощающий ультрафиолетовое излучение светофильтр 3 из стекла марки ЖС4 по ГОСТ 9411–75 толщиной 5 мм.

Размер фильтра выбирают в зависимости от размера входного окна используемого люксметра. Плоскости датчика и экрана должны быть параллельными. Облучаемый (люминесцирующий) размер экрана должен

быть 55x55 мм. При хранении экран должен быть защищен от воздействия видимого и ультрафиолетового излучений.

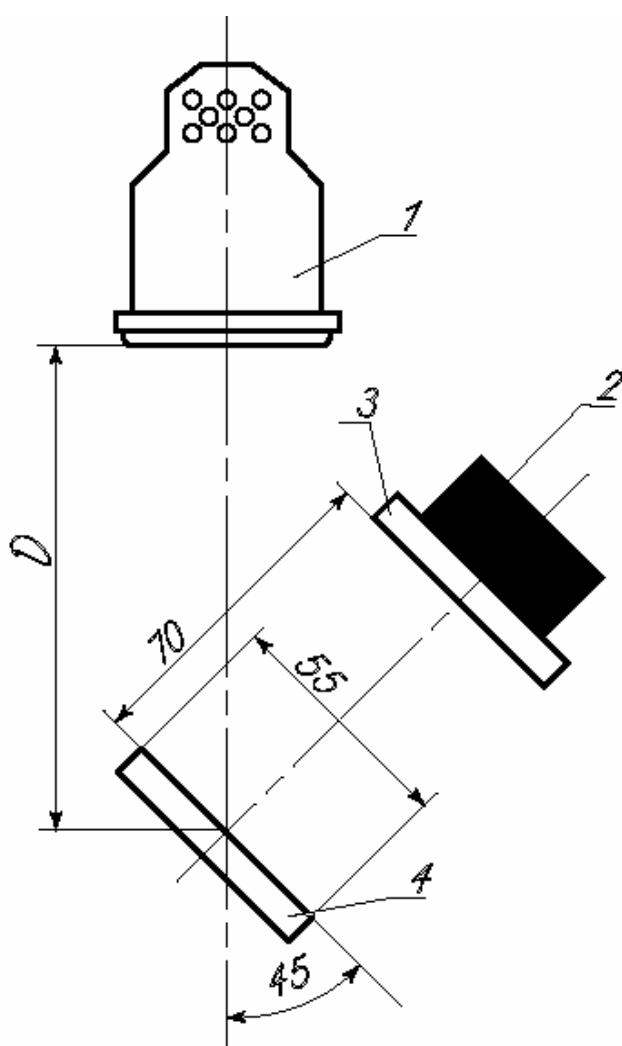


Рис. 27. Схема определения УФ-облученности

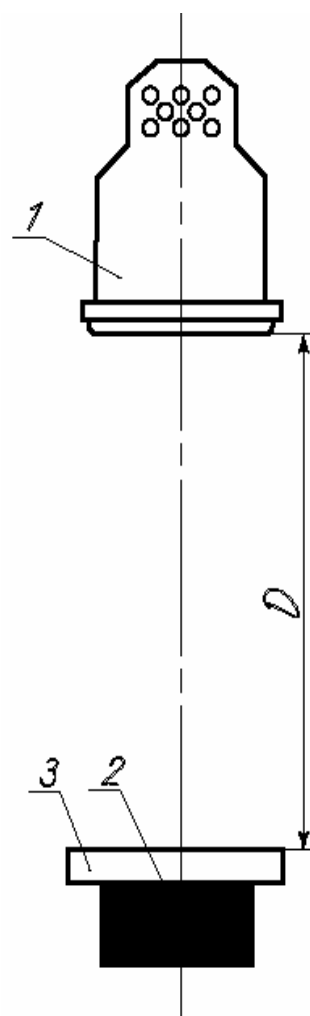


Рис. 28. Схема определения освещенности видимым светом от УФ-облучателя

Облученность определяют по показаниям люксметра.

2. Освещенность видимым светом от УФ-облучателя следует определять по схеме, приведенной на рис. 28, следующим способом.

В затемненном помещении, полностью исключающем постороннюю подсветку, под ультрафиолетовым облучателем 1 устанавливают датчик люксметра 2 на расстоянии D , равном расстоянию от облучателя до объекта контроля. Датчик предварительно покрывают светофильтром из стекла 3, используемого по п. 1. Не допускается попадание на фотоэлемент датчика ультрафиолетового излучения, не прошедшего светофильтр. Плоскость датчика должна быть перпендикулярна к оси потока излучения.

Освещенность определяют по показаниям люксметра.

3. Проверку люминесцентного экрана по п. 1 проводят сравнением показаний люксметра при неизменном УФ-излучении и поочередном использовании поверяемого рабочего и образцового экранов. Образцовый экран следует изготавливать одновременно с рабочим и хранить при комнатной температуре в светонепроницаемом футляре и полиэтиленовом пакете, предотвращающем попадание посторонних паров, газов и т. п. Если обнаружено изменение (уменьшение) показаний рабочего экрана более чем на 10 %, последний подлежит замене.

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

СЛЕДУЕТ ПОМНИТЬ, что нарушение правил техники безопасности влечет за собой дисциплинарную, административную и уголовную ответственность.

Контрольные вопросы

1. В каких случаях наиболее предпочтительным является применение безводного мокрого проявителя?
 - а) Если температура в сушилке превышает 121 °С.
 - б) Если это имеет особенно большое значение для получения наиболее гладкого и ровного покрытия.
 - в) При использовании люминесцентного пенетранта для контроля отливки.
 - г) При использовании люминесцентного пенетранта на зачищенном щеткой сварном шве электродуговой сварки.

2. При использовании люминесцентного пенетранта последующего эмульгирования на небольших деталях, когда серные или хлорные осадки считаются опасными:
 - а) должен быть использован пенетрант с низким содержанием серы и хлора и деталь должна быть окончательно очищена обтиранием растворителем;
 - б) необходимо использовать люминесцентный метод и деталь должна быть промыта моющим средством;
 - в) деталь следует подвергнуть окончательной очистке при автоматической промывке моющим средством;
 - г) необходимо использовать цветной контрастирующий краситель, с тем чтобы какие-либо осадки могли быть легко обнаружены и удалены.

3. При использовании ультрафиолетового излучения в процессе капиллярного контроля необходимо принимать во внимание «люминесценцию глазного яблока», поскольку непосредственное или отраженное ультрафиолетовое излучение, воздействующее на глаза контролера:
 - а) может привести к повреждению тканей глаза;
 - б) является безопасным и не имеет последствий;
 - в) несмотря на безопасность, может стать предельно раздражающим, что приведет к уменьшению эффективности работы контролера;
 - г) несмотря на раздражение, это не уменьшает эффективность работы контролера.

4. Наличие кислот и хроматов снижает эффективность люминесцентного контроля при удалении пенетранта водой по сравнению с другими способами, потому что:
 - а) люминофоры во всех процессах испытывают одинаковое воздействие;
 - б) кислоты и окисляющие вещества реагируют с люминофорами только в присутствии воды;
 - в) кислоты и окисляющие вещества реагируют с люминофорами только в присутствии эмульгаторов, которые содержатся в водосмываемом пенетранте;
 - г) эмульгаторы нейтрализуют действие кислот или хроматов.

5. Если имеется модульное оборудование для капиллярного контроля с использованием люминесцентного пенетранта для последующего эмульгирования и мокрого проявителя, сушилка детали должна быть размещена:
 - а) перед емкостью с эмульгатором;
 - б) после емкости с эмульгатором;
 - в) перед емкостью с проявителем;
 - г) после узла промывки деталей.

6. В системе модульного оборудования с использованием водосмываемого люминесцентного пенетранта и сухого проявителя, ультрафиолетовое облучение должно осуществляться:
 - а) у пункта нанесения пенетранта;
 - б) у пункта промывки от пенетранта;
 - в) у пункта проявления;
 - г) после цикла сушки;
 - д) в местах, указанных в б) и г).

7. Фильтры для ультрафиолетового излучения, применяемые при люминесцентном контроле, должны эффективно устранять:
- а) обычный дневной свет;
 - б) излучение с длиной волны выше 3000 ангстрем;
 - в) излучение в видимом диапазоне от энергии, выделяемой ртутной люминесцентной лампой;
 - г) люминесценцию от пенетранта.
8. Сверхяркие люминесцентные пенетранты могут быть:
- а) более чувствительны при слабом естественном освещении, чем цветные контрастные пенетранты;
 - б) чувствительными как при слабом естественном освещении, так и в условиях темноты;
 - в) более чувствительными, чем обычные люминесцентные пенетранты, но не могут быть использованы при дневном свете;
 - г) менее чувствительными при слабом естественном освещении, чем цветные контрастные пенетранты.
9. Какой из методов, в которых используется цветной контрастный пенетрант в сочетании с проявителем, содержащим малоинтенсивный люминофор, называется...
- а) методом люминесцентного проявителя;
 - б) реверсивным люминесцентным методом;
 - в) контрастным люминесцентным методом;
 - г) методом обратного контраста.
10. При проведении капиллярного контроля с использованием люминесцентного пенетранта индикаторные рисунки будут иметь вид:
- а) мягкого белого свечения на сером фоне;
 - б) яркого желто-зеленого свечения на белом фоне;
 - в) яркого желто-зеленого свечения на четком фиолетово-синем фоне;
 - г) яркого желто-зеленого свечения на черном фоне.
11. Если используется реверсивный люминесцентный метод и контроль осуществляется при ультрафиолетовом облучении, индикация должна осуществляться в виде:
- а) темных пятен или линий на фиолетово-синем фоне;
 - б) желто-зеленых линий или пятен на светящемся фоне;
 - в) темных пятен или линий на слегка светящемся фоне;
 - г) такие методы отсутствуют.

12. Когда проверяют стеклянные изделия для обнаружения очень тонких трещин, предпочтительным методом является:
- а) люминесцентный метод последующего эмульгирования;
 - б) люминесцентный метод с водосмываемым пенетрантом;
 - в) цветной метод последующего эмульгирования;
 - г) электростатический порошковый метод.
13. Вязкость оказывает значительное влияние на некоторые из практических сторон применения пенетранта. Она является важным фактором при:
- а) растворении загрязняющих компонентов;
 - б) обеспечении моющей способности пенетранта;
 - в) обеспечении яркости люминесценции;
 - г) обеспечении скорости, с которой пенетрант будет проникать в дефект.
14. При оценке люминесцентной способности пенетранта параметром, который обычно устанавливается, является:
- а) величина фактического освещения, излучаемого индикаторными рисунками;
 - б) величина ультрафиолетового излучения, необходимая для того, чтобы вызвать люминесценцию материала;
 - в) относительная яркость люминесценции по сравнению с другими пенетрантами;
 - г) относительная величина света, излучаемого люминесцентным материалом, по сравнению со светом, излучаемым фоном.
15. Наиболее точным способом для оценки количества значений света, излучаемого люминесцентными материалами, является использование:
- а) спектрофотометра;
 - б) фильтрующего фотометра;
 - в) нефлюометрического фотометра;
 - г) фотофлуориметра.
16. При капиллярном контроле с использованием люминесцентного пенетранта последующего эмульгирования и выполнении промывки для его удаления с детали, что из нижеуказанного предотвратит излишнюю промывку?
- а) Проведение промывки перед тем, как пенетрант полностью эмульгирован.

- б) Выполнение промывки после того, как пенетрант полностью эмульгирован.
 - в) Прекращение промывки сразу после того, как пенетрант на поверхности удален с детали.
 - г) Осуществление промывки только водой с температурой выше 40 °С.
17. Люминесцентные пенетранты групп VI и VII, используемые для обнаружения трещин коррозии напряжения, должны иметь минимальное время контакта с поверхностью:
- а) 30 минут;
 - в) 60 минут;
 - с) 120 минут;
 - д) 240 минут;
 - е) пенетранты групп VI не должны быть использованы для этой области применения.

4. СРАВНЕНИЕ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ СТАНДАРТОВ И СТАНДАРТА США ПО КОНТРОЛЮ ПРОНИКАЮЩИМИ ВЕЩЕСТВАМИ

В данной главе проанализированы следующие документы:

- ГОСТ 18442 «Контроль неразрушающий. Капиллярные методы. Общие требования».
- ОСТ 26–5 «Цветной метод контроля сварных соединений наплавленного и основного металла».
- Нормы ASME по котлам и сосудам высокого давления. Секция V. Неразрушающий контроль. Стандарт США, 1986, Статья 6. Контроль проникающей жидкостью.
- Сопоставление стандартов, регламентирующих применение капиллярных методов неразрушающего контроля, позволяет сделать следующие выводы.

Разделы «Общие положения» ОСТ 26–5 и ASME имеют по сравнению с ГОСТ 18442 большую практическую направленность и содержат необходимые начальные сведения для понимания сущности и условий применения методов контроля.

В ASME имеется специальный раздел «Контроль посторонних веществ», отсутствующий в отечественных стандартах. Приведена методика отбора и анализа пробы на примеси непосредственно в стандарте, что очень полезно для пользователя, так как экономит его время, необходимое для поиска соответствующих сведений из других источников, как это принято в нашей стране.

В ASME уделено значительно большее внимание вопросу подготовки поверхности объекта, чем в отечественных стандартах. Более подробно также изложены все известные способы очистки. Приведены рекомендации по оптимальному использованию способов очистки, которые могут быть взяты за основу при составлении технологических инструкций на рабочих местах.

Достоинствами норм ASME являются:

- использование эталонов А и В для идентификации чувствительности материалов при нестандартных температурах;
- применение эмульгатора для последующего смыва проникающей жидкости на основе масел;

- снижение требований к интенсивности УФ-облученности до 800 мкВт/см, приводящее к использованию менее мощных ламп и к большей безопасности условий труда;
- уменьшение времени пропитки и проявления, соответственно, до 5 мин и 7–10 мин, приводящее к повышению производительности труда.

Однако в нормах ASME не приведена классификация уровней чувствительности и не рассмотрены вопросы применения стандартных образцов для определения чувствительности дефектоскопических материалов, что является их недостатком.

При разработке международных стандартов по капиллярным методам контроля рекомендуется брать за основу отечественные стандарты и ASME-код.

4.1. Общие положения

По ГОСТ 18442 капиллярные методы (КМ) неразрушающего контроля основаны на капиллярном проникновении индикаторных жидкостей в полости поверхностных и сквозных несплошностей материала объектов контроля и регистрации образующихся индикаторных следов визуальным способом или с помощью преобразователя.

Капиллярные методы предназначены для обнаружения поверхностных и сквозных дефектов в объектах контроля, определения их расположения, протяженности (для протяженных дефектов типа трещин) и ориентации по поверхности.

КМ позволяют контролировать объекты любых размеров и форм из различных материалов (металлов и неметаллов), в том числе и из ферромагнитных материалов, если не применим магнитопорошковый метод.

КМ подразделяются на основные (капиллярный эффект) и комбинированные (использующие различные физические явления).

Основные КМ классифицируются следующим образом.

По типу проникающего вещества на методы:

- проникающих растворов;
- фильтрующих суспензий.

По способу получения первичной информации на методы:

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

Комбинированные КМ подразделяются:

- на капиллярно-электростатический;

- капиллярно-электроиндукционный;
- капиллярно-магнитный;
- капиллярно-радиационный поглощения;
- капиллярно-радиационный излучения.

ОСТ 26–5 «Цветной метод контроля сварных соединений, наплавленного и основного металла» (ЦМ) имеет следующие отличия от ГОСТ 18442:

- четко отмечается, что применение КМ (цветного метода) и требуемый класс дефектности регламентируются соответствующими указаниями в конструкторской документации на контролируемое изделие;
- представлены общие требования по подготовке поверхности к контролю;
- указан температурный режим контроля в пределах от 5 до 40 °С при относительной влажности не более 80 %. Допускается контроль при температуре окружающего воздуха ниже 5 °С с использованием соответствующих дефектоскопических составов;
- при контроле одного и того же объекта ультразвуковым и цветным методом последний рекомендуется проводить до ультразвукового метода;
- к проведению контроля КМ допускаются лица, прошедшие соответствующую теоретическую и практическую подготовку согласно ЕТКС.

Во введении ASME 165 (1983) кратко излагается сущность метода контроля проникающей жидкостью (капиллярный метод) и приводится краткий перечень основных операций контроля. Отмечается, что данный метод должен применяться только по рекомендации соответствующих документов.

4.2. Общие требования

В ГОСТ 18442 указываются основные технологические операции и приведен перечень их основных требований, а также сформулированы причины изменения технологии контроля данным методом.

Сравнение содержания раздела «Общие положения» показывает, что материалы ОСТ 26–5 и ASME имеют более практическую направленность и дают необходимые начальные сведения для понимания сущности и условий применения капиллярных методов контроля в большей мере, нежели ГОСТ 18442.

Материалы ASME более компактны и лаконичны, порой в ущерб более глубокому пониманию сути процессов контроля.

4.3. Требования к участку для проведения контроля

В ОСТ 26–5 определены общие требования к участкам контроля ЦМ КМ, в которых излагаются требования к помещениям, организации рабочих мест, освещенности, вентиляции, перечню основных принадлеж-

ностей для проведения контроля. Данный раздел очень полезен для практического применения и с методической точки зрения. В ГОСТ 18442 и ASME этот раздел не представляет особого интереса.

4.4. Дополнительные разделы

4.4.1. Проникающие материалы. Под этим термином понимаются все проникающие жидкости, растворители или очистительные материалы, проявители и прочие материалы.

По ASME методы контроля подразделяются на метод цветового контроля (цветной метод) и метод флуоресцентного проникающего вещества (люминесцентный).

Для каждого метода предлагается использовать проникающие жидкости:

- с промывкой водой;
- с последующим эмульгированием;
- с удалением растворителем.

4.4.2. Ограничение метода. В этом разделе отмечается, что контроль флуоресцентными проникающими материалами не должен следовать за контролем цветным методом; смешивание проникающих материалов из различных рецептов не допускается, повторное испытание проникающими материалами с промывкой водой может привести к снижению их чувствительности вследствие загрязнения.

Приведенные рекомендации, предшествующие основным процедурам технологического процесса контроля, являются полезными, так как заранее нацеливают дефектоскописта на тщательность подхода к технологии контроля КМ.

4.4.3. Контроль посторонних веществ. В этом разделе указывается на то, что проникающие материалы, используемые при контроле объектов из никелевых сплавов, аустенитных нержавеющей сталей и титана, должны иметь данные по содержанию загрязняющих примесей: серы, хлора и фтора.

Масса остатка пробы при определении содержания примесей не должна превышать 0,0025 г. Приведена методика отбора и анализа пробы непосредственно в стандарте без каких-либо ссылок на нормативные документы, что весьма практично для пользователя.

Отмеченные разделы отсутствуют в ГОСТ 18442 и ОСТ 26–5.

4.5. Аппаратура

ГОСТ 18442 дает очень краткое формализованное изложение требований:

- при контроле КМ применяют аппаратуру по ГОСТ 28369;

- в необходимых случаях для обнаружения следа дефектов и расшифровки результатов контроля применяют различные средства осмотра (лупы, биноклярные стереоскопические микроскопы, зеркала) в условиях, обеспечивающих освещенность объекта контроля, соответствующую правилам эксплуатации этих средств. В ОСТ 26–5 и в ASME этот раздел не выделен специально.

4.6. Дефектоскопические материалы

В ОСТ 26–5 отмечается, что дефектоскопические материалы для ЦМ используются в следующем наборе: индикаторный пенетрант (И), очиститель от пенетранта (М) и проявитель пенетранта (П). Они выбираются в зависимости от требований, предъявляемых нормативно-технической и конструкторской документацией на изделие, и от установленного класса чувствительности метода. Представлены также наиболее типичные наборы дефектоскопических материалов. Этот раздел весьма полезен в методическом плане.

Подобный материал отсутствует и в ГОСТ 18442, и в ASME.

4.7. Проведение контроля

В ГОСТ 18442 кратко перечислены основные операции при контроле КМ. Отмечено, что технологические режимы операций контроля (продолжительность, температура, давление) устанавливаются в зависимости от требуемого класса чувствительности, используемого набора дефектоскопических материалов, особенностей объекта контроля и типа дефектов, условий контроля и используемой аппаратуры.

Подготовка объектов к контролю включает очистку контролируемой поверхности и полостей дефектов от всевозможных загрязнений, лакокрасочных покрытий, моющих составов и дефектоскопических материалов, оставшихся от предыдущего контроля, а также сушку контролируемой поверхности и полостей дефектов.

Способы очистки контролируемой поверхности подразделяются на механический, паровой, растворяющий, химический, электрохимический, ультразвуковой, анодно-ультразвуковой, тепловой, сорбционный. Приводимая в ГОСТ подробная информация о способах очистки поверхности оправдана, так как вооружает оператора достаточным кругозором по этому вопросу.

В ОСТ 26–5 введен специальный раздел «Подготовка к контролю цветным методом», целесообразность введения которого очевидна, поскольку эта операция имеет большое значение для всего процесса контроля.

Особое внимание уделено лишь двум способам очистки поверхности объектов: механическому обезжириванию и типовому. Остальные известные способы очистки не рассматриваются. По всей вероятности, такой подход объясняется общепринятой в отрасли практикой подготовки поверхности объекта.

Рассмотрены также вопросы проверки качества дефектоскопических материалов и средств механизированного контроля.

В ASME вопросу подготовки поверхности (очистки) объекта уделено значительно больше внимания, чем в отечественных стандартах. Все известные способы очистки изложены более подробно, чем в отечественных стандартах, особенно с точки зрения методики, которая дана в специальном приложении к стандарту.

Приведенные рекомендации по использованию способов очистки могут быть взяты за основу при составлении технологических инструкций на рабочих местах.

4.8. Обработка объекта дефектоскопическими материалами

По ГОСТ 18442 обработка объекта дефектоскопическими материалами заключается в следующем:

- заполнении полостей дефектов индикаторным пенетрантом;
- удалении избытка индикаторного пенетранта;
- нанесении проявителя.

Далее изложены способы индикации дефектов и все последующие технологические процессы контроля.

Согласно ГОСТ 18442 температура контролируемого объекта и индикаторного пенетранта при КМ-контроле должна быть в пределах, указанных в технической документации на данный дефектоскопический материал и объект контроля.

По ОСТ 26–5 контроль КМ-методом должен проводиться при температуре окружающего воздуха от 5 до 40 °С и относительной влажности не более 80 %.

Стандарт ASME вводит другой интервал рабочих температур: 16–52 °С, что позволяет сделать вывод о невоспламеняемости (пожаробезопасности) дефектоскопических материалов при относительно высокой температуре (52 °С).

Следует отметить при этом, что перепад рабочих температур и в отечественных регламентирующих документах, и в американских указан приблизительно одинаковый – около 35 °С.

Нанесение индикаторного пенетранта по ГОСТ 18442 и по ASME осуществляется принципиально одинаково.

Согласно ОСТ 26–5 имеется уточнение о том, что пенетрант наносится 4–6 раз в течение 10–15 мин, чтобы не было высыхания предыдущих слоев, что весьма важно знать дефектоскописту.

Удаление индикаторного пенетранта более подробно описано в ASME, где даны более четкие рекомендации по этому процессу в зависимости от типов материалов пенетранта (промывание водой, эмульгирование, удаление растворителями).

4.9. Нанесение проявителя

Принципиальных отличий этой позиции в ГОСТ 18442, ОСТ 26–5 и ASME нет. Однако, в ГОСТ 18442 рассмотрены все возможные способы нанесения проявителя, чего нет в ASME и ОСТ. Очевидно, что все три документа удачно дополняют друг друга.

4.10. Осмотр контролируемой поверхности и регистрация дефектов

В ГОСТ 18442 этот раздел отсутствует, однако имеется указание в виде таблицы, где отмечается сочетание или отдельное использование способов наблюдения и регистрации индикаторных следов.

Приведены все известные 12 методов обнаружения индикаторных следов и способы их регистрации и представлены технологические приемы обнаружения дефектов.

В ASME рассмотрено всего три метода регистрации дефектов и кратко описаны процессы их применения, достаточно понятные для оператора-дефектоскописта.

По ОСТ 26–5 рекомендуется осмотр контролируемой поверхности вести через 3–4 мин и через 15–20 мин после высыхания проявителя.

Для выявления дефектов по 1 классу чувствительности согласно ГОСТ 18442 рекомендуется проводить дополнительный осмотр через 40–60 мин.

По ASME окончательный осмотр контролируемой поверхности должен проводиться в течение 7–30 мин. Если за это время результат контроля не изменится, то допускается более длительный период.

По ГОСТ 18442 устанавливается класс чувствительности контроля (всего 4 класса) в зависимости от минимального размера дефекта (ширина раскрытия или диаметр в мкм).

По ASME деление по классам чувствительности не проводится. По ГОСТ 18442 имеются рекомендации по освещенности контролируемой поверхности с дифференциацией по условиям контроля и по классам чувствительности.

По ASME рекомендуется выбирать интенсивность ультрафиолетовой (УФ) освещенности не ниже 800 мкВт/см^2 на контролируемой поверхности, измеряемой УФ-измерителем.

В отечественных стандартах УФ-облученность измеряется либо интегрально в энергетических единицах, либо косвенным путем по освещенности, создаваемой люминесцентным экраном.

По ГОСТ 18442 допускается уменьшение УФ-облученности против норматива классной чувствительности в отдельных аргументированных случаях.

В этом же стандарте излагаются способы удаления проявителя (8 способов).

Имеется также рекомендация подвергать антикоррозийной защите детали, прошедшие капиллярный контроль, в соответствии с требованиями ГОСТ 9028.

В ASME излагаются основы технологии контроля при нестандартных температурах с использованием алюминиевого стандартного образца с размером поверхностей $50,8 \times 76,2$ мм и толщиной 9,5 мм, разделяемого на две равные части А и В, которые применяются при обычно рекомендуемой температуре $16\text{--}52$ °С (часть А) и при нестандартных температурах (часть В). Результаты испытаний сравниваются. Далее приведена подробная технология применения эталонных образцов.

4.11. Оформление результатов контроля

В ГОСТ 18442 приводится перечень записей, которые могут при необходимости быть использованы для расшифровки результатов контроля и условий его проведения с целью выяснения аварийных ситуаций или отработки технологических режимов.

В приложении к ГОСТ 18442 приведены образцы формуляров наборов дефектоскопических материалов и формы рецептурного блока, а также форма операционной карты капиллярного НК.

Представлены материалы по технологии изготовления люминесцентного экрана и по методике определения ультрафиолетовой облученности и ее видимой составляющей в зависимости от типа УФ-облучателя.

Заслуживает внимания этот раздел, изложенный в ОСТ 26–5, который является добротным практическим руководством для операторов и других специалистов НК. Особо следует отметить материалы, представленные в большом количестве приложений, которые крайне необходимы и полезны для организации и проведения капиллярного метода контроля в целом.

В ASME этот раздел не выделяется.

4.12. Выводы

На основании проведенного сравнительного анализа отечественных стандартов: ГОСТ 18442 «Контроль неразрушающий. Капиллярные методы. Общие требования», ОСТ 26–5 «Контроль неразрушающий. Цветной метод контроля сварных соединений, наплавленного и основного металла» и Американского национального стандарта «Нормы по котлам и сосудам высокого давления Американского общества инженеров-механиков (ASME). Контроль проникающей жидкостью», секция V, сделаны следующие выводы.

1. Принципиальные различия в стандартах отсутствуют.
2. Достоинствами стандарта ASME являются:
 - использование эталонов для идентификации чувствительности дефектоскопических материалов при нестандартных температурах;
 - использование эмульгатора для последующего смыва проникающей жидкости на основе масел;
 - снижение требований к интенсивности УФ-облученности до 800 мкВт/см^2 , что обуславливает меньшую мощность осветителей, а следовательно и более безопасные условия работы операторов-дефектоскопистов;
 - уменьшение вдвое продолжительности процессов проникновения и проявления, приводящее к повышению производительности контроля.
3. В стандарте ASME не приведена классификация уровней чувствительности капиллярного метода контроля, что затрудняет подход к выбору дефектоскопических материалов.
4. ASME – более простой стандарт, доступный для дефектоскопистов-операторов средней квалификации.
5. При разработке международных стандартов для капиллярной дефектоскопии целесообразно взять за основу отечественные и американские стандарты.

5. ВЫБОР ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ КАПИЛЛЯРНОГО КОНТРОЛЯ

5.1. Стационарное оборудование

Стационарное оборудование, по существу, представляет собой линию, состоящую из резервуаров и столов для сушки. Резервуары должны иметь достаточный размер, чтобы в них поместилась деталь наибольшего размера, подлежащая контролю. Они могут быть изготовлены на месте или приобретены у поставщика пенетранта.

Для обработки деталей как цветными, так и люминесцентными пенетрантами используется одинаковый тип оборудования. Поставщики пенетрантов представляют соответствующие описания и спецификации, в которых приведены все данные, необходимые для заказа оборудования. Многие современные средства контроля имеют автоматические процессоры для получения лучшей воспроизводимости и надежности результатов контроля.

Оборудование электростатического распыления может быть использовано для суспензированных в воде, водорастворимых, суспензированных в растворителе и сухих проявителей. Пенетранты и эмульгаторы также распыляются электростатическим методом. Электростатическое распыление позволяет наносить такой тонкий слой дефектоскопических материалов, что на некоторых автоматических линиях достаточным является практически капельный их расход. На длинные детали, проходящие через линию, с одного конца может распылением наноситься проявитель, тогда как на другой конец наносится пенетрант.

Полностью автоматизированные процессы обслуживаются конвейерами. Время погружения и контакта пенетранта с поверхностью объекта контроля задается с учетом конструкции конвейера. Работы участков распыления и погружения для нанесения дефектоскопических материалов, промывки деталей с использованием множеств распылительных сопел и сушки в сушилках туннельного типа контролируют автоматические процессоры. Сухие проявители обычно используются в камере Вильсона.

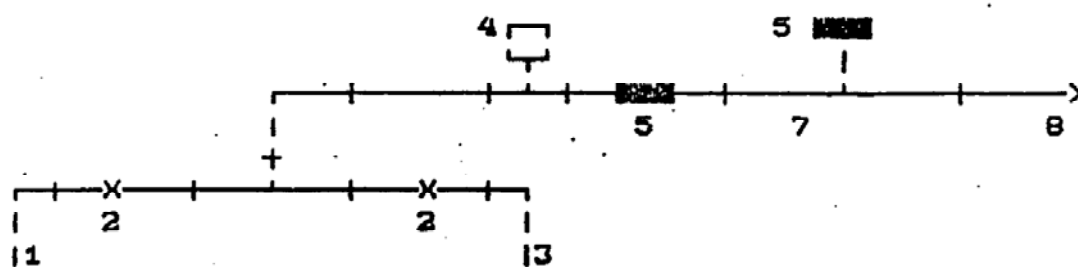
Ранее были рассмотрены способы обработки деталей гидрофильными эмульгаторами с предварительным смачиванием пенетранта и последующим его смыванием. В некоторых установках предусмотрена

предварительная промывка для удаления пенетранта, а затем промывка струйным распылением воды, содержащей небольшое количество эмульгатора. Распылительное сопло применяется в качестве автоматического клапана для смешивания, который обеспечивает соотношение воды и эмульгатора 200:1 или даже 300:1 во время окончательной промывки деталей для удаления излишнего количества пенетранта с их поверхности. Некоторые новые средства контроля позволяют использовать сепараторы пенетранта и другое оборудование для уменьшения загрязнения сточных вод продуктами промывки. Данные по этим новым видам оборудования могут быть получены у поставщиков пенетранта.

В дополнение к основным резервуарам имеются приборы и регуляторы для автоматического поддержания параметров процесса.

Вода для промывки должна иметь постоянную температуру и давление. Для регулирования температуры воды даже при ручной системе управления на горячей и холодной линиях должен применяться смеситель (рис. 29). После смесителя (клапанов) должны быть установлены термометр для измерения температуры воды, регулятор давления и манометр в приведенном порядке. Манометр должен устанавливаться на тройнике с прямыми участками труб с каждой его стороны длиной примерно 25 см. Эти 50 см труб (секция манометра) должны быть расположены горизонтально, манометр монтируется сверху тройника. Такая установка обеспечивает достаточную точность измерения давления воды для промывки. Регулятор давления должен быть настроен примерно на $2,1 \text{ кг/см}^2$ при полностью открытой форсунке для промывки.

Автоматические процессоры подключены к регуляторам температуры и давления на участках промывки и часто оснащаются регистраторами на диаграммной ленте, что позволяет проверять правильность функционирования системы.



- 1 – горячая вода; 2 – клапан; 3 – холодная вода; 4 – термометр;
 5 – регулятор давления; 6 – манометр; 7 – секция манометра;
 8 – промывочный шланг

Рис. 29. Схема системы ручной промывки водой с контролем давления воды и температуры

В сушилках с автоматическими процессорами обычно применяется циркуляция горячего воздуха. Они имеют двери или шторы между нагруженной и разгруженной сторонами корпуса для сохранения тепла в камере. В современной литературе серьезное внимание уделяется рекомендуемой максимальной температуре сушки. Температура сушки в сушилке зависит от того, где она была измерена в камере. Важным моментом является то, что красители не должны нагреваться выше температуры 82,2 °С; они обесцвечиваются при температуре, которая превышает это значение. Большинство технических условий в настоящее время устанавливает, какой должна быть максимальная температура объекта контроля. Сушилка должна быть снабжена автоматическим регулятором температуры, в особенности если нагреватель может обеспечить возможность нагрева камеры выше 82,2 °С при установленном режиме. Промышленные сушилки обычно подогреваются электричеством; однако, в некоторых случаях используется нагрев газом или паром от промышленных систем обогрева.

Участок эмульгирования должен быть снабжен реле времени, которое подает сигнал, если в резервуаре имеются липофильные эмульгаторы. Это не имеет значения при использовании гидрофильных эмульгаторов, поскольку время контакта с поверхностью объекта контроля не является особенно критичным.

Все резервуары должны быть снабжены решетчатыми деревянными поддонами для защиты дна от тяжелых острых предметов. Поддоны должны располагаться над дном резервуара на расстоянии 5–8 см для того, чтобы позволить отстою осесть на дно резервуара.

Системы погружения в резервуар, управляемые вручную, обычно имеют роликовый конвейер и могут быть обеспечены сменными захватами и сетчатыми корзинами для контролируемых объектов. Некоторые большие резервуары снабжаются системой, которая позволяет уменьшать или увеличивать конвейрную секцию в резервуаре, что позволяет погружать детали, которые слишком сложно обслуживать.

5.2. Переносное оборудование

Портативное оборудование для капиллярного контроля состоит из набора аэрозольных распылительных баллонов, используемых для нанесения дефектоскопических материалов. Имеются баллоны для пенетранта, для растворителя и проявителя, суспензированного в растворителе. Наборы используются для локального контроля деталей. В большинстве случаев в портативных наборах применяются цветные пенетранты; однако, часто, особенно при контроле деталей и узлов летательных аппаратов, используются наборы для люминесцентного контроля, в которых применяются пенетранты, удаляемые с деталей растворителем.

5.3. Осветители

Источники видимого света

Цветные пенетранты требуют применения источника света в видимом частотном диапазоне (видимый свет). В соответствии с большинством технических условий освещенность контролируемой поверхности должна быть не менее 1000 лк. Общество инженеров по освещению рекомендует при очень точной работе применять освещенность не менее 2000 лк; это требование было учтено в некоторых технических условиях на капиллярный контроль. Видимый свет может обеспечиваться как лампами накаливания, так и люминесцентными лампами дневного света.

Источники ультрафиолетового излучения

Ультрафиолетовое облучение используется при работе с люминесцентными пенетрантами. Для облучения проверяемых деталей применяются лампы, имеющие внутри высокое давление паров ртути. Они обеспечивают высокую интенсивность облучения в широком спектральном диапазоне, охватывающем длины волн ультрафиолетовых, видимых и даже инфракрасных лучей.

Ультрафиолетовое излучение имеет короткую длину волны. По существу, оно невидимо человеческим глазом. Люминофоры люминесцентного пенетранта должны подвергаться облучению, с тем чтобы можно было различать индикаторные рисунки. Фильтр под ртутной лампой ограничивает длины волн излучаемой энергии в пределах от 300 нм до 400 нм с максимумом при 365 нм. Спектр излучения паров ртути также имеет пик при 365 нм; это обеспечивает хорошее соответствие между пиками излучения лампы и пропускания фильтра.

Люминофоры пенетранта абсорбируют ультрафиолетовое излучение с длиной волны 365 нм. Воспринимаемая энергия преобразуется и снова излучается в виде света в зелено-желтом диапазоне видимого спектра (в основном с длиной волны в пределах от 520 до 550 нм).

Другим важным свойством излучения является его яркость или интенсивность. Интенсивность ультрафиолетового излучения должна быть определена и измерена с помощью измерителей излучения, которые специально сконструированы для этой цели и отградуированы в микроваттах на квадратный сантиметр ($\text{мкВт}/\text{см}^2$).

Большинство применяемых в промышленности ультрафиолетовых облучателей обеспечивают на расстоянии около 12,7 см ультрафиолетовую облученность более $3000 \text{ мкВт}/\text{см}^2$, в частности, при использовании сравнительно новых ламп и чистых фильтров.

Некоторые технические условия требуют интенсивности ультрафиолетового облучения около 1500 мкВт/см^2 в качестве минимально рекомендуемой при контроле поверхности на расстоянии 15 см от облучателя.

Часто задается вопрос, какое затемнение является достаточным. Ответ прост – самозатемненное место является наилучшим. Опыт показывает, что уровень излучения 10 лк, при котором лишь с трудом создается индикаторный рисунок на стандартном образце, подчас является приемлемым. Покрытая колпаком кабина на площади цеха не должна иметь утечки облучения, если по высоте она не превышает верха станков. Допустимы небольшие верхние утечки излучения. 100-ваттная ртутная лампа, используемая для контроля, должна быть предварительно сфокусирована. Для обеспечения соответствующего напряжения для этой лампы должен быть предусмотрен трансформатор. Облучение при мощности лампы 100 Вт, как правило, является достаточным; оно является достаточным для проведения почти всех видов контроля с соответствующей приемлемой яркостью. Однако, желательно использование источника излучения мощностью 400 Вт; этого обычно достаточно для облучения любых объектов контроля и обеспечивает приемлемую яркость.

Контрольные вопросы

1. Какая из нижеперечисленных позиций не учитывается при оценке пригодности специфического оборудования для люминесцентного контроля?
 - а) Размер деталей, подвергаемых контролю.
 - б) Производительность труда.
 - в) Вид освещения в помещении.
 - г) Пространство над полом, необходимое для сохранения материала и оборудования.

2. Какая из перечисленных позиций является наименее ценной при определении, предназначено ли оборудование для модульного использования либо оно специально предназначено для автоматизированного процесса контроля?
 - а) Большинство систем имеет максимальную воспроизводимость?
 - б) Какая скорость проведения операций может ожидаться?
 - в) Какой капиллярный процесс будет использован?
 - г) Какие типы вспомогательных приспособлений необходимы для выполнения контроля?

3. Наилучшим способом нанесения мокрого проявителя для получения наибольшей чувствительности является:
- а) погружение и сушка;
 - б) распыление;
 - в) обливание проявителем;
 - г) все из перечисленных способов обеспечивают одинаковую чувствительность.
4. Автоматизированные процессоры используются в системах контроля всей продукции. Когда система не работает, выпуск продукции может быть прекращен. Следовательно, обслуживание оборудования является очень важным фактором. Какая из процедур является наилучшей для обеспечения обслуживания?
- а) Наличие контракта на обслуживание с производителем.
 - б) Обученный обслуживающий персонал должен быть способен на месте осуществлять функции обслуживания.
 - в) Наличие контракта на обслуживание с фирмой по обслуживанию оборудования.
 - г) Все из перечисленного выше одинаково эффективно.
5. Наилучшим способом нанесения сухого проявителя в автоматической системе контроля высококачественной продукции является:
- а) нанесение проявителя в камере Вильсона;
 - б) погружение деталей в бункер с проявителем;
 - в) нанесение нагретым воздухом;
 - г) электростатическое распыление.
6. Какой способ нанесения пенетранта при использовании автоматических систем является наилучшим для получения максимальной чувствительности контроля?
- а) Погружение и сушка.
 - б) Пневматическое распыление.
 - в) Электростатическое распыление.
 - г) Все перечисленные способы являются удовлетворительными.
7. Наилучшим способом нанесения суспензированных в растворителе проявителей является:
- а) погружение;
 - б) нанесение кистью;
 - в) свободное фонтанирование;
 - г) распыление.

8. Каким из нижеприведенных способов должны быть нанесены липофильные и гидрофильные эмульгаторы?
- а) Погружение.
 - б) Распыление.
 - в) Свободное фонтанирование.
 - г) Любой из перечисленных выше.
9. Гидрофильный эмульгатор при использовании в качестве растворителя при разбавлении водой в соотношении 300:1 обычно наносится с использованием:
- а) автоматических смесительных форсунок под давлением;
 - б) пневматических распылителей;
 - в) резервуаров для погружения;
 - г) камеры Вильсона.
10. Каким из следующих излучений должен облучаться участок удаления люминесцентных пенетрантов с поверхности деталей?
- а) Люминесцентным.
 - б) Ультрафиолетовым.
 - в) От ламп накаливания.
 - г) Инфракрасным.
 - д) От паров ртути.
11. Какой должна быть интенсивность видимого света при освещении деталей в процессе контроля с использованием цветных пенетрантов?
- а) 800 лк.
 - б) 900 лк.
 - в) 1000 лк.
 - г) 1200 микроватт на квадратный сантиметр.
12. При какой из длин волн фильтр, используемый перед излучателем с находящимися в нем под давлением парами ртути, имеет максимальное пропускание?
- а) 256 нм.
 - б) 360 нм.
 - в) 365 нм.
 - г) 390 нм.
13. Для определения очень точных индикаторных рисунков необходима интенсивность ультрафиолетового облучения?
- а) 750 мкВт/см².
 - б) 900 мкВт/см².
 - в) 1200 мкВт/см².
 - г) 3000 мкВт/см².

14. Излучение состоит из лучей различных цветов и длин волн. Длины волн определяются рядом различных единиц; что из ниже приведенного имеет наиболее короткое приращение?
- а) Единицы Ангстрем (А).
 - б) Миллимикрон (ммк).
 - в) Нанометр (нм).
 - г) Миллиметр (мм).
15. Рекомендуемой интенсивностью ультрафиолетового облучения на контролируемой поверхности при нормальной проверке является:
- а) 900 мкВт/см².
 - б) 1200 мкВт/см².
 - в) 1500 МКВТ/см².
 - г) 3000 мкВт/см².
16. Резервуары для пенетранта должны быть изготовлены из материала, который не должен корродировать с содержащимися в них жидкостями. Какое из нижеприводимого оборудования должно быть изготовлено из стали или из гальванизированного железа?
- а) Для нанесения пенетранта.
 - б) Для эмульгирования.
 - в) Сушилка.
 - г) Все из вышеперечисленного.
 - д) Только вышеуказанные пункты а и в.
17. Какое из нижеприводимого оборудования должно быть изготовлено из нержавеющей стали либо пластмассы или резины?
- а) Для эмульгирования.
 - б) Для промывки.
 - в) Для нанесения сухого проявителя.
 - г) Все из вышеуказанного.
 - д) Только приведенные выше пункты б и в.
18. Какой из перечисленных дефектоскопических материалов обычно не включается в портативный набор для капиллярного контроля?
- а) Пенетрант.
 - б) Эмульгатор.
 - в) Суспензированный в растворителе проявитель.
 - г) Растворяющий очиститель.

19. Какой из видов излучения содержится в свете ультрафиолетовой лампы мощностью 100 ватт?
- а) Свечение от нагрева.
 - б) Люминесцентное.
 - в) От паров соды.
 - г) От паров ртути под высоким давлением.
20. Какой из видов ламп используется в 100-ваттном ультрафиолетовом излучателе?
- а) Сферическая.
 - б) Удлиненно-закругленная.
 - в) С предварительно сфокусированным пятном облучения.
 - г) С предварительно сфокусированной зоной облучения.
21. Максимальное время, в течение которого может работать ультрафиолетовый облучатель при мощности 100 ватт, составляет:
- а) 1 час;
 - б) 4 часа;
 - в) 6 часов;
 - г) не имеет ограничений.
22. Давление воды на промывочной станции должно регулироваться с помощью:
- а) манометра;
 - б) клапана регулятора давления;
 - в) термометра;
 - г) измерительной секции.
23. Какой из видов распыления для водосмываемого пенетранта должен быть предусмотрен при использовании промывочной форсунки?
- а) Очень тонкое мягкое распыление.
 - б) Грубое мягкое распыление.
 - в) Грубое сильное распыление.
 - г) Жесткая промывка распылением.
24. Какой из видов распыления должна обеспечивать промывочная форсунка при использовании гидрофильного эмульгатора в качестве очистителя?
- а) Очень тонкое мягкое распыление.
 - б) Грубое мягкое распыление.
 - в) Грубое сильное распыление.
 - г) Жесткая промывка распылением.

6. ИЗМЕРЕНИЕ И КОНТРОЛЬ ПАРАМЕТРОВ КАПИЛЛЯРНОГО ПРОЦЕССА

Контрольные проверки и процедуры, описанные в этом разделе, основаны на допущении того, что поступающие дефектоскопические материалы соответствуют специальным требованиям. Пробы материалов сохраняются, как общепринято, в виде «стандартного образца». Путем периодических сравнительных испытаний с тщательно выверенными стандартными образцами может быть осуществлено управление качеством материалов, используемых во время проведения капиллярного контроля. Если резервуары являются настолько большими, что для их заполнения необходим более чем один баррель жидкости (английский баррель – около 164 л, баррель США – около 119 л), от каждого барреля должна быть взята небольшая проба материала для образования стандартного образца. Образец должен храниться в закрытом металлическом контейнере при комнатной температуре. Металлические контейнеры используются для исключения возможности загорания стандартного образца. Образец может сохранять свои свойства на протяжении около двух лет.

Новая партия материала может сравниваться с предшествующими партиями для оценки качественных отклонений. Причиной, по которой выполняются сравнительные проверки качества, является то, что можно предположить, что новые дефектоскопические материалы будут более эффективными, чем материалы стандартных образцов, либо наоборот.

Большинство проверок может быть осуществлено при использовании очень простого оборудования; однако, если имеется в наличии химическая лаборатория, могут быть выполнены более тонкие проверки качества материалов на соответствие принятым техническим условиям, например, подобно Mil-1-25135.

6.1. Функциональные испытания

Функциональные испытания материалов капиллярного контроля и систем в основном состоят из проверок их чувствительности к обнаружению трещин и удаляемости материалов с контролируемых деталей промывкой. Основной целью проверки контроля качества является определение того, что используемый процесс капиллярного контроля будет обнаруживать несплошности с размером, требуемым для качества

и надежности изделия. Для проверки качества материалов желательно использовать деталь, которая является продуктом производства и которая имеет естественные дефекты с минимально допустимыми размерами. Эта деталь должна иметь такую же обработку поверхности, что и промышленные партии деталей; таким образом, оценка чувствительности и удаляемости материалов с деталей промывкой могут быть выполнены при проведении одного испытания. Проверка контроля качества должна быть выполнена по той же технологии, которая используется при контроле продукции. Детали, применяемые в качестве контрольных образцов, между проверками качества материалов должны храниться в растворителе, а затем перед использованием должны быть очищены обезжириванием в парах или другим способом, который позволит полностью удалить ранее используемые дефектоскопические материалы*.

Имеются некоторые универсальные испытательные образцы, которые могут быть использованы для оценки чувствительности и смываемости материалов в тех случаях, когда применение детали в виде образца невозможно. Например, технические условия MIL-1-25135 предусматривают применение алюминиевых блоков с растрескиванием, которые могут быть использованы для проверки чувствительности. Такие проверочные блоки могут быть закуплены у поставщиков пенетранта. Закаленные растрескавшиеся алюминиевые блоки не могут полностью соответствовать требованиям оценки чувствительности проявителей, но являются простыми в использовании и эффективны для сравнения чувствительности и смываемости различных пенетрантов.

Алюминиевые проверочные блоки имеют ряд трещин, в том числе чрезвычайно большие. Блоки должны быть очищены жесткой щеткой для удаления проявителя сразу после проведения проверки, а затем погружены в ацетон или трихлорэтилен до следующего применения. Рекомендуется применять очистку в ультразвуковом очистителе или в паровом обезжиривателе после нахождения в течение одного-двух дней в растворителе.

Единственным способом определения их чистоты является опрыскивание суспензированным в растворителе проявителем и последующая промывка.

Блоки могут быть использованы несколько раз перед повторным растрескиванием путем нагревания до 427–510 °С или выше, если они при хранении все время погружены в растворитель и не являются осу-

* Примечание ред. После обезжиривания и других способов очистки, при которых используются различные жидкости или их пары, образец должен быть высушен нагреванием до температуры, при которой следы жидкости испарятся из полостей дефектов, но при которой не происходит заметное окисление материала образца.

шенными. Если проявитель не обнаруживает индикаторных рисунков пенетранта, блоки должны быть нагреты в сушилке для удаления растворителя и снова могут быть использованы после охлаждения. Не следует подвергать блоки повторному растрескиванию, пока имеется возможность их использования с цветными или люминесцентными пенетрантами группы IV. Практически невозможно удалить весь цветной пенетрант из больших трещин в блоках. При повторной термообработке блоки необходимо нагревать до требуемой температуры примерно 4 мин. Более быстрый нагрев блоков либо не приведет к образованию трещин, или, по крайней мере, не приведет к наличию требуемых трещин. Диапазон температуры от 510 °С до 527 °С является наиболее оптимальным. Бунзенская горелка является более предпочтительной, чем сварочная горелка для обеспечения медленного нагревания. При наличии некоторого опыта, на блоках могут быть легко получены разнообразные трещины.

Были разработаны растресканные хромированные испытательные пластины, которые могут быть использованы многократно. Такие пластины являются более дорогими, чем рассматриваемые здесь алюминиевые блоки. Однако, они больше соответствуют требованиям к контрольным образцам, поскольку они могут быть использованы для оценки чувствительности проявителей. Недорогой, разрушенной трещинами, испытательной пластиной, приемлемой как для проверки чувствительности, так и для испытания смываемости, является анодированная серной кислотой алюминиевая пластина, покрытая жидким стеклом (поташный десиликат). Пластина изготавливается из мягкого алюминия толщиной около 0,76 мм. Большая панель анодируется, с одной стороны, с применением серной кислоты. Различные значения толщины анодированного покрытия могут до некоторой степени обеспечить контроль над глубиной трещин. Анодированная поверхность покрывается жидким стеклом для заполнения пор в анодирующем покрытии. После обработки жидким стеклом большая панель разрезается на малые пластины. Эти пластины изгибаются над оправкой анодированной поверхностью сверху, так чтобы образовать трещины в покрытии. Ширина трещин может быть изменена большей или меньшей правкой пластин.

Преимуществом таких пластин является то, что жидкое стекло, которое также растрескивается, является прозрачным, и глубина проникновения пенетранта может наблюдаться так же, как и глубина, до которой пенетрант извлекается из трещины. Контроль водосмываемости будет оценивать достаточность извлечения пенетранта. Mil 1-25135 предусматривает специфические детали проведения такого контроля.

Достаточно правильно промывочный контроль может быть выполнен на отшлифованном песком образце путем ручной промывки

с применением сопла, удерживаемого, по крайней мере, на расстоянии 30,48 см от образца и промывкой в течение одной минуты водой при давлении 2,1 кг/см².

6.1.1. Поверхностное натяжение, вязкость и капиллярное давление

Эти испытания имеют первостепенное значение в качестве дублирующих проверок для функционального контроля чувствительности. Система капиллярного контроля, в которой обнаружена потеря чувствительности, может быть в дальнейшем оценена с точки зрения определения этой потери. Такие проверки являются также сравнительными контрольными проверками. Обычно, только контроль на вязкость предъявляет специфические требования.

6.1.2. Смачиваемость

Смачиваемость является физической характеристикой жидкого материала, которая определяет его способность проникать в несплошности поверхности. Смачиваемость обусловлена сочетанием поверхностного натяжения жидкости и краевого угла соприкосновения. Трудно измерить поверхностное натяжение каким-либо простым способом контроля; однако, оно тесно связано с углом соприкосновения и смачиваемостью. Имеются два вида проверок, которые могут быть использованы для сравнения смачиваемости пенетранта: (а) капельный контроль на плоской поверхности; (в) капиллярный метод контроля с использованием капиллярных трубок. Здесь важен вид материала, применяемого в качестве поверхности образца. Одно из исследований выявило полное различие в угле соприкосновения между алюминием, нержавеющей сталью, хромом и стеклом, при условии того, что другие факторы были равнозначными.

При капельном контроле каплю подвергаемого проверке пенетранта наносят на плоскую твердую горизонтальную поверхность. На воспроизводимость капельной проверки могут влиять следующие факторы:

- 1) объем капли (необходимо использовать микробюретку или калиброванное гиподермическое сопло);
- 2) высота падения капли на поверхность;
- 3) шероховатость поверхности;
- 4) температура жидкости и поверхности;
- 5) чистота поверхности;
- 6) тип металла, используемого в качестве образца для испытания.

Для измерения времени, необходимого для того, чтобы капля достигла заранее определенного размера, можно использовать кронциркули и секундомеры. Окружность, образованная китайским маркером или жирным

карандашем, остановит поток пенетранта. Если производится контроль различных поверхностей, неровности поверхности на всех образцах должны быть одинаковыми. Например, пенетрант будет растекаться более медленно на чисто обработанной поверхности без царапин, чем на плоской поверхности, которая имеет некоторые незначительные царапины.

Другим методом сравнения смачиваемости является использование стеклянных капиллярных трубок. Методики применения капиллярных трубок приведены в учебниках по химии и других учебных пособиях. Следует учитывать различие смачиваемости между стеклянной и металлической поверхностями. Важна также чистота отверстия капиллярной трубки. Хорошая смачиваемость будет обнаружена, если положительный мениск и жидкость будут подниматься в трубке. Плохая смачиваемость обнаруживается при отрицательном мениске; верхняя часть жидкости в трубке может быть ниже уровня жидкости в емкости. Любой пенетрант, содержащий тяжелые составляющие, будет вызывать положительный мениск и некоторое увеличение уровня в трубке. Тем не менее, существенные относительные различия будут обнаружены между образцами стандартного пенетранта и пенетрантом, который был использован в течение некоторого времени.

6.1.3. Вязкость

Некоторые способы контроля вязкости были рассмотрены ранее. Имеются другие способы для сравнения вязкости двух материалов, такие как оседание шариков или испытания с использованием приборов, которые специально сконструированы для измерения вязкости. Такие приборы называются визкозиметрами и их перечень приведен в каталогах по поставке химического оборудования и аппаратуры.

Вода может существенно изменить вязкость водосмываемых пенетрантов в зависимости от их допуска по воде. Растворители или масла могут увеличивать или уменьшать вязкость пенетрантов. Включение воды в некоторые липофильные эмульгаторы может привести к значительному изменению их консистенции. Включение воды в липофильный эмульгатор будет уменьшать его активность; желательнее также уменьшить его вязкость, изменить активность вязкостного соотношения.

6.1.4. Яркость люминесцентного пенетранта

Цветные красители в видимом свете не люминесцируют. Они являются наиболее важными компонентами пенетрантов. Красные видимые красители устойчивы и инертны; их концентрация в пенетранте определяет общую чувствительность. Концентрация красителя может быть сравнена со стандартным образцом пенетранта путем сравнения свето-

пропускания. Источником света может быть промышленное высокоэффективное радиографическое приспособление для просмотра снимков (негатоскоп) или лампа заливающего света N1, установленная в большом сосуде для сока. Источник света должен быть покрыт черным древесным углем вертикальным слоем толщиной около 1,6–4,8 мм. Два образца пенетранта, содержащиеся в стеклянных ампулах, могут быть сравнимы одновременно и их оптические плотности сопоставлены. Такое испытание может быть необходимо только при использовании цветных пенетрантов в резервуаре. Загрязнение может привести к разбавлению пенетранта в резервуаре, что вызовет уменьшение концентрации красителя.

Люминесцентные красители (люминофоры) имеют ряд свойств, которые при их изменении могут уменьшить яркость люминесцентного пенетранта и, таким образом, снизить общую чувствительность контроля. Загрязнение и воздействие солнечного света или ультрафиолетового излучения могут привести к следующим последствиям:

- потере начальной яркости;
- потере яркости после сушки;
- увеличению скорости потери окраски при воздействии ультрафиолетового излучения.

Потеря яркости может быть оценена визуально путем помещения исследуемого пенетранта на бумажную салфетку или фильтровальную бумагу рядом с каплей стандартного образца. Размеченные точки должны быть расположены на расстоянии около 50 мм друг от друга, чтобы предотвратить возможность слияния капель. Бумажная салфетка, выбранная для этого испытания, сначала должна быть проверена при ультрафиолетовом освещении, поскольку некоторые сорта бумаги люминесцируют. Пятна должны быть подвергнуты сушке на воздухе в затемненном месте в течение 2–3 часов. Яркость двух пятен должна сравниваться сначала при ультрафиолетовом облучении, а затем при постепенном удалении от источника излучения во время промывки пятен. Потеря окраски люминофора будет обнаруживаться по более быстрой потере яркости. Падение вызвано изменением коэффициента «Q» (количественного выхода) и/или коэффициента «e» (коэффициент высыхания красителя). Испытание должно быть проведено в полной темноте.

Наблюдаемая область не должна быть достаточно большой для перемещения образца достаточно далеко от источника излучения. Для уменьшения интенсивности излучения, испускаемого от пятен, может быть использована специальная просмотровая головка. Яркость свечения обоих пятен должна быть уменьшена одновременно путем использования одного и того же фильтрующего устройства для изменения уровня яркости, чтобы глаз мог определить различие между относительной яр-

костью двух пятен пенетранта. Могут быть использованы либо кобальтовые стеклянные фильтры или две поляризационные прозрачные пленки, которые могут быть повернуты на определенный угол для уменьшения пропускания и, соответственно, яркости излучения пятен.

Mil-1-25135 описывают проверки с использованием раствора пенетранта в метиленхлориде. Метиленхлорид является универсальным растворителем, но он до некоторой степени люминесцирует. Неизвестно, увеличивает ли или уменьшает его люминесценция яркость некоторых пенетрантов; этот метод сравнения, вызывает некоторые вопросы.

Для одновременного сравнения люминофоров двух пенетрантов обычно проводят менисковую пробу с помощью линз. Пенетрант, люминофор которого несколько потерял яркость, создаст в центре линзы темное пятно большего размера, чем нормальный пенетрант. По мере уменьшения интенсивности ультрафиолетового излучения, размер пятна обеспечивающего люминофора будет увеличиваться с более быстрой скоростью, чем это определяет стандарт.

Пенетрант заполняет пространство между линзами и твердой пластиной, образуя мениски; важно приложить достаточный вес или давление на линзы, чтобы поддерживать их контакт с плоской поверхностью.

Практически все люминесцентные красители в пенетрантах представляют собой каскадные системы люминофоров. Если в менисковой пробе цвет пятна сдвигается к сине-белому, краситель, образующий цвет, является обесцвеченным. Два пятна могут оставаться одинаково яркими, однако если одно из них значительно изменяется в цвете, может оказаться, что необходимы коррективы в измерениях.

Приведенные выше проверки выявят ухудшение различных свойств пенетранта и позволят определить их причины. Если материал в резервуаре истощен и должно быть принято решение о его замене, доливаннии и повторном использовании, испытания должны быть проведены с баллоном, который имеет такое же соотношение количества старого пенетранта к количеству нового пенетранта, необходимого для заполнения резервуара. Эти испытания могут достаточно точно показывать, компенсирует ли дополненный материал неудовлетворительные результаты, полученные при истощенном материале, или требуется полная его замена.

6.2. Методы проверки параметров процесса

6.2.1. Пенетранты

В настоящем разделе представлены методы проверки и приемы определения показателей функционального качества пенетрантов. Допуск по воде для водосмываемых пенетрантов зависит от влияния, которое вода

оказывает на пенетрант. Некоторые технические условия требуют того, чтобы при добавлении 5 % воды не наблюдались помутнение, изменение консистенции или расслоение, а чувствительность материала должна быть эквивалентна чувствительности неразбавленного стандартного материала. Чтобы определить общий допуск по воде, добавляется увеличенное процентное содержание воды и сравнивается со стандартным.

Точная проверка на содержание воды может быть проведена в соответствии со стандартом ASTM D95 с использованием ксилола. Испытания эмульгаторов на допуск по воде описаны также в MIL-1-21135 для липофильных эмульгаторов; однако, это не относится к гидрофильным эмульгаторам.

Испытание на допуск по воде для липофильных эмульгаторов в соответствии с MIL-1-25135 требует, чтобы эмульгатор с содержанием воды 5 % проходил проверку на смывание стандартного пенетранта и оставлял при этом не больший фон, чем стандартный эмульгатор без содержания воды. Фон должен быть оценен при ультрафиолетовом облучении с интенсивностью 3000 мкВт/см^2 на поверхности панели.

Загрязнение эмульгатора пенетрантом может быть в лучшей степени оценено влиянием на люминесценцию.

Имеющаяся в настоящее время литература не содержит описания проверки для определения процентного содержания воды в концентрате гидрофильного эмульгатора. Возможна только гидрометрическая проверка, в особенности когда использованы концентрации от 20 % до 33 %. Гидрометры для антифриза, применяемые при заполнении емкостей, имеют соответствующий диапазон удельного веса, так как антифриз на основе гликоля является более тяжелым, а смесь воды и метанола более легкой, чем вода. Для растворов с низкой концентрацией воды (от 5 до 10 %) должны быть использованы более точные гидрометры. Для их градуировки могут быть изготовлены смеси различной концентрации, получаемые при тщательном измерении компонентов.

Испытания эмульгатора очень важны. Проверки чувствительности и водосмываемости позволяют определить, что эмульгатор в достаточной степени устраняет фон, не уменьшая при этом чувствительность. Такие испытания не являются точными; они требуют тщательного анализа при оценке результатов. Другие испытания, такие как определение цвета люминесценции, яркости или загрязнения водой, могут выявить тенденцию уменьшения чувствительности и представить доказательства того, что качество материала ухудшается.

Контроль качества проявителей также важен, как и проверка и регулирование качества пенетрантов. Проявители настолько различны по их составу, что имеется только один общий способ проверки всех

проявителей – проверка чувствительности. Только растресканные хромированные пластины будут достаточно точно обеспечивать сравнение чувствительности различных проявителей.

Сухой проявитель требует очень небольшой эксплуатационной проверки; он должен периодически проверяться на люминесценцию и комкование. Поскольку влага приводит к образованию комков, проявитель можно периодически помещать в вентилируемую сушилку для его сушки и восстановления его дисперсности.

Суспензированный в воде (мокрый) проявитель является сложным материалом; он требует ряда проверок. Для удерживания частиц в суспензированном виде в проявитель добавляют гели. Добавляют также смачивающие агенты и, в некоторых случаях, диспергатор для уменьшения агломерации частиц.

Некоторые поставщики рекомендуют гидрометрические испытания для оценки концентрации порошка. Другие поставщики рекомендуют использовать пробный мазок.

Из-за летучести растворителей, содержащихся в суспензированных в растворителе проявителях, они должны храниться в закрытых емкостях. Обычно используются аэрозольные распылительные баллоны; следовательно, применение проявителей не составляет проблемы. Основные проблемы заключаются собственно в использовании и хранении аэрозольных баллонов и распылительных систем.

Аэрозольные баллоны не должны находиться в снаряженном состоянии в течение длительного времени, поскольку емкости могут быть повреждены и произойдет утечка их содержимого. Наилучшим способом проверки при наличии большого количества заправленных баллонов является периодическое их взвешивание для определения какой-либо утечки. Если емкости хранятся в течение длительного времени, их необходимо сильно встряхивать, пока содержащийся в них смешивающий шарик не будет освобожден из осевшего проявителя. После каждого применения сопла должны быть очищены путем перевертывания баллона и распыления до тех пор, пока не прекратится распыление проявителя.

Водорастворимые проявители стали применяться только недавно; имеется очень мало опубликованных данных по контролю их качества. Концентрация достаточно точно может быть измерена с помощью гидрометра. Изготовитель должен ставить в известность потребителей о рекомендованных условиях гидрометрической проверки.

Пластиковые пленочные проявители имеют высоколетучий растворитель и используются, следовательно, в аэрозольных баллонах. Наилучшим способом определения утечки проявителя является взвешивание баллонов.

6.3. Влияние проверяемых объектов на процесс капиллярного контроля

На чувствительность и воспроизводимость результатов капиллярного контроля влияют различные свойства объектов контроля. Важным фактором, который необходимо учитывать при выборе методики контроля, является конфигурация деталей.

Однородная геометрическая форма наиболее легка для проведения контроля. Однако капиллярные методы могут быть использованы также на многих деталях сложной формы. Форма, размер и поверхностные неровности могут затруднить промывку детали для удаления пенетранта. Большие сложные детали трудны для обработки дефектоскопическими материалами и промывки. Некоторые детали, такие как гребные винты, настолько велики, что они должны контролироваться по участкам.

Большие пустотелые детали, такие как штампованные алюминиевые цилиндры посадочных механизмов, требуют очень точного контроля; проверка внутренней полости затруднена из-за сложности конфигурации и ограниченного доступа. Внутренняя расточенная полость предрасположена к точечной коррозии с трещинами коррозии под напряжением, образующимися в местах коррозионных раковин. Следовательно, необходимо применять наиболее чувствительные методы контроля; их чрезвычайно трудно использовать, поскольку уменьшен доступ к полости.

Характер поверхности испытываемого объекта может существенным образом влиять на процесс контроля и на его результаты. Отливки обычно имеют грубую поверхность в соответствии с условиями на литье. После механической обработки несплошности могут быть закрыты деформированным металлом. Сварные швы также могут иметь очень грубую поверхность, что затрудняет их проверку. Некоторые сварные швы покрыты шлаком и окислами, которые должны быть удалены перед капиллярным контролем. В некоторых случаях требуется удалять с проверяемой поверхности покрытия и продукты коррозии. Химические методы очистки являются предпочтительными перед очисткой с применением абразивов. При очистке абразивами может быть смазан металл над несплошностями, или они будут заполнены абразивными продуктами. Жидкое хонингование и обработка распылением абразивной эмульсии могут оставить значительное количество абразивных продуктов в несплошностях. Абразивная очистка должна быть использована только для некоторых деталей, таких, например, как лопатки турбины. После абразивной очистки лопатки должны быть протравлены для удаления деформированного, смазанного слоя металла и продуктов очистки.

Механическая обработка может раскрыть внутреннюю губчатость структуры и раковины в отливках, которые могут находиться в допустимых пределах, но при этом поглощают большое количество пенетранта, который затем просачивается в проявитель и может замаскировать другие индикаторные рисунки.

Специальное оборудование и методы были разработаны для обработки как больших, так и небольших деталей с целью нанесения пенетранта и установки точного времени продолжительности каждой стадии процесса. Важен метод нанесения пенетранта. Преимущественно используются электростатические распылители, достоинства которых были ранее описаны. Гидрофильные эмульгаторы, используемые в резервуарах с мешалками, могут быть до некоторой степени отрегулированными для промывки очень сложных деталей, для которых затруднена соответствующая распылительная промывка.

В настоящее время можно обеспечивать требуемую чувствительность капиллярного контроля путем выбора из трех уровней чувствительности как водосмываемого пенетранта, так и пенетранта последующего эмульгирования. Чувствительность гидрофильного эмульгатора может регулироваться концентрацией. Даже чувствительность сухого проявителя может быть в некоторых случаях отрегулирована путем применения различных способов нанесения. Такое широкое разнообразие пенетрантов и способов нанесения обеспечивает возможность контроля чувствительности и воспроизводимости результатов.

6.4. Регулирование параметров процесса

Только реальный подход к управлению капиллярным методом контроля позволяет осуществлять регулирование процесса. Допущением, которое должно быть сделано, является то, что система капиллярного контроля, включая материалы и используемые процессы обработки деталей, была предназначена для обнаружения несплошностей определенных видов и размеров. Это допущение является действующим только тогда, когда система контроля используется непрерывно в пределах узкого допуска отклонений от «стандартных» условий. Для того, чтобы осуществлять регулирование, каждая переменная процесса должна быть оценена на установившейся основе. Переменные должны быть оценены более точными проверками и при более узких интервалах по мере увеличения чувствительности. Средство контроля, используемое для обеспечения более чем одного уровня чувствительности, должно быть снабжено программой управления, основанной на наиболее чувствительном процессе.

В этом разделе представлены испытания для оценки и регулирования качества проверяемых материалов. Контроль состояния и рабо-

тоспособности оборудования и проверка площадей также являются одинаково важными. Процессы капиллярного контроля часто становятся повторяющимися и рутинными, поскольку их изменение требует повторного изучения. Операционный персонал во многих случаях не изучил процесс, его работу и возможности. Рабочий персонал, осуществляющий контроль, обычно может обнаружить, что давление воды и температура установлены на соответствующем уровне и давление воздуха для подачи его в распылитель отрегулировано правильно. Персонал должен предполагать, что показания приборов являются точными. Приборы для измерения температуры и давления должны периодически подвергаться проверке, чтобы их показания были точными. Интенсивность ультрафиолетового излучения на участках промывки и осмотра деталей также должна быть проконтролирована при установленном режиме. При автоматических средствах обслуживания должна быть проверена скорость конвейера, поскольку она определяет время полной продолжительности контакта материалов с объектом контроля. Должно быть проверено давление воздуха в шкафу для нанесения сухого проявителя способом взвеси в воздухе. Часто возникают проблемы с системами перемешивания, и их необходимо проверять на работоспособность.

При этом необходимо учитывать, что приведенные выше и другие переменные в каждой определенной системе должны проверяться в момент проведения капиллярного контроля. Результаты каждой проверки должны регистрироваться для каждого средства обслуживания. При регистрации должно быть указано время проведения проверки. Как записи, так и процессы контроля должны подвергаться проверке периодически.

Существенным обстоятельством является чистота на участке капиллярного контроля. Решетка в сушилке должна быть очищена, с тем чтобы эмульгатор или пенетрант, которые удалялись с предыдущей детали, не могли загрязнить следующую деталь, помещенную в сушилку. По той же причине должны быть очищены сетчатые корзины и сортовики для деталей. Кабина для осмотра деталей должна быть очищена, с тем чтобы старый порошок проявителя или пенетранта на стенде не могли способствовать образованию ложных индикаторных рисунков. Руки и перчатки должны быть промыты так, чтобы они не оставляли отпечатков пальцев или пятен на детали. Защитные очки и экраны должны периодически очищаться, по мере того как порошок проявителя или пятна грязи будут уменьшать возможность наблюдения.

Детали средств проверки пенетранта, которые требуют специального обслуживания или обработки, должны быть легко доступны.

Последней фазой регулирования переменных процесса является периодическая проверка знаний персонала, но только лишь в области непосредственно выполняемых операций капиллярного контроля.

6.5. Достоверность и воспроизводимость

Капиллярный контроль используется для оценки состояния и управления качеством деталей. Надежность детали зависит от состояния факторов, которые включают в себя качество исходного материала, соответствующую конструкцию, удовлетворительные процессы обработки и надежные и воспроизводимые проверки.

Надежный капиллярный контроль требует того, чтобы:

- а) были использованы соответствующие дефектоскопические материалы пенетранта достаточно высокого качества;
- б) дефектоскопические материалы правильно наносились на детали требуемыми способами;
- в) была проведена необходимая предварительная очистка деталей;
- г) осуществлялось наблюдение за процессами обработки деталей и критическими точками контроля;
- д) персонал был обучен и натренирован;
- е) качество материалов контроля было оценено по программе;
- ж) приборы, регуляторы и органы управления на оборудовании подвергались систематической градуировке;
- з) была подготовлена процедура регистрации и использована для каждой различной конфигурации деталей;
- и) периодическая, но без предварительного объявления, ревизия системы выполнялась соответствующим персоналом.

Контрольные вопросы

1. В большинстве случаев способом проверки качества материалов для капиллярного контроля являются сравнительные испытания. Как получается стандартное сравнение?
 - а) Образец удерживается от размещения в неиспользованную емкость пенетранта или эмульгатора.
 - б) Образец поставляется централизованным квалифицированным агентством.
 - в) Композиционный действующий образец обрабатывается новым материалом в определенный промежуток времени.
 - г) Стандартные образцы получают из Национального бюро стандартов.

2. Что из нижеприведенного является причиной проведения контрольные проверки качества материалов для капиллярного контроля, находящихся в эксплуатации?
- Чтобы определить, способны ли используемые дефектоскопические материалы обнаруживать дефекты, как и новые материалы.
 - Чтобы определить, обеспечивает ли система удаления пенетранта минимальный фон без предшествующего удаления.
 - Для того, чтобы определить, действуют ли дефектоскопические материалы столь же эффективно, что и в лабораторных условиях.
 - Все из приведенного выше.
 - Только вышеприведенные пункты а и б.
3. Ниже перечислены образцы и виды испытаний. Поставьте номер испытания в пробеле перед каждым описанием образцов.
- _____ а) Производственная деталь.
 - _____ б) Закаленный треснувший блок.
 - _____ в) Панель, обработанная пескоструйным аппаратом.
 - _____ г) Хромированная панель с трещинами.
 - _____ д) Бумажное полотенце.
 - _____ е) Менисковые линзы.
 - _____ ж) Анодированная алюминиевая панель.

Испытания:

1. Проверка способности промывки водой.
 2. Проверка потери окраски люминофора.
 3. Проверка чувствительности пенетранта.
 4. Проверка чувствительности проявителя.
4. Что из нижеприведенного содержит указания по подготовке и использованию контрольных образцов в виде термообработанных алюминиевых блоков с трещинами?
- Руководство по неразрушающим методам контроля.
 - Общая динамика, СТ-6-2.
 - Основы капиллярного контроля.
 - MiL-1-25135.
 - Все из приведенного выше.
5. Каким образом влияет на чувствительность алюминиевого испытательного образца повторное растрескивание при температуре 427 °С?
- уменьшает чувствительность;
 - увеличивает чувствительность;
 - это не влияет на чувствительность;
 - ничего из приведенного выше, поскольку повторное растрескивание не может быть эффективно закончено.

6. Яркость ультрафиолетового излучения для оценки фона после проведения водной промывки должна составлять:
- 1200 мкВт/см²;
 - 1500 мкВт/см²;
 - 3000 мкВт/см²;
 - 4000 мкВт/см².
7. При проверке чувствительности пенетранта при попадании воды стандартная проба пенетранта должна содержать:
- отсутствие разбавления водой;
 - 5%-е разбавление водой;
 - то же разбавление водой, что и в испытываемой пробе;
 - 20%-е разбавление водой.
8. Какое из нижеприведенных сочетаний физических свойств жидкости оказывает наибольшее влияние на капиллярные свойства?
- Смачиваемость и поверхностное натяжение.
 - Поверхностное натяжение и краевой угол смачивания.
 - Капиллярность, смачиваемость и поверхностное натяжение.
 - Удельный вес и вязкость.
9. Какой из нижеприведенных факторов влияет на капельный контроль для сравнения поверхностного натяжения?
- Размер капли.
 - Неровность поверхности.
 - Температура жидкости и проверяемой поверхности.
 - Все из приведенного выше.
 - Только перечисленное в пунктах б и в.
10. Каким образом обычно соотносится краевой угол смачивания пенетранта на алюминии с углом смачивания на нержавеющей стали или хромированной пластине?
- Он будет большим, чем на алюминии.
 - Он будет меньшим, чем на алюминии.
 - Он будет одинаковым для любого металла.
 - Краевой угол смачивания не является функцией вида материала.
11. Царапины на ровной поверхности приводят к растеканию капли пенетранта:
- более быстро;
 - более медленно;
 - близ риски растекание прекращается;
 - более медленно, если пенетрант является высоковязким.

12. Какую из форм должна иметь поверхность пенетранта в капиллярной трубке при проверке его капиллярных свойств?
- а) Плоскую.
 - б) Положительный мениск.
 - в) Отрицательный мениск.
 - г) Форма поверхности не может быть определена при этой проверке.
13. Какое действие оказывает вязкость на проникающие свойства пенетранта?
- а) Не оказывает влияния.
 - б) Это оказывает влияние на скорость проникновения.
 - в) Это оказывает влияние на яркость при использовании люминесцентного пенетранта.
 - г) Это вызывает отклонения в концентрации красителя в цветном пенетранте.
14. Каким из этих приборов измеряется вязкость?
- а) Вискозиметр.
 - б) Гидрометр.
 - в) Поверхностный дифрактометр.
 - г) Сосуд с калиброванным отверстием.
 - д) Вышеуказанные позиции а и д.
15. Какое из нижеприводимых состояний вызывает вода при попадании в липофильный эмульгатор?
- а) Вода увеличивает вязкость.
 - б) Вода уменьшает вязкость.
 - в) Вода уменьшает активность.
 - г) Вода приводит к помутнению эмульгатора.
 - д) Ничего из вышеприведенного не наблюдается.
16. Что из нижеприведенного может быть использовано для сравнительной оценки содержания красителя в цветном пенетранте?
- а) Компаратор пропускания цвета.
 - б) Закупоренная мензурка.
 - в) Капиллярная трубка.
 - г) Грушевидная трубка центрифуги.
 - д) Ничего из приведенного выше.

17. Какое из нижеприводимых свойств люминесцентного пенетранта является наиболее важным?
- а) Вязкость.
 - б) Капиллярность.
 - в) Яркость люминесценции.
 - г) Сопротивление загрязнению.
18. Какой из нижеприводимых факторов приведет к наиболее быстрому истощению люминофоров?
- а) Солнечный свет.
 - б) Ультрафиолетовое излучение.
 - в) Загрязнение.
 - г) Горячие погружаемые детали.
19. Когда проводится визуальная оценка двух капель люминесцентного пенетранта на куске бумажной салфетки, какой из нижеприводимых методов должен быть использован для уменьшения яркости пятна?
- а) Удаление источника ультрафиолетового излучения от образца.
 - б) Использование фильтров из кобальтового стекла для уменьшения яркости.
 - в) Использование поляризованных пленок для уменьшения яркости.
 - г) Все вышеперечисленные методы являются приемлемыми.
20. Какой прибор может быть использован для измерения яркости люминесценции?
- а) Световой спектрофотометр.
 - б) Фотофлюориметр.
 - в) Компаратор яркости.
 - г) Фотоденситометр.
21. Каким должно быть пятно, образованное загрязненным пенетрантом в мениске, в сравнении с пятном стандартного пенетранта при проверке качества способом менисковой пробы?
- а) Оно должно быть меньше, чем стандартное.
 - б) Оно должно быть больше, чем стандартное.
 - в) Оно должно быть таким же, как и стандартное.
 - г) Его размер не имеет значения; подвергается проверке яркость, которая измеряется в мениске.

22. Люминофор пенетранта изменяет свой цвет от голубого до белого во время проверки яркости или потери окраски. Почему?
- а) Теряется повышенная окраска.
 - б) Падает красящая способность люминофора.
 - в) Ультрафиолетовое излучение сдвигает длину волны.
 - г) Такое явление невозможно.
23. Точное содержание воды в пенетранте или эмульгаторе может быть определено путем:
- а) Проверки с ксилолом в соответствии с ASTM Д-95.
 - б) Водоразрывной проверки.
 - в) Проверки по допуску воды.
 - г) Проверки с помощью антифризного гидрометра.
24. Резервуар с пенетрантом емкостью 227 литров заполнен на 1/4. Проверка обнаруживает содержание воды 4 % при соответствующей чувствительности, но краситель имеет некоторую тенденцию к потере окраски. Каким образом должен быть подготовлен образец пенетранта, чтобы определить, должен ли быть он забракован или допущен к дальнейшему применению?
- Примечание: стоимость пенетранта составляет 3 доллара за литр.
- а) 3 части нового пенетранта, 1 часть старого.
 - б) 3 части старого пенетранта, 1 часть нового.
 - в) 2 части нового пенетранта, 2 части старого.
 - г) Поскольку стоимость пополнения резервуара составляет 530 долларов по сравнению 720 долларами, требуемыми для полной замены пенетранта, пополнение должно быть осуществлено перед испытанием образца.
25. Какой из диапазонов содержания воды допускают гидрофильные эмульгаторы?
- а) От 5 до 7 % воды.
 - б) От 15 до 20 % воды.
 - в) От 20 до 33 % воды.
 - г) От 33 до 50 % воды.
 - д) Допуск по воде не оказывает влияния на гидрофильные эмульгаторы.
26. Какой из проявителей требует проверок качества при капиллярном контроле высококачественной продукции?
- а) Мокрый проявитель в резервуаре для обработки погружением.
 - б) Сухой проявитель в камере Вильсона.
 - в) Мокрый проявитель в распылительной камере.
 - г) Водорастворимый проявитель в резервуаре для обработки погружением.

27. Какой из нижеуказанных проявителей приобретается в виде сухого порошка?
- а) Сухой.
 - б) Суспензированный в воде.
 - в) Водорастворимый.
 - г) Все вышеуказанные.
28. Какое из свойств жидкости измеряется гидрометром?
- а) Температура.
 - б) Плотность.
 - в) Удельный вес.
 - г) Вязкость.
 - д) Влажность.
29. Какой из нижеприведенных факторов объекта контроля влияет (влияют) на капиллярный контроль?
- а) Неровность поверхности.
 - б) Сложность конфигурации.
 - в) Объекты с участками точной механической обработки и с грубой литой поверхностью.
 - г) Все из вышеприведенного.
 - д) Только указанные в пунктах а и в.
30. Какой из способов нанесения пенетранта должен рассматриваться как наиболее экономичный при капиллярном контроле небольших деталей со сложной формой поверхности и внутренними полостями?
- а) Погружение в резервуары.
 - б) Распыление форсунками под давлением.
 - в) Системами воздушного распыления.
 - г) Электростатическое распыление.
31. Эмульгаторами трудно управлять, когда они нанесены на грубую или гладкую поверхность одной и той же детали сложной формы и большие сложные детали. Какое из нижеприведенных использований эмульгатора может быть наилучшим для удаления пенетранта с таких поверхностей?
- а) Липофильный эмульгатор.
 - б) Поток раствора над грубыми областями.
 - в) Погружение в гидрофильный эмульгатор.
 - г) Распыление смешанного с водой гидрофильного эмульгатора при ультрафиолетовом облучении.

32. Что является наилучшей из процедур для управления общим качеством процесса капиллярного контроля?
- а) Управление процессом.
 - б) Тщательный выбор персонала и наблюдение.
 - в) Разработка методики нанесения материалов.
 - г) Все из вышеприведенного.
 - д) Только указанное в пунктах а и в.
33. По мере того как увеличиваются требования к чувствительности контроля, каким образом должны быть изменены процедуры управления процессом и его проверки?
- а) Периодичность контроля процесса должна быть сокращена.
 - б) Период проверки должен быть сокращен.
 - в) Требования к процессу должны быть более строгими.
 - г) Все из вышеприведенного.
 - д) Только указанное в пунктах а и в.
34. Что необходимо предпринять, чтобы процесс капиллярного контроля был управляемым, кроме квалификации персонала, контроля качества дефектоскопических материалов и проверок правильности выполнения операций процесса?
- а) Градуировка приборов и измерительных устройств.
 - б) Проверка интенсивности освещения и ультрафиолетового облучения на рабочих местах.
 - в) Чистота участка контроля.
 - г) Обслуживание всего оборудования.
 - д) Все из вышеприведенного.
35. Какая из нижеприведенных процедур наилучшим образом осуществляет техническую проверку средств капиллярного контроля с различными требованиями по чувствительности и надежности?
- а) Разработка перечней деталей, проверяемых каждым методом контроля.
 - б) Использование квалифицированного персонала для выполнения операций контроля наиболее ответственных деталей.
 - в) Применение процедуры проверки для каждой контролируемой партии деталей.
 - г) Контролер должен обязательно знать процесс контроля по опыту.

36. Каким образом потребитель или управляющий может наилучшим образом определить, что средства капиллярного контроля действуют соответствующим образом и являются управляемыми?
- а) Проверка регистрации всех средств.
 - б) Выполнение периодических необъявляемых проверок средств.
 - в) Издание руководящей документации с точными указаниями, как необходимо проводить контроль.
 - г) Персональная проверка средств в определенный день один раз в неделю.
37. Надежный капиллярный контроль требует того, чтобы:
- а) все режимы были выдержаны;
 - б) процедуры удовлетворяли требованиям обслуживания;
 - в) капиллярный контроль был воспроизводимым;
 - г) 100 % всех несплошностей в деталях было обнаружено.

7. РУКОВОДЯЩАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ США НА ПРОЦЕССЫ, ОБОРУДОВАНИЕ И МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ КАПИЛЛЯРНОГО КОНТРОЛЯ

Большинство из критичных деталей и узлов требуют проведения определенных методов неразрушающего контроля для того, чтобы гарантировать высокое качество. Далее будет приведен соответствующий пример; он показывает типичный подход, используемый при разработке изделий ответственного назначения.

Авиакомпания, желающая приобрести новые самолеты, поручает своим инженерам подготовить технические условия на новую модель. Специалисты разрабатывают технические требования, которые устанавливают, сколько пассажирских мест может быть размещено в салоне при условии уменьшения нагрузочных характеристик, определяют диапазон загрузки топлива, стоимость эксплуатации на одну пассажирскую милю наряду с другими данными. Авиакомпания, которая получает копию технических характеристик модели, подготавливает коммерческие предложения. В эти предложения, как их составная часть, обычно включается спецификация капиллярного неразрушающего контроля, чтобы показать в общих чертах, как будут проверяться детали. Инженер по материалам авиакомпании проверяет представленные авиакомпанией соответствующие спецификации и соглашается или отвергает определенные проверки. Авиакомпания может также предусмотреть спецификации деталей и узлов, которые включают в себя особые критерии приемки. Такие спецификации предоставляются персоналу по контролю качества фирмы-изготовителя, который затем описывает процессы контроля с учетом требований спецификации, содержащие подробности контроля для каждого определенного объекта. Спецификации деталей и узлов передаются также субподрядчикам, которые должны представить технологии контроля изготавливаемых деталей; такие процессы должны быть совместимы с требованиями к качеству и оборудованию на конкретном предприятии. При контроле широко используются стандарты, которые стандартизируют такие факторы, как используемые материалы, методы градуировки, окружающие условия и др., необходимые для определения измеряемых характеристик и регулирования.

Технологии

Общие требования

Каждая инструкция обычно предназначена для контроля только одного сложного или критичного объекта или группы однотипных объектов. В ней должны быть отражены технологические особенности контроля деталей, необходимые дефектоскописту для правильного проведения процесса. Технологии часто разрабатываются в лабораторных условиях на специальных испытательных объектах. В таких случаях технологии должны быть предварительно опробованы в производственных условиях промышленным персоналом перед их реальным осуществлением.

Подробности

Технологии должны быть детализированы, по крайней мере, по следующим позициям:

- А. Материал деталей, поверхности или размеры зон контроля, для которых предназначена технология.
- Б. Вид пенетранта, подлежащего использованию (и эмульгатора, если это необходимо).
- В. Необходимое для использования оборудование.
- Г. Способ подготовки поверхности к контролю (чистовая обработка и очистка).
- Д. Тип подлежащего использованию проявителя.
- Е. Полная продолжительность контакта пенетранта и эмульгатора.
- Ж. Требования окончательной очистки.

Иногда технология содержит принятые специфические критерии браковки, которые относятся к особо ответственным деталям. Технология должна сохраняться; в нее должны вноситься номера проверяемых деталей; это должно относиться к каждому периоду времени поступления на контроль партий деталей.

Стандарты на дефектоскопические материалы и оборудование

Общие положения

В процессе капиллярного неразрушающего контроля стандарты используются для оценки измеряемых и воспроизводимых факторов. Например, стандарты могут быть полезны для измерения и контроля желаемых диапазонов уровней чувствительности, испытаний эмульгатора и проявителя, длины волны и интенсивности ультрафиолетового излучения и других факторов, рассмотренных в предшествующих разделах настоящего руководства.

Подробности стандартов

Стандарты устанавливают требования для контроля специфических технологий; в этом случае они содержат следующие подробности процесса капиллярного неразрушающего контроля.

- А. Область применения должна установить пределы применимости документа или специальных условий, которые делают необходимым подготовку стандарта.
- Б. Соответствующие документы являются документами компании, которые являются ссылочными.
- В. Материалы и другие расходуемые средства иногда перечисляются вместе с их торговым наименованием и источником получения.
- Г. Перечисляется оборудование, подлежащее использованию.
- Д. Представляются требования; они устанавливают приемлемые диапазоны факторов, подлежащих измерению и контролю, наряду с частотой, при которой они должны измеряться.
- Е. В методиках подробно описываются способ и средства для получения желаемых результатов измерений.
- Ж. При необходимости представляются требования техники безопасности.
- З. Могут быть включены примечания, касающиеся позиций извещения или учета.
- И. В некоторых случаях приводятся ссылки на документы для предоставления квалифицированной информации пользователю.

Спецификации

Общие положения

Спецификации представляют собой документы, которые дают возможность общаться на инженерном, организационном и торговом уровнях. Спецификации (технические условия) являются договорными документами. Технические условия, существующие в момент подписания контракта, могут пересматриваться; дата пересмотра указывается на документе. Основной целью спецификации является представление требований к совершенствованию объекта или описание недопустимых его дефектов. В большинстве случаев спецификации содержат только количественные требования к объекту. В отношениях между продавцами и покупателями спецификация качественно определяет объект, который покупатель готов ожидать для приемки от продавца.

Составляющие качества

Технические требования описывают определенное изделие и его качество или эксплуатационные возможности. Технические требования

вполне достаточны для того, чтобы инженер мог сконструировать изделие и разработать способ его изготовления, проверки и методику испытания. Изготовитель может установить свой собственный контроль качества и определять, какой из методов неразрушающего контроля необходим для проверки качества изделия. Однако, в условиях свободного предпринимательства потребитель должен также быть удовлетворен тем, что изготовитель имеет соответствующие средства и персонал для производства необходимого изделия. В зависимости от его сложности или критических характеристик, технические требования могут или не могут содержать определенные специфические критерии приемки для каждой или любой проверки деталей и узлов.

Критерии приемки

Критерии приемки включаются в некоторые технические требования для обеспечения диапазонов, классов и категорий качества, которые являются приемлемыми. Например, это можно обнаружить в MIL-C-6021 «Классификация и проверка отливок». Этот документ был разработан для отливок аэрокосмического назначения, однако масштаб его действия распространяется практически на все виды контролируемых отливок. Этот частный документ позволяет отнести отливку к соответствующему классу и группе. В зависимости от назначения отливка может быть отнесена к классам А, Б или В. К классу А относят отливки высокой прочности, которые требуют сплошного контроля, осуществляемого радиографическим и магнитопорошковым или капиллярным методами контроля. К классу Б и В относят отливки с меньшими требованиями по прочности, которые могут подвергаться сплошному магнитопорошковому контролю и выборочно радиографическому контролю. Приемлемость отливок и их классификация устанавливаются с учетом их материала. Требования к ним в документе представлены в виде таблиц, содержащих количественные данные и ограничения допустимых несплошностей. Детальные технические условия, относящиеся к этому частному документу, определяют как класс, так и группу отливок.

Американское общество инженеров-механиков в нормах на котлы и сосуды под давлением также предусматривает подобные данные. Сварка в котлонадзорных емкостях выполняется по-разному, в зависимости от расположения швов. Как следствие, принятые критерии могут быть различными. Например, допустимые виды нагрузок на швы зависят от конфигурации головки валика швов. Полусферическая головка может иметь растягивающие нагрузки, если отсутствует предварительно установленное согласование свариваемых пластин. Емкость с заклепками может испытывать наряду с нагрузками растяжения также нагрузки кручения. Та-

кие различные факторы могут привести к необходимости использования разных критериев приемки в зависимости от места зоны контроля.

Документы, содержащие критерии приемки, представляют собой системы сортирования определенных видов материалов или изделий. Градация проводится на основе ряда определенных факторов, таких как тип изделия, способ изготовления, способ окончательной обработки, тип покрытия, прочность, безопасность и назначение; эти факторы должны учитываться при анализе конструкции перед предъявлением требований к классу и группе изделия. Может быть проведено деление изделия на зоны для их отнесения к различным группам по уровням в зависимости от места размещения на изделии. Критерии приемки устанавливают размер и вид несплошностей, которые приемлемы в определенной области. Однако, в некоторых случаях критерии устанавливают только один размер трещин, при превышении которого дефект должен быть либо устранен при ремонте, или деталь должна быть отправлена в металлолом.

Технические требования к технологическим маршрутам

Технические требования к маршрутам должны содержать информацию о порядке выполнения современных технологических операций определенного вида (таких, как травление, нанесение покрытий, очистка или магнитопорошковый неразрушающий контроль), что обеспечивает возможность взаимодействия процессов, управление ими и возможность проверки качества их проведения. Технические требования имеют сходство со стандартами, аналогично принимаются и широко используются. Однако обычно нежелательны стандарты, содержащие специфичные частные измеряемые характеристики; в них должны предусматриваться технические требования, применимые к различным стадиям общего процесса.

Другие виды документов контроля

Имеется много других видов документов для контроля, которые используются в промышленности. Ниже приводится перечень документов различных видов и краткое описание каждого из них:

- А. Учебное пособие – справочник с основными данными по специфическим объектам со ссылками на литературу, подтверждающими приведенные в пособии сведения.
- Б. Рекомендуемый практикум – унифицированное практическое пособие, которое при соответствующем согласовании позволяет получать желаемые результаты.
- В. Эталонные фотографии – представление различных видов несплошностей определенных размеров, которые могут быть исполь-

- зованы в качестве приемлемых критериев при ссылке на технические условия или контракт.
- Г. Инструкция по обслуживанию – приводится описание, каким образом можно настроить и обслужить оборудование для проведения капиллярного контроля.
 - Д. Инструкция по эксплуатации – содержит указания в отношении того, как действует оборудование для капиллярного контроля.
 - Е. Инструкция по ремонту – представляет информацию о том, каким образом можно произвести разборку, замену и повторную сборку оборудования для капиллярного контроля.
 - Ж. Чертежи – отображение конструкции механизмов или деталей, которые содержат сведения о материалах, размерах, обработке и другие необходимые данные.
3. Протоколы процесса – записи, которые осуществляются во время обработки детали, чтобы показать соответствующую последовательность всех операций контроля и обеспечить воспроизводимость качества.

Технические условия на проведение капиллярного неразрушающего контроля

Ниже приводится пример технических условий на процесс, которые широко используются в промышленности при проведении капиллярного неразрушающего контроля.

Военные технические условия (как пример). Проверка капиллярным методом контроля.

Настоящие технические условия приняты Министерством военно-воздушных сил и Бюро военно-морского флота.

1. Область применения

1.1. Область применения – Приводимые технические условия распространяются на процесс проверки методом капиллярного неразрушающего контроля поверхностей летательных аппаратов, ракет и критичного обслуживающего наземного оборудования, комплектующих деталей и основных материалов для изготовления этих деталей.

1.2. Классификация – При капиллярном неразрушающем контроле могут применяться следующие типы и методы (см. 5.1):

Тип I – Люминесцентный контроль

Метод А – Водосмываемый пенетрант

Метод В – Пенетрант последующего эмульгирования

Метод С – Органосмываемый пенетрант

Тип II – Цветной контроль

Метод А – Водосмываемый пенетрант

Метод В – Пенетрант последующего эмульгирования
Метод С – Органосмываемый пенетрант

2. Используемая документация

2.1. К документам, используемым при подготовке коммерческих предложений или требований к таким предложениям и являющимся частью настоящих технических условий, относятся следующие:

Технические условия

Военные

MIL-1-6870. Требования к неразрушающему контролю материалов и деталей летательных аппаратов

MIL-1-25135. Контроль материалов, капиллярный метод

MIL-F-38762. Люминесцентный капиллярный контроль деталей

Стандарты

Военные

MIL-БТД-410. Квалификация контролирующего персонала (магнитопорошковый и капиллярный методы неразрушающего контроля)

Бюллетени

Бюллетень. 527. Метод проверки, совместимый с жидким кислородом, военно-воздушных сил США. (Копии технических условий, стандартов, чертежей и публикаций, требуемые потребителями в сочетании со специфичными функциями поставщиков должны быть оговорены особо или представлены в конкретном контракте.)

2.2. *Другие публикации* – Нижеприводимый документ образует часть настоящих технических условий для распространения содержащихся в нем требований. Пока не обнаружено что-либо другое, издание фактически действует до поступления нового предложения или требования.

Американское общество сварщиков

AWS-A.2.4-79. Обозначения для сварки и неразрушающего контроля. (Копии вышеуказанной публикации могут быть получены от Военно-морского ведомства, Naval Supply Depot, 5801 Tabor Avenue, Philadelphia PA.19120). (Неправительственные запросы должны быть адресованы в Американское общество сварщиков, 2501 N.W.7th Street, Miami, FL 33125.)

3. Материалы

3.1. Материалы. – Если не предоставлены особые условия, для капиллярного неразрушающего контроля должны быть использованы ма-

териалы, соответствующие и удовлетворяющие требованиям MIL-1-25135. Если используются материалы, не указанные в MIL-1-25135, должен быть произведен запрос через соответствующие органы.

3.1.1. Данные изготовителя. – Изготовитель дефектоскопических материалов должен предоставить потребителю рекомендации по (1) полной продолжительности контакта эмульгатора с поверхностью объекта контроля, (2) концентрациям мокрого проявителя и (3) процедурам смешивания.

3.1.2. Качество обслуживания. – В соответствии с MIL-1-25135 должны быть проведены следующие испытания дефектоскопических материалов, используемых в открытых резервуарах: чувствительности полного процесса (1), водосмываемости эмульгаторов и водосмываемости пенетрантов (2) и визуального определения яркости люминесценции во время проверки чувствительности с использованием источника ультрафиолетового излучения (3), эквивалентного приведенному в пункте 7.2.1. Такие испытания должны проводиться, по крайней мере, ежемесячно или перед заполнением материалов в резервуары. Сравнения могут быть проведены с образцом того же пенетранта, эмульгатора или проявителя, которые были установлены отдельно в закрытом контейнере в целях проверки.

3.2. Совместимость с жидким кислородом. – При контроле кислородных трубопроводов или резервуаров дефектоскопические материалы перед применением должны быть испытаны на чувствительность к взрыву, как это определено бюллетенем USAF 527. Испытанию подвергаются только загрузочные партии пенетранта, эмульгатора и проявителя и должны быть использованы для контроля систем жидкого кислорода только материалы, прошедшие такие испытания.

4. Оборудование

4.1. Общие положения. – Оборудование для капиллярного неразрушающего контроля должно быть сконструировано и организовано таким образом, чтобы допустить возможность однообразного выполнения операций контроля. Такое оборудование должно удовлетворять существующим требованиям по безопасности заземления, национальному электрическому кодексу для оборудования общего назначения и специфическим требованиям. Рабочие места распыления безводного мокрого проявителя должны быть обеспечены достаточной вентиляцией.

4.1.1. Люминесцентный пенетрант. – Оборудование для обработки деталей люминесцентным пенетрантом должно соответствовать процессу капиллярного контроля, описанному в разделе 5.

4.1.2. Цветной пенетрант. – Оборудование для обработки деталей цветным пенетрантом должно соответствовать процессу капиллярного контроля, описанному в разделе 5.

5.1. *Виды и методы.* – Основные материалы и элементы системы указаны в MIL-1-6870; детали, которые могут влиять на безопасность полетов или общую безопасность системы, должны быть проверены капиллярным методом неразрушающего контроля. Конструктор должен определить размер и концентрацию дефектов в местах действия высоких и низких напряжений, которые приемлемы для деталей авиационной и реактивной техники. Конструктор должен также указать на детализированном чертеже или в соответствующем документе тип пенетранта, способ обработки объектов контроля дефектоскопическими материалами и требуемый уровень чувствительности. Если вся поверхность детали не контролируется, на чертеже детали должна быть указана зона контроля в соответствии с AWS-A.2.4-76.

5.1.1. Вид 1, метод А. – Водосмываемый люминесцентный пенетрант должен быть использован, когда:

- (a) велики размеры проверяемых деталей;
- (b) глубина несплошностей больше, чем их ширина;
- (c) поверхность деталей очень грубая (отливки в песчаную форму);
- (d) контролируются большие площади;
- (e) в зонах контроля имеются резьбовые соединения и шпоночные канавки;
- (f) наименьшая чувствительность люминесцентного пенетранта достаточна для обнаружения дефектов, имеющихся на деталях.

5.1.2. Вид 1, метод В. – Люминесцентный пенетрант последующего эмульгирования должен быть использован, когда:

- a) контролируется большое количество деталей;
- b) желательно получить большую чувствительность, чем при использовании вида 1 метода А;
- c) деталь загрязнена кислотой или другими химикатами, которые будут мешать проведению контроля водосмываемыми пенетрантами;
- d) несплошности являются более широкими, чем их глубина;
- e) необходима непостоянная, но контролируемая чувствительность, с тем чтобы можно было разделять опасные и неопасные несплошности;

- f) контролируются детали, которые могут иметь дефекты, загрязненные эксплуатационными смазками;
- g) осуществляется контроль с целью обнаружения коррозии напряжения или межкристаллитной коррозии (используется пенетрант с наибольшей чувствительностью);
- h) требуется обнаруживать шлифовочные трещины.

5.1.3. Вид I, метод С. – Люминесцентный пенетрант, удаляемый растворителем, должен быть использован для локального контроля и в случаях, когда способ промывки водой не может быть выполнен из-за размера детали, ее массы и характера поверхности. Для обнаружения усталостных трещин, коррозии напряжения и межкристаллитной коррозии должен быть использован только высокочувствительный люминесцентный пенетрант.

Вид II, метод А. – Водосмываемые цветные пенетранты должны быть использованы в тех случаях, когда:

- a) желательна наименьшая чувствительность;
- b) проверяются крупногабаритные детали.

5.1.5. Вид II, метод В. – Цветные пенетранты последующего эмульгирования должны использоваться в тех случаях, когда:

- a) желательна большая чувствительность, чем та, которая может быть достигнута при использовании водосмываемых пенетрантов;
- b) проверяются крупногабаритные детали.

5.1.6. Вид II, метод С. – Удаляемый растворителем цветной пенетрант должен быть использован для локального контроля и в случаях, когда способ промывки водой не может быть выполнен из-за размера детали, ее массы и характера поверхности. Этим методом может быть проконтролирована небольшая часть деталей.

5.2. *Предварительная очистка.* – При проверке методом или методами капиллярного контроля все поверхности основных деталей и материалов должны быть очищены от ржавчины, накипи, сварочного флюса, заусенец, острых выступов, вязких веществ, брызг, смазки, нагара, краски и лака, гальванического покрытия, масляной пленки, пыли и других загрязнений, которые могут замаскировать дефекты или создать ложные индикаторные рисунки. Абразивная очистка должна быть использована для очистки металлов только в том случае, когда поверхность металла не сминается при этом процессе или если дефекты поверхности не замазываются и не загрязняются абразивными материалами. Лакокрасочные покрытия должны удаляться химическими

средствами очистки без использования абразивных методов, за исключением тех случаев, когда допускается применение механических средств или требуется растворяющий очиститель (содержащий бескислотный или бесщелочной активатор):

- a) при контроле стальных деталей, термообработанных до 139 кг/мм² или более;
- b) при контроле стальных деталей на месте установки, когда недопустим их прогрев для удаления реактивов из полостей дефектов;
- c) при контроле деталей, изготовленных из алюминиевого сплава серии 7000, которые не используются в условиях постоянного растяжения, например таких как втулки или вкладыши.

Все растворы, применяемые для удаления загрязнений, должны быть нейтрализованы и смыты с поверхности проверяемого материала или детали таким же образом, как это осуществляется при удалении люминесцентных пенетрантов. Все детали и материалы должны быть тщательно осушены перед нанесением пенетранта. Перед обработкой дефектоскопическими материалами мягкие металлы должны быть протравлены для удаления деформированного, «смазанного» слоя металла, который может замаскировать дефекты, особенно при контроле капиллярным методом незакаленных стальных деталей и деталей из алюминия. Если это необходимо, стали и другие высокопрочные и термостойкие металлы с высокой степенью термообработки должны быть протравлены для удаления загрязняющего металла, а затем выдержаны в течение одного часа. После этого для удаления водорода стальные детали должны быть подвергнуты отжигу в течение около 3 часов при 190 °С; для других металлов продолжительность выдержки и значения температуры в каждом конкретном случае должны быть указаны особо. После отжига перед погружением в пенетрант детали должны быть охлаждены до температуры ниже 65 °С. При очистке пластмассовых деталей не следует использовать растворители, которые влияют на их материал.

5.3. Нанесение пенетранта

Пенетранты должны наноситься погружением, распылением, кистью, обливанием или любым другим способом, который позволяет полностью покрывать контролируемую область. Минимальное время пропитки пенетрантами (в минутах) на различных материалах указано в нижеприводимой табл. 11. Для ненадежных деталей с целью получения более полного рисунка дефектов может потребоваться более продолжительное время контакта пенетранта с контролируемой поверхностью или дополнительное его нанесение. Перед нанесением пенетранта детали могут быть нагреты до температуры 65 °С, чтобы увеличить чув-

ствительность пенетранта. Продолжительность нагревания и значение температуры, которые используются, не оказывают какого-либо вредного воздействия на детали. Во время охлаждения детали должны оставаться погруженными в пенетрант и температура детали не должна превышать значение, рекомендованное изготовителем пенетранта. После нанесения пенетранта должно быть предусмотрено такое расположение деталей, чтобы позволить пенетранту стекать с их поверхности и не задерживаться в отверстиях. Не следует допускать, чтобы во время выдержки деталей в пенетранте он высыхал на их поверхности.

Таблица 11

Минимальная продолжительность пропитки деталей пенетрантами

Материал	Состояние	Тип дефекта	Время (мин) для водосмываемого пенетранта	Время (мин) для пенетранта последующего эмульгирования
1	2	3	4	5
Алюминий	Литье	Пористость	от 5 до 15	5
		Неслитины	от 5 до 15	5
	Штамповка и ковка	Заковы	от 15 до 20	10
	Сварка	Непровары	30	5
		Пористость	30	5
	Все состояния	Трещины	30	10
Все состояния	Усталостные трещины	NR	30	
Магний	Литье	Пористость	15	5
		Неслитины	15	5
	Штамповка и ковка	Заковы	NR	10
	Сварка	Непровары	30	10
		Пористость	30	10
	Все состояния	Трещины	30	10
Все состояния	Усталостные трещины	NR	30	

Окончание табл. 11

Сталь	Литье	Пористость	30	10
		Неслитины	30	10
	Штамповка и ковка	Заковы	NR	10
	Сварка	Непровары	60	20
		Пористость	60	20
	Все состояния	Трещины	30	20
Все состояния	Усталостные трещины	30	20	
Латунь и бронза	Литье	Пористость	10	5
		Неслитины	10	5
	Штамповка и ковка	Заковы	NR	10
	Пайка	Непропаи	15	10
		Пористость	15	10
Все состояния	Трещины	30	10	
Пластмассы, стекло	Все состояния	Трещины	от 5 до 30	5
Карбидные инструменты		Непропаи	30	5
		Пористость	30	5
		Трещины	30	20
Титан и высоко-температурные сплавы	Все состояния		NR	от 20 до 30
Все металлы	Все состояния	Трещины, коррозии под напряжением или межкристаллитная коррозия	NR	240

5.4. Удаление

5.4.1. Метод А. – При методе А оба типа пенетрантов 1 и 2 должны быть удалены промывкой, как указано в пункте 5.5.

5.4.2. Метод В – Для пенетрантов последующего эмульгирования типа I может быть использован эмульгатор, который удаляется обрызгиванием водой. Полная продолжительность контакта эмульгатора с поверхностью объекта должна быть:

- a) минимальной, чтобы устранить избыток пенетранта и обеспечить обнаружение широких мелких дефектов;
- b) минимальной для удаления избытка пенетранта со следов механической обработки, выбоин или других мелких неровностей поверхности и обеспечить обнаружение тонких трещин;
- c) определяемой экспериментально для каждой детали. На полную продолжительность контакта эмульгатора с поверхностью объекта контроля будут влиять: чувствительность пенетранта, шероховатость поверхности, активность эмульгатора, загрязнение эмульгатора и адгезия красителя пенетранта;
- d) установленной, как указано в пункте 5.4.2(c), чтобы недопустить переэмульсификации. Эмульгаторы должны наноситься погружением, разбрызгиванием или любым другим способом, который позволяет быстро покрыть все поверхности. Максимальная продолжительность контакта эмульгатора с объектом контроля должна составлять 5 минут.

5.4.2.1. К пенетрантам типа II применимы все требования, предъявляемые к эмульгаторам для пенетрантов типа I, за исключением времени контакта эмульгатора с объектом контроля. Время эмульгирования для пенетрантов типа II должно поддерживаться на абсолютно минимальном значении, необходимом для удаления избытка пенетранта. Некоторые виды эмульгаторов типа II требуют орошения в течение нескольких секунд после нанесения.

5.4.3. Метод С. – Пенетранты типов I и II должны быть удалены растворителями. После нанесения растворителя, излишек пенетранта должен быть удален протиркой сухой тканью. Фоновый цвет или люминесценция должны быть затем устранены протиркой тканью, слегка смоченной растворителем. Не допускается смывать пенетрант с поверхности деталей струей растворителя.

5.5. Промывка. – Все детали, обработанные пенетрантом последующего эмульгирования, сначала должны быть промыты чистой водой по всей поверхности, чтобы прекратить действие эмульгатора. Детали, которые не могут быть быстро промыты вручную струей воды, должны быть погружены в воду с температурой от 15 до 38 °C или промыты моечными автоматическими средствами.

ческими форсунками. Ручная промывка должна выполняться при грубом распылении воды и большом ее расходе. Распылительное сопло должно удерживаться примерно на расстоянии 30 см от детали. Следует уделять внимание тому, чтобы не допустить загрязнения промывочной воды эмульгатором в сопряженном резервуаре, и наоборот. Любая деталь, с поверхности которой пенетрант не может быть полностью удален, должна быть подвергнута повторному контролю. При устранении окрашенного или люминесцирующего фона с поверхности деталей при использовании водосмываемых пенетрантов время промывки должно быть минимальным. Промывка водой деталей, обработанных пенетрантами типа 1, должна выполняться при ультрафиолетовом облучении их поверхности, для того чтобы можно было убедиться, что и пенетрант и эмульгатор удалены с деталей.

5.6. Проявление

5.6.1. Водный мокрый проявитель. – Для пенетрантов типов I и II водные мокрые проявители должны состоять из смеси порошка проявителя и смачивающих агентов в воде. Порядок смешивания и концентрация порошка проявителя должны быть выдержаны в соответствии с рекомендацией изготовителя. После тщательного перемешивания, проявляющий раствор должен быть проверен гидрометром в пробе, отобранной из шланга или углубления в резервуаре, чтобы убедиться в том, что концентрация порошка находится в пределах, рекомендованных изготовителем. Для получения высокой чувствительности мокрый проявитель должен быть нанесен на деталь после извлечения из сушилки в тот момент, когда деталь остается еще достаточно нагретой для осушки проявителя. Для увеличения чувствительности распылительное сопло может подвергаться вибрации. Обычно должен наноситься тонкий слой проявителя. Проявитель можно наносить путем погружения или обливания детали после её промывки перед сушкой. Избыток проявителя должен стечь с детали до ее сушки. Деталь должна быть расположена таким образом, чтобы во время стекания проявителя и сушки его скопления не могли маскировать индикаторные рисунки или формировать ложные индикации.

5.6.2. Безводный мокрый проявитель. – Безводный мокрый проявитель должен состоять из порошка, суспензированного в легко летучем растворителе. Он может быть использован для всех видов пенетрантов и методов контроля, которые здесь описаны. Этот проявитель имеет наибольшую относительную чувствительность и используется для непосредственного локального контроля, если контролируемая поверхность не подвергается нагреву во время проведения процесса. Перед использованием проявитель необходимо тщательно перемешивать. Детали не

должны нагреваться до нанесения проявителя. При промывке в воде проявитель наносится на деталь, которая осушена и ее можно держать в руке. Безводные мокрые проявители должны наноситься распылением, если это возможно, но могут быть нанесены и кистью. Для увеличения чувствительности распылитель может вибрировать.

5.6.3. Сухой проявитель. – Подвергаемая контролю деталь после промывки должна быть высушена перед нанесением проявителя. Сухие проявители должны состоять из легкого порошка, наносимого после сушки. Проявитель должен наноситься погружением, распылением или обсыпанием. Удаление проявителя выполняется легким встряхиванием или сдуванием сухим воздухом при низком давлении. Сухие проявители обладают меньшей чувствительностью по сравнению с мокрыми проявителями.

5.7. Сушка. – Контролируемая деталь после нанесения мокрого или сухого проявителя должна быть осушена в сушилке. Температура осушающего воздуха должна поддерживаться в пределах от 65 до 107 °С, в зависимости от значения температуры, рекомендованной изготовителем пенетранта. Детали следует вынуть из сушилки после того, как они высохнут. Чрезмерная сушка деталей приводит к разрушению красителя пенетранта и может вызвать понижение чувствительности. Детали тонкого поперечного сечения или детали с высокой теплопроводностью не должны смешиваться с деталями, которые сушатся медленно.

5.7.1. Другим способом сушки является обдув с помощью вентилятора при комнатной температуре. При использовании этого способа чувствительность пенетранта обычно не соответствует значению, которое получается при проявлении нагреванием. Этот способ следует использовать только тогда, когда размер или масса детали делают невозможным применение сушилки.

5.8. Обнаружение дефектов. – Дефектоскопист капиллярного неразрушающего контроля должен иметь квалификацию в соответствии с MIL-STD-410 и данным пособием. Продолжительность контакта проявителя с поверхностью объекта контроля зависит от вида проявителя, пенетранта и характера дефекта. Для образования индикаторного рисунка должно быть предоставлено достаточное время. Осмотр должен быть проведен до того, как пенетрант в большой степени проникнет в проявитель и индикаторный рисунок потеряет четкость. Осмотр должен проводиться при освещении, которое совместимо с красителями в пенетрантах. Дефектоскописты, работающие в условиях затемнения, должны проходить адап-

тацию в течение не менее 5 минут, каждый раз перед переходом из светлой области в темную и в случаях, когда в глаза контролера попали ультрафиолетовые лучи. Интенсивность освещения контролируемой поверхности должна составлять не менее 900 лк при измерении на расстоянии 38 см, как определено в MIL-F-38762. При использовании люминесцентных пенетрантов зона контроля должна быть свободна от посторонних люминесцирующих материалов или других загрязнений.

6. Идентификация

6.1. Маркировка. – Детали и основные материалы, удовлетворяющие требованиям капиллярного неразрушающего контроля, должны быть маркированы, как будет указано далее. Способ маркировки и места размещения меток не должны нанести вреда детали или основному материалу, мешать их перемещению, размазываться или стираться при касании руками. Если в последующих процессах требуется удаление или покрытие метки капиллярного контроля, должна быть осуществлена повторная маркировка путем нанесения принятого инспекцией штампа на материале или на упаковке.

6.1.1. Травление. – Если это не оговорено особыми условиями, детали должны маркироваться жидким травлением. Должны быть использованы соответствующие травители и методы нанесения. Могут применяться методы травления, отличные от жидкостных методов.

6.1.2. Штампование. – Штампование нанесением оттисков должно быть использовано, когда это указано в приложенных технических условиях или чертежах. Штампы должны располагаться в местах, примыкающих к номеру детали или штампу инспектора.

6.1.3. Окраска. – Если не могут быть использованы методы травления или штампования, маркировка может быть выполнена окраской или другими способами.

6.1.4. Другие способы идентификации. – Для полностью полированных шариков, роликов, штифтов, втулок и других деталей, для которых по конструктивным или функциональным требованиям, либо по требованиям окончательной отделки не допустимы гравировка, штамповка или окраска, могут быть использованы другие способы идентификации, такие как, например, применение бирок, ярлыков.

6.1.4.1. Болты и гайки могут быть идентифицированы путем отметки на каждой упаковке о том, что был проведен капиллярный контроль.

6.1.5. Символы для контролируемых деталей – 100%-й контроль. Каждый объект, которым должен проходить контроль, должен быть промаркирован следующим образом: при возможности использования травления или штамповки должны быть использованы символы. Штамп может заключать в себе символ идентификации средства.

- 1) За исключением специальных областей применения, используется символ «Р» для обозначения 100%-го капиллярного контроля.
- 2) При контроле окислительных систем, таких как системы жидкого кислорода, используют символ «Р» с дополнительной маркировкой, чтобы отметить 100%-й капиллярный контроль.
- 3) При маркировке окраской следует использовать темно-бордовый краситель.

6.1.6. Символы для контролируемых деталей – выборочный метод. Каждый объект, контролируемый на выборочной основе, должен быть промаркирован следующим образом:

- a) при использовании травления или штамповки деталь должна быть идентифицирована буквой «Р», заключенной в круг.
- b) при маркировке окраской следует использовать желтый краситель.

7. Примечания

7.1. Предполагаемое использование. – Процесс капиллярного неразрушающего контроля предназначен для обнаружения открытых поверхностных несплошностей, таких как трещины, спаи, неслитины и пористость, которые могут вредно воздействовать на деталь или основной материал.

7.1.1. Пластмассы и детали из них. – Некоторые очищающие жидкости, пенетранты и проявители оказывают вредное действие на ряд пластических материалов. Поэтому перед выполнением контроля необходимо провести проверку влияния дефектоскопических материалов на контролируемые детали, с тем чтобы при капиллярном контроле использовать только безопасные материалы.

7.1.2. Люминесценция. – Люминесценцией называется свойство определенных химических веществ испускать излучение видимого света под действием ультрафиолетового излучения.

7.1.3. Проявители. – Проявители представляют собой материалы, мокрые или сухие, которые должны извлекать или абсорбировать пенетрант из поверхностной трещины или дефекта, чтобы, в соответствии

с методом применения, дефект был обнаружен при естественном или искусственном свете либо при ультрафиолетовом облучении. Проявители также создают высококонтрастный фон в системах цветного контроля.

7.1.4. Эмульгатор. – Эмульгатор представляет собой агент, который должен при добавлении или нанесении на слой пенетранта давать возможность смывать пенетрант с поверхности деталей водой.

7.1.5. Водосмываемый пенетрант. – Водосмываемый пенетрант представляет собой маслоподобный материал, содержащий эмульгирующий агент, который можно смывать с деталей водой.

7.1.6. Пенетрант последующего эмульгирования. – Пенетрант последующего эмульгирования является масляным материалом, который после нанесения на его поверхность эмульгатора может образовывать эмульсию в воде и может быть смыт водой с поверхности детали.

7.1.7. Очиститель от пенетранта. – Очиститель от пенетранта является растворяющей жидкостью, используемой для удаления пенетранта с поверхности деталей.

7.1.8. Чувствительность капиллярного контроля. – Чувствительность контроля является свойством пенетранта, методики обработки деталей дефектоскопическими материалами и типа проявителя и характеризует возможность обнаружения поверхностных несплошностей деталей невооруженным глазом.

7.1.9. Пересекающиеся данные. – Классификация капиллярного неразрушающего контроля, приведенная в пункте 1.2, пересекается с материалами капиллярного контроля, изложенными в MIL-I-25135, как показано в табл. 12.

Таблица 12

Пересекающиеся данные

Настоящие технические условия	MIL-I-25135
Тип 1, метод А	Группа IV
Тип 1, метод В	Группа V и VI
Тип 1, метод С	-
Тип 2, метод А	Группа III
Тип 2, метод В	Группа II
Тип 2, метод С	Группа I

Контрольные вопросы

1. Когда в процессе использования требуется проверка дефектоскопических материалов для капиллярного контроля?
 - а) По крайней мере ежемесячно или перед повторным наполнением емкостей.
 - б) Периодичность проверок качества не регламентируется; их рекомендуется проводить по мере необходимости.
 - в) Всякий раз после замены материалов.
 - г) Всякий раз после проведения записи инспектором по качеству.
 - е) В соответствии с рекомендациями компании для сплошного контроля деталей.

2. Что из указанного ниже должно быть выполнено перед нанесением пенетранта, чтобы повысить чувствительность процесса?
 - а) Пенетрант может быть нагрет до температуры 65 °С.
 - б) Детали могут быть предварительно нагреты до температуры от 65 до 107 °С.
 - в) Более чувствительный пенетрант может быть смешан с загрязненным.
 - г) Люминесцентный пенетрант может быть «заряжен» путем облучения интенсивными ультрафиолетовыми лучами.
 - д) Примечания.
 - е) Область применения.

3. Требуется проверить обработанный на токарном станке алюминиевый вал длиной 33,5 см диаметром 5 см. Материал вала – алюминиевый сплав типа 6061-T6; деталь используется в условиях воздействия высоких растягивающих j нагрузок во время экстремальных полетных ситуаций. В соответствии с техническими условиями процесс капиллярного неразрушающего контроля вала должен включать в себя:
 - а) предварительную очистку детали в абразивной суспензии;
 - б) удаление окалины с последующей нейтрализацией и длительным смыванием нейтрализующих составов;
 - в) травление;
 - г) отсутствие особого предварительного контроля механически обработанных участков детали.

4. При использовании каких из указанных ниже проявителей рекомендуется сушка небольших деталей?
- а) Водный проявитель.
 - б) Безводный проявитель.
 - в) Сухой проявитель.
 - г) Все из вышеприведенного.
 - д) Только пункты а и в.
5. Какое из нижеприводимых утверждений является справедливым при маркировке деталей окраской?
- а) Окраска должна иметь темно-бордовый цвет для деталей, которые удовлетворительно прошли 100%-й контроль.
 - б) Для принятых деталей должен быть использован треугольный символ.
 - в) Детали, прошедшие 100%-й контроль, должны маркироваться индексом «Р», заключенным в кружок.
 - г) Маркировка должна быть создана изготовителем и изображаться в соответствии с прилагаемыми чертежами.
6. На деталях из нержавеющей стали обнаруживаются трещины коррозии под напряжением. Какое значение времени проникания должно быть использовано в соответствии с табл. 11, если доступен только пенетрант типа 1, метода А?
- а) 30 минут.
 - б) 60 минут.
 - в) 240 минут.
 - г) ничего из приведенного выше.
7. Полная продолжительность контакта эмульгатора с поверхностью объекта контроля для цветных пенетрантов определяется обычно:
- а) более продолжительно по отношению к люминесцентным пенетрантам;
 - б) значительно дольше по отношению к люминесцентным пенетрантам;
 - в) так же, как для люминесцентных пенетрантов;
 - г) меньше, чем для люминесцентных пенетрантов.
8. В соответствии с техническими условиями, какой из нижеприводимых рисунков несплошностей должен будет вызвать отбраковку контролируемой детали?
- а) Трещинообразные индикаторные рисунки.
 - б) Индикация непровара сварочного шва.
 - в) Индикация неслитины в отливке.
 - г) Все из вышеприведенного.
 - д) Ничего из приведенного выше.

9. Клеймение штампом должно быть использовано:
- а) когда это предусмотрено прилагаемыми техническими условиями или чертежами;
 - б) только на отливках;
 - в) по усмотрению дефектоскописта;
 - г) с санкции государственного контролера.
10. Ваша компания имеет контракт для производства авиационных деталей с основным производителем летательных аппаратов. В соответствии с требованиями контракта необходимо использовать Технические условия на капиллярный контроль деталей. Датой подписания контракта было 14 августа 1978 г.; детали не были изготовлены и проконтролированы до февраля 1979 г. Технические условия были первоначально апробированы в июне 1964 г. в качестве варианта «В», снова пересмотрены в апреле 1971 г. в виде варианта «С» и, наконец, в январе 1979 г. в виде варианта «Д». Какой из вариантов должен действовать в описанной ситуации?
- а) Оригинальная версия 1953 г.
 - б) Вариант В.
 - в) Вариант С.
 - г) Вариант Д.
 - д) Любой из вышеуказанных вариантов на Ваше усмотрение.
11. Полная продолжительность контакта эмульгатора с поверхностью объекта контроля должна составлять:
- а) время, рекомендованное изготовителем пенетранта;
 - б) время, указанное в технических условиях;
 - в) время, определяемое экспериментально для каждой детали;
 - г) определяется контролером с использованием секундомера.
12. В соответствии с техническими условиями капиллярный контроль пластмассовых деталей...
- а) является запрещенным;
 - б) может быть использован, если испытания показывают, что дефектоскопические материалы и детали совместимы;
 - в) является неэффективным;
 - г) может быть использован, если опробован пользователем.

13. В соответствии с техническими условиями, приведенное в табл. 11 время...
- а) может быть существенно увеличено, если это необходимо для получения лучших индикаторных рисунков, без дальнейшего использования пенетранта;
 - в) может быть существенно увеличено для обеспечения лучшего нанесения, если это необходимо, при дополнительном нанесении пенетранта для предотвращения его высыхания на поверхности детали.
 - с) В качестве минимальных требований, необходимо следовать более точным, приведенным ранее данным по обеспечению оптимальной чувствительности.

8. ЕВРОПЕЙСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ЭКЗАМЕНАЦИОННЫМ ОБРАЗЦАМ, ИСПОЛЬЗУЕМЫМ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРАКТИЧЕСКИХ ЭКЗАМЕНОВ ПРИ АТТЕСТАЦИИ СПЕЦИАЛИСТОВ ПО НК

8.1. Область применения

В настоящее время Европейской федерацией неразрушающего контроля (EFNTD) разработаны единые для членов EFNTD требования, в соответствии с которыми экзаменационные образцы для проведения практических экзаменов должны быть изготовлены, скомпонованы, проконтролированы и эталонированы (калиброваны). Эти требования также определяют количество и тип образцов, которые должны быть в аттестационных центрах (АЦНК), сопровождаемых EFNTD и определенных требованиями ЕСП к проведению практических экзаменов и отнесенных к типу продукции или производственному сектору.

Ниже приведены требования к ЭО литья, проката и поковок, штампованных изделий, Приведены также требования к типам дефектов, их расположению в ЭО, конфигурации ЭО.

8.2. Общие положения

Аттестационный (экзаменационный) образец – это образец, который используется для практических экзаменов. Образцы должны представлять изделия, обычно контролируемые в конкретном производственном секторе, и могут содержать более чем одну область или объем, которые должны быть проконтролированы кандидатом.

Область (зона) контроля – это область целого аттестационного образца или его части, которые будут (или должны быть) проконтролированы кандидатом в течение практического экзамена.

Минимальное количество аттестационных образцов, которые должны быть в аттестационном центре для каждого типа продукта (литье, кованные изделия, трубы, штампованные изделия) и относительно каждого применяемого метода контроля определяться по формуле

$$N+2, \tag{15}$$

где N – это максимальное количество кандидатов, одновременно принимающих участие в сдаче практического экзамена.

Один аттестационный образец может содержать несколько областей (зон) контроля.

Каждый ЭО должен содержать дефект или дефекты, относящиеся к представленному продукту, перечисленному в этом документе. Расположение дефектов в комплекте аттестационных образцов, выданных любому кандидату для экзамена, должно быть таким, чтобы могла быть установлена, способность кандидата выявлять и описывать эти дефекты.

8.3. Аттестационные образцы литья для всех методов неразрушающего контроля

Образцы должны содержать примеры литья из различных материалов, иметь чистую поверхность, свободную от рыхлых продуктов коррозии и защитных покрытий, и обеспечить доступ для визуального контроля (VT) или другого применяемого метода неразрушающего контроля.

Для капиллярного контроля (РТ) качество подготовки поверхности (например, механическая обработка) должно обеспечивать применение соответствующих систем капиллярного контроля, т. е. гладкую для сольвентных смывок на базе растворителей и более шероховатую поверхность для водосмываемых.

Диапазон образцов для литья в аттестационном центре должен содержать геометрические характеристики:

- а) цилиндрические сечения;
- б) большие и малые диаметры;
- в) фланцы;
- г) переменные сечения;
- д) соединения типа Т, L, Y и X, или их комбинации.

Образцы из литья должны быть соответствующей сложности контроля для определения способности кандидата без путаницы и двусмысленности выполнить толщинометрию и измерение затухания, обнаружение дефекта и измерение его размеров. Разрешается использование отливок, содержащих как дефекты ремонтной сварки, так и естественные дефекты. Максимальный размер образцов ограничивается только имеющимися у аттестационного центра возможностями по их изготовлению и хранению. Большие отливки могут быть разделены для использования в более чем одном образце, а отливки с переменной толщиной могут иметь несколько областей (зон) контроля, и кандидату могут быть предложены конкретные области (зоны) контроля.

8.4. Аттестационные образцы сварных соединений

8.4.1. Образцы сварных соединений, используемые для экзамена по поверхностным методам неразрушающего контроля (МТ, РТ, ЕТ, VT)

Образцы сварных соединений пластин для аттестации должны быть сварены из материала толщиной не менее 5 мм для МТ и 2 мм для РТ. Поверхность образцов должна быть очищена от окалины и других загрязнений.

Образцы сварных соединений труб для этой аттестации, должны содержать стыковые сварные соединения труб с диаметром, который не должен быть менее 50 мм, а для МТ толщина стенки трубы должна быть не менее 5 мм.

Для тавровых сварных соединений толщина материала, из которого изготавливаются образцы, должна быть не менее 5 мм. Конструкция сварного соединения должна быть как с полным, так и с неполным проплавлением, одно- или двусторонняя, а также угол между компонентами должен быть 90° с допуском $\pm 10^\circ$.

Образцы сварных соединений патрубков для этой аттестации должны содержать примеры сварных соединений одно- и двусторонней конструкции, с полным и неполным проплавлением. Сварные соединения патрубков должны быть изготовлены из трубных секций с наружным диаметром в диапазоне от 100 до 400 мм. Диаметр трубы, в которую будет выполнена вварка, должен быть в два раза больше диаметра трубы, которая вваривается. Толщина основного металла должна быть не менее 8 мм.

8.4.2. Длина сварных швов

Длина сварных швов или области (зоны) контроля для каждой категории (типа) аттестационных образцов сварных соединений должна быть следующая:

- а) сварные соединения пластин 300 ± 50 мм;
- б) сварные соединения труб:
 - 1) для труб с наружным диаметром от 50 до 105 мм полная длина кольцевого шва;
 - 2) для труб с наружным диаметром 105 мм полная длина кольцевого шва или минимум 300 мм;
 - 3) у тавровых сварных соединений длина такая же, как и для сварных соединений пластин;
 - 4) у сварных соединений патрубков длина полного сварного шва или минимум 200 мм.

8.4.3. Дефекты в ЭО сварных соединений

Диапазон дефектов, представленных в образцах, имеющихся в аттестационном центре, не лимитируется, но должен включать, как минимум, следующие дефекты:

- а) непровар кромки;
- б) трещины;
- в) неполное проплавление;
- г) несплавление в корне шва;
- д) шлак;
- е) поры.

В образцах для ультразвукового контроля (пластины и/или трубы) должны содержать как продольные, так и поперечные дефекты.

В образцах, которые используются для проведения экзаменов по поверхностным методам, должны быть представлены дефекты поверхностных разрушений.

Минимальный продольный размер одиночного дефекта или группы дефектов, представленных в аттестационном образце, должен быть равен или быть выше уровня регистрации. Этот уровень устанавливается аттестационным центром при составлении паспорта экзаменационного образца в соответствии с используемым методом контроля и с достигаемым уровнем чувствительности.

8.5. Аттестационные образцы проката и поковок

Для метода капиллярной дефектоскопии уровень подготовки поверхности должен обеспечивать применение полного диапазона методик контроля, например гладкую поверхность для смывки пенетранта сольвентами, грубую для смывки водой.

Зона контроля образцов пластин должна иметь длину 300 ± 50 мм и толщину в диапазоне от 5 до 240 мм для проведения измерения толщины.

Образцы прутка и бруса должны иметь длину 300 ± 50 мм и толщину не менее 250 мм.

Образцы должны содержать плоскостные и объемные дефекты, имеющие расположение и размеры, соответствующие применяемому методу неразрушающего контроля.

Диапазон дефектов, представленных в аттестационных образцах, которыми располагает аттестационный центр, должен включать, но не лимитирован ниже приведенными дефектами:

- а) усадочная раковина или рыхлость центральной зоны;
- б) трещины и разрывы в охлажденной отливке;
- в) включения;

- г) расслоения;
- д) разрывы.

Каждый образец должен содержать один или более дефектов, приведенных выше. Дефекты подтверждаются применяемым методом контроля при паспортизации образца.

Минимальный размер дефекта должен быть равен или больше порогового значения, определенного соответствующей нормативной документацией.

9. АТТЕСТАЦИЯ СПЕЦИАЛИСТОВ III УРОВНЯ ПО ВИК И КАПИЛЛЯРНОМУ КОНТРОЛЮ

9.1. Квалификационный экзамен специалиста НК III уровня

Квалификационный экзамен на III уровень квалификации включает:

- общий экзамен по основам определенного метода НК;
- специальный экзамен – экзамен по способам контроля, применяемым в определенном промышленном секторе, а также по знаниям контролируемой продукции и применяемых стандартов, технических условий и критериев приемки;
- экзамен по проверке знаний правил безопасности;
- практический экзамен, при котором претендент на III уровень демонстрирует способность составлять методику по одному или нескольким методам НК;
- базовый А, содержащий вопросы:
 - а) по технологии изготовления материалов и сварных соединений, материаловедению, типам дефектов;
 - б) квалификации персонала и процедуры аттестации, знание настоящих Правил;
- базовый В – общие знания по четырем методам НК в соответствии с требованиями II уровня, кроме основного, на который кандидат аттестуется.

На рисунке 30 представлена структурная схема квалификационного экзамена специалистов НК III уровня по капиллярному контролю.

Для каждого уровня квалификации и метода НК разрабатываются сборники вопросов по общим и специальным экзаменам, где каждый вопрос имеет многовариантные ответы. Допускается сдача специального экзамена по схеме: вопрос – развернутый письменный ответ (без многовариантных ответов).

В сборник вопросов по радиационному контролю должны быть включены вопросы по радиационной безопасности.

Вопросы на экзамены выбираются из сборника случайным образом, минимальное требуемое количество вопросов в сборниках и на экзаменах приведено в табл. 1 и 2 приложения 4 [28].

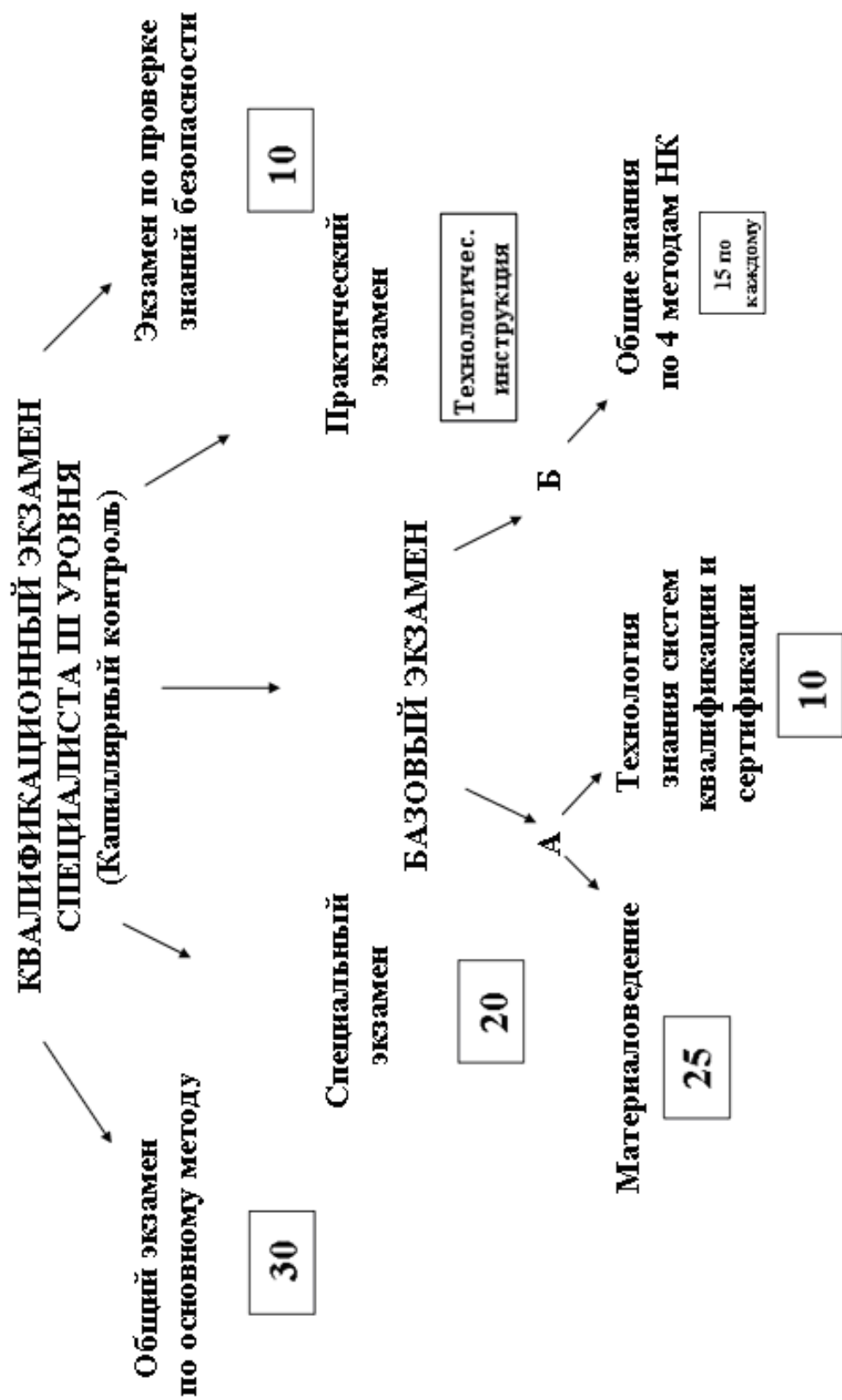


Рис. 30. Структурная схема квалификационного экзамена специалистов НК III уровня

Если специальный экзамен охватывает два или более объектов контроля, количество вопросов должно быть соответственно увеличено – не менее чем на 10 вопросов по каждому дополнительному объекту контроля.

При аттестации по двум и более объектам контроля, НК которых проводится по одной нормативно-методической документации, специальный экзамен сдается по этой документации.

Экзамен по проверке знаний правил безопасности заключается в проверке знаний кандидатом устройства, требований безопасности при эксплуатации объектов, а также при проведении операций НК, требований к качеству технических устройств, зданий, сооружений. Кандидат должен ответить не менее чем на 10 вопросов по конкретному объекту контроля, выбранных случайным образом из сборника вопросов с многовариантными ответами, или на билет, включающий 5 вопросов. Экзамен по проверке знаний правил безопасности сдается по каждому объекту контроля отдельно.

Продолжительность экзамена на III уровень по основному методу:

- общий и специальный – 3 часа;
- практический – 4 часа для составления проекта одной методики.

Общая продолжительность базового экзамена около 3,5 часов.

Базовый экзамен сдается первым, и его результаты действительны пять лет, в течение которых должен быть сдан экзамен по основному методу.

9.2. Оценка квалификационных экзаменов кандидатов на III уровень

Результаты базового экзамена и общего экзамена по основному методу НК считаются действительными для всех объектов контроля.

При оценке результатов квалификационного экзамена кандидата на III уровень квалификации отдельно рассчитываются и оцениваются результаты базового экзамена и экзамена по основному методу, и оформляется итоговый протокол.

Экзаменационная комиссия при собеседовании по выполненной практической работе дает оценку результатов практического экзамена в соответствии с утвержденной методикой балльной оценки практического экзамена.

Оценка квалификационных экзаменов кандидатов на III уровень квалификации. Суммарная оценка базового экзамена рассчитывается в соответствии со следующей формулой:

$$N_{\text{баз}} = 0,5 N_A + 0,5 N_B, \% \quad (16)$$

где $N_{\text{баз}}$ – суммарная оценка;

N_A – оценка по части А;

N_B – оценка по части В.

Результаты базового экзамена заносятся в итоговый протокол.

При оценке результатов экзамена по основному методу для кандидатов на III уровень квалификации результаты общей и специальной частей экзаменов оцениваются в соответствии ПБ 03-440-02.

Практический экзамен оценивается с учетом технического содержания разработанной методики, умения кандидата обосновать предусмотренные методикой контроля процедуры, в соответствии с критериями оценки.

Суммарная оценка экзамена по основному методу рассчитывается в соответствии со следующей формулой:

$$N_{осн} = \frac{N_{G1} + N_{G2} + N_{G3}}{3}, \%, \quad (17)$$

где $N_{осн}$ – суммарная оценка основного экзамена;

N_{G1} – оценка по части С1 (общий экзамен);

N_{G2} – оценка по части С2 (специальный экзамен);

N_{G3} – оценка по части С3 (практический экзамен).

По результатам квалификационного экзамена оформляется итоговый протокол, который подписывается членами экзаменационной комиссии и руководителем экзаменационного центра.

9.3. Аттестация и переаттестация российских и зарубежных специалистов в области НК на I, II, III международных уровнях

9.3.1. Сравнение требований и области применения нормативных документов SNT-TC-AM, EN 473, ПГР, ISO 9712, NORDTEST

Все важнейшие нормы по квалификации персонала содержат близкие требования к признакам сертификации, но расходятся в определении сертифицирующей инстанции.

Американские нормы согласно инструкции SNT-TC-IA определяют для лица (кандидата), подлежащего аттестации, предприятие (работодателя) в качестве сертифицирующей инстанции. Европейские нормы EN 473, NORDTEST, ПГР и международный стандарт ИСО 9712 в качестве сертифицирующей инстанции определяют внепроизводственный аттестационный орган.

Аттестация предприятием имеет наибольшее распространение в мире и до настоящего времени осуществляется по контрактам между изготовителем и заказчиком в таких отраслях промышленности, как авиационная, машиностроительная и т. п. Это обусловлено следующими причинами:

- а) американские нормы по инструкциям SNT-TC-IA и MIL-Standard были установлены в конце 60-х годов, в то время как нормы вне-

производственной аттестации были разработаны лишь в начале 80-х годов;

- б) проще и дешевле осуществить аттестацию персонала непосредственно на предприятии, если этого требует заказчик;
- в) аттестация на предприятии тесно связана с практической работой специалиста на конкретном рабочем месте (например, если просвещение объектов контроля осуществляется на предприятии только с использованием рентгеновской техники, нет необходимости обучать персонал работе с гамма-дефектоскопами).

К предприятию (работодателю) как к сертифицирующей инстанции предъявляются два важных требования. Оно должно иметь письменную программу сертификации, так называемое «written practice» и располагать высококвалифицированным персоналом для проведения сертификации, т. е. иметь, по крайней мере, одного экзаменатора с уровнем квалификации III.

В случае сертификации работодателем ему предоставляется большая свобода в действиях по аттестации, что, как известно, может приводить к злоупотреблениям, которые с трудом устанавливаются лишь при внешних проверках. Исследования Американского общества по НК показали, что фальсификация срока работы специалиста в области НК и времени его обучения происходит лишь на небольших предприятиях. При этом очень часто контрольные вопросы известны экзаменуемым еще до проведения квалификационного экзамена.

С конца 70-х годов считается целесообразным аттестацию специалистов III уровня проводить вне предприятий. Комбинация централизованно сертифицируемого уровня III с производственно сертифицируемыми уровнями I и II была зафиксирована в 1989 г. в национальном американском стандарте ANSI CP-189.

Стандарт ИСО 9712 дает определение национальной сертифицирующей инстанции (аттестационного органа), не разъясняя, как можно гарантировать его объективность при аттестации специалистов. Поэтому он был отклонен, прежде всего, в европейских странах и не был принят в качестве Евростандарта. Хотя новый Евростандарт EN 473 и включил большую часть содержания ИСО 9712, он вместо определения «национальная сертифицирующая инстанция» содержит определение «независимая сертифицирующая инстанция (независимый аттестационный орган)».

Независимые сертифицирующие инстанции должны быть аккредитованы Национальными Советами (например, в Германии – это Германский Совет по Аккредитации DAR), которые выдают свидетельства по аккредитации. Нормативной основой аккредитации является Евростан-

дарт EN 45013. Независимость сертифицирующей инстанции проверяется впоследствии Управленческим советом, который на паритетных началах должен состоять из пользователей системы. Только Управленческий совет отвечает за политику сертифицирующей инстанции и контролирует ее финансы, что приводит в конечном итоге к независимости сертификационной инстанции от посторонних интересов.

Сертифицирующая инстанция согласно Евростандарту должна иметь руководителя и компетентный персонал для выполнения своих задач. Она должна описать собственную систему аттестации в своем стандарте (вместо «written practice») и располагать документированной системой обеспечения качества, которая излагается в руководстве.

Каждая инстанция, которая выполняет эти условия, может быть аккредитована, т. е. не существует никакой национальной монополии в выдаче свидетельства по аттестации. В Германии, кроме Германского общества Неразрушающего Контроля (DGZfP), существует еще и другая сертифицирующая инстанция – SECTOR Cert.

Хотя, согласно нормам EN 473, выдача сертификата осуществляется вне предприятия, отнюдь не верно заключение, что работодатель исключается из процесса сертификации. Он должен дать подтверждение о профессиональной подготовке, профессиональном опыте и физической пригодности кандидата. Кроме того, сертификат, полученный вне предприятия, автоматически не дает права использовать специалиста на предприятии по соответствующему профилю, что имеет место при сертификации работодателем. Предприятие должно «специализировать» контролера для проведения им конкретного вида деятельности по НК. Для подобной специализации могут потребоваться последующие производственные квалификационные мероприятия, если подтверждение сертифицирующей инстанции недостаточно для работодателя (очень специфичные виды продукции, техника проверки, аппаратура, требования клиента). Таким образом, для европейского стандарта EN 473 характерно тесное сотрудничество между сертифицирующей инстанцией и работодателем.

По Евростандарту самой сертифицирующей инстанции нужно провести только завершающий процесс сертификации. Все остальные виды деятельности она может делегировать другим инстанциям, а именно: экзаменационным центрам; уполномоченным по приему экзаменов (экзаменаторам).

Прямо или косвенно многие аттестационные мероприятия могут таким образом проводиться работодателем. Но если работодатель в последующем оставляет в своих руках значительную долю видов деятельности по аттестации, сертифицирующая инстанция остается ответ-

ственной за все аттестационные мероприятия. Она должна убедиться в надлежащем выполнении делегированных предприятию видов деятельности, вести всю документацию по сертификатам, а также выдавать сертификаты и разрешать деятельность этих инстанций (делегирование полномочий).

Сертифицирующая инстанция может учреждать экзаменационные центры на предприятиях, где имеются следующие необходимые условия: квалифицированный персонал; соответствующие помещения и приборы; экзаменационные вопросы и задания, которые признаны сертифицирующей инстанцией или исходят от нее; методика экзамена, которая признана сертифицирующей инстанцией или исходит от нее; документация по сданным экзаменам.

Путем аудита проверяется, выполняются ли они для надлежащего проведения квалификационных экзаменов (и при необходимости обучения).

При децентрализованной сертификации, т. е. согласно SNT-TC-IA, специалист III уровня квалификации вправе принимать квалификационные экзамены по всем уровням и видам контроля, по которым он сам сертифицирован. Если у работодателя имеется специалист III уровня, то ему нет необходимости пользоваться сторонними услугами. В рамках норм EN 473 это возможно только тогда, когда на предприятии создан экзаменационный центр и внешней сертифицирующей инстанцией делегировано право приема экзаменов по III уровню, уполномоченному по приему экзаменов. Однако он имеет право принимать квалификационный экзамен у тех лиц, которых сам не готовил к экзамену; обучение и экзамен, таким образом, должны быть строго разграничены. Кроме того, следует использовать только такие экзаменационные вопросы, которые одобрены или составлены сертифицирующей инстанцией. При приеме экзаменов по I и II уровням требуется только один уполномоченный по приему экзаменов, при сдаче экзаменов по III уровню – по крайней мере два.

Одно из преимуществ стандартов EN 473, ISO 9712 и норм NORDTEST заключается в том, что они нацелены на частичное сохранение некоторых норм SNT-TC-IA, относящихся к производству и организации рабочего места аттестуемого персонала, относя сертификацию к определенным промышленным секторам. В соответствии с этим сертификаты по EN 473, как правило, действительны только для секторов промышленности, в рамках которых производилось обучение и сдавался экзамен.

По EN 473 понятие «сектор промышленности» может относиться как к продукции (сварные соединения, литье), так и к отрасли промышленности (авиация, нефтехимия).

По COFREND (французское общество по НК) промышленные сектора – это авиация, сварные конструкции и литейное производство, чер-

ная металлургия и сталелитейная промышленность, стальные трубы и стальные фасонные детали, сложное оборудование.

Согласно PCN (система аттестации персонала по НК в Великобритании) промышленные сектора – это сварные конструкции, отливки, продукция, выполненная обработкой давлением, авиационная техника.

В немецком стандарте промышленность разделена на четыре сектора: сварные соединения (сосуды под давлением, ядерная техника, металлоконструкции), металлопроизводящая и металлообрабатывающая промышленность, аэрокосмическая техника, особая продукция.

В настоящее время понятие промышленного сектора сформулировано только Национальными советами по стандартизации, поскольку CEN TC-138 (Европейский комитет по стандартизации) до сих пор не принял по этому поводу никакого решения. Однако в преддверии подобного решения национальные системы сертификации персонала по НК, отнесенные к конкретным секторам промышленности, работают очень рационально. Они хорошо сочетаются с инструкцией SNT-TC-1A и позволяют: уменьшить срок обучения; сократить объем экзаменов; привязать сертификацию к нуждам предприятия. Нормы NORDTEST по сравнению с EN 473 и ISO 9712 более конкретны. Так, сертификация персонала на III уровень квалификации проводится по двум секторам: промышленное оборудование и металлоконструкции и аэрокосмические конструкции, а аттестация персонала на I и II уровни – по секторам в зависимости от метода контроля. Метод радиационный (RT):

R-1 – сварные швы стальных изделий;

R-2 – сварные швы изделий из легких сплавов;

R-3 – литье;

R-4 – авиационные конструкции, содержащие паяные и клепаные изделия.

Метод ультразвуковой (UT):

U-1 – сварные швы и листовой металл;

U-2 – поковки;

U-3 – литье;

U-4 – авиационные конструкции.

Метод вихретоковый (ET):

E-1 – материалы, изделия и конструкции общего назначения;

E-2 – авиационные детали и конструкции.

Аттестация персонала по другим методам контроля – многоотраслевая, т. е. она не лимитируется конкретным сектором промышленности. По отечественным нормам ППР специалист любого уровня квалификации аттестуется по продукции (оборудованию или его элементам), подконтрольной Госгортехнадзору России.

9.3.2. Требования к компетентности аттестуемого персонала

В соответствии с ППР специалисты I уровня квалификации ведут работу по контролю конкретной продукции без выдачи заключения о качестве объекта.

В отличие от этого по SNT-TC-IA обладатель I уровня квалификации должен уметь осуществлять в заданном объеме юстировку приборов и контроль, а также представлять оценку результатов контроля согласно имеющимся утвержденным критериям в виде отчета.

По EN 473 лицо, аттестованное на I уровень, получает квалификацию для проведения работ по НК в соответствии с письменными инструкциями и под наблюдением персонала II и III уровней. Его обязанности: регистрировать и классифицировать результаты контроля в соответствии с критериями, установленными в документах, и представлять отчет по результатам контроля.

По ППР такой специалист должен выполнять контроль и оценку качества продукции и участвовать в аттестации специалистов I и II уровней.

По SNT-TC-IA и EN 473 лицо, аттестованное на II уровень, не может участвовать в аттестации специалистов I и II уровней, но должно быть компетентным в подготовке и руководстве персоналом I уровня и уметь составлять письменные инструкции, а также осуществлять организацию работ по НК.

Требования к специалистам III уровня по ППР, SNT-TC-IA и EN 473 почти совпадают, но в отличие от ППР две другие нормы требуют, чтобы персонал был компетентным в нескольких общеприменимых способах НК.

9.3.3. Требования норм к аттестационным инстанциям

Согласно SNT-TC-IA ответственность за аттестацию персонала всех уровней лежит на предпринимателе, даже если по его желанию внешняя организация привлекается к аттестации персонала по уровню III. К предпринимателю как к сертифицирующей инстанции предъявляются, как было уже отмечено, два требования:

- предприниматель должен иметь правила аттестации персонала НК, включающие все этапы аттестации, в том числе подготовку аттестуемых;
- предприниматель должен иметь или привлекать для аттестации специалиста III уровня.

По ППР и EN 473 в аттестацию могут включаться три инстанции. По ППР – это национальный аттестационный комитет по НК (НАК НК), региональные (отраслевые) аттестационные центры (АЦ) и аттестационные пункты (АП). При этом НАК НК выдает лицензии аттестацион-

ным центрам и пунктам на право аттестации специалистов I и II уровней по конкретным видам НК и оборудованию, аттестацию специалистов III уровня проводит только НАК НК.

ПГР не устанавливает четкой ответственности этих инстанций ни за аттестацию в целом, ни за выдачу аттестатов.

По EN 473 аттестационными инстанциями могут быть независимые аттестационные органы (НАО), уполномоченные органы (УО) и экзаменационные центры (ЭЦ).

УО – это орган, уполномоченный НАО проводить подготовку к экзаменам и осуществлять их, определяя уровень квалификации персонала в области НК.

ЭЦ – это центр, утвержденный НАО непосредственно или через УО, в котором проводятся квалификационные экзамены.

EN 473 возлагает ответственность на НАО за процедуру аттестации и выдачу всех аттестатов.

9.3.4. Требования к подготовке специалистов к экзаменам

Аттестация на уровни I и II. Требования ПГР к общему образованию и специальной подготовке, выполнение которых обязательно для аттестации специалистов, приведены в табл. 13.

Таблица 13

Требования ПГР к подготовке кандидатов, аттестуемых на I и II уровни

Уровень квалификации по НК	Уровень образования	Требования к специальной подготовке
I	Общее	Специальная подготовка с выдачей документа об образовании (свидетельства, диплома)
	Среднее	Подготовка на спецкурсах или по месту работы в подразделениях НК в соответствии с программой, утвержденной руководством предприятия
II	Среднее, среднетехническое или высшее	Подготовка в техникумах или в профтехучилищах или на спецкурсах в соответствии с программами, согласуемыми с аттестационными центрами

В ПГР не оговаривается минимальное количество часов специальной подготовки.

По SNT-TC-IA персонал, аттестуемый на I и II уровни, делится на две группы:

- со средним образованием;
- с неоконченным высшим и (или) средним техническим образованием.

В EN 473 уровень образования специалистов не оговаривается, необходимо лишь успешное окончание курса подготовки по определенному методу контроля.

Минимальные сроки подготовки по EN 473 и SNT-TC-IA для первой группы лиц представлены в табл. 14.

Таблица 14

Минимальный срок обучения специалистов, аттестуемых на I и II уровни

Вид контроля	Уровень I		Уровень II	
	SNT-TC-1A	EN473	SNT-TC-IA	EN 473
ET	40	40	40	40
PT	4	16	8	24
MT	12	16	8	24
RT	39	40	40	80
UT	40	40	40	80
LT	40	40	24	80

Требования всех трех нормативных документов к минимальной продолжительности производственного стажа в области НК приведены в табл. 15 и 16.

Таблица 15

Требования норм к минимальной продолжительности практической работы специалистов в области НК (мес.)

Вид контроля	Уровень I			Уровень II		
	SNT-TC-IA	EN473	ПГР	SNT-TC-IA	EN473	ПГР
ET	1	3	3	9	9	9
PT	1	1	3	2	3	6
MT	1	1	3	3	3	6
RT	3	3	6	9	9	12
UT	3	3	6	9	9	12
LT	1	3	3	2	9	9

Таблица 16

*Требования ПГР к подготовке кандидатов,
аттестуемых на III уровень*

Уровень образования	Требования к специальной подготовке
Общее	Специальная подготовка с выдачей документа об образовании (свидетельства, диплома)
Высшее или среднетехническое	Подготовка или переподготовка в вузах и институтах повышения квалификации по неразрушающему контролю, а также самоподготовка в процессе работы в области НК не менее 4 лет в качестве специалиста II уровня квалификации с участием в разработке нормативной документации по НК

9.3.5. Требования к квалификационному экзамену III уровня

Квалификационный экзамен III уровня. По нормам ПГР требования к составу экзаменов, минимальному количеству вопросов и оценке их результатов едины для всех трех уровней.

По нормам EN 473 каждый квалификационный экзамен должен состоять из следующих частей, выполняемых в письменной форме: базового экзамена, состоящего из двух частей (А и В) (табл. 17); экзамена по основному методу, содержащего три части (С1, С2 и С3) (табл. 18).

Таблица 17

*Минимальное количество вопросов
на базовом экзамене по III уровню квалификации (нормы EN 473)*

Часть экзамена	Содержание	Количество вопросов
А	Технология материалов, материаловедение и дефектность продукции; методика аттестации и определения квалификации	25
		10
В	Общие знания II уровня	60

Таблица 18

*Минимальное количество вопросов
по основному методу НК (нормы EN 473)*

Часть экзамена	Вид экзамена	Количество вопросов
С1	Общий	30
С2	Специальный	20
С3	Практический (разработка одного или нескольких проектов методик по НК)	–

Составной балл N_b базового экзамена должен рассчитываться по формуле:

$$N_b = 0,5 n_a + 0,5 n_b, \quad (17)$$

где N_b – составной балл базового экзамена;

n_a – балл по части А;

n_b – балл по части В.

Для успешной сдачи базового экзамена кандидат должен получить балл не менее 70 % в каждой части и составной балл N_b не менее 80 %.

Составной балл N экзамена по основному методу рассчитывается по формуле:

$$N = (n_{c1} + n_{c2} + n_{c3}) / 3, \quad (18)$$

где N – составной балл экзамена по основному методу;

n_{c1} – балл по части С1;

n_{c2} – балл по части С2;

n_{c3} – балл по части С3.

Для успешной сдачи этого экзамена кандидат должен получить балл не менее 70 % в каждой части и составной балл N не менее 80 %.

Чтобы быть аттестованным, кандидат должен успешно сдать как базовый экзамен, так и по основному методу.

По нормам SNT-TC-IA квалификационный экзамен на III уровень включает три части (табл. 19): базовый экзамен (необходим только один раз, когда экзамен сдается по более чем одному виду НК); экзамен по основному методу; специальный экзамен.

Общая оценка уровня экзамена определяется как и при оценке экзаменов I и II уровней.

Таблица 19

*Структура квалификационного экзамена на III уровень
(нормы SNT-TC-IA) по основному методу НК*

Разделы экзамена	Тематика	Минимальное число вопросов
1 а	Знание SNT-TC-IA	15
1 б	Знание материаловедения и технологии производства	20
1 с	Основы и принципы других видов НК по II уровню	20
2 а	Основы и принципы данного вида НК	30
2 б	Типичное использование этого вида НК	15
2 с	Интерпретация норм стандартов по данному виду НК	20

9.3.6. *Аттестация и срок ее действия*

В соответствии с нормами EN 473, основываясь на результатах квалификационных экзаменов, НАО непосредственно или через свои уполномоченные органы, имеющие право на аттестацию по I и II уровням квалификации, должен объявить о результатах аттестации и выдать сертификаты и (или) соответствующие удостоверения.

По SNT-TC-IA удостоверения для персонала и квалификационные протоколы должны храниться в деле предпринимателя.

По ПГР на основании результатов квалификационного экзамена НАК НК или его аттестационный центр выдают специалистам квалификационные удостоверения отдельно по каждому методу контроля и уровню квалификации.

Удостоверения по EN 473 и ПГР содержат одни и те же сведения, кроме того, в первом указывается производственный сектор, в котором аттестат действителен, а во втором – перечень контролируемой продукции. Срок действия сертификатов (аттестатов) представлен в табл. 20.

Таблица 20

Срок действия сертификатов, лет

Нормы	Сертификационный уровень	
	I или II	III
SNT-TC-IA	3	5
EN473	5	5
ПГР	3	5

По ПГР квалификационное удостоверение теряет силу в следующих случаях:

- при истечении срока действия;
- перерыве в работе по НК более одного года;
- наличии отрицательного заключения медицинской комиссии;
- изменении места работы специалиста I и II уровней квалификации.

Для последнего случая EN 473, в отличие от норм ПГР, указывает, что аттестация должна признаваться недействительной, если специалист переходит из одного производственного сектора в другой, который не охватывается действием аттестата. Тогда он должен успешно сдать дополнительный экзамен по этому новому производственному сектору. Нормы SNT-TC-IA в отношении срока действия аттестата в основном совпадают с ПГР.

Условия обновления сертификатов по рассматриваемым здесь нормам обобщены в табл. 21.

По нормам EN 473 после окончания первого срока действия и каждые последующие десять лет аттестат может быть продлен независимым аттестационным органом непосредственно или через уполномоченный орган на новый пятилетний период при условии представления специалистом следующих документов:

- о прохождении последней ежегодной проверки зрения;
- о продолжительности или удовлетворительной производственной деятельности без значительного (более 1 года) перерыва в работе по тому методу контроля, по которому он аттестован.

Таблица 21

Условия обновления сертификатов

Нормы	Период действия сертификата, лет	
	3	5
SNT-TC-IA	Е или R	Е или R
EN 473	Е	R
ПГР	Е	R

Примечание. Е – продление срока действия сертификата, т. е. обновление сертификата на основании подтверждения деятельности специалиста в данном виде НК;

R – повторная переаттестация, т. е. обновление сертификата на основании нового экзамена.

По EN 473 после истечения каждого второго срока действия (каждые десять лет) аттестат должен быть возобновлен независимым аттестационным органом непосредственно или через уполномоченный орган на новый пятилетний срок при наличии вышеупомянутых документов с соблюдением следующих требований:

- а) для I и II уровней: специалист должен успешно сдать практический экзамен по упрощенной процедуре. Если специалист получает балл менее 80 %, он должен обратиться с просьбой о новой аттестации;
- б) для III уровня: специалист должен в зависимости от выбора НАО либо успешно сдать письменный экзамен, который содержит 20 вопросов по применению метода контроля в производственном секторе и 5 вопросов на знание EN 473, либо соответствовать требованиям структурной системы курса обучения.

По ПГР продление срока действия аттестата не отличается от норм EN 473, но по истечении двух сроков действия проводится повторная полная аттестация.

По SNT-TC-IA по усмотрению предпринимателя персонал всех уровней должен периодически переаттестовываться при выполнении одного из следующих условий:

- подтверждение постоянной успешной деятельности;
- переэкзаменовка по тем частям экзаменов, по которым считает необходимым специалист по НК уровня III (предприниматель).

Стандарт EN 473 содержит целый ряд усовершенствований для пользователей системы, т. е. для промышленности и лиц, которые должны пройти сертификацию. Вот их неполный перечень:

- для экзаменов на I и II уровни квалификации установлены так называемые факторы важности, благодаря которым практическая часть экзамена входит в общий результат с долей в 50 %, т. е. имеет такое же значение, как и письменные части экзамена. Это дает значительное преимущество дефектоскопистам-практикам;
- в случае переэкзаменовки повторная сдача проводится по тем частям, где не был достигнут положительный результат;
- для специалистов всех уровней действителен пятилетний срок действия сертификата, по истечении которого следует переаттестация;
- повторная полная аттестация проводится спустя 10 лет, для чего необходима новая сдача экзамена, который может быть значительно сокращен по объему. Так, для специалистов I и II уровней достаточно сдать практическую часть экзамена;
- сертификат в значительной степени защищен от подделки, так как он выдается в виде удостоверения с фотографией;
- сфера действия сертификата включает не только метод НК и уровень квалификации, но и сектор промышленности. При смене рабочего места в пределах одного сектора сертификат сохраняет свое действие. Если новое рабочее место находится в другом секторе промышленности вне сферы действия сертификата, необходима повторная сдача только специального и практического экзаменов, но не общего экзамена.

При введении стандарта EN 473 устанавливается переходный период в 5 лет, когда действуют следующие правила:

- 1) если до выхода стандарта персонал уже был сертифицирован независимой инстанцией, то эта сертификация действительна до истечения своего срока (максимально 5 лет); затем может последовать ее обновление;
- 2) если до выхода стандарта персонал был сертифицирован на производстве, то производственная система аттестации должна быть подвергнута аудиту со стороны сертифицирующей инстанции. Ес-

ли отчет по аудиту положителен, то может последовать переаттестация по истечении срока действия существующего сертификата на основе квалификационного экзамена.

Централизованная сертификация согласно EN 473 или ISO 9712 скорее всего завоюет более прочные позиции в мире по сравнению с децентрализованной, но не сможет полностью вытеснить сертификацию на производстве, необходимость которой обусловлена международными контактами и регламентируется такими сборниками документов, как Код AS ME, API-AI или военные стандарты. Некоторые специфические отрасли промышленности с трудом поддаются классификации по существующим секторам промышленности, а другие отрасли, объединенные в супернациональные концерны, при аттестации персонала следуют специальным международным нормам (например, нормативный сборник ISO 11484 регламентирует производственную сертификацию для специалистов по НК трубных заводов).

Вопросы на знание EN 473:2000

1. Базовыми уровнями компетентности специалистов НК являются:
 - а) кандидат на аттестацию, уровень I, уровень II, уровень III;
 - б) ученик, кандидат на аттестацию, уровень I, уровень II, уровень III;
 - в) уровень I, уровень II, уровень III;
 - г) ни одна из вышеперечисленных категорий.

2. Лицо, аттестованное по I уровню, должно уметь:
 - а) выбирать оборудование для контроля;
 - б) калибровать оборудование;
 - в) осуществлять контроль;
 - г) «а» и «б».

3. Лицо, аттестованное по I уровню, не должно уметь:
 - а) настраивать оборудование для контроля;
 - б) осуществлять контроль;
 - в) представлять отчет по результатам контроля;
 - г) нести ответственность за выбор технического оборудования.

4. Что из перечисленного ниже не входит в сферу деятельности специалиста II уровня?
 - а) Выбор технического оборудования.
 - б) Составление отчета по результатам контроля.
 - в) Толкование стандартов.
 - г) Подготовка письменных инструкций по контролю.

5. Лицо, аттестованное по II уровню, получает квалификацию для проведения работ по НК:
- а) в соответствии с письменными инструкциями;
 - б) в соответствии с установленными и утвержденными методиками;
 - в) «а» и «б»;
 - г) ни «а», ни «б».
6. Обязанности специалиста III уровня, требуют знаний:
- а) только в пределах метода, по которому он аттестован;
 - б) только в пределах сектора промышленности и метода, по которому он аттестован;
 - в) «а» и «б»;
 - г) ни «а», ни «б».
7. Кто несет ответственность за процедуру аттестации?
- а) Работодатель.
 - б) Специалист III уровня.
 - в) Независимый аттестационный орган.
 - г) Уполномоченный орган.
8. Независимый аттестационный орган должен всегда утверждать аттестаты:
- а) I уровня;
 - б) II уровня;
 - в) III уровня;
 - г) «а», «б» и «в».
9. Работодатель не должен:
- а) представлять кандидата в независимый аттестационный орган или уполномоченный орган;
 - б) вовлекаться в процедуру аттестации;
 - в) непосредственно вовлекаться в процедуру аттестации;
 - г) подтверждать документально данные об образовании кандидата.
10. Какие факторы следует учитывать при допуске к экзаменам по II уровню:
- а) практический опыт, подготовку;
 - б) практический опыт, подготовку и предшествующую аттестацию;
 - в) образование, практический опыт, подготовку;
 - г) ни одно из вышеуказанных.

11. Если специалист аттестуется непосредственно на II уровень, не проходя аттестацию по I уровню, то его стаж должен составлять:
 - а) сумму времени, требуемого для I и II уровней;
 - б) только время, требуемое для специалиста II уровня;
 - в) не менее 6 месяцев;
 - г) не менее 9 месяцев.

12. Если специалист аттестуется на II уровень по двум методам, то его подготовка должна быть в объеме:
 - а) суммарного количества часов по каждому методу;
 - б) уменьшенного суммарного времени на 25 %;
 - в) уменьшенного суммарного времени на 33 %;
 - г) ни «а», ни «б», ни «в».

13. Если специалист аттестуется по II уровню в двух секторах промышленности по какому-либо методу НК, то его требуемый стаж должен быть в объеме:
 - а) одного сектора промышленности;
 - б) суммарного стажа;
 - в) с уменьшением суммарного стажа на 25 %;
 - г) с уменьшением суммарного стажа на 33 %.

14. Проверка остроты зрения должна проводиться:
 - а) только перед экзаменами;
 - б) ежегодно;
 - в) по требованию работодателя;
 - г) «а» и «б».

15. Какой из перечисленных разделов экзамена на I, II, III уровень должен проводиться в письменной форме:
 - а) общий и специальный;
 - б) общий и практический;
 - в) специальный и практический;
 - г) только общий.

16. Общий экзамен должен включать только вопросы:
 - а) одобренные работодателем и экзаменационным центром;
 - б) одобренные независимым аттестационным органом;
 - в) «а» и «б»;
 - г) ни «а», ни «б».

17. Если специальный экзамен по II уровню сдается в двух секторах промышленности, то количество вопросов:
- а) не изменится;
 - б) увеличится на 5 %;
 - в) увеличится до 30 %;
 - г) «б» и «в».
18. Письменные и практические экзамены на I или II уровень контролируются и оцениваются по меньшей мере:
- а) одним экзаменатором;
 - б) двумя экзаменаторами.
19. Базовый экзамен на III уровень должен проводиться, как минимум, (1), и оцениваться, по меньшей мере (2):
- а) 1 – одним, 2 – двумя экзаменаторами;
 - б) 1 – двумя, 2 – одним экзаменатором;
 - в) 1 – одним, 2 – тремя экзаменаторами;
 - г) 1 – одним, 2 – одним экзаменатором.
20. У аттестованного специалиста II уровня, переходящего из одного производственного сектора в другой:
- а) сохраняется действительным специальный экзамен;
 - б) сохраняется практический экзамен;
 - в) сохраняется общий экзамен;
 - г) «а» и «б».
21. Для того, чтобы пройти аттестацию по I и II уровню, комплексная оценка должна быть не ниже:
- а) 60 %;
 - б) 90 %;
 - в) 80 %;
 - г) 70 %.
22. Кандидат, который не сдал экзамен с баллом по одной части менее 70 % и общим баллом более 80 %, может иметь переэкзаменовку:
- а) по всем частям;
 - б) по двум частям;
 - в) только по несданной части;
 - г) «а» и «б».

23. Выдавая аттестат, независимый аттестационный орган:
- а) удостоверяет квалификацию и дает разрешение на осуществление деятельности;
 - б) дает разрешение на осуществление деятельности;
 - в) «а» и «б»;
 - г) ни «а», ни «б».
24. Срок действия аттестата с даты, указанной в аттестате, составляет:
- а) 3 года;
 - б) 5 лет;
 - в) 4 года;
 - г) до момента, когда аттестация признается недействительной.
25. Какие из утверждений в отношении продления срока действия аттестата правильны:
- а) продление может производиться только методом переэкзаменовки всех частей экзамена;
 - б) продление может производиться только методом переэкзаменовки двух частей экзамена;
 - в) продление может производиться только методом переэкзаменовки одной части экзамена;
 - г) при ежегодной проверке зрения и наличии документа о продолжении им удовлетворительной производственной деятельности без значительного перерыва в работе.
26. При аттестации через 10 лет специалист II уровня должен успешно сдать:
- а) общий экзамен;
 - б) специальный экзамен;
 - в) практический экзамен;
 - г) «а», «б» и «в».
27. В переходный период специалист II уровня, аттестованный органом, независимым от работодателя:
- а) сохраняет свои права на некоторый срок;
 - б) должен быть переаттестован;
 - в) должен продлить свой аттестат;
 - г) «б» и «в».
28. В переходный период специалист II уровня, аттестованный работодателем, должен успешно сдать:
- а) общий экзамен;
 - б) специальный экзамен;
 - в) практический экзамен;
 - г) «а», «б» и «в».

29. Что из нижеприведенного присуще как общему, так и базовому экзамену?
- Они связаны с принципами какого-либо метода.
 - Проводятся в рамках какого-либо сектора промышленности.
 - Требуют знания оборудования.
 - Требуют знания стандартов.
30. Что из нижеперечисленного присуще как специальному, так и практическому экзамену?
- Должны проводиться в письменной форме.
 - Проводятся в рамках каких-либо секторов промышленности.
 - При расчете составного балла имеют один и тот же вес.
 - Сдаются при повторной аттестации.
31. Значительный перерыв в работе специалиста означает отсутствие или изменение области деятельности, в целом превышающих:
- месяц;
 - квартал;
 - полгода;
 - год.
32. Специалист III уровня перешел из одного производственного сектора в другой. Для аттестации по II уровню в новом секторе ему нужно сдать:
- общий экзамен и экзамен по основному методу;
 - экзамен по основному методу;
 - специальный и практический экзамен по основному методу;
 - только специальный по основному методу.
33. При оценке уровня квалификационного экзамена на II уровень кандидат получил 71 % и 73 % соответственно по общему и специальному экзамену. Чтобы пройти аттестацию, балл по практическому экзамену у него должен быть не менее:
- 80 %;
 - 82 %;
 - 88 %;
 - 90 %.
34. Методика оценки результатов практических экзаменов должна быть разработана или утверждена:
- экзаменатором;
 - экзаменационным центром;
 - уполномоченным органом;
 - национальным аттестационным органом.

Приложение 1

ПЕРЕЧЕНЬ РЕАКТИВОВ И МАТЕРИАЛОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ ДЛЯ КАПИЛЛЯРНОГО КОНТРОЛЯ

№ п/п	Материал (реактив)	Нормативный документ
1	Керосин осветительный из сернистых нефтей	ГОСТ 11128–65
2	Бензин Б-70 для промышленно-технических целей. Технические условия	ТУ 38–101913–82
3	Бензин «Нефрас – 0 50/170»	ГОСТ 8505–80
4	Скипидар живичный	ГОСТ 1571–82
5	Ксилол	ГОСТ 9940–76
6	Ацетон	ГОСТ 2603–79
7	Спирт этиловый ректификованный	ГОСТ 5962–67
8	Спирт этиловый ректификованный, технический	ГОСТ 18300–72
9	Спирт этиловый технический	ГОСТ 17299–78
10	Масло трансформаторное	ГОСТ 982–80
11	Каолин, обогащенный для парфюмерной промышленности, сорт I	ГОСТ 21285–75
12	Каолин для фарфоровой промышленности	ГОСТ 19608–84
13	Краситель жирорастворимый темно-красный 5 °С	ТУ 6–14–922–80 по I категории качества
14	Краситель жирорастворимый темно-красный «Ж»	ТУ 6–14–37–80
15	Люминофор «Нориол-А»	ТУ 88 ГССР 01–78
16	Натрия карбонат безводный	ГОСТ 83–79
17	Сода кальцинированная	ГОСТ 10689–75
18	Ткани хлопчатобумажные бязевой группы	ГОСТ 11680–76
19	Марля медицинская	ГОСТ 9412–77
20	Перчатки резиновые хирургические	ГОСТ 3–75

**СПОСОБЫ ПРОВЕРКИ ПРИГОДНОСТИ МАТЕРИАЛОВ
ДЛЯ КАПИЛЛЯРНОГО КОНТРОЛЯ (РД 34.10.125–94.
ИНСТРУКЦИЯ ПО КОНТРОЛЮ СВАРОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ
И МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ДЕФЕКТОСКОПИИ)**

1. Контроль пенетранта

1.1. При контроле пригодности пенетранта осуществляют проверку двух-трех основных показателей на соответствие требованиям технических условий:

- 1) по внешнему виду;
- 2) вязкости;
- 3) плотности;
- 4) температуре кипения или замерзания;
- 5) интенсивности окраски или яркости люминесценций.

1.2. Внешний вид пенетранта определяют путем налива в пробирку или колбу из бесцветного стекла и рассмотрения в проходящем свете на фоне стекла.

При осмотре обращают внимание на цвет жидкости, степень прозрачности, наличие расслаивания, осадка и взвешенных частиц. При попадании влаги в жидкость, что характеризуется помутнением или расслаиванием жидкости, ее использование не допускается. При накоплении в жидкости механических примесей, не влияющих на цвет и яркость, допускается отфильтровать жидкость через четыре-пять слоев марли и повторно проверить.

1.3. Содержание механических примесей в пенетранте определяют в соответствии с ГОСТ 6370.

1.4. Вязкость пенетранта определяют в соответствии с ГОСТ 33.

1.5. Интенсивность окраски красных пенетрантов проверяют визуально, сравнивая их с эталонными на визуальном колориметре, фотоколориметре или спектрофотометре. Для проверки 5–10 мл пенетранта смешивают с бесцветным растворителем или 90–95 мл смеси растворителей. В той же пропорции разбавляют эталонный пенетрант. При визуальном контроле интенсивности окраски пробирку с используемым пенетрантом устанавливают в рамку между двумя пробирками с эталонным пенетрантом. Качество используемого пенетранта считается удовлетворительным, если испытуемый пенетрант не светлее эталонного.

При проверке интенсивности окраски с помощью приборов определяют степень снижения окраски испытуемого пенетранта, сравнивая

ее с эталонной. Проверяемый пенетрант бракуют, если по интенсивности окраски он хуже эталонного на 20 %.

В ряде случаев вместо растворов испытуемого и эталонного пенетранта используют образцы карточек цвета. Такие карточки изготавливают по следующей технологии: из одной пачки беззольных бумажных фильтров отбирают пять-шесть фильтров одинаковой толщины и близкой структуры; стеклянную чашку диаметром на 20–30 мм больше диаметра фильтра заполняют на 2/3 высоты красным пенетрантом, срок хранения которого не истек. Фильтры поочередно опускают в пенетрант на 5 с, извлекают и удаляют избыток пенетранта сухим бумажным фильтром, не допуская высыхания окрашенных фильтров, наносят на них краскораспылителями в течение 1–3 с тонкий равномерный слой проявителя, окрашенные фильтры сушат при комнатной температуре 30–60 мин; осматривают полученные карточки цвета и бракуют дефектные с подтеками, неровным слоем и недостаточным количеством проявителя. Цвет полученных карточек соответствует цвету индикаторного рисунка выявляемых дефектов. При проверке цвета партии пенетранта, поступившего на предприятие, изготавливают пробные карточки цвета в соответствии с изложенной технологией. Их сравнивают визуально с образцовыми в дневном отраженном свете. Эти карточки можно использовать также для более точного сравнения цвета пенетрантов с помощью спектрофотометра. Полученные карточки сохраняют цвет в течение 2–3 лет.

Яркость свечения люминесцентных пенетрантов следует проверять аналогичным способом. При визуальной оценке яркости пенетранта необходимо разбавить легколетучим растворителем, например хлористым метиленом, до получения 10 % раствора. Испытуемый и эталонный растворы пенетрантов необходимо залить в пробирки и сравнить в ультрафиолетовых лучах.

Для люминесцентных пенетрантов, применяемых при люминесцентно-цветном контроле и изменяющих интенсивность или цвет после испарения летучих растворителей, карточки цвета покрывают тонким слоем проявителя.

При измерении яркости люминесценции на приборах пенетранты бракуют, если яркость испытуемого пенетранта на 25 % меньше, чем у эталонного.

2. Контроль проявителя

2.1. При входном контроле качества порошкообразных проявителей предусматривают проверку двух-трех основных показателей на соответствие требованиям технических условий:

- 1) по белизне (или цвету);
- 2) комковатости;
- 3) степени помола (дисперсности);
- 4) загрязнению посторонними веществами или пенетрантом в результате многократного использования.

2.2. Белизну порошкообразного проявителя определяют при помощи фотометра любой конструкции путем сравнения с белизной баритовой пластинки. При снижении белизны на 10 % по сравнению с первоначальной при длительной работе проявитель бракуют.

Допускается определить белизну, сравнивая невооруженным глазом испытуемый проявитель со шкалой эталонных пластинок, расположенных в порядке уменьшения белизны, или с эталонным образцом проявителя.

2.3. Комковатость и степень помола (дисперсность) порошкообразного проявителя проверяют визуально или пропуская пробу порошка или суспензии через сито с сеткой. В случае образования комков порошок прокаливают при температуре 105–150 °С, измельчают и просеивают. Комки растирают, суспензию взбалтывают или размешивают.

2.4. Загрязнение порошкообразного проявителя или суспензии посторонними веществами или пенетрантом проверяют, сравнивая визуально эталонный и рабочий проявители в дневном свете и ультрафиолетовых лучах (для люминесцентного метода). Потемневший, а также загрязненный пенетрантом проявитель (имеющий окраску при дневном свете и люминесцирующий в ультрафиолетовых лучах) бракуют и не восстанавливают.

2.5. Содержание влаги в порошкообразных проявителях определяют по ГОСТ 19609.14 путем прокаливания.

Допускается определять влажность проявителя путем сравнения его внешнего вида (наличие комков, изменение цвета) с эталонным.

3. Контроль проявляющих красок

3.1. При входном контроле проявляющих красок предусматривают проверку следующих их показателей:

- 1) внешнего вида и цвета пленки после высыхания;
- 2) условной вязкости;
- 3) продолжительности высыхания.

3.2. Для определения внешнего вида и цвета пленки краску наносят краскораспылителем на пластинку из листового алюминиевого сплава или стекла до полного ее покрытия. Пластинку рассматривают в дневном отраженном свете, обращая внимание на наличие крупинки, точек и пятен. Для определения цвета пластинку сравнивают с эталоном картотеки цветов. Пластинку для люминесцентного или люминесцентно-

цветного методов рассматривают также в ультрафиолетовых лучах, обращая внимание на наличие посторонних люминесцирующих веществ.

3.3. Условную вязкость проявляющей краски определяют при температуре 18–20 °С с помощью, например, вискозиметров ВЗ-1 или ВЗ-4 по методике, изложенной в ГОСТ 8420. Вискозиметр ВЗ-1 обеспечивает измерение вязкости в пределах 5–150 с, ВЗ-4 – в пределах 12–200 с при температуре помещения.

3.4. Для определения времени высыхания проявляющую краску наносят на стеклянную или металлическую пластинку в один слой и выдерживают при температуре 20–22 °С. Считают, что краска удовлетворяет требованиям, если по истечении установленного времени на пленке не остается следов от прикосновения ватным тампоном.

Приложение 3

ОРИЕНТИРОВОЧНЫЙ РАСХОД ДЕФЕКТОСКОПИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ И ПРИНАДЛЕЖНОСТЕЙ (в расчете на 10 м² контролируемой поверхности)

Индикаторный пенетрант, л	3
Очиститель, л	12
Проявитель, л	5
Бязь, м ²	24
Перчатки, пары:	
резиновые хирургические	3
хлопчатобумажные	2
Кисти и щетки малярные, шт	4
Кисти художественные № 20–24, шт.....	4

Расход дефектоскопических материалов зависит от качества поверхности контролируемого объекта, ее расположения, консистенции материалов, способа их нанесения.

НОРМЫ РАСХОДА ДЕФЕКТОСКОПИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ КОНТРОЛЕ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Способ нанесения жидкости на поверхность изделия	Рабочая жидкость	Расход на 1 м сварного соединения, мл
Аэрозольный	Индикаторный пенетрант	50...70
	Проявитель	25...40
	Очиститель	80...100
Неаэрозольный (нанесение кистью)	Индикаторный пенетрант	60...80
	Проявитель	30...50
	Очиститель	100...150

Примечание: расход рабочих жидкостей при их нанесении на контролируемую поверхность пистолетом-распылителем примерно соответствует расходу при аэрозольном способе нанесения.

**ПРИГОТОВЛЕНИЕ ИНДИКАТОРНЫХ ПЕНЕТРАНТОВ,
ПРОЯВИТЕЛЕЙ, ОЧИСТИТЕЛЕЙ
ДЛЯ ЛЮМИНЕСЦЕНТНОГО МЕТОДА**

Дефектоскопические материалы создают и используют наборами. В набор входят, как правило, такие составы:

Индикаторный пенетрант	$I_1 \dots I_n$	Очиститель	$O_1 \dots O_n$
Проявитель	$P_1 \dots P_n$	Гаситель	$G_1 \dots G_n$

Люминесцентные наборы дефектоскопических материалов имеют следующие обозначения:

$I_{100} \dots I_{199}$ – индикаторные пенетранты;
 $O_{100} \dots O_{199}$ – очистители;
 $P_{100} \dots P_{199}$ – проявители;
 $G_{100} \dots G_{199}$ – гасители.

1. Приготовление индикаторных пенетрантов.

1.1. *Индикаторный пенетрант I_{101}* : нориол-А (150 мл) подогревают на водяной бане при температуре +60 °С, добавляют керосин (850 мл) и перемешивают в течение 30 мин.

1.2. *Индикаторный пенетрант I_{102}* : нориол-А (150 мл) добавляют в бензин (950 мл) и тщательно перемешивают до полного растворения.

1.3. *Индикаторный пенетрант I_{103}* выпускается серийно в готовом виде, в розлив – от 1 л и более; может поставляться комплектно с проявителем P_{101} или P_{104} . Предназначен для нанесения на поверхность кистью или погружением.

Предприятие-изготовитель – ГНЦ РФ НПО ЦНИИТМАШ.

1.4. Люминесцентные аэрозольные комплекты «Сим – ЛЮМ» выпускаются серийно в аэрозольных упаковках комплектно: пенетрант и проявитель по ТУ 24. 11. 042–93. Площадь контроля одним аэрозольным комплектом не менее 3 м².

Предприятие-изготовитель – ГНЦ РФ НПО ЦНИИТМАШ.

2. Приготовление проявителей.

2.1. *Проявитель P_{101}* : в каолин (250 г) добавляют спирт (1000 мл) и перемешивают до однородной массы.

2.2. *Проявитель P_{103}* : в каолин (200 г) добавляют натрия карбонат безводный (кальцинированную соду) в количестве 20 г и спирт (1000 мл), перемешивают до однородной массы.

Продолжение приложения 4

3. Приготовление очистителей.

3.1. *Очиститель M₁₀₁*: порошкообразное синтетическое моющее средство любой марки (5 г) растворяют в воде (1000 мл).

4. Приготовление гасителей.

4.1. *Гаситель Г₁₀₁*: в резорцин, содержание которого по массе 5 %, добавляют ацетон водный (85–95 %), содержание которого по массе 95 %, перемешивают до однородной массы.

5. При проведении капиллярного контроля приведенные наборы дефектоскопических материалов могут быть использованы в аэрозольной упаковке.

6. Индикаторные пенетранты необходимо приготавливать в лаборатории в вытяжном шкафу или в другом специально выделенном для этого помещении, оснащенном необходимым оборудованием, с соблюдением правил техники безопасности.

Приложение 5

**УСЛОВНОЕ ОБОЗНАЧЕНИЕ ОБНАРУЖЕННЫХ
ДЕФЕКТОВ ПРИ ОФОРМЛЕНИИ РЕЗУЛЬТАТОВ
КАПИЛЛЯРНОГО КОНТРОЛЯ**

Обозначение дефектов по ГОСТ 18442–80		Обозначение дефектов по международному стандарту ИСО 6520–1982 (E/F)		Тип (характер) дефекта, его расположение	Схематическое изображение
1	2	3	4	5	
A		E	100 1001	Трещины Микротрещина	
–		E _a	101	Продольные трещины:	
–	–	–«–	1011	в наплавленном металле или в сварном шве	
–	–	–«–	1013	в зоне термического влияния	
–	–	–«–	1014	в основном металле	
A	⊥	E _b	102	Поперечные трещины:	
–	–	–«–	1021	в наплавленном металле или в сварном шве	
–	–	–«–	1023	в зоне термического влияния	
–	–	–«–	1024	в основном металле	

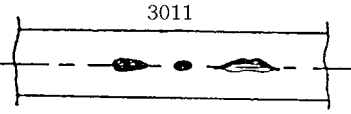
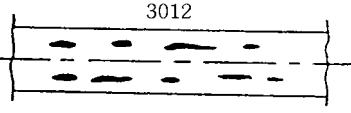
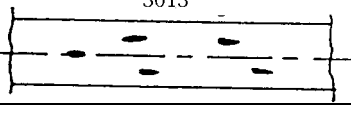
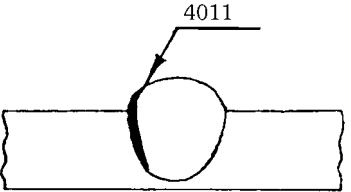
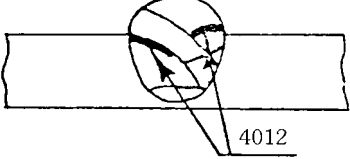
Продолжение приложения 5

А	∠	Е	103	Радиальные трещины:	
—	—	—«—	1031	в наплавленном металле или сварном шве	
—	—	—«—	1033	в зоне термического влияния	
—	—	—«—	1034	в основном металле	
Б	—	Е	105	Групповые трещины:	
—	—	—«—	1051	в наплавленном металле	
—	—	—«—	1053	в зоне термического влияния	
—	—	—«—	1054	в основном металле	
А	—	Е	106	Разветвленные трещины:	
—	—	—«—	1061	в наплавленном металле	
—	—	—«—	1063	в зоне термического влияния	
—	—	—«—	1064	в основном металле	
А	—	А	200 201	Округлые (объемные) несплошности, заполненные газом	
		А _а	2011	Газовые поры	
В	—	—«—	2012	Сплошная пористость во всем направленном материале, сварном шве	

Продолжение приложения 5

Б	—	—«—	2013	Скопление пор	
—	—	—«—	2014	Цепочка пор	
А	—	А _а	2015	Крупная объемная несплошность, вытянутая вдоль шва	
А	—	А _в	2017	Поры на поверхности	
		К	202	Канальная пора (свищ)	
А	⊥	К	2021	Канальная пора в междендритной прослойке, вертикальная к поверхности	
А	—	К	2024	Кратер сварного шва (в конце прохода)	
			300	Твердые включения	
		В _а	301	Шлаковые включения:	

Продолжение приложения 5

Б		В _а	3011	цепочки	
Б		-«-	3012	отдельные (компактные)	
Б		-«-	3013	другие	
		С	302	Включение флюса в наплавленном металле:	
Б	-	-«-	3021	цепочки	
-	-	-«-	3022	компактные	
-	-	-«-	3023	другие	
			303	Оксидные включения	
		Н	304	Металлические включения:	
-	-	-«-	3041	вольфрама	
-	-	-«-	3042	меди	
-	-	-«-	3043	других металлов	
		-	400	Непровары и несплавления	
А	-	-	401	несплавление	
А	-	-	4011	несплавление по кромке разделки	
-	-	-	4012	межваликовое несплавление	

Окончание приложения 5

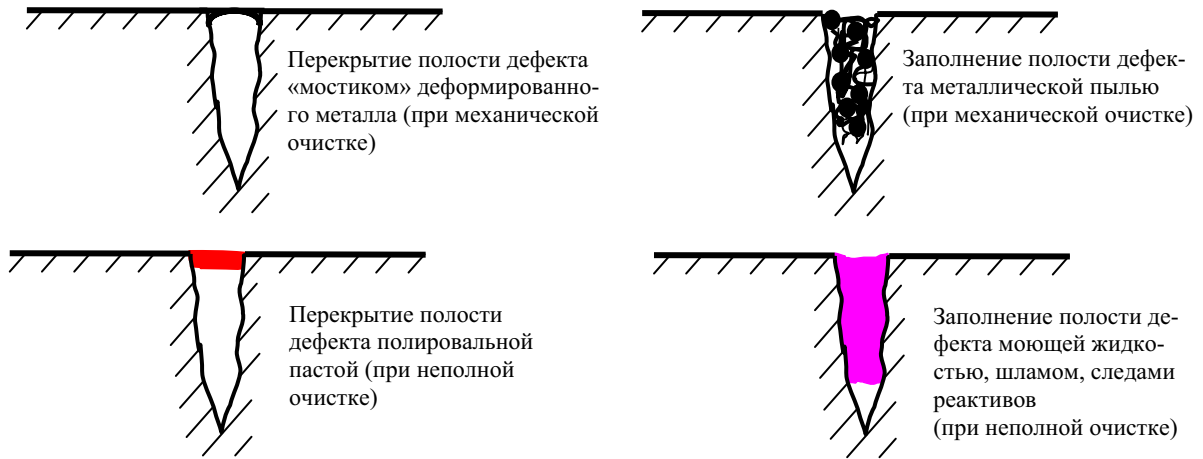
Примечание: дефекты, приведенные в таблице, могут быть выявлены при условии их выхода на контролируемую поверхность; «←» – обозначение дефектов по ГОСТ 18442–80 – не предусмотрено.

Примеры записи условного обозначения обнаруженных дефектов.

В результате проведения капиллярного (цветного) контроля обнаружено:

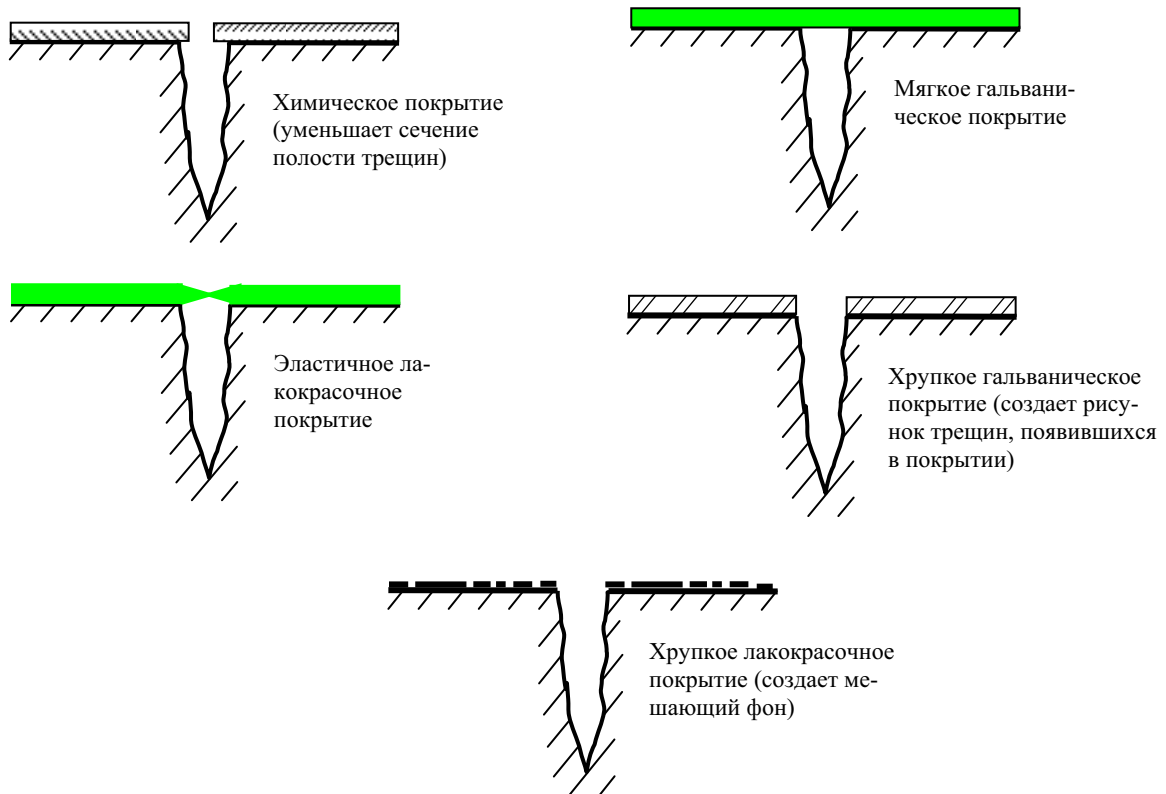
- 1) недопустимая продольная трещина в сварном шве:
 - II● по ГОСТ 18442: А,
 - по ISO 6520 : E_a 1011;
- 2) недопустимая разветвленная трещина в околошовной зоне термического влияния:
 - по ГОСТ 18442: А,
 - по ISO 6520: E 1063;
- 3) пора на поверхности сварного шва:
 - по ГОСТ 18442: А,
 - по ISO 6520: А_в 2017;
- 4) цепочки шлаковых включений, расположенных вдоль сварного шва:
 - по ГОСТ 18442: Б,
 - по ISO 6520 : В_a 3011;
- 5) групповые микротрещины в основном металле:
 - по ГОСТ 18442: Б,
 - по ISO 6520 : E 1054.

ОСНОВНЫЕ ПРИЧИНЫ НЕВЫЯВЛЕНИЯ ДЕФЕКТОВ



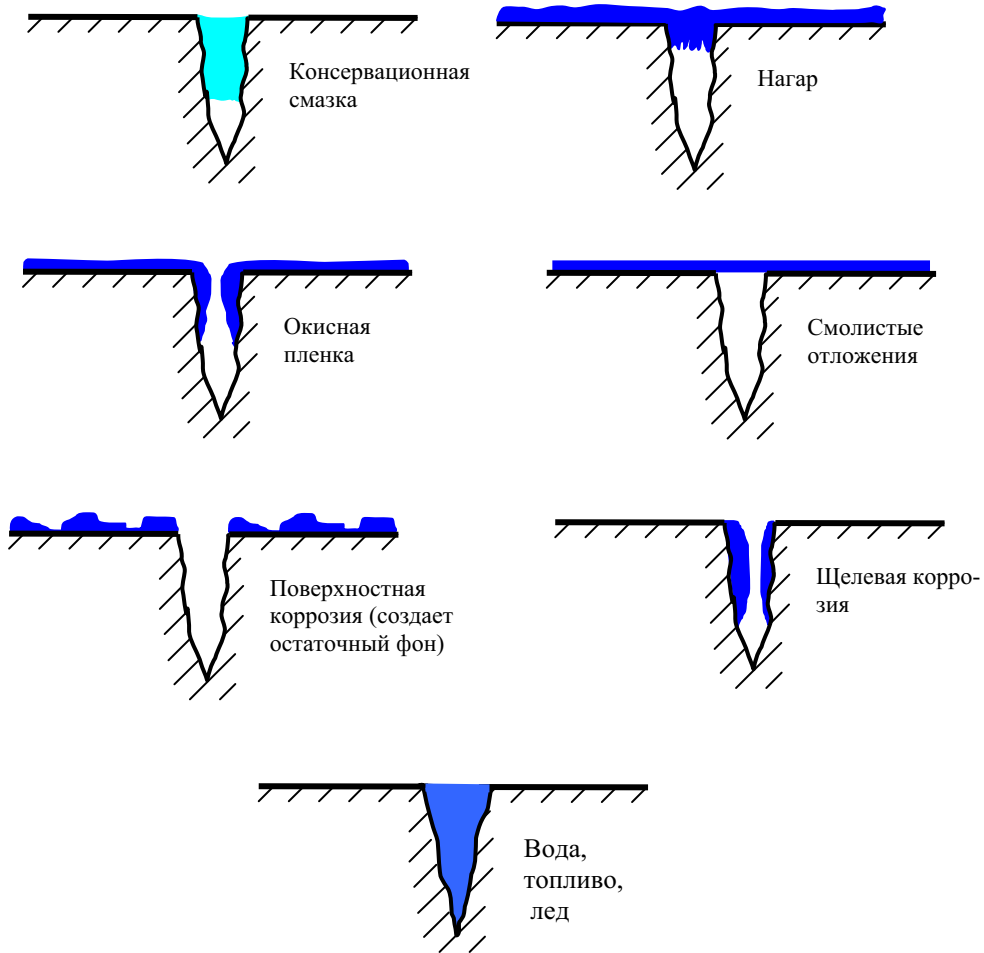
Последствия неправильной подготовки деталей к контролю

Наличие защитных покрытий

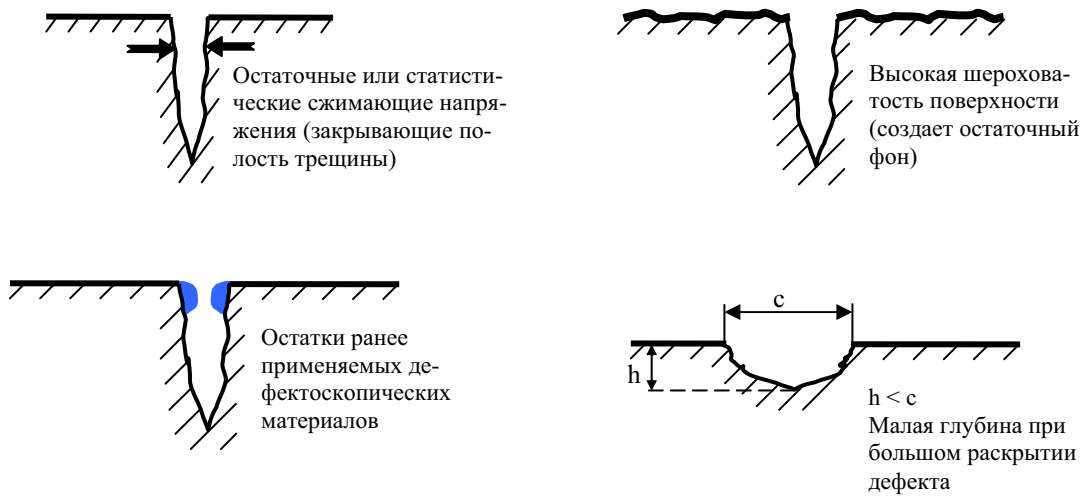


Окончание приложения 6

Наличие эксплуатационных загрязнений

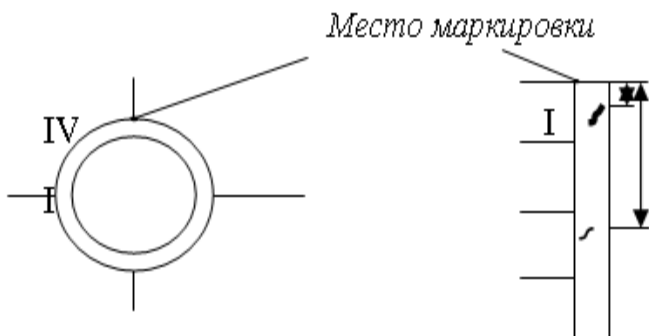


Прочие причины



**ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ КАРТА № 4
КАПИЛЛЯРНОЙ ДЕФЕКТΟΣКОПИИ**

1.	Изделие (наименование, №) <i>Кольцо подшипника № 55</i>
2.	Размеры изделия, $\varnothing 40$ мм, ширина 12 мм марка стали <i>сталь ШХ-15</i>
3.	Наименование нормативно-технических документов по объему контроля и нормам оценки качества <i>ОСТ 26-5-99</i>
4.	Объем и места контроля <i>100 % наружной поверхности</i>
5.	Методика контроля согласно <i>ОСТ 26-5-99</i>
6.	Требуемая чувствительность контроля <i>класс чувствительности по ГОСТ 18442 – II</i>
7.	Подготовка поверхности изделия, $R_z \approx 20$ мкм
8.	Вид и способ контроля <i>цветной</i>
9.	Тип и номер набора <i>magnaflux (U – SKL-LO, M – SKC-S, П – SKD-S2)</i>
10.	Индикатор несплошностей и методика поверки порошка или суспензии <i>контрольный образец № 5 ЦНИИТ МАШ (II класс чувствительности)</i>
11.	Освещенность в люксах <i>комбинированная 2500 лк, общая 750 лк</i>
12.	Зоны контроля (эскиз) <i>Место маркировки</i>



Окончание приложения 7

13. Операции контроля			
№ п/п	Наименование и содержание	Технические требования	Средства контроля
13.1	Подготовительные операции: 1. Очистка (от грязи, масел) 2. Проверка шероховатости 3. Сушка воздухом 4. Контроль дефектоскопических материалов на рабочем (контрольном) образце	п.2.1.5. ОСТ 5.9537 20 мкм 10 мин II класс чувствительности	Бензин TR 200 Измеритель шероховатости ДМ, рабочий (контрольный) образец
13.2	Технология контроля (способы, режимы, положения детали, операции): 1. Нанесение пенетранта 2. Сушка воздухом 3. Удаление избытков пенетранта 4. Нанесение проявителя 5. Осмотр контролируемой поверхности на наличие дефектов	10–15 мин 4–5 раз, не допуская высыхания предыдущего слоя 1 мин до исчезновения розового фона под углом 45°, на расстоянии 350 мм трижды через 3–4 мин через 15–20 мин через 60 мин	U-SKL-LO аэрозольный баллон безворсовая ткань, M-SKC-S II-SKD-S2 лампа ЛБ или лупа 7 ^x
13.3	Оценка результатов Произвести измерение и ориентацию обнаруженных дефектов. Оценка качества детали (изделия)	ОСТ 26–5–99 Цена деления линейки 1 мм. По размерам индикаторных следов или по реальным размерам дефектов	линейка 150 мм, измерительная лупа
13.4	Заключительные операции Разметка дефектов. Выполнить эскиз. В случае необходимости их местоположение, форму и размеры перенести на эскиз. Удаление дефектоскопических материалов (проявителя). Составление отчетных документов	Рабочий журнал Заключение Удаление – в случаях, оговоренных в НТД	маркер, бензин, ацетон, спирт, вода, щетка

Экзаменуемый _____ (Г.П. Кулешова)

Экзаменатор _____ (С.Г. Чанин)

удост. № К 2830

«15» мая 2006 г.

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ
ПО РЕЗУЛЬТАТАМ КАПИЛЛЯРНОГО КОНТРОЛЯ**

Капиллярный контроль цветным методом изделия (наименование, №) кольцо подшипника № 55, сталь ШХ-15 осуществляется дефектоскопическим комплектом Magnaflux в соответствии с требованиями (наименование нормативно-технических документов по объему контроля) ОСТ 26-5-99 и оценкой качества по ОСТ 26-5-99 для II класса чувствительности по ГОСТ 18442 (Эталон № 5)

Результаты контроля

№ по схеме	Контроле-пригодность	Описание обнаруженных дефектов	Соответствие требованиям	Примечание
<i>I</i>	<i>да</i>	<i>< A 10 мм</i>	<i>нет</i>	<i>Схема расположения дефектов приведена на эскизе в приложении</i>
<i>II</i>	<i>да</i>	<i>не обнаружено</i>	<i>да</i>	
<i>III</i>	<i>да</i>	<i>< A 10 мм</i>	<i>нет</i>	
<i>IV</i>	<i>да</i>	<i>не обнаружено</i>	<i>да</i>	

Контроль произвёл:

Экзаменуемый _____ (Г.П. Кулешова)

Оценка: сдан

Экзаменатор _____ (Г.С. Чанин)

удост. № К 2830

«15» мая 2006 г.

Приложение 9

**ПЕРЕЧЕНЬ НТД ПО КОНТРОЛЮ
ПРОНИКАЮЩИМИ ВЕЩЕСТВАМИ (КАПИЛЛЯРНЫЙ МЕТОД)**

№ п/п	Наименование НД	Обозначение	Издательство или разработчик	Место и год издания
1	Контроль неразрушающий. Капиллярные методы. Общие требования	ГОСТ 18442–80	Минприборстрой СССР. Утв. Госстандартом СССР. Постановление № 2135 от 15.05.80 г.	М., Изд-во стандартов, 1980 г.
2	Контроль неразрушающий. Дефектоскопы капиллярные. Общие технологические требования	ГОСТ 23349–84	Минприборстрой СССР. Утв. Госстандартом СССР	М., Изд-во стандартов, 1984 г.
3	Контроль неразрушающий. Капиллярные методы. Термины и определения	ГОСТ 24522–80	Минприборстрой СССР. Утв. Госстандартом СССР	М., Изд-во стандартов, 1980 г.
4	Контроль неразрушающий. УФ-облучатели. Общие технологические требования	ГОСТ 28369–89	Минприборстрой СССР. Утв. Госстандартом СССР	М., Изд-во стандартов, 1989 г.
5	Контроль неразрушающий. Классификация видов и методов	ГОСТ 18353–79	Госстандарт СССР	М., Изд-во стандартов, 1987 г.
6	Контроль неразрушающий. Соединения сварные. Метод капиллярный	ОСТ 95–955–82	Утв. Госстандартом СССР. Приказ № 879 от 18.07.83 г.	М., Изд-во стандартов, 1983 г.

Продолжение приложения 9

7	Контроль неразрушающий. Люминесцентный, цветной и люминесцентно-цветной методы. Основные положения	ОСТ 108.004.101 –80	Мин. энергетического машиностроения. Приказ № 1К-002/722 от 4.02.80 г.	М., Изд-во стандартов, 1983 г.
8	Дефектоскопия капиллярная. Методы контроля	ОСТ 92–4272–75		
9	Дефектоскопия капиллярная. Средства и методы контроля качества поверхности	ОСТ 5.9537–72		М., 1973 г.
10	Технологическая инструкция по капиллярному методу контроля сварных соединений, наплавов и основного металла при изготовлении, монтаже, эксплуатации и ремонте оборудования и трубопроводов тепловых электростанций, подконтрольных Госгортехнадзору России	ИЦК. 28.03–93	НПО «ЦНИИТ-МАШ»	М., Изд-во стандартов, 1983 г.

Продолжение приложения 9

11	Унифицированная методика контроля основных материалов (полуфабрикатов), сварные соединения и наплавки оборудования и трубопроводов АЭУ. Капиллярный контроль	ПНАЭ Г–7–018–89	Госатомэнергонадзор СССР	М., ЦНИИ 1990 г.
12	Требования к лабораториям неразрушающего контроля и диагностики	РД РО-СЭК–005–96		М., Изд-во МСХК, 1997 г.
13	Правила аттестации персонала в области неразрушающего контроля	ПБ 03–440–02	Госгортехнадзор России	М., 2002 г.
14	Машины грузоподъемные. Контроль капиллярный. Основные положения.	РД РО-СЭК–004–97	Российская экспертная компания по объектам повышенной опасности	М., Машиностроение, 1998 г.
15	Контроль неразрушающий. Цветной метод контроля сварных соединений, наплавленного и основного металла	ОСТ 26–5–99	Волгоградский научно-исследовательский и проектный институт технологии химического и нефтяного машиностроения (ОАО «ВНИИНТ-химнефтеаппаратуры»)	2000 г.

Продолжение приложения 9

16	Методические указания по капиллярному контролю сварных соединений, наплавки и основного металла при изготовлении, эксплуатации и ремонте объектов энергетического оборудования	РД 153–34.1–17.461–00	РАО «ЕЭС РОССИИ»	М., 2000 г.
16	Сварка, термообработка и контроль трубных систем котлов и трубопроводов при монтаже и ремонте энергетического оборудования	РД 153–34.1–003–01 (РТМ–1с)	ПИО ОБТ	М., 2001 г.
17	Сосуды и аппараты стальные сварные высокого давления. Контроль неразрушающий при изготовлении и эксплуатации	ГОСТ Р 50599–93	Госстандарт России	М., 1993 г.
18	Правила устройства и безопасной эксплуатации трубопроводов пара и горячей воды	ПБ 10–573–03	Госгортехнадзор России	М., ГУП «НТЦ по безопасности в промышленности Госгортехнадзора России», 2003 г.

Продолжение приложения 9

19	Типовая инструкция по контролю металла и продлению срока службы основных элементов котлов, турбин и трубопроводов тепловых электростанций	РД 10-577-03	Госгортехнадзор России	М., ГУП «НТЦ по безопасности в промышленности Госгортехнадзора России», 2003 г.
20	Инструкция по продлению срока службы сосудов, работающих под давлением	СО 153- 34.17.439- 2003	РАО «ЕЭС РОССИИ»	2003 г.
21	Методика капиллярного (цветного) контроля цапф, ковшей, крюков и крюковых подвесок кранов, транспортирующих расплавленный металл	МТ-РТС- ГП-03-95		Красноярск, 1996 г.
22	Правила устройства вертикальных цилиндрических стальных резервуаров для нефти и нефтепродуктов	ПБ 03-605-03	Госгортехнадзор России	М., 2003 г.
23	Положение о порядке проведения технического освидетельствования и продления срока службы технологического оборудования НПС МН	РД 153- 39.4-124- 02		М., 2002 г.

Продолжение приложения 9

24	Резервуары вертикальные цилиндрические стальные для нефти и нефтепродуктов. Правила технического диагностирования, ремонта и реконструкции	СТО 0030–2004	ЗАО «ЦНИ-ИПСК им. Мельникова», ОАО «ВНИИ-Монтажспецстрой», ЗАО «Трест Коксохиммонтаж»	2004 г.
25	Инструкция по проведению диагностирования технического состояния сосудов, трубопроводов и компрессоров промышленных аммиачных холодильных установок	РД 09–244–98		
26	Инструкция по обследованию шаровых резервуаров и газгольдеров для хранения сжиженных газов под давлением	РД 03–380–00		
27	Правила устройства и безопасной эксплуатации технологических трубопроводов	ПБ 03–585–03	Госгортехнадзор России	М., ГУП «НТЦ по безопасности в промышленности Госгортехнадзора России», 2003 г.

Окончание приложения 9

28	Правила устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением	ПБ 03-576-03	Госгортехнадзор России	М., ГУП «НТЦ по безопас- ности в про- мышленно- сти Госгортех- надзора Рос- сии», 2003 г.
29	Методические указания по проведению экспертизы промышленной безопасности очистных механизированных комплексов	РД 05-620-03		
30	Методические указания по проведению экспертных обследований вентиляторных установок главного проветривания	РД 03-427-01		
31	Инструкция по дефектоскопии деталей шахтных подъемных машин НК ШПМ 516-1-82И. Часть 3		Облполиграфиз- дат, Днепропет- ровск	1983 г.

**НОРМЫ ПОВЕРХНОСТНЫХ ДЕФЕКТОВ
ДЛЯ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ И ОСНОВНОГО МЕТАЛЛА
(ОСТ 26–5–99)**

Вид дефекта	Класс дефектности	Толщина материала, мм	Максимально допустимый линейный размер индикаторного следа дефекта, мм	Максимально допустимое количество дефектов на стандартном участке поверхности
Трещины всех видов и направлений	1–4	Независимо	Не допускаются	–
Отдельные поры и включения, выявившиеся в виде пятен округлой или удлиненной формы	1	Независимо	Не допускаются	–
	2	До 30	0,2 S, но не более 3	3
		Св. 30	не более 3	5
	3	До 30	0,2 S, но не более 3 или не более 5	5 3
		Св. 30	не более 3 не более 5	8 5
	4	До 30	0,2 S, но не более 3 или не более 5	8 5
		Св. 30	не более 3 или не более 5 или не более 9	10 6 3

Примечания:

1. В антикоррозионной наплавке 1–3 классов дефектности дефекты всех видов не допускаются; для 4 класса – допускаются одиночные разрозненные поры и шлаковые включения размером до 1 мм не более 4 на стандартном участке 100x100 мм, не более 8 – на участке 200x200 мм.

2. Стандартный участок, при толщине металла (сплава) до 30 мм, – участок сварного шва длиной 100 мм или площадь основного металла 100x100 мм, при толщине металла свыше 30 мм – участок сварного шва длиной 300 мм или площадь основного металла 300x300 мм.

Окончание приложения 10

3. При разной толщине свариваемых элементов определение размеров стандартного участка и оценку качества поверхности следует производить по элементу наименьшей толщины.

4. Индикаторные следы дефектов подразделяются на две группы – протяженные и округлые: протяженный индикаторный след характеризуется отношением длины к ширине больше 2, округлый – отношением длины к ширине, равным или меньше 2.

5 Дефекты следует определять как отдельные при отношении расстояния между ними к максимальной величине их индикаторного следа больше 2, при этом отношении, равном или меньше 2, дефект следует определять как один.

Приложение 11

**НОРМЫ НА ПОВЕРХНОСТНЫЕ ДЕФЕКТЫ
СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ГПМ (РД РОСЭК–004–97)**

Дефекты	Типы подъемных сооружений				
	ГПМ номенклатуры ВНИИстройдормаш и СКТБ БК (нормы и категории соответствуют РД 22–207–88)		Лифты (нормы и группы соответствуют РД 22–19–173–89)		Оборудова- ние подъем- нотранспорт- ное номенклату- ры ВНИИП- Тмаш (нормы соответству- ют ОСТ 24.090.63–87)
	I	II	I	II	
Трещины всех видов и направлений, несплавления по кромкам, свищи, неза- варенные кратеры, на- плывы, под- теки, пере- рывы в швах, поры в виде сплошной сети	Не допус- каются	Не допус- каются	Не до- пускают- ся	Не допус- каются	Не допус- каются

Окончание приложения 11

<p>Поверхностные поры, раковины, объемные включения</p>	<p>Диаметром не более 1 мм для толщин до 25 мм и 1,5 мм для толщин более 25 мм в количестве не более 2 шт. на длине 100 мм и расстоянии между ними не менее 40 мм</p>	<p>Диаметром не более 1,5 мм для толщин до 25 мм и 2,5 мм для толщин более 25 мм в количестве не более 3 шт. на длине 100 мм и расстоянии между ними не менее 30 мм</p>	<p>Диаметром не более 2 мм в количестве не более 2 шт. на длине 100 мм</p>	<p>Диаметром не более 3 мм в количестве не более 3 шт. на длине 100 мм</p>	<p>Диаметром не более 1 мм для толщин до 8 мм включительно и 1,5 мм для толщин более 8 мм до 30 мм включительно в количестве не более 4 шт. на длине 100 мм</p>
<p>Скопления пор на площади 1 см² шва</p>	<p>Не нормируется</p>	<p>Не нормируется</p>	<p>Не нормируется</p>	<p>Не нормируется</p>	<p>Не более 5 шт. (максимальный диаметр не более 1,0 мм)</p>

**ОБЪЕМ КОНТРОЛЯ И НОРМЫ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА
СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ КОТЛОВ ПАРОВЫХ
И ВОДОГРЕЙНЫХ, ТРУБОПРОВОДОВ ПАРА
И ГОРЯЧЕЙ ВОДЫ В ПРОЦЕССЕ ИХ ИЗГОТОВЛЕНИЯ
(РД 2730.940.103–92)**

1. Сплошному капиллярному контролю подлежат угловые сварные соединения деталей из хромоникелевых сталей аустенитного класса при номинальной толщине приваренных деталей свыше 25 мм, а также выполненные дуговой и электронно-лучевой сваркой любые несущие нагрузку от давления рабочей среды сварные соединения деталей из сталей различных структурных классов (аустенитного и перлитного) при номинальной толщине хотя бы одной из сваренных деталей свыше 6 мм.

В остальных случаях необходимость и объем капиллярного контроля сварных соединений устанавливаются конструкторской документацией на изделие и(или) ПКД.

2. Качество сварных соединений при капиллярном контроле допускается оценивать как по индикаторным следам, так и по фактическим показателям выявленных несплошностей после удаления проявителя с контролируемой поверхности в зоне зафиксированных индикаторных следов.

3. При контроле по индикаторным следам качество сварного соединения считается удовлетворительным при одновременном соблюдении следующих условий:

- все зафиксированные индикаторные следы являются одиночными и округлыми (неодиночные и удлиненные индикаторные следы не допускаются);
- максимальный размер каждого одиночного округлого индикаторного следа не превышает трехкратных значений соответствующих норм, приведенных в таблице п. 12.1 для одиночных поверхностных включений;
- количество одиночных округлых индикаторных следов не превышает норм, приведенных в таблице п. 12.1 для одиночных поверхностных включений.

Примечание. Округлые индикаторные следы с максимальным размером до 0,6 мм включительно допускается не учитывать вне зависимости от размерного показателя контролируемого сварного соединения.

НОРМЫ ДОПУСТИМОСТИ
ОДИНОЧНЫХ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВКЛЮЧЕНИЙ

Размерный показатель сварного соединения, мм	Допустимый максимальный размер одиночного поверхностного включения, мм	Максимально допустимое количество одиночных поверхностных включений на любых 100 мм протяженности сварного соединения, мм
От 2 до 3	0,4	3
От 3 до 4	0,5	4
От 4 до 5	0,6	4
От 5 до 6	0,8	4
От 6 до 8	1,0	5
От 8 до 10	1,2	5
От 10 до 15	1,5	5
От 15 до 20	2,0	6
От 20 до 40	2,0	6
От 40 до 100	2,5	7
Св. 100	2,5	8

Примечания.

- В графе «допустимый максимальный размер одиночного поверхностного включения» указываются фактические показатели выявленных несплошностей.
- Включения с максимальным размером до 0,2 мм включительно допускается не учитывать (вне зависимости от размерного показателя сварного соединения) как при подсчете количества одиночных включений, так и при рассмотрении расстояний между включениями.
- Любую совокупность включений, которая может быть вписана в квадрат с размером стороны, не превышающим значения допустимого максимального размера одиночного включения, можно рассматривать как одно сплошное включение.

4. Несплошности, не удовлетворяющие требованиям п. 3 при контроле по индикаторным следам, допускается подвергать контролю по фактическим показателям, результаты которого являются окончательными.

Окончание приложения 12

5. Не допускаются следующие несплошности:

- трещины;
- непровары;
- скопления и неодионочные включения.

6. Максимальные размеры и количество выявленных одиночных поверхностных включений не должны превышать норм, приведенных в табл. 12.1.

7. При оценке результатов контроля по фактическим показателям выявленных несплошностей следует руководствоваться требованиями п. 5 и п. 6 (в части одиночных поверхностных включений).

**ОБЪЕМ КОНТРОЛЯ И НОРМЫ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА
СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ТРУБНЫХ СИСТЕМ КОТЛОВ
И ТРУБОПРОВОДОВ ПРИ МОНТАЖЕ И РЕМОНТЕ
ОБОРУДОВАНИЯ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ
РД 153–34.1–003–01 (РТМ-1С)**

1. Требования к методам, объемам и объектам предварительного контроля (включая входной контроль), операционного контроля и приемочного контроля сварных соединений изложены в РД 153–34.1–003–01 (РТМ-1С).

2. Капиллярный контроль при ремонте сварных соединений трубопроводов и труб поверхностей нагрева котлов проводится согласно разделу 18.8, РТМ-1С; а также для уточнения результатов визуального и других методов контроля на всех стадиях, указанных в п. 1.

3. Перед визуальным контролем сварные швы и прилегающая к ним поверхность основного металла шириной не менее 20 мм (по обе стороны шва) должны быть очищены от шлака, брызг расплавленного металла, окалины и других загрязнений.

4. Нормы оценки качества сварных соединений по одиночным округлым дефектам и их количеству указаны в таблице. Эти нормы относятся к капиллярному методу контроля.

5. При контроле сварного соединения по индикаторным следам наличие удлиненных и неодинокных индикаторных следов является браковочным признаком. Число одиночных округлых индикаторных следов не должно превышать норм, установленных в таблице для одиночных включений, а наибольший размер каждого индикаторного следа не должен превышать трехкратных значений этих норм.

НОРМЫ ДОПУСТИМЫХ ПОВЕРХНОСТНЫХ ДЕФЕКТОВ,
ВЫЯВЛЯЕМЫХ ПРИ ВИЗУАЛЬНОМ КОНТРОЛЕ
СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Дефект	Размерный по казатель сварного соединения, (РП)*, мм	Допустимый фактический максимальный размер дефекта, мм	Допустимое число дефектов на любых 100 мм шва
Одиночные включения	От 2 до 3 вкл.	0,5	3
	От 3 до 4 вкл.	0,6	4
	От 4 до 5 вкл.	0,7	4
	От 5 до 6 вкл.	0,8	4
	От 6 до 8 вкл.	1,0	5
	От 8 до 10 вкл.	1,2	5
	От 10 до 15 вкл.	1,5	5
	От 15 до 20 вкл.	2,0	6
	От 20 до 40 вкл.	2,5	7
	Св. 40	2,5	8

* За размерный показатель (РП) принимается:

- номинальная толщина сваренных деталей – для стыковых сварных соединений деталей одинаковой толщины (при предварительной обработке концов деталей путем расточки, раздачи, калибровки или обжатия – номинальная толщина сваренных деталей в зоне обработки);
- номинальная толщина более тонкой детали – для стыковых сварных соединений деталей различной номинальной толщины (при предварительной обработке конца более тонкой детали – номинальная толщина в зоне обработки);
- расчетная высота углового шва – для угловых, товарных и нахлесточных сварных соединений (для угловых и товарных сварных соединений с полным проплавлением за размерный показатель допускается принимать номинальную толщину более тонкой детали). Расчетная высота углового шва определяется по ГОСТ 2601. При сварке деталей под прямым углом без разделки кромок шва с одинаковыми катетами за расчетную высоту углового шва можно принять $0,8K$, где K – катет шва.

Окончание приложения 13

6. Недопустимыми несплошностями являются:

- трещины всех видов и направлений;
- непровары (несплавления) между основным металлом и швом, а также между валиками шва;
- незавершенные кратеры;
- свищи;
- прожоги;
- скопления включений.

7. Выявленные при контроле по п. 5 дефекты допускается оценивать по фактическим показателям размеров после удаления проявителя. При этом следует руководствоваться требованиями п. 6 и таблицы. Результаты этой оценки должны считаться окончательными.

**ОБЪЕМ КОНТРОЛЯ И НОРМЫ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА
СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ СТАЦИОНАРНЫХ ПАРОВЫХ,
ГАЗОВЫХ И ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ТУРБИН В ПРОЦЕССЕ
МОНТАЖА, РЕМОНТА И ЭКСПЛУАТАЦИИ (РД.24.020.11–93)**

1. Сплошному капиллярному контролю сварных соединений I и 2 классов подлежат сварные соединения из аустенитных сталей при толщине деталей свыше 25 мм, а также сварные соединения сталей разного структурного класса (аустенитной и перлитной).

2. Допускается замена магнитопорошкового контроля на капиллярный, в случаях, если сплошному контролю подлежат сварные соединения деталей из теплоустойчивых хромомолибденовых и хромомолибденованадиевых сталей, а также из высокохромистых мартенситных сталей. В остальных случаях необходимость и объем контроля сварных соединений устанавливается конструкторской документацией (КД).

3. При контроле сварного соединения индикаторные следы с максимальным размером менее 1,5 мм допускается не учитывать вне зависимости от размерного показателя контролируемого сварочного соединения.

Удлиненные индикаторные следы не допускаются.

Наибольший размер округлого индикаторного следа не должен превышать 4,8 мм вне зависимости от размерного показателя сварного соединения.

Четыре и более округлых индикаторных следов, расположенных в линию и отделенных друг от друга на расстоянии не более 1,6 мм, не допускаются.

**ОБЪЕМ КОНТРОЛЯ И НОРМЫ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА
СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПАРОВЫХ И ВОДОГРЕЙНЫХ
КОТЛОВ, ТРУБОПРОВОДОВ ПАРА И ГОРЯЧЕЙ ВОДЫ
В ПЕРИОД ЭКСПЛУАТАЦИИ (ПБ 10–573–03, ПБ 10–574–03)**

1.1. Настоящие нормы оценки качества сварных соединений устанавливают основные требования к оценке качества сварных соединений, работающих под давлением и выполненных дуговой, электрошлаковой, электронно-лучевой и газовой сваркой, при визуальном, измерительном, капиллярном, магнитопорошковом, радиографическом и ультразвуковом контроле, а также при механических испытаниях и при металлографическом исследовании.

Конкретные нормы оценки качества сварных соединений должны быть разработаны на основе требований и указаний настоящих норм и приведены в НД по контролю сварных соединений, согласованной с Госгортехнадзором России.

Для сварных соединений, выполненных другими способами сварки, и сварных соединений, не работающих под давлением, а также для контроля сварных соединений не указанными выше методами нормы оценки качества устанавливаются НД, согласованной с Госгортехнадзором России.

1.2. Используемые в настоящем приложении термины и определения приведены в разделе 9 настоящего приложения.

1.3. Нормы оценки качества принимают по следующим размерным показателям (РП):

по номинальной толщине сваренных деталей – для стыковых сварных соединений деталей одинаковой толщины (при предварительной обработке концов деталей путем расточки, раздачи, калибровки или обжатия – по номинальной толщине сваренных деталей в зоне обработки);

по номинальной толщине более тонкой детали – для стыковых сварных соединений деталей различной номинальной толщины (при предварительной обработке конца более тонкой детали – по ее номинальной толщине в зоне обработки);

по расчетной высоте углового шва – для угловых, тавровых и нахлесточных сварных соединений (для угловых и тавровых сварных соединений с полным проплавлением за размерный показатель допускается принимать номинальную толщину более тонкой детали);

Продолжение приложения 15

по удвоенной номинальной толщине более тонкой детали (из двух сваренных) – для торцевых сварных соединений (кроме соединений вварки труб в трубные доски);

по номинальной толщине стенки труб – для сварных соединений вварки труб в трубные доски.

При радиографическом контроле сварных соединений через две стенки нормы оценки качества следует принимать по тому же размерному показателю, что и при контроле через одну стенку.

1.4. Протяженность (длина, периметр) сварных соединений определяется по наружной поверхности сваренных деталей у краев шва (для соединений штуцеров, а также угловых и тавровых соединений – по наружной поверхности привариваемой детали у края углового шва).

1.5. Число и суммарная приведенная площадь одиночных включений и скоплений, выявленных применяемыми методами неразрушающего контроля, не должны превышать значений, указанных в настоящих нормах, на любом участке сварного соединения длиной 100 мм.

Для сварных соединений протяженностью менее 100 мм нормы по числу и суммарной приведенной площади одиночных включений и скоплений уменьшают пропорционально уменьшению протяженности контролируемого соединения. Если при этом получается дробная величина, то она округляется до ближайшего целого числа.

При контроле сварных соединений не допускаются:

- трещины всех видов и направлений;
- непровары (несплавления) между основным металлом и швом, а также между валиками шва;
- непровары в корне шва (кроме случаев, оговоренных в НД);
- наплывы (натеки) и брызги металла;
- незаваренные кратеры;
- свищи;
- прожоги;
- скопления;
- подрезы (кроме случаев, оговоренных в НД);
- отклонения размеров шва сверх установленных норм.

Нормы допустимых дефектов, выявленных при контроле, приведены в таблице.

Нормы поверхностных дефектов в сварных соединениях

Дефект	Допустимый максимальный размер, мм	Число дефектов
Выпуклость стыкового шва с наружной стороны	Устанавливается НД или конструкторской документацией в зависимости от вида сварки и типа соединения	
Западания (углубления) между валиками и чешуйчатость поверхности шва	$0,12РП^* + 0,6$, но не более 2	
Одиночные включения	$0,12РП + 0,2$, но не более 2,5	При РП от 2 до 10—0,2 РП + 3 При РП свыше 10 до 20—0,1 РП + 4 При РП свыше 20—0,05 РП + 5, но не более 8
Выпуклость корня шва при односторонней сварке труб без подкладных колец	1,5 при D до 25 включительно 2,0 при D свыше 25 до 150 включительно 2,5 при D свыше 150	
Вогнутость корня шва при односторонней сварке труб без подкладных колец	$0,12РП + 0,4$, но не более 1,6 (1,5 для ПБ 10–574–03)	

РП* – размерный показатель, указанный в п. 1.3 ПБ 10–573–03.

При контроле сварного соединения по индикаторным следам не допускаются удлиненные и неодионочные индикаторные следы. Количество одионочных округлых индикаторных следов не должно превышать норм, установленных в таблице, а наибольший размер каждого индикаторного следа не должен превышать трехкратных значений этих норм.

Выявленные при контроле дефекты допускается оценивать по их фактическим показателям после удаления проявителя. Результаты этой оценки являются окончательными.

Приложение 16

**ОБЪЕМ КОНТРОЛЯ И НОРМЫ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА
СОСУДОВ, РАБОТАЮЩИХ ПОД ДАВЛЕНИЕМ
В ПЕРИОД ЭКСПЛУАТАЦИИ (ПБ 03–576–03)**

1. Для установления методов и объемов контроля сварных соединений необходимо определить группу сосуда в зависимости от расчетного давления, температуры стенки и характера среды:

Группа сосудов	Расчетное давление, Мпа(кгс/см ²)	Температура стенки, °С	Рабочая среда
1	Свыше 0,07 (0,7)	Независимо	Взрывоопасная или пожароопасная, или 1-го, 2-го классов опасности по ГОСТ 12.1.007
2	До 2,5 (25)	Ниже минус 70, выше плюс 400	Любая, за исключением указанной для 1-й группы сосудов
	Свыше 2,5(25) до 4 (40)	Ниже минус 70, выше плюс 200	
	Свыше 4 (40) до 5 (50)	Ниже минус 40, выше плюс 200	
	Свыше 5 (50)	Независимо	
	До 1,6 (16)	От минус 70 до минус 20. От плюс 200 до плюс 400	
3	Свыше 1,6 (16) до 2,5 (25)	От минус 70 до плюс 400	
	Свыше 2,5 (25) до 4 (40)	От минус 70 до плюс 200	
	Свыше 4 (40) до 5 (50)	От минус 40 до плюс 200	
4	До 1,6 (16)	От минус 20 до плюс 200	

Окончание приложения 16

В тех случаях, когда в таблице отсутствуют указанные сочетания параметров по давлению и температуре, для определения группы следует руководствоваться максимальным параметром.

Температура стенки определяется на основании теплотехнического расчета или результатов измерений, а при отсутствии этих данных принимается равной температуре среды, соприкасающейся со стенкой сосуда.

2. Объем контроля должен быть не менее предусмотренного ПБ 03–576–03.

В сварных соединениях сосудов и их элементов не допускаются следующие дефекты:

- трещины всех видов и направлений, расположенные в металле шва, по линии сплавления и в околошовной зоне основного металла, в том числе микротрещины, выявляемые при микроисследовании контрольного образца;
- непровары (несплавления) в сварных швах, расположенные в корне шва или по сечению сварного соединения (между отдельными валиками и слоями шва и между основным металлом и металлом шва);
- возможность допущения местных непроваров в сварных соединениях сосудов оговаривается в НД, согласованной в установленном порядке;
- подрезы основного металла, поры, шлаковые и другие включения, размеры которых превышают допустимые значения, указанные в НД;
- наплывы (натёки);
- незаваренные кратеры и прожоги;
- свищи;
- смещение кромок свыше норм, предусмотренных правилами.

Качество сварных соединений считается неудовлетворительным, если в них при любом виде контроля будут обнаружены внутренние или наружные дефекты, выходящие за пределы норм, установленных Правилами и техническими условиями.

Оценку качества проводить по индикаторным следам. Выявленные при контроле дефекты допускается оценивать по их фактическим показателям после удаления проявителя. Результаты этой оценки являются окончательными.

**ОБЪЕМ КОНТРОЛЯ И НОРМ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА
ПОВЕРХНОСТИ ЛИТЫХ КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЕЙ ПАРОВЫХ
ТУРБИН ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ (ИНСТРУКЦИЯ 108.27.00.01–87)**

1. Контролю в объеме 100 % подлежат радиусные переходы на наружной поверхности корпусных деталей высокого и среднего давления по периметру радиусных переходов у приливов на внутренней поверхности цилиндров.

Примечание. Ширина контролируемой полосы радиусных переходов должна быть не менее размера радиусного перехода. Контролируемая полоса должна включать центральную зону радиусного перехода и участки, находящиеся по обе стороны от него.

2. Контроль качества заварки дефектов должен проводиться по всей площади заваренного участка и прилегающей к ней зоны шириной не менее 50 мм.

3. Допускаются без исправления:

3.1. Линейные дефекты со следующими размерами:

- для стенки толщиной до 20 мм включительно – не более 1 мм + 0, IS (где S – толщина стенки детали в месте их расположения, мм);
- для стенки толщиной до 60 мм включительно – не более 4 мм;
- для стенки толщиной 60 мм – не более 5 мм.

3.2. Округлые дефекты для стенки толщиной более 15 мм – не более 5 мм.

3.3. Не более трех дефектов, имеющих меньшие размеры, чем дефекты, указанные в п.п. 3.1 и 3.2, расположенных на одной линии на расстоянии менее 2 мм один от другого (расстояние измеряется по близлежащим кромкам дефектов).

3.4. Не более девяти дефектов в любом прямоугольнике площадью 4000 мм, при наибольшем размере стороны прямоугольника – не более 150 мм.

Примечание.

1. Под длиной и шириной понимаются размеры прямоугольника с наибольшим отношением длины к ширине, в который может быть вписан данный дефект.

2. Под указанными размерами дефектов следует понимать индикаторный след от несплошности.

Окончание приложения 17

3. В сомнительных случаях при обнаружении методом МПД линейного дефекта предполагаемой трещины производится повторный контроль методом капиллярной дефектоскопии или травлением.

4. На окончательно обработанных уплотнительных и трущихся поверхностях дефекты в виде пор, шлаковых включений, раковин размером более 2 мм не допускаются.

5. Трещины без исправления не допускаются.

6. Дефекты, размеры которых превышают указанные в п.3, подлежат исправлению.

**НОРМЫ ДОПУСТИМЫХ ДЕФЕКТОВ ПРИ КОНТРОЛЕ ОБОРУДОВАНИЯ НПС
НЕРАЗРУШАЮЩИМИ МЕТОДАМИ (РД 153-39.4-24-02)**

Наименование оборудования	Толщина стенки δ , мм	Акустико-эмиссионный контроль (развитие трещин)	Магнитометрический контроль (концентраторы напряжений)	Нормы допустимого дефекта для метода контроля				
				Ультразвуковой контроль (поры, раковины, трещины, шлаковые включения, флокены, расслоения)	Магнитопорошковый контроль (поверхностные трещины, закаты, расслоения)	Капиллярный контроль (поверхностные трещины, расслоения)		
1	2	Класс сигналов АЭ, при котором проводится дополнительный контроль	Значения Σ Нр, при которых проводится дополнительный контроль другими методами НК, А/м	5	6	7	8	9
Насосы магистральные подпорные	от 26 до 34	II, III, IV	200-450	15,0	11,0	7,5	$3,0 + 0,05 \cdot (\delta - 20)$	$3,0 + 0,05 \cdot (\delta - 20)$
	от 34 до 45	II, III, IV	200-450	20,0	15,0	10,0	$3,0 + 0,05 \cdot (\delta - 20)$	$3,0 + 0,05 \cdot (\delta - 20)$
	от 45 до 50 более 50	II, III, IV II, III, IV	200-450 200-450	24,0 30,0	18,0 22,0	12,0 15,0	$3,0 + 0,05 \cdot (\delta - 20)$ $3,0 + 0,05 \cdot (\delta - 20)$	$3,0 + 0,05 \cdot (\delta - 20)$ $3,0 + 0,05 \cdot (\delta - 20)$
Фильтры-грязеуловители	от 12 до 20	II, III, IV	180-350	6,0	4,5	3,0	$(10\% \text{ от } \delta) + 1,0$	$(10\% \text{ от } \delta) + 1,0$
	от 20 до 26	II, III, IV	180-350	9,0	7,0	4,5	$3,0 + 0,05 \cdot (\delta - 20)$	$3,0 + 0,05 \cdot (\delta - 20)$
	от 26 до 34	II, III, IV	180-350	15,0	11,0	7,5	$3,0 + 0,05 \cdot (\delta - 20)$	$3,0 + 0,05 \cdot (\delta - 20)$

Окончание приложения 18

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Заслонки	от 12 до 20 от 20 до 26 от 26 до 34 от 34 до 45	II, III, IV II, III, IV II, III, IV II, III, IV	180–350 180–350 180–350 180–350	6,0 9,0 15,0 20,0	4,5 7,0 11,0 15,0	3,0 4,5 7,5 10,0	(10% от δ)+1,0 3,0 + 0,05 · (δ–20) 3,0 + 0,05 · (δ–20) 3,0 + 0,05 · (δ–20)	(10% от δ)+1,0 3,0 + 0,05 · (δ–20) 3,0 + 0,05 · (δ–20) 3,0 + 0,05 · (δ–20)
Предохранительные клапаны	от 12 до 20 от 20 до 26 от 26 до 34	II, III, IV II, III, IV II, III, IV	200–370 200–370 200–370	6,0 9,0 15,0	4,5 7,0 11,0	3,0 4,5 7,5	(10% от δ)+1,0 3,0 + 0,05 · (δ–20) 3,0 + 0,05 · (δ–20)	(10% от δ)+1,0 3,0 + 0,05 · (δ–20) 3,0 + 0,05 · (δ–20)
Емкости, аккумуляторы системы сглаживания волн давления	от 8 до 12 от 12 до 20 от 20 до 26	II, III, IV II, III, IV II, III, IV	170–320 170–320 170–320	5,0 6,0 9,0	3,5 4,5 7,0	2,5 3,0 4,5	(10% от δ)+1,0 (10% от δ)+1,0 3,0 + 0,05 · (δ–20)	(10% от δ)+1,0 (10% от δ)+1,0 3,0 + 0,05 · (δ–20)
Приемный стан вертикального подпорного насоса	от 8 до 12 от 12 до 20	II, III, IV II, III, IV	170–320 170–320	5,0 6,0	3,5 4,5	2,5 3,0	(10% от δ)+1,0 (10% от δ)+1,0	10% от δ)+1,0 (10% от δ)+1,0

Примечание. ΣH_p – суммарные значения абсолютных величин напряженности магнитного поля рассеяния с разноименными знаками.

Непротяженные несплошности – это одиночные несплошности при их количестве не более 15 и при расстоянии между ними не менее 10 мм (для толщины до 50 мм) и не менее 15 мм (для толщины от 50 до 100 мм) на участке (поверхности) ввода ультразвуковых колебаний размером 200 x 300 мм. При большем количестве одиночных несплошностей (при прочих равных условиях) они образуют протяженные несплошности.

ЦВЕТНАЯ ДЕФЕКТОСКОПИЯ (SHERWIN). ТЕХНИКА ПРОВЕДЕНИЯ КОНТРОЛЯ

Проведение контроля в специфических условиях.

Холодные погодные условия

Некоторые международные и российские стандарты устанавливают уровень минимальных температур для контроля поверхности капиллярным методом (обычно +7 °С), и технология применения материалов для капиллярной дефектоскопии в условиях низких температур требует специального объяснения. Холодная погода усложняет выполнение технологического процесса капиллярного контроля из-за конденсации воды на холодной поверхности, задерживает проникновение пенетранта, замедляет скорость высыхания проявителя и снижает давление в баллоне-распылителе. Чтобы устранить эти затруднения, советуем Вам предпринять следующие шаги.

1. Если присутствует конденсация, протрите поверхность насухо и, если это возможно, нагрейте поверхности каким-либо нагревательным прибором.
2. Продлите время выдержки для пенетранта до 30 мин.
3. Разбрызгивайте проявитель с большего, чем обычно, расстояния, так, чтобы он попадал на поверхность скорее сухим, чем влажным.
4. По возможности, держите аэрозольные баллоны в тепле, особенно проявитель. Например, носите его близко к телу, или используйте какой-либо другой способ.

Контроль высокотемпературных поверхностей

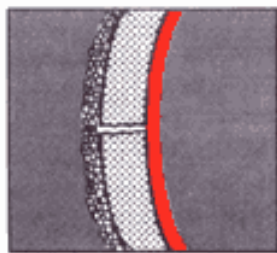
Для контроля поверхностей при температуре выше +90 °С рекомендуется применять специально разработанные компанией SHERWIN наборы HI-TEMP. Использование пенетранта HI-TEMP КОИ, очистителя HI-TEMP К019 и проявителя HI-TEMP D350 делает возможным контроль сварных швов при температуре до 150 °С, без охлаждения, прямо во время проведения сварки. HI-TEMP КО 17, HI-TEMP КО 19 и HI-TEMP D350 – не содержат хлора и галоидов.

Внимание: не оставляйте аэрозольные баллоны на поверхности с высокой температурой.

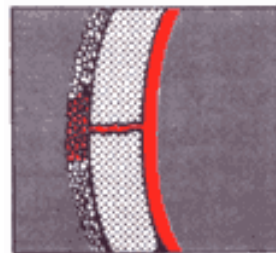
Контроль методом течеискания

Дефекты, пронизывающие объект металла насквозь, легко регистрируются с применением пенетрантов. Процедура отличается от стандартной тем, что на одну поверхность объекта контроля наносится пенетрант, а на противоположную поверхность наносится проявитель, а стадия удаления пенетранта отсутствует. Эта технология, называемая «контроль течеисканием», применима для тонкостенных резервуаров, трубопроводов и баков. Одна сторона, например внутренняя поверхность резервуара, обрабатывается пенетрантом. Другая сторона покрывается проявителем. Красящий пенетрант проходит через дефект, и, когда он достигает противоположной стороны, дефект проявляется в виде красного индикаторного следа на белом фоне. Полости дефектов должны быть очищены от посторонних веществ – воды, растворов, масел и т. д. Присутствие таких веществ мешает свободному проникновению пенетранта. Применяйте метод течеискания прежде других тестов (гидростатических, ультразвуковых и пр.), чтобы минимизировать возможность загрязнения полостей дефектов.

Метод течеискания имеет ограничения в применении по толщине стенок, она не должна превышать 62,5 мм. Скорость просачивания сквозь деталь зависит от формы капиллярного прохода. Узкий капилляр обеспечивает наилучшее прохождение. Пористость в детали замедляет движение пенетранта. Если толщина стенки близка к максимуму и влияние капиллярности оценивается как незначительное, время выдержки должно быть увеличено. Период в 30 мин является достаточным. Может оказаться полезным повторное нанесение Пенетранта в течение этого периода.



При применении метода течеискания пенетрант наносится на одну поверхность исследуемого участка тонкостенного металла, а проявитель напыляется на противоположную сторону



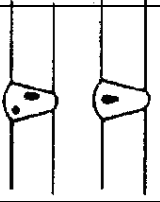
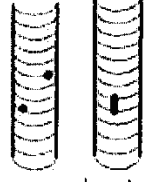

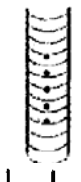


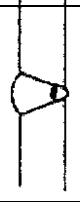
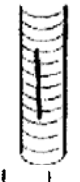
Пенетрант проходит сквозь полости дефектов на противоположную сторону, что можно наблюдать в виде красного следа на фоне контрастного белого проявителя

Применение флюоресцентных пенетрантов











При применении флюоресцентного пенетранта стадия удаления пенетранта и исследование результатов контроля поверхности происходит при ультрафиолетовом освещении в затемненном помещении. В остальном технология контроля флюоресцентным пенетрантом не отличается от технологии применения красящего пенетранта, описанного в данном руководстве.

При применении флюоресцентного пенетранта дефекты проявляются в виде ярких светящихся желто-зеленых линий под ультрафиолетовым светом.




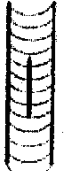







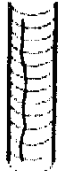
НОРМЫ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИИ ГАЗОПРОВОДОВ
(СТО ГАЗПРОМ 2-2.4-083-2006)

Название дефекта	Условное обозначение дефекта	Схематическое изображение дефектов		Вид дефекта	Допустимые размеры дефектов сварных соединений по уровням качества		
		в сечении	в плане		«А»	«В»	«С»
1	2	3	4	5	6	7	8
Поры	Aa			Единичные (сферические и удлиненные)	при $L \geq 3d$: $d, h, l, l_1 \leq 2S$, но $\leq 2,5\text{мм}$; $\sum D \leq 30\text{мм}$	при $L \geq 3d$: $d, h, l, l_1 \leq 2S$, но $\leq 2,5\text{мм}$; при $L \geq 5d$: $d, h, l, l_1 \leq 0,25S$, но $\leq 3\text{мм}$ $\sum D \leq 50\text{мм}$	при $L \geq 3d$: $d, h, l, l_1 \leq 2S$, но $\leq 3\text{мм}$ при $L \geq 5d$: $d, h, l, l_1 \leq 0,25S$, но $\leq 3,5\text{мм}$ $\sum D \leq 50\text{мм}$
	Ab			Цепочки	$d, h, l, l_1 \leq 0,1S$, но $\leq 1,5\text{мм}$; $l_1 \leq S$, но $\leq 30\text{мм}$; $\sum D \leq 30\text{мм}$	$d, h, l, l_1 \leq 0,15S$, но $\leq 2\text{мм}$; $l_1 \leq S$, но $\leq 30\text{мм}$; $\sum D \leq 30\text{мм}$	$d, h, l, l_1 \leq 2S$, но $\leq 2,5\text{мм}$; $l_1 \leq 2S$, но $\leq 30\text{мм}$; $\sum D \leq 50\text{мм}$
	Ac			Скопления	$d, h, l, l_1 \leq 0,1S$, но $\leq 1,5\text{мм}$; $l_1 \leq 0,5S$, но $\leq 12,5\text{мм}$; $\sum D \leq 25\text{мм}$	$d, h, l, l_1 \leq 0,1S$, но $\leq 1,5\text{мм}$; $l_1 \leq 0,5S$, но $\leq 15\text{мм}$; $\sum D \leq 30\text{мм}$	$d, h, l, l_1 \leq 0,1S$, но $\leq 1,5\text{мм}$; $l_1 \leq 0,5S$, но $\leq 15\text{мм}$; $\sum D \leq 30\text{мм}$
	Ak			Канальные, в т. ч. «чертеобразные»	Не допускаются	$h, l \leq 0,1S$, но $\leq 1,5\text{мм}$; $l_1 \leq 0,5S$, но $\leq 12,5\text{мм}$; $\sum D \leq 25\text{мм}$	$h, l \leq 0,1S$, но $\leq 2\text{мм}$; $l_1 \leq S$, но $\leq 15\text{мм}$; $\sum D \leq 30\text{мм}$

Продолжение приложения 20

1	2	3	4	5	6	7	8
Неметаллические (шлаковые) включения	Ва			Единичные компактные	$h \leq 0,1S$, при $l_t \leq 2,5\text{мм}$, $l \leq 0,5S$, но $\leq 5\text{мм}$; $\sum D \leq 30\text{мм}$	$h \leq 0,1S$, при $l_t \leq 3\text{мм}$, $l \leq 0,5S$, но $\sum D \leq 30\text{мм}$	
	Bb			Цепочки	$d, h, l_t \leq 0,1S$, но $\leq 1\text{мм}$; $l \leq S$, но $\leq 15\text{мм}$; $\sum D \leq 30\text{мм}$	$d, h, l_t \leq 0,1S$, но $\leq 1,5\text{мм}$; $l \leq 2S$, но $\leq 25\text{мм}$; $\sum D \leq 50\text{мм}$	
	Bc			Скопления	$d, h, \leq 0,1S$, но $\leq 1\text{мм}$; $l, l_t \leq S$, но $\leq 12,5\text{мм}$; $\sum D \leq 25\text{мм}$	$d, h, \leq 0,1S$, но $\leq 1,5\text{мм}$; $l, l_t \leq 0,5S$, но $\leq 12,5\text{мм}$; $\sum D \leq 30\text{мм}$	
	Bd ₁			Односторонние удлиненные	$h \leq 0,1S$, но $\leq 1,5\text{мм}$; $l \leq S$, но $\leq 15\text{мм}$; $\sum D \leq 30\text{мм}$	$h \leq 0,1S$, но $\leq 1,5\text{мм}$; $l \leq 2S$, но $\leq 25\text{мм}$; $\sum D \leq 50\text{мм}$	
	Bd ₂			Двухсторонние удлиненные	Не допускаются	$h \leq 0,1S$, но $\leq 1,5\text{мм}$; при $S \leq 0,8\text{мм}$ (с обеих сторон шва)	$l \leq S$, но $\leq 30\text{мм}$; $\sum D \leq 30\text{мм}$ (с обеих сторон шва)

Продолжение приложения 20

1	2	3	4	5	6	7	8
Металлические включения	M_w			Вольфрамовые включения и включения других нерастворимых металлов	$d, h, l \leq 0,1S$, но $\leq 1,5\text{мм}$; $l \leq 3\text{мм}$, при $L \leq 50\text{мм}$; количество включений: не более 1 для труб диаметром $\leq 219\text{мм}$; не более 2 на 300мм для труб диаметром $> 219\text{мм}$	$d, h, l \leq 0,1S$, но $\leq 3\text{мм}$; $l \leq 6\text{мм}$, при $L \leq 50\text{мм}$; количество включений: не более 2 для труб диаметром $\leq 219\text{мм}$; не более 4 на 300мм для труб диаметром $> 219\text{мм}$.	
Непровары	Da_1			В корне шва	$h \leq 0,05S$, но $\leq 0,75\text{мм}$; $l \leq S$, но $\leq 12,5\text{мм}$; $\sum D \leq 25\text{мм}$	$h \leq 0,05S$, но $\leq 0,75\text{мм}$; $l \leq S$, но $\leq 15\text{мм}$; $\sum D \leq 30\text{мм}$	$h \leq 0,05S$, но $\leq 1\text{мм}$; $l \leq 2S$, но $\leq 25\text{мм}$; $\sum D \leq 50\text{мм}$
	Da_2			В корне шва из-за смещения кромок	$l \leq 2S$, но $\leq 30\text{мм}$; $\sum D \leq 50\text{мм}$	$l \leq 2S$, но $\leq 30\text{мм}$; $\sum D \leq 50\text{мм}$	
	Da_3			Внутренние при двухсторонней сварке	$h \leq 0,05S$, но $\leq 1\text{мм}$; $l \leq 2S$, но $\leq 12,5\text{мм}$; $\sum D \leq 25\text{мм}$	$h \leq 0,1S$, но $\leq 2\text{мм}$; $l \leq 2S$, но $\leq 12,5\text{мм}$; $\sum D \leq 25\text{мм}$	$h \leq 0,1S$, но $\leq 2\text{мм}$; $l \leq 2S$, но $\leq 12,5\text{мм}$; $\sum D \leq 25\text{мм}$
	Db			Межслойные	$l \leq 2S$, но $\leq 25\text{мм}$; $\sum D \leq 25\text{мм}$	$l \leq 2S$, но $\leq 30\text{мм}$; $\sum D \leq 30\text{мм}$	$l \leq 2S$, но $\leq 30\text{мм}$; $\sum D \leq 30\text{мм}$
	Dc_1			По разделке кромок	Не допускаются	$h \leq 0,05S$, но $\leq 1\text{мм}$; $l \leq S$, но $\leq 15\text{мм}$; $\sum D \leq 15\text{мм}$	$h \leq 0,05S$, но $\leq 1\text{мм}$; $l \leq S$, но $\leq 15\text{мм}$; $\sum D \leq 15\text{мм}$

Продолжение приложения 20

1	2	3	4	5	6	7	8
Непровары	Dc ₂			По разделке кромок, выходящих на поверхность	Не допускаются		$h \leq 0,05S$, но $\leq 0,75\text{мм}$; $l \leq S$, но $\leq 15\text{мм}$; $\Sigma D \leq 15\text{мм}$
Трещины	E			Любой длины и направления от носительно сварного шва		Не допускаются	
Дефекты формы шва							
Fa				Вогнутость корня шва (утяжина)	$h \leq 0,1S$, но $\leq 1\text{мм}$; $l \leq S$, но $\leq 30\text{мм}$; $\Sigma D \leq 50\text{мм}$		$h \leq 0,2S$, но $\leq 2\text{мм}$; $l \leq 2S$, но $\leq 50\text{мм}$; $\Sigma D \leq 100\text{мм}$
Fb				Превышение проплавления (провис)	$h \leq 3\text{мм}$; $l \leq 0,5S$; $\Sigma D \leq 30\text{мм}$		$h \leq 5\text{мм}$; $l \leq S$; $\Sigma D \leq 50\text{мм}$
Fc				Подрезы			$h \leq 0,1S$, но $\leq 0,5\text{мм}$; $l \leq 150\text{мм}$
Fd				Смещение кромок			$h \leq 0,2S$, но $\leq 3\text{мм}$ – для труб с $S > 10\text{мм}$ $h \leq 0,2S$, но $\leq 2\text{мм}$ – для труб с $S \leq 10\text{мм}$

<p>Примечания</p> <ol style="list-style-type: none">1. В сварном соединении с внутренней подваркой непровары и несплавления в корне сварного соединения не допускаются.2. Суммарная протяженность допустимых по высоте внутренних дефектов на любые 300 мм сварного соединения не должна превышать 50 мм, но не более 1/6 части периметра сварного соединения, кроме дефектов с условными обозначениями Fa, Fc, Fd, протяженность которых не учитывается при подсчете суммарной протяженности всех дефектов.3. Сварное соединение ремонтируется, если суммарная протяженность всех выявленных дефектов меньше 1/6 части периметра сварного соединения, в противном случае сварное соединение подлежит вырезке.4. Подрезы, смещения кромок и другие наружные дефекты швов измеряются в процессе визуального и измерительного контроля.5. При смещении кромок более 2-х мм любые подрезы не допускаются.6. Внутренние подрезы и смещения кромок могут определяться физическими методами контроля.7. Подрезы $h \leq 0,05S$, но ≤ 3 мм не квалифицируются как нормируемые дефекты, и их протяженность не регламентируется. На участке максимально допустимого смещения кромок любые дефекты не допускаются.8. При оценке качества сварных соединений разнотолщинных элементов, нормы оценки дефектов принимаются по элементу меньшей толщины.
--

**ЗАРУБЕЖНЫЕ СТАНДАРТЫ
ПО КАПИЛЛЯРНОМУ КОНТРОЛЮ**

MIL-I-25135E	Дефектоскопические материалы, капиллярные. Военные технические условия
QPL-AMS-2644	Перечень сертифицированной продукции
ASTM E 165	Стандартная методика контроля материалов капиллярным методом
ASTM E 1417	Стандартная методика проведения капиллярного контроля
EN ISO 3452-2	Неразрушающий контроль. Капиллярный контроль. Часть 2: Испытание проникающих жидкостей
EN ISO 3452-3	Неразрушающий контроль. Капиллярный контроль. Часть 3: Эталонные испытательные образцы
EN ISO 3452-4	Неразрушающий контроль. Капиллярный контроль. Часть 4: Оборудование
EN 571-1	Капиллярный контроль. Общие принципы
DIN 54 152	Неразрушающий контроль. Проникающий метод. Контроль испытательных сред
ISO 5817	Сварка. Сварные соединения, выполненные плавлением из стали, никеля, титана и их сплавов (без применения лазерной сварки)
DIN 1690-2	Технические условия поставки металлических отливок. Классификация по уровням качества на основе неразрушающего контроля
EN 10228-2	НК стальных поковок. Часть 2. ПВК
EN 1371-1,2	Литье. ПВК. Ч.2. Точные отливки
EN 1330-2	НК – Терминология. Часть 2: Общие термины для НК-методов
EN 12062	НК сварки. Общие правила для металлических материалов
EN 1713	НК сварных швов. Характеристика несплошностей сварных соединений
EN 1330-1	НК – Терминология. Часть 1: Основные термины
EN 13477-1	НК – Характеристика оборудования. Часть 1: Описание оборудования
EN 13477-2	НК – Характеристика оборудования. Часть 2: Калибровка рабочих характеристик
EN 571-1	НК – Капиллярный контроль. Общие принципы контроля.

Окончание приложения 21

EN 1289	НК сварки – Капиллярный контроль швов. Критерии приемки
EN ISO 3452-2	НК – Капиллярный контроль – Часть 2: Испытание проникающих материалов
EN ISO 3452-3	НК – Капиллярный контроль – Часть 3: Эталонные испытательные образцы
EN ISO 3452-4	НК – Капиллярный контроль – Часть 4: Оборудование.
EN ISO 12706	НК – Терминология. Термины, используемые в капиллярном контроле. EN ISO 3059 НК – Капиллярный контроль и магнитопорошковый контроль – Условия осмотра
EN 1956	Условия анализа
EN 415E, часть С	НК – Метод смачивания (капиллярный контроль)
ISO 6520-1	Классификация дефектов

**ПРИМЕНЕНИЕ ДЕФЕКТОСКОПИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ
В АЭРОЗОЛЬНОЙ УПАКОВКЕ**

1. При проведении капиллярного контроля допускается использование наборов дефектоскопических материалов в аэрозольной упаковке.

2. Баллон с проявителем перед употреблением необходимо встряхивать в течение 2–3 мин с целью перемешивания содержимого.

3. При нанесении на поверхность дефектоскопических материалов с помощью аэрозольных баллонов головка баллона должна находиться на расстоянии 300–350 мм от контролируемого участка.

4. Перед нанесением проявителя на контролируемую поверхность следует убедиться в хорошем качестве распыления, нажав на распылительную головку и направив струю в сторону от детали.

5. Не допускается закрывать клапан при направлении струи на деталь во избежание попадания крупных капель проявителя на контролируемую поверхность.

6. В случае засорения распылительной головки последнюю необходимо извлечь из гнезда, промыть в ацетоне и продуть сжатым воздухом (резиновой грушей).

**ВРЕМЯ ПРОПИТКИ ИЗДЕЛИЙ
ЛЮМИНЕСЦИРУЮЩИМИ ПЕНЕТРАНТАМИ**

Вид изделий	Выявляемые дефекты	Материал изделия	Пенетрант		
			Жидкости с эмульгатором	Жидкости для последующей эмульсификации	
			Время пропитки, мин		
Отливки	Усадочные трещины	Алюминиевые сплавы	5...15	5	
		Магниевого сплавы	15		
		Нержавеющие стали	30	10	
		Бронза, латунь	10	5	
Штамповка	Заковы	Алюминиевые сплавы	30	10	
		Магниевого сплавы			
		Нержавеющие стали	60		
		Бронза, латунь	30		
Сварные и паяные соединения	Трещины, непропаи	Алюминиевые сплавы		30	5
		Магниевого сплавы		10	
		Нержавеющие стали	60	20	
		Бронза, латунь	15	10	
Детали машин	Усталостные и шлифовочные трещины	Алюминиевые сплавы	30	20	
		Магниевого сплавы			
		Нержавеющие стали			
		Бронза, латунь			10
		Инструментальные стали	10		20
		Пластмассы	5...8		5

**ПРИБОРЫ И ИНСТРУМЕНТЫ
КАПИЛЛЯРНОГО МЕТОДА КОНТРОЛЯ**

№ п/п	Тип прибора, марка, ГОСТ (ТУ)	Диапазон измерений, цена деления	Погрешность измерений	Изготовитель
1	УФ-высокоинтенсивный переносной облучатель, ТУ 25.06.1887-79 КД-33Л			НИИ интроскопии, Бобруйский весовой завод
2	Аэрозольный дефектоскопический комплект материалов Magnaflux			MAGNAFLUX, Германия
3	Микроскоп, ТУ 3.3.842-78 МПБ-2			
4	Лупа ППШ-454	Увеличение 10-кратное		
5	Линза Френеля			
6	Измеритель шероховатости поверхности, ИШП-1			
7	Люксметр			
8	Измеритель УФ-излучения			
9	Линза измерительная	Увеличение 2-кратное		
10	Лупа измерительная, ГОСТ 25706. ЛИ-4	Увеличение 4-кратное		

ИНСТРУКЦИЯ ОЧИСТКИ КОНТРОЛЬНЫХ ОБРАЗЦОВ

Полости дефектов в результате капиллярного контроля забиваются остатками дефектоскопических материалов. После выполнения контроля необходимо проводить их очистку одним из следующих способов:

1. На контролируемую поверхность образца нанести слой проявителя (350 г каолина на 1000 мл спирта), затем просушить на воздухе и выдержать не менее 30 минут после высыхания. Удалять проявитель следует сухой бязью, губкой или щеткой.

2. Опустить в растворитель (ацетон, бензин, денатурат, спирт, растворитель 645, 647 и др.) с выдержкой не менее 5–6 часов.

3. Пункт 3 дополняет пункт 2 использованием ультразвуковой ванны. При этом очистка производится в режиме кавитации с выдержкой не менее 60 минут. Этот способ очистки наиболее эффективен.

После очистки образцы следует прогреть (в сушильном шкафу, муфельной печи и т. д.) при температуре 100–120 °С, с выдержкой при этой температуре 15–30 минут.

**ОБЩИЕ ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ.
ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ**

1. *Объект контроля* – контролируемые поверхности сварного соединения, наплавки основного металла, отливки.
2. *Индикаторный след* – окрашенный пенетрантом участок (пятно) поверхности объекта контроля в зоне расположения несплошности.
3. *Индикаторный след округлый* – округлый след с отношением его максимальной длины к максимальной ширине, равным или менее 3 (например, поры и т. п.).
4. *Индикаторный след протяженный* – индикаторный след с отношением его максимальной длины к максимальной ширине более 3 (например, трещины, закаты, подрезы, резкие западания наплавленного металла, заковы, близко расположенные поля).
5. *Дефект* – недопустимое отклонение от требований, установленных НТД и настоящей инструкцией.
6. *Трещина* – дефект в виде разрыва металла сварного соединения, наплавленной поверхности, основного металла или литья.
7. *Наплыв* – дефект в виде металла, натекшего в процессе сварки (наплавки) на поверхность сваренных (наплавленных) деталей или ранее выполненных валиков и несплавившегося с ним.
8. *Усадочная раковина* – дефект в виде полости или впадины, образовавшийся при усадке расплавленного металла при затвердевании (располагается, как правило, в местах перерыва или окончания сварки).
9. *Брызги металла* – дефект в виде затвердевших капель металла на поверхности сваренных или наплавленных деталей.
10. *Непровар* – несплавление в сварном соединении или наплавленной детали между основным металлом и металлом шва (наплавленным металлом) или между отдельными валиками.
11. *Западания между валиками* – продольная впадина между двумя соседними валиками (оценивается по максимальной глубине).
12. *Кромка сварного шва* – торцевая поверхность детали после механической обработки до заданных чертежом размеров разделки сварного шва.
13. *Включение* – полость в металле шва или в наплавленном металле, заполненная газом, шлаком или инородным металлом (пора, шлаковое или вольфрамовое включение).

**ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ
В КАПИЛЛЯРНОМ НЕРАЗРУШАЮЩЕМ КОНТРОЛЕ**

Термин	Определение
1	2
ОБЩИЕ ПОНЯТИЯ	
<i>1. Капиллярный контроль</i>	Неразрушающий контроль, основанный на проникновении жидких веществ в капилляры на поверхности объекта контроля с целью их выявления
<i>2. Поверхностная несплошность</i>	Тупиковый капилляр, выходящий на поверхность объекта контроля
<i>3. Сквозная несплошность</i>	Сквозной капилляр, соединяющий противоположные стенки объекта контроля. ПРИМЕЧАНИЕ. Если поверхностная и сквозная несплошности являются дефектами по ГОСТ 15467–79, то допускается вместо них применять термины «поверхностный дефект» и «сквозной дефект»
<i>4. Глубина несплошности</i>	Размер несплошности в направлении внутрь объекта контроля от его поверхности
<i>5. Длина несплошности</i>	Продольный размер несплошности на поверхности объекта
<i>6. Раскрытые несплошности</i>	Поперечный размер несплошности у ее выхода на поверхность объекта контроля. ПРИМЕЧАНИЯ: 1. Для несплошностей типа округлых пор раскрытие равно диаметру несплошности на поверхности объекта. 2. Следует различать максимальную, минимальную и среднюю глубину, длину и раскрытие несплошности. Если не требуется заранее оговаривать, какое из указанных значений размеров имеется в виду, то для исключения недоразумений следует применять термин «преимущественный размер».
<i>7. Индикаторный рисунок</i>	Изображение, образованное пенетрантом, в месте расположения несплошности и подобное форме ее сечения у выхода на поверхность объекта контроля. ПРИМЕЧАНИЕ. Применительно к несплошности типа единичной трещины вместо термина «индикаторный рисунок» допускается применение термина «индикаторный след (след)»

Продолжение приложения 27

1	2
8. Геометрический параметр индикаторного рисунка. Геометрический параметр	Отношение среднего значения ширины индикаторного следа к раскрытию выявленной несплошности
9. Оптический параметр индикаторного рисунка. Оптический параметр	Отношение среднего значения яркости индикаторного следа к среднему значению яркости фона
10. Фон. Фон поверхности	Бездефектная поверхность объекта контроля, обработанная дефектоскопическими материалами
11. Порог чувствительности капиллярного неразрушающего контроля	Раскрытие несплошности типа единичной трещины определенной длины, выявляемое с заданной вероятностью по заданным геометрическому или оптическому параметрам следа. ПРИМЕЧАНИЕ. Верхнему порогу чувствительности соответствует наименьшее выявляемое раскрытие, а нижнему – наибольшее
12. Класс чувствительности капиллярного неразрушающего контроля	Диапазон значений преимущественного раскрытия несплошности типа единичной трещины определенной длины, при заданных условиях: вероятности выявления в геометрическом или оптическом параметрах следа не хуже заданных
13. Дифференциальная чувствительность средства капиллярного неразрушающего контроля	Отношение изменения оптического или геометрического параметра индикаторного следа к вызывающему его изменению раскрытия при неизменной глубине и длине несплошности типа единичной трещины

Продолжение приложения 27

1	2
14. Чувствительность капиллярного контроля	Качество капиллярного неразрушающего контроля, характеризующее порогом, классом и дифференциальной чувствительностью средства контроля в отдельности, либо целесообразным их сочетанием
МЕТОДЫ КАПИЛЛЯРНОГО НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ	
15. Жидкостный метод капиллярного неразрушающего контроля Жидкостный метод	Метод неразрушающего контроля проникающими жидкими веществами, растворами, суспензиями, основанный на регистрации жидкости, проникающей в (или через) несплошности объекта контроля. ПРИМЕЧАНИЕ. Все методы капиллярного неразрушающего контроля по характеру взаимодействия проникающих пенетрантов с объектом контроля согласно ГОСТ 18353–79 рассматриваются как молекулярные, что не указывается в определениях пп. 15–27 для сокращения
16. Метод проникающих растворов	Жидкостный метод капиллярного неразрушающего контроля, основанный на использовании в качестве проникающего вещества жидкого индикаторного раствора
17. 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
18. Люминесцентный метод	Жидкостный метод неразрушающего контроля, основанный на регистрации контраста люминесцирующего в длинноволновом ультрафиолетовом излучении видимого индикаторного рисунка на фоне поверхности объекта контроля
19. Цветной метод	Жидкостный метод неразрушающего контроля, основанный на регистрации контраста цветного в видимом излучении индикаторного рисунка на фоне поверхности объекта контроля
20. Люминесцентно-цветной метод	Жидкостный метод неразрушающего контроля, основанный на регистрации контраста цветного или люминесцирующего индикаторного рисунка на фоне поверхности объекта контроля в видимом или длинноволновом ультрафиолетовом излучении

Продолжение приложения 27

1	2
<i>21. Яркостный метод</i>	Жидкостный метод неразрушающего контроля, основанный на регистрации контраста в видимом излучении ахроматического рисунка на фоне поверхности объекта контроля
<i>22. Комбинированный метод капиллярного неразрушающего контроля. Комбинированный метод</i>	Метод капиллярного неразрушающего контроля, рационально сочетающий два или более различных по физической сущности методов неразрушающего контроля, один из которых жидкостный
<i>23. Капиллярно-электростатический метод</i>	Жидкостный метод неразрушающего контроля, основанный на обнаружении индикаторного рисунка, образованного поверхностной или сквозной несплошностью неэлектропроводящего объекта, заполненного ионогенным пенетрантом
<i>24. Капиллярно-электроиндуктивный метод</i>	Жидкостный метод неразрушающего контроля, основанный на электроиндуктивном обнаружении электропроводящего индикаторного пенетранта в поверхностных и сквозных несплошностях неэлектропроводящего объекта
<i>25. Капиллярно-магнитопорошковый метод</i>	Жидкостный метод капиллярного контроля, основанный на обнаружении комплексного индикаторного рисунка, образованного пенетрантом и ферромагнитным порошком, при контроле намагниченного объекта
<i>26. Капиллярно-радиационный метод излучения</i>	Жидкостный метод капиллярного неразрушающего контроля, основанный на регистрации ионизирующего излучения соответствующего пенетранта в поверхностных и сквозных несплошностях
<i>27. Капиллярно-радиационный метод поглощения</i>	Жидкостный метод капиллярного неразрушающего контроля, основанный на регистрации поглощения ионизирующего излучения соответствующим пенетрантом в поверхностных и сквозных несплошностях объекта контроля

Продолжение приложения 27

1	2
СРЕДСТВА КАПИЛЛЯРНОГО НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ. ДЕФЕКТОСКОПИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ	
<i>28. Капиллярный дефектоскопический материал. Дефектоскопический материал</i>	Материал, применяемый при капиллярном неразрушающем контроле и предназначенный для пропитки, нейтрализации или удаления избытка проникающего вещества с поверхности и проявления его остатков с целью получения первичной информации о наличии несплошности в объекте контроля
<i>29. Набор дефектоскопических материалов</i>	Взаимозависимое целевое сочетание дефектоскопических материалов: индикаторного пенетранта, проявителя, очистителя и гасителя
<i>30. Индикаторный пенетрант. Пенетрант</i>	Капиллярный дефектоскопический материал, обладающий способностью проникать в несплошности объекта контроля и индуцировать их
<i>31. Индикаторный раствор</i>	Индикаторный пенетрант в виде молекулярной или коллоидной дисперсии люминофора, красителя или другого индикатора в жидком носителе
<i>32. Индикаторная суспензия</i>	Индикаторный пенетрант в виде суспензии из частиц твердой фазы люминофора, красителя или другого индикатора в жидком носителе
<i>33. Органосмываемый пенетрант</i>	Индикаторный пенетрант, смываемый с поверхности объекта контроля органическими безводными антикоррозионными составами: растворителями, маслами или их смесями
<i>34. Водосмываемый пенетрант</i>	—
<i>35. Пенетрант последующего эмульгирования</i>	Индикаторный пенетрант, образующий эмульсию в воде, очищающей поверхность объекта контроля, после его предварительного взаимодействия с очистителем от пенетранта или поверхностно-активным веществом
<i>36. Обесцвечиваемый пенетрант</i>	Индикаторный пенетрант, люминесценция или цвет которого уничтожается специально подобранным гасителем

Продолжение приложения 27

1	2
<i>37. Ахроматический пенетрант</i>	Бесцветный, черный или серый индикаторный пенетрант
<i>38. Цветной пенетрант</i>	Индикаторный пенетрант, имеющий характерный цвет при наблюдении в видимом излучении
<i>39. Люминесцентный пенетрант</i>	Индикаторный пенетрант, испускающий свет под воздействием длинноволнового ультрафиолетового излучения
<i>40. Люминесцентно-цветной пенетрант</i>	Индикаторный пенетрант, имеющий характерный цвет при наблюдении в видимом излучении и люминесцирующий под воздействием длинноволнового ультрафиолетового излучения
<i>41. Магнитный пенетрант</i>	Индикаторная суспензия, частицы твердой фазы которой имеют ферромагнитные свойства, а жидкий носитель представляет собой молекулярную или коллоидную дисперсию люминофора, красителя или другого индикатора
<i>42. Электропроводящий пенетрант</i>	Индикаторный пенетрант, имеющий нормированную электрическую проводимость
<i>43. Ионизирующий пенетрант</i>	Индикаторный пенетрант, испускающий ионизирующее излучение
<i>44. Поглощающий пенетрант</i>	Индикаторный пенетрант, поглощающий ионизирующее излучение
<i>45. Комбинированный пенетрант</i>	Индикаторный пенетрант, сочетающий свойства двух или более индикаторных пенетрантов
<i>46. Проявитель пенетранта</i>	Капиллярный дефектоскопический материал, предназначенный для извлечения индикаторного пенетранта из капиллярной полости несплошности с целью образования четкого индикаторного рисунка и создания контрастирующего с ним фона
<i>47. Сорбционный проявитель</i>	Проявитель, извлекающий пенетрант из полости несплошности под действием, в основном, сил адсорбции и абсорбции
<i>48. Диффузионный проявитель</i>	Проявитель, извлекающий пенетрант из полости несплошности в основном посредством диффузии

Продолжение приложения 27

1	2
<i>49. Порошковый проявитель</i>	Сорбционный проявитель, представляющий собой сухой, преимущественно белый мелкодисперсный сорбент, поглощающий индикаторный пенетрант
<i>50. Суспензионный проявитель</i>	Сорбционный проявитель, представляющий собой белый сорбент, диспергированный в летучих растворителях, воде или быстросохнущих смесях, поглощающий индикаторный пенетрант
<i>51. Красочный проявитель</i>	Диффузионный проявитель, состоящий из пигментированного или бесцветного быстросохнущего жидкого раствора связующего, поглощающего индикаторный пенетрант
<i>52. Пленочный проявитель</i>	Диффузионный проявитель, представляющий собой бесцветную или белую накладную пленку с проявляющим липким слоем, поглощающим индикаторный пенетрант
<i>53. Химически активный проявитель</i>	Проявитель, предназначенный для химического взаимодействия индикаторным пенетрантом с образованием специфического индикаторного рисунка следа, меняющего цвет, способность люминесцировать или давать продукты реакции, индицирующие несплошность
<i>54. Магнитный проявитель</i>	Сорбционный или диффузионный проявитель с ферромагнитным порошком, выявляющий несплошности извлечением из них индикаторного пенетранта и осаждением магнитного порошка в магнитном поле несплошности намагниченного объекта контроля
<i>55. Очиститель от пенетранта. Очиститель</i>	Капиллярный дефектоскопический материал, предназначенный для удаления индикаторного пенетранта с поверхности объекта контроля самостоятельно или в сочетании с органическим растворителем или водой
<i>56. Гаситель пенетранта. Гаситель</i>	Капиллярный дефектоскопический материал, предназначенный для гашения люминесценции или цвета остатков соответствующих индикаторных пенетрантов на поверхности объекта контроля

Продолжение приложения 27

1	2
АППАРАТУРА КАПИЛЛЯРНОГО НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ	
<i>57. Аппаратура капиллярного неразрушающего контроля</i>	Средства контроля, исключая дефектоскопические материалы, используемые для капиллярного неразрушающего контроля
<i>58. Капиллярный дефектоскоп</i>	Совокупность приборов капиллярного неразрушающего контроля, вспомогательных средств и образцов для испытаний, которыми с помощью набора дефектоскопических материалов осуществляют технологический процесс контроля
<i>59. Прибор капиллярного неразрушающего контроля</i>	Устройство, с помощью которого информация о технологических операциях, дефектоскопических материалах или наличии несплошности получается, передается и преобразуется для непосредственного восприятия оператором или средством, его заменяющим
<i>60. Вспомогательное средство капиллярного неразрушающего контроля</i>	Устройство (ванна, камера, стол, контейнер, кисть, распылитель, защитное устройство и т. п.), служащее для выполнения или интенсификации одной или нескольких технологических операций капиллярного неразрушающего контроля без измерения и регулирования их параметров
<i>61. Образец для испытаний средств капиллярного неразрушающего контроля</i>	Изделие с заранее нормируемыми при определенных условиях свойствами, предназначенное для проверки прибора, вспомогательного средства, технологического процесса или дефектоскопического материала капиллярного неразрушающего контроля. ПРИМЕЧАНИЕ. В качестве нормируемых свойств могут быть: наличие несплошностей определенного раскрытия глубины, протяженности, белизна проявляющего покрытия
<i>62. Дефектоскопический ультрафиолетовый облучатель. УФ-облучатель</i>	Прибор, генерирующий и направляющий нормированное длинноволновое ультрафиолетовое излучение для выполнения несплошностей с помощью люминесцентных пенетрантов

Окончание приложения 27

1	2
63. Устройство подготовки объектов к капиллярному неразрушающему контролю	Средство контроля, предназначенное для очистки контролируемой поверхности и полостей несплошностей объекта контроля перед применением пенетранта
64. Устройство обработки объектов дефектоскопическими материалами	Средство контроля, предназначенное для отдельного или взаимозависимого заполнения полостей несплошностей пенетрантом, удаления пенетранта, нанесения и удаления проявителя
65. Устройство проявления несплошностей	Средство контроля, предназначенное для интенсификации процесса образования индикаторного рисунка под воздействием тепла, вакуума, вибрации или упругой деформации объекта контроля
66. Устройство выявления несплошностей	Средство контроля, предназначенное для визуального обнаружения или косвенной регистрации индикаторного рисунка в нормированных условиях освещения или облучения
67. Устройство контроля дефектоскопического материала	Прибор для контроля одного или нескольких параметров дефектоскопического материала на их соответствие установленным нормам
68. Устройство контроля излучения	Прибор для измерения облученности или освещенности поверхности объекта контроля соответствующим излучением
69. Устройство контроля технологического процесса	Средство контроля режима технологической операции (операций), подготовки и обработки объекта контроля дефектоскопическим материалом (материалами)

**ТЕРМИНЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СПОСОБОВ
КАПИЛЛЯРНОГО НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ**

Термин	Определение
1	2
СПОСОБЫ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОЧИСТКИ ПОВЕРХНОСТЕЙ И ПОЛОСТЕЙ НЕСПЛОШНОСТЕЙ ОБЪЕКТА КОНТРОЛЯ	
<i>1. Механическая очистка</i>	Очистка поверхности объекта контроля струей песка, дроби, косточковой крошки, другими диспергированными абразивными материалами или резанием, в том числе обработка поверхности шлифованием, полированием, шабровкой
<i>2. Паровая очистка</i>	Очистка в парах органических растворителей
<i>3. Растворяющая очистка</i>	Очистка воздействием на объект контроля удаляющих загрязнители водных или органических растворителей, в том числе посредством струйной промывки, погружения, протирки
<i>4. Химическая очистка</i>	Очистка водными растворами химических реагентов, взаимодействующих с удаляемыми загрязнениями, не повреждая объект контроля
<i>5. Электрохимическая очистка</i>	Очистка водными растворами химических реагентов с одновременным воздействием электрического тока
<i>6. Ультразвуковая очистка</i>	Очистка органическими растворителями, водой или водными растворами химических соединений в ультразвуковом поле с использованием режима ультразвукового капиллярного эффекта. ПРИМЕЧАНИЕ к пп. 6 и 13. Ультразвуковой капиллярный эффект – явление аномального увеличения высоты и скорости подъема жидкости в капиллярной полости под действием ультразвука
<i>7. Анодно-ультразвуковая очистка</i>	Очистка водными растворами химических реагентов с одновременным воздействием ультразвука и электрического тока
<i>8. Тепловая очистка</i>	Очистка прогревом при температуре, не вызывающей недопустимых изменений материала объекта контроля

Продолжение приложения 28

1	2
<i>9. Сорбционная очистка</i>	Очистка смесью сорбента и быстросохнущего органического растворителя, наносимой на очищаемую поверхность, выдерживаемой и удаляемой после высыхания
СПОСОБЫ ЗАПОЛНЕНИЯ ПОЛОСТЕЙ НЕСПЛОШНОСТЕЙ ИНДИКАТОРНЫМ ПЕНЕТРАНТОМ	
<i>10. Капиллярное заполнение</i>	Самопроизвольное заполнение полостей несплошностей индикаторным пенетрантом, наносимым на контролируемую поверхность смачиванием, погружением, струйно, распылением с помощью сжатого воздуха, хладона или инертного газа
<i>11. Вакуумное заполнение</i>	Заполнение полостей несплошностей индикаторным пенетрантом при давлении в их полостях менее атмосферного
<i>12. Компрессионное заполнение</i>	Заполнение полостей несплошностей индикаторным пенетрантом при воздействии на него избыточного давления
<i>13. Ультразвуковое заполнение</i>	Заполнение полостей несплошностей индикаторным пенетрантом в ультразвуковом поле с использованием ультразвукового капиллярного эффекта
<i>14. Деформационное заполнение</i>	Заполнение полостей несплошностей индикаторным пенетрантом при воздействии на объект контроля упругих колебаний звуковой частоты или статического нагружения, увеличивающего раскрытие несплошности
СПОСОБЫ УДАЛЕНИЯ ИНДИКАТОРНОГО ПЕНЕТРАНТА	
<i>15. Удаление протираанием</i>	Удаление индикаторного пенетранта салфетками с применением в необходимых случаях очищающего состава или растворителя
<i>16. Удаление промыванием</i>	Удаление индикаторного пенетранта водой, специальным очищающим составом или их смесями – погружением, струйно или распылением потоком

Продолжение приложения 28

1	2
<i>17. Удаление обдуванием</i>	Удаление индикаторного пенетранта струей песка, дроби, древесных опилок или другого абразивного очищающего материала
<i>18. Удаление гашением</i>	Устранение мешающего влияния пенетранта воздействием на него с поверхности гасителя люминесценции или цвета
СПОСОБЫ НАНЕСЕНИЯ ПРОЯВИТЕЛЯ	
<i>19. Нанесение распылением</i>	Нанесение жидкого проявителя струей воздуха, инертного газа или безвоздушным методом
<i>20. Нанесение электро-распылением</i>	Нанесение проявителя в электрическом поле обычно с распылением его струей воздуха, механическим путем
<i>21. Нанесение воздушной взвесью</i>	Нанесение порошкообразного проявителя путем создания его воздушной взвеси в камере, где размещен объект контроля
<i>22. Кистевое нанесение</i>	Нанесение жидкого проявителя кистью, щеткой или заменяющими их средствами
<i>23. Нанесение погружением</i>	Нанесение жидкого проявителя кратковременным погружением в него объекта контроля
<i>24. Нанесение обливанием</i>	Нанесение жидкого проявителя обливанием
<i>25. Нанесение электроосаждением</i>	Нанесение проявителя погружением в него объекта контроля с одновременным воздействием электрического тока
<i>26. Нанесение посыпанием</i>	Нанесение порошкообразного проявителя припудриванием или обсыпанием объекта контроля
<i>27. Нанесение наклеиванием</i>	Нанесение ленты пленочного проявителя прижатием липкого слоя к объекту контроля
СПОСОБЫ ПРОЯВЛЕНИЯ ИНДИКАТОРНЫХ СЛЕДОВ	
<i>28. Временное проявление</i>	Нормированная по продолжительности выдержка объекта контроля на воздухе до момента появления индикаторного рисунка
<i>29. Тепловое проявление</i>	Нормированное по продолжительности и температуре нагревание объекта контроля при нормальном атмосферном давлении
<i>30. Вакуумное проявление</i>	Выдержка в нормированном вакууме над поверхностью объекта контроля

Продолжение приложения 28

1	2
<i>31. Вибрационное проявление</i>	Упруго-деформационное воздействие на объект посредством вибрации, циклического или повторно статистического его нагружения
СПОСОБЫ ОБНАРУЖЕНИЯ ИНДИКАТОРНОГО СЛЕДА	
<i>32. Визуальное обнаружение</i>	Совокупность зрительных приемов обнаружения, в том числе с применением оптических или фотографических средств, оператором видимого индикаторного следа несплошности, выявленной люминесцентным, цветным, люминесцентно-цветным и яркостным методами
<i>33. Фотоэлектрическое обнаружение</i>	Совокупность фотоэлектрических приемов обнаружения и преобразования с применением различных средств косвенной индикации и регистрации сигнала видимого индикаторного следа несплошности, выявленной люминесцентным, цветным, люминесцентно-цветовым и яркостным методами
<i>34. Телевизионное обнаружение</i>	Совокупность телевизионных приемов обнаружения, преобразования в аналоговую или дискретную форму с соответствующим представлением на экран, дисплей, магнитную пленку сигнала от видимого индикаторного следа несплошности, выявленной люминесцентным, цветным, люминесцентно-цветным и яркостным методами
<i>35. Инструментальное обнаружение</i>	Совокупность косвенных приемов обнаружения сигнала от невидимого глазом индикаторного следа несплошности или сигнала от индикаторного пенетранта, находящегося внутри полости несплошности
СПОСОБЫ УДАЛЕНИЯ ПРОЯВИТЕЛЯ	
<i>36. Удаление протираем</i>	Удаление проявителя салфетками в необходимых случаях с применением воды или органических растворителей

Окончание приложения 28

1	2
<i>37. Удаление промыванием</i>	Удаление проявителя промывкой объекта в воде или органических растворителях с необходимыми добавками и применением вспомогательных средств, в том числе щеток, ветоши, губок
<i>38. Ультразвуковое удаление</i>	Удаление проявителя промывкой объекта в воде или органических растворителях с необходимыми добавками и применением ультразвукового воздействия
<i>39. Удаление анодной обработкой</i>	Удаление проявителя электрохимической обработкой объекта растворами химических реагентов с одновременным воздействием электрического тока
<i>40. Удаление обдуванием</i>	Обработка покрытого проявителя объекта абразивным материалом в виде песка, крошки или гидроабразивными смесями
<i>41. Удаление выжиганием</i>	Удаление проявителя нагреванием объекта до температуры сгорания проявителя
<i>42. Удаление отклеиванием</i>	Отделение ленты пленочного проявителя от контролируемой поверхности с индикаторным следом несплошности
<i>43. Удаление отслоением</i>	Отделение слоя проявителя от контролируемой поверхности с индикаторным следом несплошности
ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ КОНТРОЛЯ	
<i>44. Воспроизводимость результатов капиллярного неразрушающего контроля</i>	Качество капиллярного неразрушающего контроля, отражающее близость друг к другу результатов контролей, выполненных различными дефектоскопическими материалами в различных условиях, определяемое статистическими методами
<i>45. Сходимость результатов капиллярного неразрушающего контроля</i>	Качество капиллярного неразрушающего контроля, отражающее близость друг к другу результатов контроля, полученных в одинаковых условиях одними дефектоскопическими материалами, определяемое статистическими методами

**ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ КАПИЛЛЯРНОГО
НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ**

<p>1. Ангстрем (А) – единица длины, которая может использоваться для выражения длины волны электромагнитного излучения, например света. 1 ангстрем</p>	<p>Angstrom unit (A) – a unit of length which may be express the wavelength of electromagnetic radiation, that is, light. One angstrom unit is equal to 0.1 nm (1 nm = 10⁻⁹ m)</p>
<p>2. Видимый свет – электромагнитное излучение в диапазоне длин волн 400–700 нм (4000–7000 А)</p>	<p>Visible light – electromagnetic radiation in 400–700 nm (4000–7000 A) wavelength range</p>
<p>3. Время проявления – время, истекшее между нанесением проявителя и контролем детали</p>	<p>Developing time – in liquid penetrant examination, the elapsed time between the application of the developer and the examination of the part</p>
<p>4. Время сушки – время, требуемое для сушки промытой или обработанной влажным проявителем контролируемой детали</p>	<p>Drain time – in liquid penetrant examination, that portion of the dwell time during which the excess penetrant or emulsifier drains from the part</p>
<p>5. Время эмульсификации – время, в течение которого эмульсификатор остается на детали совместно с проникающей жидкостью до удаления (также называется временем соприкосновения эмульсификатора)</p>	<p>Emulsification time – in liquid penetrant examination, the time that an emulsifier is permitted to remain on the part to combine with the surface penetrant prior to removal. Also called emulsifier dwell time</p>
<p>6. Дефект – несплошность или группа несплошностей, индикации по которым выходят за пределы принятых критериев</p>	<p>Defect – in liquid penetrant examination, a discontinuities whose indications violate specified acceptance criteria</p>
<p>7. Загрязнитель – любое постороннее вещество, присутствующее на контролируемой поверхности или в материалах контроля, которое вредно влияет на характеристику проникающей жидкости</p>	<p>Contaminant – any foreign substance present on the test surface or in the inspection materials which will adversely affect the performace of liquid penetrant materials</p>
<p>8. Индикация – отображение несплошности, которое требует интерпретации для установления ее значимости</p>	<p>Indication – in nondestructive examination, of a discontinuity that requires interpretation to determine its significanse</p>
<p>9. Интерпретация – определение релевантности или нерелевантности индикаций</p>	<p>Interpretation – in nondestructive examination, the determination whether indications are relevant or nonrelevant</p>

Продолжение приложения 29

<p>10. Контраст – различие видимости (яркость или окраска) индикации и фона</p>	<p>Contrast – in liquid penetrant examination, the difference is visibility (brightness or coloration) between an indication and the background</p>
<p>11. Ложная индикация – индикация, несоответствующая несплошности и полученная из-за неподходящего метода или обработки</p>	<p>False indication – in nondestructive examination, an indication obtained through improper technique or processing</p>
<p>12. Несплошность – неоднородность в физической структуре или теле детали</p>	<p>Discontinuity – an interruption which may be either intentional or unintentional in the physical structure or configuration of a part</p>
<p>13. Оценка – просмотр (с последующей интерпретацией) отмеченных индикаций с целью определения их соответствия принятым критериям</p>	<p>Evaluation – in nondestructive examination, a review, following interpretation, of the indications noted to determine whether or not they meet the specified acceptance criteria</p>
<p>14. Последующая чистка – удаление остатка материалов капиллярного контроля с детали после его окончания</p>	<p>Post-cleaning – the removal of residual liquid penetrant examination materials from the test part after the penetrant examination has been completed</p>
<p>15. Предварительная чистка – удаление поверхностных загрязнений с контролируемой детали, чтобы не оказалось помех в процессе контроля</p>	<p>Precleaning – the removal of surface contaminants from the test part so that they will not interfere with the examination process</p>
<p>16. Проверка – визуальный контроль детали после окончания стадий обработки проникающей жидкостью</p>	<p>Inspection – visual examination of the test part after completion of the liquid penetrant processing steps</p>
<p>17. Промывка – процесс удаления материалов капиллярного контроля с поверхности контролируемой детали с помощью другой жидкости (обычно воды)</p>	<p>Rinse – the process of removing liquid penetrant examination materials from the surface of a test part by means of washing or flooding with another liquid, usually water</p>
<p>18. Промывка опусканием – способ удаления избытка проникающей жидкости, при котором контролируемые детали опускаются в емкость с водой или другой смывающей жидкостью</p>	<p>Dip rinse – in liquid penetrant examination, a means of removing excess penetrant in which the test parts are dipped into an agitated tank of water or other remover</p>

Окончание приложения 29

<p>19. Промывка погружением – способ удаления проникающей жидкости с поверхности, при котором контролируемая деталь погружается в ванну с водой или смывающим веществом</p>	<p>Immersion rinse – in liquid penetrant examination, a means of removing surface penetrant, in which the test part is immersed in a tank of either water or other remover</p>
<p>20. Проникающая жидкость – раствор краски, видимой или люминесцентной, который может проникать в несплошности, открытые у поверхности</p>	<p>Penetrant – a solution of dye either visible or fluorescent, capable of entering discontinuities open to the surface</p>
<p>21. Проявитель – вещество, которое наносится на контролируемую поверхность для ускорения выцветания и усиления контраста индикаций</p>	<p>Developer – in liquid penetrant examination, a material that is applied to the test surface to accelerate bleedout and to enhance the contrast of indications</p>
<p>22. Проявитель влажный (водный), суспендируемый – суспензия частиц проявителя в воде</p>	<p>Developer, wet (aqueous) suspendible – in liquid penetrant examination, a suspension of developer particles in water</p>
<p>23. Проявитель растворимый – проявитель, полностью растворимый в основе</p>	<p>Developer, soluble – in liquid penetrant examination, a developer completely soluble in its carrier</p>
<p>24. Проявитель сухой – тонкий, сыпучий порошок, используемый в состоянии поставки</p>	<p>Developer, dry – in liquid examination, a fine free-flowing powder used as supplied</p>
<p>25. Проявитель, растворитель – взвесь частиц проявителя в неводной среде, полученная перед применением</p>	<p>Developer, solvent – in liquid penetrant examination, developer particles suspended in a nonaqueous vehicle prior to application</p>
<p>26. Разбавитель – водная или неводная жидкость, в которой растворяются или суспендируются материалы для капиллярного контроля</p>	<p>Vehicle – a liquid, either aqueous or nonaqueous, in which liquid penetrant examination materials are dissolved or suspended</p>
<p>27. Смачивающее действие – способность жидкости распространяться по твердой поверхности или прилипать к ней</p>	<p>Wetting action – the ability of a liquid to spread over and adhere to solid surfaces</p>
<p>28. Удалитель на основе растворителя – летучая жидкость для удаления проникающей жидкости</p>	<p>Solvent remover – a liquid penetrant remover that is volatile liquid</p>

**ПРАВИЛА ХРАНЕНИЯ И ПРОВЕРКА КАЧЕСТВА
ДЕФЕКТОСКОПИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ**

1. Дефектоскопические материалы при входном контроле проверяются по сопроводительной документации (этикетки, упаковочные листы) на соответствие ГОСТу и техническим условиям.

2. Дефектоскопические материалы хранятся в соответствии с требованиями распространяющихся на них стандартов или технических условий.

3. Наборы дефектоскопических материалов хранятся в соответствии с требованиями документации на материалы, из которых они составлены.

4. Дефектоскопические материалы (индикаторные пенетранты и проявители) следует хранить в герметичной посуде. Индикаторные пенетранты необходимо хранить в светонепроницаемой посуде или в защищенном от света месте.

5. Пригодность дефектоскопических материалов следует проверять на контрольных образцах после приготовления набора дефектоскопических материалов, а затем не реже одного раза в неделю.

6. Очистку контрольных образцов следует проводить выдержкой в ацетоне не менее 5–6 ч или промывкой в ацетоне при воздействии ультразвуком в режиме кавитации в течение 60 мин, после чего образцы должны быть высушены и прогреты при максимальной температуре, не вызывающей окисления металла, в течение 15 мин.

7. Контрольные образцы должны быть аттестованы и подвергаться периодической проверке.

8. Применение контрольных образцов, изготовленных другими способами, а также импортных, следует согласовать с головной отраслевой материаловедческой организацией.

9. Контрольные образцы должны иметь дефекты типа неразветвленных тупиковых трещин с раскрытиями, соответствующими применяемым классам чувствительности.

10. Контрольные образцы могут быть изготовлены из любых металлических коррозионно-стойких материалов способами, принятыми на предприятии-изготовителе.

К образцам должен быть приложен паспорт с фотографией картины выявленных дефектов и 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 и метрологической службой предприятия.

Окончание приложения 30

Периодичность поверки контрольных образцов устанавливается в соответствии с приложением 4 (рекомендуемым).

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Еремин Н.И., Филимонова Е.А. Физические основы люминесцентной и цветной дефектоскопии. В кн.: Физико-химические исследования металлов / под ред. И.Р. Крякина: Труды ЦНИИТМАШ, 1960. – № 11. – С. 88–101.
2. № ФИ–003–62. Инструкция. Цветная дефектоскопия сварных соединений и основного металла. – М.: НИКИМТ, 1962.
3. Глазков Ю.А. К вопросу оценки смачивающей способности жидкостей для капиллярной дефектоскопии /Дефектоскопия, 1990. – № 11.
4. Прохоренко П.П. О влиянии физико-химических факторов на процессы миграции индикаторной жидкости при капиллярном контроле /Дефектоскопия, 1985. – № 3.
5. Малкес Л.Я., Сукиасова Л.И., Денель А.К., Боровиков А.С. Наборы материалов для капиллярной дефектоскопии. Дефектоскопия, 1984. – № 6. – С. 15–17.
6. Карякин А.В., Боровиков А.С. Люминесцентная и цветная дефектоскопия. – М.: Машиностроение, 1972.
7. Приборы для неразрушающего контроля материалов и изделий: в 2-х книгах. Кн. 1 /под ред. В.В. Ключева. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1986.
8. Неразрушающий контроль и диагностика: справочник /под ред. В.В. Ключева. – М.: Машиностроение, 1995.
9. Неразрушающий контроль: в 5 кн. Кн. 1: Общие вопросы. Контроль проникающими веществами: практ. пособие /А.К. Гурвич, И.Н. Ермолов, С.Г. Сажин; под ред. В.В. Сухорукова. – М.: Высш. шк., 1992.
10. Зимон А.Д. Адгезия жидкости и смачивание. – М.: Химия, 1974.
11. Сумм Б.Д., Горюнов Ю.В. Физико-химические основы смачивания и растекания. – М.: Машиностроение, 1978.
12. Аксельруд Г.А., Альтшулер М.А. Введение в капиллярно-химическую технологию. – М.: Химия, 1983.
13. Боровиков А.С., Прохоренко П.П., Дежкунов Н.В. Физические основы капиллярной дефектоскопии. – Минск: Наука и техника, 1983.
14. Ермолов И.Н., Останин Ю.Я. Методы и средства неразрушающего контроля качества: учеб. пособие для инженерно-техн. спец. вузов. – М.: Высш. шк., 1988.
15. Маслов Б.Г. Дефектоскопия проникающими веществами: учеб. пособие для ПТУ. – М.: Высш. шк., 1991.

16. ГОСТ 18442–80. Контроль неразрушающий. Капиллярные методы. Общие требования.
17. ГОСТ 24522–80. Контроль неразрушающий. Капиллярные методы. Термины и определения.
18. ГОСТ 23349–84. Дефектоскопы капиллярные. Общие требования и методы испытаний.
19. ГОСТ 18353–79. Контроль неразрушающий. Классификация видов и методов. – М.: Изд. стандартов, 1987.
20. ГОСТ 28369–89. Контроль неразрушающий. Облучатели ультрафиолетовые. Общие технические требования и методы испытаний.
21. ОСТ 26–5–99. Цветной метод контроля сварных соединений наплавленного и основного металла.
22. ОСТ 5.9537–72. Дефектоскопия капиллярная. Средства и методы контроля качества поверхности.
23. ОСТ 92–4272–75. Дефектоскопия капиллярная. Методы контроля.
24. ОСТ 95–955–82. Контроль неразрушающий. Соединения сварные. Метод капиллярный.
25. ОСТ 108.004.101–80. Контроль неразрушающий. Люминесцентный, цветной и люминесцентно-цветной методы. Основные положения.
26. ТУ 6–14–37–80. Красители органические. Жирорастворимый темно-красный Ж.
27. РД РОСЭК–005–96. Требования к лабораториям неразрушающего контроля и диагностики. – М.: Издательство МСХА, 1997.
28. ПБ03–440–02. Правила аттестации специалистов неразрушающего контроля. – М.: НПО ОБТ, 2003.
29. ПНАЭ Г–7–018–89. Унифицированная методика контроля основных материалов (полуфабрикатов), сварные соединения и наплавки оборудования и трубопроводов АЭУ. Капиллярный контроль. – М.: ЦНИИ атоминформ, 1990.
30. ПНАЭ Г–7–010–89. Оборудование и трубопроводы АЭУ. Сварные соединения и наплавки. Правила контроля.
31. ИЦК. 28.03–93. Технологическая инструкция по капиллярному методу контроля сварных соединений, наплавки и основного металла при изготовлении, монтаже, эксплуатации и ремонте оборудования и трубопроводов тепловых электростанций, подконтрольных Госгортехнадзору России. – М., 1993.
32. Воюцкий С.С. Курс коллоидной химии. – М.: Химия, 1964.
33. Путилова И.Н. Руководство к практическим занятиям по коллоидной химии. – М.: Высш. шк., 1961.
34. Misak M.D., J. Coll. Sci., 1968, v. 27, № 1, p. 141–142.
35. Neumann A.W., Z. phys. Chem., 1964, Bd. 41, № 5–6, P. 339–352.
36. Черняк М.Г., Найдус Г.П., ЖТФ, 1957, т. 27, № 10. – С. 2268–2272.
37. Федякин Н.Н. В кн.: Моск. техн. пищевой ин-т: сборник работ кафедры физики. – 1957. – № 8. – С. 137–141.

38. Качество образования в 3-х частях. Ч. III: Концепции, проблемы, оценки, управление //Тезисы Всероссийской научно-методической конф. НГТУ, 21–23 апреля. – Новосибирск, 1998.
39. Технический университет: дистанционное инженерное образование //Труды международной научно-практической конф. – Томск: Изд. ТПУ, 1998. – 126 с.
40. Неразрушающие методы контроля. Спецификатор различий в национальных стандартах разных стран.
41. Коршунова А.В. Организация, планирование и управление предприятием: методические указания к выполнению курсовой работы «Технико-экономическое обоснование НИР» // Томск: Изд. ТПИ, 1988. – 26 с.
42. СНиП II–4–79. Естественное и искусственное освещение. – М.: Стройиздат, 1980.
43. РД 153–34.1–003–01 (РТМ – 1с). Сварка, термообработка и контроль трубных систем котлов и трубопроводов при монтаже и ремонте энергетического оборудования. – М., 2001.
44. ПБ 10–573–03. Правила устройства и безопасной эксплуатации трубопроводов пара и горячей воды.
45. РД 153–34.1–17.461–00. Методические материалы по капиллярному контролю сварных соединений, наплавов и основного металла при изготовлении, монтаже, эксплуатации и ремонте объектов энергетического оборудования. – Москва, 2000.
46. Курс обучения специалистов III уровня. Капиллярный метод. Международный учебно-научный центр МНПО «Спектр». – Москва, 1994.
47. РД 34.10.125–94. Инструкция по контролю сварочных материалов и материалов для дефектоскопии. – Москва, 1995.
48. СТО Газпром 2–2.4–083–2006. Инструкция по неразрушающим методам контроля качества сварных соединений при строительстве и ремонте промысловых и магистральных газопроводов. – Москва, 2006.
49. РД–13–06–2006. Методические рекомендации о порядке проведения капиллярного контроля технических устройств сооружений, применяемых и эксплуатируемых на опасных производственных объектах. Серия 28. Выпуск 13/ Колл. авт. – М.: Открытое акционерное общество «Научно-технический центр по безопасности в промышленности», 2007. – 44 с.
50. Радько В.И., Пекер В.М. Требования к экзаменационным образцам, используемым для проведения практических экзаменов при аттестации специалистов по НК в соответствии с требованиями ЕСР (European certification process). <http://www.osp.kiev.ua/obraz.htm>.

Учебное издание

КАЛИНИЧЕНКО Николай Петрович
КАЛИНИЧЕНКО Алексей Николаевич

КАПИЛЛЯРНЫЙ КОНТРОЛЬ

Учебное пособие
для подготовки специалистов I, II и III уровня

Научный редактор
д.т.н., профессор *О.А. Сидуленко*


Редактор *О.Н. Свинцова*
Верстка *К.С. Чечельницкая*
Дизайн обложки *О.Ю. Аршинова*
О.А. Дмитриев

Подписано к печати 12.05.2008. Формат 60x84/16. Бумага «Снегурочка».
Печать XEROX. Усл.печ.л. 16,98. Уч.-изд.л. 15,36.
Заказ 366. Тираж 200 экз.



Томский политехнический университет
Система менеджмента качества
Томского политехнического университета сертифицирована
NATIONAL QUALITY ASSURANCE по стандарту ISO 9001:2000



ИЗДАТЕЛЬСТВО  ТПУ. 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30.