

Министерство образования и науки РФ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**  
**(ФГБОУ ВО «АмГУ»)**

**НЕРАЗРУШАЮЩИЕ МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ**

сборник учебно-методических материалов

для направлений подготовки 24.03.01 Ракетные комплексы и космонавтика, 18.03.01  
Химическая технология, 20.03.01 Техносферная безопасность, 03.03.02 Физика, 58.03.01 –  
Востоковедение и африканистика  
специальностей 24.05.01 Проектирование, производство и эксплуатация ракет и ракетно-  
космических комплексов, 21.05.02 Прикладная геология

Благовещенск, 2024

Печатается по решению  
редакционно-издательского совета  
института компьютерных и инженерных наук  
Амурского государственного университета

Инструментальные методы исследования в химической технологии: сборник учебно-методических материалов для направлений подготовки 24.03.01, 18.03.01, 20.03.01, 03.03.02, 58.03.01 / Амур. гос. ун-т, Ин-т компьютер. и инж. наук, Каф. старт и техн. ракет. комплексы ; сост. В. В. Соловьев – Благовещенск: АмГУ, 2024. – 21 с.

Рассмотрен на заседании кафедры стартовые и технические ракетные комплексы 02.09.2024, протокол № 1.

© Амурский государственный университет, 2024  
© Кафедра стартовые и технические ракетные комплексы, 2024  
© В.В. Соловьев, составление

## **СОДЕРЖАНИЕ**

Введение 4

Краткое содержание теоретического материала 5

Методические рекомендации к практическим занятиям 17

Методические указания для самостоятельной работы 19

## ВВЕДЕНИЕ

**Цели освоения дисциплины** – изучение студентами методов неразрушающего контроля для контроля изделий машиностроения, изучения теоретических принципов работы оборудования для проведения неразрушающего контроля, а также изучения нормативно- технической документации при проведении неразрушающего контроля

**Задачами дисциплины являются:**

- ознакомление студентов с основными принципами неразрушающего контроля;
- ознакомление студентов с основной приборной аппаратурой неразрушающего контроля;
- ознакомление студентов с нормативно- технической документацией при проведении неразрушающего контроля и правильной интерпретации обнаруженных дефектов.

В процессе освоения данной дисциплины магистрант формирует следующие дополнительной профессиональной компетенции и индикаторы их достижения (ДПК, ИД):

| Код и наименование дополнительной профессиональной компетенции                                                                                          | Код и наименование индикатора достижения дополнительной профессиональной компетенции                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ДПК 2 – Способность к самостоятельной постановке целей к профессиональному саморазвитию в процессе реализации индивидуальной образовательной траектории | ИД1ДПК-2 Знать свои потребности и мотивы в профессиональном саморазвитии.<br>ИД2ДПК-2 Уметь самостоятельно ставить перед собой личностные цели в процессе получения новых знаний, планировать результат, понимать свой стиль обучения, свои сильные и слабые стороны, личностные интересы в реализации индивидуальной траектории.<br>ИД3ДПК-2 Владеть: навыками постановки образовательной цели, самоанализа, самоконтроля, рефлексии, выбора пути (вариантов) реализации поставленной цели, решения личностных задач в процессе реализации индивидуальной образовательной траектории. |

## КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА

**Неразрушающий контроль** представляет собой целый спектр методов, позволяющих определять недопустимые дефекты без нарушения целостности сварного соединения. На практике используют более десятка видов неразрушающего контроля: визуально-измерительный, радиационный, ультразвуковой, магнитный, акустико-эмиссионный, метод воздействия проникающими веществами (капиллярный и течеискание), вибродиагностический, тепловой, электрический, оптический, вихретоковый, метод напряженно-деформированного состояния. Применение определенного метода зависит от объекта контроля и категории ответственности участка

**При изготовлении, обработке** и эксплуатации деталей могут существовать дефекты структуры материалов

Классификация дефектов по положению:

- поверхностные дефекты, расположенные на поверхности материала, полуфабриката или изделия – трещины, вмятины, посторонние включения (а);
- подповерхностные дефекты – дефекты, расположенные под поверхностью контролируемого изделия, но вблизи самой поверхности (б);
- объемные дефекты – дефекты, расположенные внутри изделия (в).

**ВИК** – бюджетный и технически самый простой метод неразрушающего контроля с минимальными трудозатратами, один из основных в группе оптических методов. Осмотр объекта – базовый этап, предшествующий другим видам диагностики. Основной металл и сварные соединения проверяют на предмет наличия ржавчины, прожогов, вмятин, заусенцев, наплывов. Дополнительно измеряют форму и размеры кромок, сборочных единиц под сварку, размеры прихваток, перекрытий деталей в нахлесточных соединениях и т.д. Ключевые руководящие документы для этого метода – РД 03-606-03 (отменён с 01.01.2021 года, но пока применяется в качестве методического источника) и ГОСТ Р ИСО 16737-2014. Для проведения визуального и измерительного контроля используется обширный арсенал инструментов и принадлежностей – лупы, шаблоны сварщика, рулетки, угольники, штангенциркули, линейки и многое другое. Для большего удобства приспособления комплектуются в наборы.

Самая популярная его разновидность – **магнитопорошковый метод (МПД)**. На исследуемую поверхность наносят специальный порошок либо суспензию в виде мелкодисперсной взвеси магнитных частиц в жидкости. После этого при помощи ручного электромагнита, постоянного магнита или дефектоскопа создаётся магнитное поле. Магнитные частицы оседают вблизи несплошностей. Полученный индикаторный рисунок подлежит рассмотрению и расшифровке – либо невооружённым глазом, либо при помощи УФ-светильников. После этого изделие размагничивают. Магнитопорошковый метод неразрушающего контроля применяется для изделий из ферромагнитных материалов и эффективен для поверхностных и приповерхностных дефектов (до 2 мм): усталостных, закалочных, шлифовочных, ковочных и иных трещин, волосовин, неметаллических включений, флокенов, несплавлений и прочих несплошностей.

«Слабость» МПД в том, что определить глубину раскрытия обнаруженных трещин с ним не так-то просто. Это вообще метод сугубо индикаторный - он не предназначен для измерения размеров и установления характера дефектов.

**Данный вид НК** считается одним из самых эффективных, простых и доступных методов для обнаружения дефектов, сквозных и поверхностных. Контроль проникающими веществами подразделяется на течеискание (ПВТ) и капиллярный контроль (ПВК). Технология ПВК предполагает применение специальных индикаторных жидкостей – пенетранта и проявителя. Перед проведением и по завершении осмотра индикаторного рисунка поверхность обрабатывают очистителем. Такой метод неразрушающего контроля ещё называют цветным (ЦД, ПВК). Заполненные пенетрантом несплошности, трещины, складки, несплавления окрашиваются в характерный цвет (чаще всего, красный). На белом фоне остальной поверхности они резко контрастируют, что и позволяет выявлять мельчайшие дефекты. Наиболее существенный недостаток

метода – токсичность, повышенные требования к вентиляции в рабочей зоне и средствам индивидуальной защиты дефектоскописта. Что касается течеискания, то оно предназначается для поиска сквозных дефектов и объединяет массу методов. Самый популярный из них – вакуумирование (пузырьковый метод).

**Ультразвуковая дефектоскопия, или УЗК (УЗД)** – пожалуй, самый универсальный метод, строго обязательный на самых разных опасных производственных объектах. Применяется практически всюду, начиная диагностикой железнодорожных путей и заканчивая литейным производством. Этот вид неразрушающего контроля основан на излучении и/или приёме акустических колебаний и волн в материале. Это могут быть стальные, алюминиевые, чугунные сплавы, а также композиты, полимеры, пластики, стекло, фарфор и пр. Ультразвуковая дефектоскопия хороша тем, что:

- позволяет обнаруживать наиболее критичные дефекты;
- абсолютно безопасна для оператора – в отличие от капиллярного или радиационного контроля;
- подходит как для металлических, так и для неметаллических материалов;
- отлично «вписывается» на производственных предприятиях и полевых объектах, где предъявляются высокие требования к производительности;
- обеспечивает наглядность контроля.

## Виды дефектов продукции

### Классификация дефектов

Дефект – каждое отдельное несоответствие продукции требованиям, установленным нормативной документацией (ГОСТ, ОСТ, ТУ и т.д.). Дефектами являются любые отклонения параметров материалов, деталей и изделий от заданных (например, цепочка размеров, качество обработки поверхности, а также ряд других физических величин).

К несоответствиям относятся неоднородность состава материала:

наличие включений, изменение химического состава, наличие других фаз материала, отличных от основной фазы, и др.; нарушение сплошности материалов и деталей.

Далее рассмотрим, по каким признакам можно классифицировать дефекты.

Дефекты подразделяются на явные (выявляются глазами) и скрытые (внутренние, подповерхностные, т. е. не различимые глазом).

В зависимости от возможного влияния дефекта на служебные свойства детали дефекты могут быть:

- малозначительными (на работоспособность продукции никак не оказывают влияния);
- значительными (существенно влияют на использование продукции и/или на ее долговечность, но не являются критическими);
- критическими (при их наличии использование продукции по назначению невозможно или исключается по соображениям безопасности и надежности).

По происхождению дефекты изделий бывают:

- производственно-технологические (возникающие при изготовлении, сварке, резке, пайке, клепке, склеивании, механической или химической обработке и т. п.);
- эксплуатационные или ремонтные (возникают после некоторой наработки изделия в результате усталости материала, изнашивания трущихся узлов, а также неправильной эксплуатации, технического обслуживания и ремонта);
- конструктивные (несовершенство конструкции из-за ошибок на этапе проектирования).

Также для выбора оптимальных методов и параметров контроля производится классификация дефектов по различным признакам: по размерам дефектов, их количеству и форме, месту расположения дефектов в контролируемом объекте и т. д.

В ультразвуковой дефектоскопии размер дефекта (дефектов) влияет на выбор рабочей частоты. Размеры дефектов могут изменяться от долей миллиметров до сколь угодно большой величины.

Количественная классификация дефектов подразумевает три случая:

- одиночные дефекты (рис. 1, а);

- групповые (множественные) дефекты (рис. 1, б);
- сплошные дефекты (рис. 1, в).

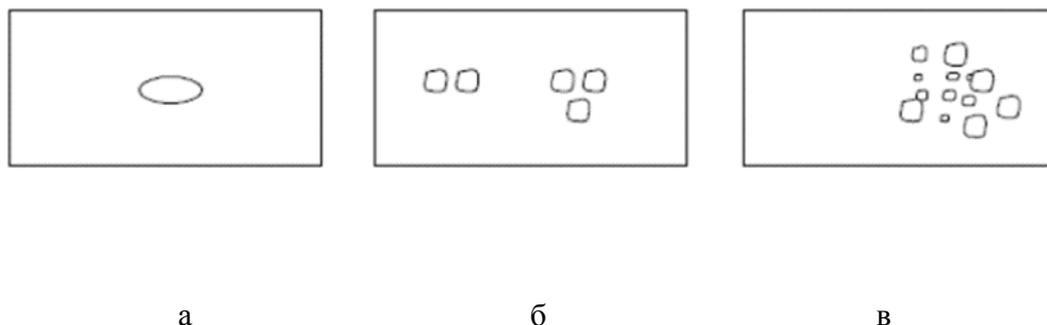


Рис. 1. Количественная классификация дефектов:  
а – одиночные; б – групповые; в – сплошные

Для классификации дефектов по форме существуют три основных случая:

- дефекты правильной формы – овалы, очень близкие к сферической или цилиндрической форме, без каких-либо острых краев (рис. 2, а);
- дефекты чечевицеобразной формы, с острыми краями (рис. 2, б);
- дефекты произвольной, неопределенной формы с острыми краями: трещины, посторонние включения (рис. 2, в).

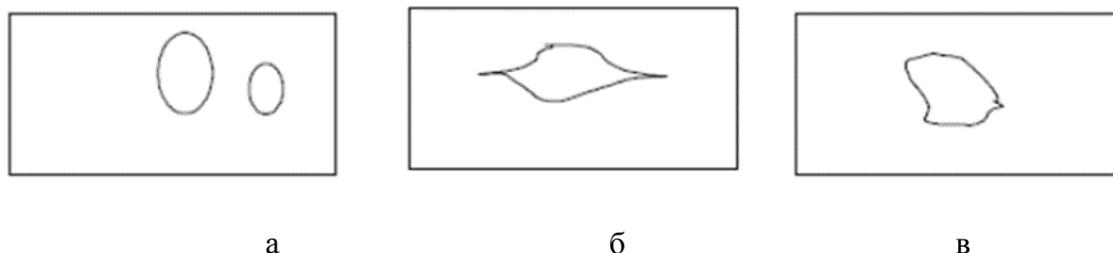


Рис. 2. Классификация дефектов по форме:  
а – правильная форма; б – чечевицеобразная форма с острыми краями;  
в – произвольная, неопределенная форма с острыми краями

Дефекты правильной формы, без острых краев, наименее опасны, потому что вокруг них не происходит концентрации напряжений.

Дефекты с острыми краями (рис. 2, б, в) являются концентраторами напряжений. Они увеличиваются в процессе эксплуатации изделия по линиям концентрации механических напряжений, что, в свою очередь, приводит к разрушению изделия.

Из вышесказанного следует, что форма дефекта определяет его опасность с точки зрения разрушения конструкции.

Классификация дефектов по положению:

- поверхностные дефекты, расположенные на поверхности материала, полуфабриката или изделия – трещины, вмятины, посторонние включения (рис. 3, а);
- подповерхностные дефекты – дефекты, расположенные под поверхностью контролируемого изделия, но вблизи самой поверхности (рис. 3, б);
- объемные дефекты – дефекты, расположенные внутри изделия (рис. 3, в).

Наличие фосфовидных и нитридных включений и прослоек может привести к образованию дефектов еще одного вида – сквозных.

По форме поперечного сечения сквозные дефекты бывают круглые (поры, свищи, шлаковые включения) и щелевидные (трещины, непровары, дефекты структуры, несплошности в местах расположения оксидных и других включений и прослоек).

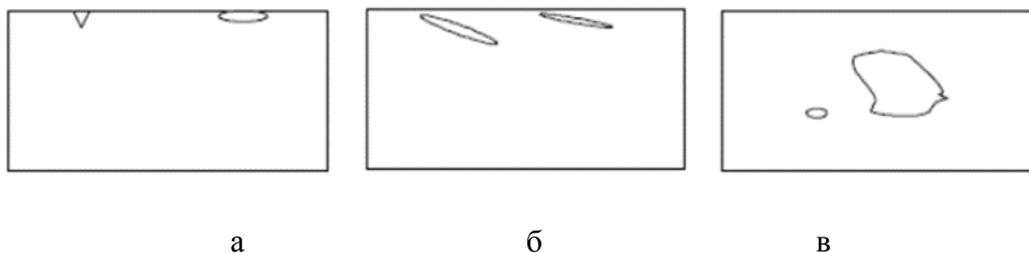


Рис. 3. Классификация дефектов по положению контролируемом объекте:  
а – поверхностные; б – подповерхностные; в – объемные

Сквозные дефекты по характеру внутренней поверхности подразделяются на гладкие (внутренняя поверхность шлаковых каналов) и шероховатые (внутренняя поверхность трещин, непроваров и вторичных поровых каналов).

Положение дефекта влияет как на выбор метода контроля, так и на его параметры. При ультразвуковом контроле положение дефекта влияет на выбор типа волн – поверхностные дефекты лучше всего определяются рэлеевскими волнами, подповерхностные – головными волнами, а объемные – объемными (продольными) волнами.

Опасность влияния дефектов на работоспособность зависит от их вида, типа и количества. Классификация возможных дефектов в изделии позволяет правильно выбрать метод и средства контроля.

#### УЗК

Акустические волны – распространяющиеся в упругой среде механические колебания частиц среды.

При движении волны частицы совершают колебания около своих положений равновесия.

Длина волны  $\lambda$  – расстояние между двумя ближайшими частицами, которые колеблются в одинаковой фазе, она вычисляется по формуле:

где  $c$  – скорость движения волны в материале проверяемой детали;

$T$  – период колебаний;  $f$  – частота колебаний.

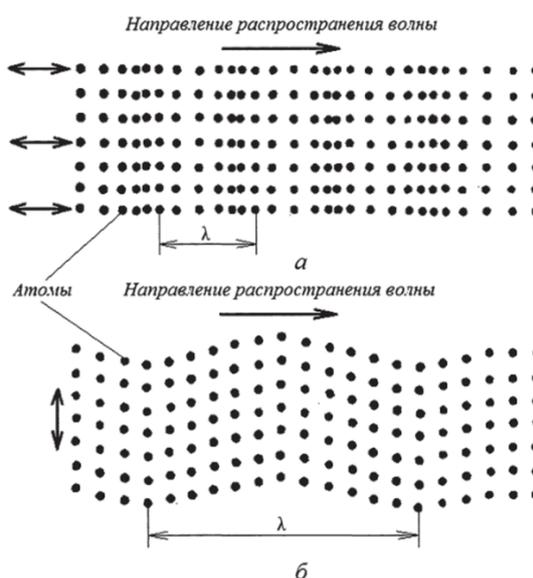


Рис. 4. Типы волн: а — продольная волна; б — поперечная волна

В зависимости от направления колебания частиц по отношению к направлению распространения волны различают 4 типа волн

- продольные;
- поперечные;
- поверхностные;
- нормальные.

В продольной волне частицы колеблются вдоль направления распространения волны. Эти волны представляют собой чередование зон сжатий и растяжений (рис. 4, а). Они могут распространяться в твердых, жидких и газообразных средах. В поперечной (сдвиговой) волне частицы колеблются перпендикулярно к направлению ее распространения. Поперечные волны (рис. 4, б) могут распространяться только в твердых средах.

Человеческим ухом для восприятия доступен только звуковой диапазон, остальные волны не слышны.

При акустическом контроле используются ультразвуковые волны частотой от 0,5 до 10 МГц и волны звукового диапазона частотой от 1 до 8 кГц.

Коротковолновые ультразвуковые колебания по своим свойствам сходны со свойствами световых лучей:

- они так же, как и световые лучи, могут отражаться, преломляться, фокусироваться, интерферировать, испытывать дифракцию и затухать по мере распространения; - они распространяются в виде направленных лучей

#### **Конструкция и основные элементы пьезоэлектрических преобразователей**

В классическом виде датчик ПЭП представляет собой устройство из нескольких важных функциональных частей.

**Пьезоэлемент.** Это ключевой компонент. Отвечает за преобразование электрической энергии в упругую, и наоборот. Обычно представляет собой пластину из пьезокерамики, которая изготавливается из порошковых материалов – цирконата титаната свинца, титаната бария, ниобата свинца и т.д. Низкочастотные ПЭП оснащаются многослойными пьезоэлементами, состоящими из нескольких склеенных между собой пластин.

**Электроды,** напаянные на поверхности пьезопластины. Чаще всего изготавливаются из никеля или серебра в виде наплавляемого электропроводящего слоя толщиной до нескольких тысячных миллиметра. Электроды нужны для того, чтобы электрический сигнал распределялся по пьезоэлементу равномерно. За подведение и снятие электрического напряжения с электродов отвечают проводники.



Рис. 5 Ультразвуковой пьезоэлектрический преобразователь (ПЭП)

**Катушка.** Часть резонансного контура генератора, назначение которой – обеспечение наибольшего коэффициента преобразования электрической энергии в упругую, и наоборот.

Протектор («подошва»). Основная функция – защищать прямой ПЭП от изнашивания, дополнительная – обеспечение стабильного акустического контакта с объектом. Это сменный элемент. Самый распространённый материал для протекторов – керамика. Менее долговечный вариант – эпоксидная смола с ферровольфрамом. Также встречаются полиуретановые и даже резиновые протекторы.

Демпфер. Подавляет инерционные свойства пьезопластины. Выполняется из композитов, в которых есть рассеиватели (порошки тяжёлых металлов и их окислов) и связующий компонент (эпоксидная смола или компаунд). Акустические сопротивления материалов, из которых изготовлены демпфер и пьезоэлемент, должны быть взаимосогласованными. Хороший демпфер гасит свободные колебания пьезоэлемента, позволяя тем самым получать короткие импульсы без многократных отражений. Дополнительно к этому на обратной стороне демпфера делаются специальные вырезы, выдерживается тонкая воздушная прослойка между наполнителем и корпусом. Всё это способствует уменьшению мёртвой зоны при контроле.

Призма (у наклонных пьезоэлектрических преобразователей и РС ПЭП). Обеспечивает необходимый тип волны (процесс распространения упругих колебаний в объекте) с заданным углом ввода (может достигать 90 градусов). Призмы обычно производят из оргстекла и особых полимеров (поликарбонат, полистирол). Материал подбирается с таким расчётом, чтобы как можно быстрее подавлять повторные отражения (реверберацию).

Акустический экран. Задача – изолировать излучающую часть от приёмной. Экран должен обладать высоким коэффициентом затухания ультразвука, поэтому его изготавливают из пенопласта и пробки. Также на экран наносят электроизолирующее покрытие. Идеальный расклад – когда сигналы от излучателя будут передаваться на приёмник исключительно через объект контроля. Правда, в действительности добиться этого практически невозможно, и незначительный переход всё равно имеет место.

Корпус. Защищает внутренние элементы пьезоэлектрического преобразователя, обеспечивает их эргономичную компоновку в единую конструкцию и обеспечивает дополнительное экранирование от электромагнитных помех. Выполняется из прочных, но лёгких сплавов – алюминия, латуни и пр. Встречаются модели и в пластиковом «обличье» (с дополнительной металлизацией). Часто производители наносят на корпус миллиметровые шкалы и вспомогательные риски для более точного определения стрелы, точки выхода и местоположения выявленных дефектов.

Разъёмы. Самые распространённые – Lemo 00, BNC, у миниатюрных датчиков – Microdot. Они нужны для подключения к электронному блоку дефектоскопа посредством коаксиального кабеля, по которому передаются сигналы.

#### **Эхо-импульсный метод**

Сущность контроля эхо-импульсным методом (рис. 6) состоит в том, что в деталь посылают короткие импульсы (длительностью 1—3 мкс) ультразвуковых колебаний с интервалом 1—5 мс. Излучающий преобразователь можно одновременно использовать в качестве приемника. В момент посылки импульса на экране прибора возникает всплеск. Ультразвуковой импульс проходит через деталь 2 и, отражаясь от ее противоположной стороны, возвращается к излучателю. Приход отраженного сигнала также регистрируется прибором (рис. 6).

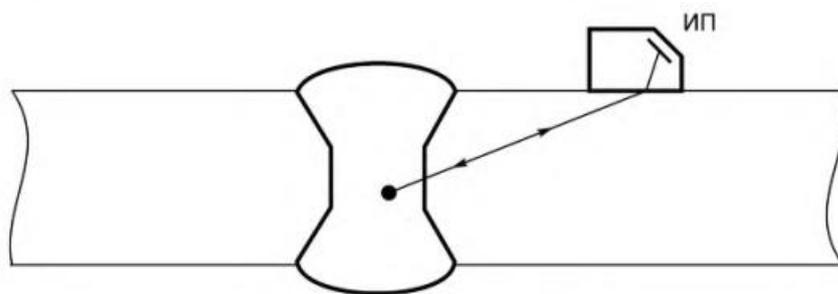


Рис. 6 Эхо-импульсный метод

В настоящее время этот метод получил наибольшее распространение. С его помощью проверяются лопатки роторов турбин и компрессоров авиационных двигателей, контролируются цапфы осевых шарниров втулок вертолетов, цилиндры двигателей внутреннего сгорания, барабаны колес, ответственные крепежные детали. Метод также применяется для определения толщины стенок деталей, структуры материала при одностороннем доступе к проверяемому изделию. Для получения надежных результатов контроля дефектоскоп настраивают по эталонной детали с известным дефектом.

Схемы реализации **зеркально-теневого** метода (ЗТМ) контроля приведены на рис. 7. В этом случае излучатель и приемник расположены на одной стороне (контактной). Зеркально-теневой метод можно реализовать либо одним прямым, либо двумя наклонными преобразователями. При работе по первой схеме в рельсовой дефектоскопии чаще используются раздельно-совмещенный преобразователь.

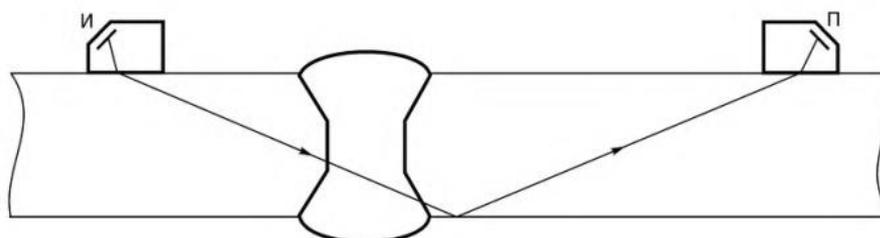


Рис. 7 Зеркально-теневого метод

Приемник регистрирует сигнал, отраженный от противоположной стороны (донной), который называют «донным» сигналом. Ультразвук проходит изделие два раза, что повышает чувствительность контроля. Можно работать также по второму и последующим донным сигналам, причем чувствительность при этом будет увеличиваться. В отличие от теневого метода ЗТМ не требует двухстороннего доступа к изделию, но необходимо наличие двух плоско-параллельных поверхностей. При использовании прямых ПЭП также не дает информации о глубине залегания дефекта

**Эхо-зеркальный метод.** Он также заключается в использовании двух преобразователей, но располагаются они с одной стороны сварного соединения. Сгенерированные приёмником ультразвуковые колебания отражаются от дефекта и регистрируются приёмником. На практике такой метод получил широкое распространение для поиска дефектов, расположенных перпендикулярно поверхности сварного соединения, например, сварных трещин на рисунке 8.

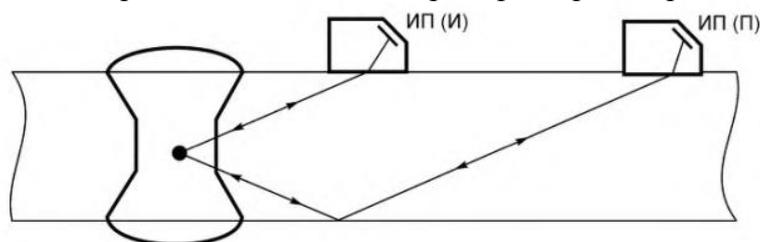


Рис. 8 Эхо-зеркальный метод

#### *Виды пьезоэлектрических преобразователей*

При продольном и наклонном прозвучивании используют преобразователи трех типов:

- совмещенные (в них пьезопластина одновременно выполняет роль излучателя и приемника);
- раздельные (пьезопластина используется только в режиме излучения или приема);
- раздельно-совмещенные (у них одна половина пьезопластины является излучателем, а другая – приемником).

Основными параметрами описывающими форму и спектр сигнала преобразователя это

1. Частота в МГц
2. Длительность импульса в микросекундах

### 3. Пиковая амплитуда в децибелах

Показана амплитудно-частотная характеристика преобразователя. Полоса пропускания лежит между нижними и верхними границами частот, в данном случае это 6 децибел

#### *Методика ультразвукового контроля*

При выборе параметров ультразвукового контроля необходимо более детально рассматривать возможные зоны ввода ультразвуковых колебаний, положение вероятных дефектов относительно этих зон, акустические свойства материала детали (скорость распространения ультразвуковых колебаний, акустическое сопротивление, коэффициент затухания ультразвуковых колебаний), а также возможные акустические препятствия на пути распространения ультразвука.

Учитывается технология изготовления детали, узла, технические условия на отбраковку и условия работы детали в процессе эксплуатации.

В методике указывают:

- технические требования на отбраковку;
- зоны контроля, типы используемых волн и искателей, направления прозвучивания, места установки искателей, углы ввода ультразвуковых колебаний и схемы перемещения (сканирования) искателей при поиске дефектов;
- оптимальные значения рабочих параметров дефектоскопа и режим работы;
- контрольный образец с искусственными или натуральными дефектами и порядок настройки дефектоскопа на заданную чувствительность и дальность прозвучивания;
- подготовку поверхности контролируемого объекта и обеспечение акустического контакта;
- порядок контроля;
- расшифровку показаний дефектоскопа, определение характера и размеров дефектов;
- меры по обеспечению техники безопасности при работе.

Выбор типа ультразвуковых волн, зон и угла ввода волн и направлений прозвучивания

Способы контроля сварного шва ультразвуковым лучом представлены на рис УЗК стыковых сварных соединений выполняют прямыми и наклонными преобразователями с использованием схем прозвучивания прямым, однократно-отраженным, двукратно-отраженным лучами

Сканирование сварочного шва производят продольно – поперечным сканированием перемещая пьезодатчик вдоль сварочного шва и смещая его в поперечном направлении на половину ширины преобразователя.

При выборе параметров ультразвукового контроля необходимо более детально рассматривать возможные зоны ввода ультразвуковых колебаний, положение вероятных дефектов относительно этих зон, акустические свойства материала детали (скорость распространения ультразвуковых колебаний, акустическое сопротивление, коэффициент затухания ультразвуковых колебаний), а также возможные акустические препятствия на пути распространения ультразвука.

#### ***Капиллярный метод***

Метод основан на капиллярном проникновении внутрь дефекта индикаторной жидкости, хорошо смачивающей материал ОК, с последующей регистрацией индикаторных следов.

Красящий пенетрант наносится на поверхность. Благодаря особым качествам, которые обеспечиваются подбором определенных физических свойств пенетранта: поверхностного натяжения, вязкости, плотности, он под действием капиллярных сил проникает в мельчайшие открытые на поверхности дефекты.

Проявитель растворяет находящийся внутри дефекта краситель, во время испарения несущей жидкости сорбирует его и за счет диффузии "вытягивает" оставшийся в дефекте пенетрант на поверхность.

Имеющиеся дефекты видны достаточно контрастно. Индикаторные следы в виде ветвящихся линий указывают на трещины или царапины, отдельные точки - на поры.

Контроль цветными пенетрантами

Схема технологического процесса капиллярной дефектоскопии предусматривает выполнение следующих операций:

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; " удаление (в случае необходимости) остатков дефектоскопических материалов.

**Стадия I.** Предварительная очистка поверхности Чтобы краситель мог проникнуть в дефекты на поверхности, ее предварительно следует тщательно очистить водой или органическим очистителем. Все загрязняющие вещества (масла, ржавчина, накипь и т. п.), любые покрытия (металлизация, краска и т. п.) должны быть удалены с контролируемого участка. После этого поверхность и полости дефектов должны быть высушены, чтобы внутри дефекта не осталось следов воды или очистителя.

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

Применяют следующие **основные способы очистки изделий**.

Механическая очистка представляет собой обработку поверхности изделия струей абразивного материала или специальным инструментом (щеткой, шабером, шлифовальным кругом, полировальными пастами и др.). Этим способом удаляют твердые, сильно пригоревшие нерастворимые отложения, лакокрасочные покрытия, оксидные пленки, продукты коррозии и окалину с изделий неотвеченною 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.

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

Паровое обезжиривание 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 испаря находящиеся на ней тонкие слои 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 растворимых загрязнений. Для обработки чаще всего используют: бензин Б-70; ацетон; уайт-спирт; специальные растворители, в состав которых входят бутилацетат, этилацетат, ксилол, толуол спирт и другие вещества; четыреххлористый углерод;

трихлорэтилен; метиленхлорид. Промывать изделия следует многократно, последовательно применяя несколько растворителей, причем растворитель, используемый при каждой последующей промывке, должен хорошо смешиваться с остатками ранее примененного, растворять следы еще не удаленных загрязнений, быть более летучим и менее вязким. Для завершения обработки необходимо применять наиболее летучий и наименее вязкий растворитель, например бензин Б-70, ацетон или метиленхлорид.

Завершающей операцией подготовки изделий к контролю является тепловая очистка (сушка), выполняемая после любого способа очистки. Сушку осуществляют выдержкой изделий на воздухе 20-30 минут, обдуванием струей сжатого воздуха, водно-воздушным обдуванием, нагревом в печи или сушильном шкафу до температуры 70—80 °С, вытиранием не волокнистым впитывающим материалом, 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.

**Стадия 2.** Нанесение пенетранта Пенетрант, обычно красного цвета, наносится на поверхность путем распыления, кистью или погружением ОК в ванну, чтобы контролируемый участок хорошо пропитался и полностью покрылся пенетрантом. Рекомендуемое время контакта от 5 до 30 мин. при температуре 5-50° С.

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; губкой 4—6 раз в течение 10—15 мин, не допуская высыхания предыдущего слоя; погружением в ванну, а также с помощью пульверизатора-краскораспылителя или аэрозольного баллона.

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.

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.

**Стадия 3. Удаление избытка пенетранта** Избыток пенетранта удаляется протиркой салфеткой, промыванием водой, либо используя тот же самый очиститель, который применялся на первой стадии. При выполнении этой операции важно иметь в виду, что пенетрант следует удалить с поверхности, но не из полости дефекта. Контролируемую поверхность далее высушивают безворсовой материей или струей воздуха. Теплый воздух с температурой до 50° С ускоряет процесс сушки.

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 устранил последние тонкие слои пленки избыточного пенетранта, с тем чтобы после нанесения проявителя не появлялся нежелательный фон.

В случае наличия на поверхности дефектов с шириной раскрытия более 0,1 мм обычно применяют эмульгатор. При промежуточной промывании водой краситель эмульгирует, т. е.

образует желатиноподобную смесь, и, тем самым, препятствует вымыванию красителя из дефекта. Если же использовать очиститель, то есть опасность вымывания пенетранта и неправильной индикации дефекта.

#### **Стадия 4. Применение проявителя**

Сразу же после просушки на контролируемую поверхность наносится проявитель обычно белого цвета. Проявитель наносится тонким, равномерным слоем, поскольку толстый слой будет маскировать дефекты и затруднять индикацию. Для этого подходят как разбрызгиватели, так и распылители. Наиболее удобны для выполнения этой операции аэрозольные баллончики, которые дают наиболее тонкий слой на поверхности. Нанесение проявителя кистью недопустимо. После нанесения проявителя следует выждать некоторое время, чтобы достичь максимальной визуализации дефекта. Время изменяется от 5 мин. для больших разрывов до 1 ч для тонких дефектов. Поверхностные дефекты будут проявляться как красные следы на белом фоне. Могут использоваться как смываемые, так и водостойкие проявители. В смываемом проявителе индикаторный рисунок дефекта во время проявки постоянно увеличивается, "кровоточит". В водостойком проявителе следы сразу же после испарения несущей жидкости (примерно через одну-две минуты) жестко фиксируются. В этом случае результат контроля можно документировать каким-нибудь способом, например, используя сканер, записать его в память компьютера.

#### **Стадия 5. Контроль**

Инспектирование ОК начинается непосредственно после окончания процесса проявки и заканчивается согласно разным стандартам не более, чем через 30 мин. Относительная оценка глубины дефекта возможна по цветовому пятну. Если пятно проявляется как бледно-красное, дефект залегает неглубоко в материале. Темно-красные линии указывают на более глубокие дефекты. После проведения контроля смываемый проявитель легко удаляется с поверхности. Водостойкий проявитель удаляется очистителем.

Сквозные трещины на тонкостенных контролируемых деталях можно обнаружить, если с одной стороны ОК нанести красящий пенетрант, а с другой - проявитель. Прошедший насквозь краситель будет хорошо виден в слое проявителя.

Капиллярный метод при использовании соответствующих технологий может также обнаружить вмятины, трещины и другие широкие и неглубокие дефекты.

Осмотр контролируемой поверхности рекомендуется проводить через 3—5 мин и через 15—20 мин после высыхания проявителя. Для выявления дефектов по 1 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 первой группы соответствуют шлифовочным, усталостным или закалочным трещинам, волосовинам, оксидным пленкам и другим подобным дефектам, второй группы — коррозионному растрескиванию материалов, третьей 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 изделия со сложной поверхностью или невысокой чистотой обработки.

Важным фактором, определяющим чувствительность капиллярной дефектоскопии, является освещенность рабочего места. При цветном и ахроматическом методах следует пользоваться комбинированным освещением – общим и местным на рабочих местах. Применение одного местного освещения не допускается. Разрешается работать только при общем освещении, если использование местного невозможно по условиям технологии. При дневном свете освещенность рабочего места осмотра детали должна составлять около 2000–2500 лк, а при использовании источника ультрафиолетового излучения быть максимально возможной.

В качестве источников освещения применяют люминесцентные лампы и лампы накаливания. Участок люминесцентного контроля должен быть освещен светильниками отраженного или рассеянного света, обеспечивающими освещенность помещения 10 лк. Допустимая освещенность контролируемой поверхности изделия дневным светом при ультрафиолетовом облучении – не более 30 лк.

Значения освещенности выбирают в зависимости от ширины протяженного индикаторного следа, образующегося при выявлении минимальных для заданного класса чувствительности дефектов, и их контраста на фоне проявителя. Конкретные значения освещенности указаны в технических условиях на дефектоскопы, время непрерывной работы ртутных ламп обычно составляет 1,5 – 8 ч.

## **МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ К ПРАКТИЧЕСКИМ ЗАНЯТИЯМ**

Спецификой лабораторных занятий является то, что теоретические знания, которые получили магистранты на лекциях, они не только применяют на практике, но при этом знакомятся с оборудованием, сами на нем работают и в наглядной, образной форме получают результат. При подготовке к выполнению практической работы необходимо изучить основной и дополнительный материал по теме данной работы. Тщательно разобраться в описании работы, изучить реактивы и оборудование, с которым придется работать, уяснить требования техники безопасности при работе с реактивами и оборудованием. Оформить требуемую часть практической работы, если необходимы предварительные расчеты данных, выполнить их. Ответить на все вопросы, записанные в практическом задании. Студент должен уяснить, что кроме навыков работы с реактивами и оборудованием, эта подготовка помогает ему формировать свойства личности, необходимые исследователю: аккуратность, методичность, точность, внимательность и пунктуальность в работе.

Лабораторные работы, как правило, содержат следующие структурные части:

а) теоретическая часть, в которой кратко излагается теоретический материал, соответствующий опытам практической части;

б) вопросы и задачи для контроля, которые позволяют сосредоточить внимание на основных аспектах практического занятия, а также способствуют закреплению теоретического материала;

в) практическая часть работы включает описание опытов;

г) задания, помогающие более полно и правильно понять суть каждого опыта, осмыслить его цель, а также оформить практическую работу и подготовиться к ее защите.

Перед выполнением практикума студент проходит инструктаж по технике безопасности.

Перед каждой практической работой студент получает допуск после небольшого собеседования с преподавателем.

Выполненный и правильно оформленный отчет по лабораторной работе сдается на проверку преподавателю с дальнейшим собеседованием по выполненной работе .

Промежуточный контроль проводится в виде проверочных работ по индивидуальным заданиям, тестов, расчетно-графических работ.

– назвать правила работы с приборами, работающими от сети.

## ПРАКТИЧЕСКИЕ РАБОТЫ

**Практическое занятие №1** Ознакомление с оборудованием и методикой составления технологической карты ультразвукового контроля сварных соединений

*Цель:* разработать технологическую карту контроля по исходным данным, представленным в задании.

*Задача:* по результатам проведенного контроля и оценки качества участнику необходимо оформить дефектограмму и заключение/протокол.

*Оборудование и материалы*

Контролируемые образцы.

Бланк технологической карты

*Порядок выполнения работы*

Изучить нормативную документацию по составлению технологической карты

Заполнить технологическую карту на ультразвуковой контроль сварного образца.

*Содержание отчета*

1. Название и цель работы.

2. Дать общие сведения о контроле ультразвуком.

3. Описать схемы контроля образцов.

4. Привести рисунки сварного соединения с указанием мест контроля.

5. Сделать выводы по работе.

*Контрольные вопросы*

1. На каком калибровочном образце, в соответствии с ГОСТ 55724-2013, измеряют угол ввода ПЭП?

2. Ультразвуковой контроль объектов из углеродистых и низколегированных сталей проводят с использованием частот в интервале?

3. В каких средах (материалах) могут распространяться продольные волны?

4. Как называется по ГОСТ 55724-2013 чувствительность, которую определяют по мере СО-2 (СО-3Р) и выражают разностью в децибелах между показанием аттенюатора (калиброванного усилителя) при данной настройке дефектоскопа и показанием, соответствующим максимальному ослаблению (усилению), при котором цилиндрическое отверстие диаметром 6 мм на глубине 44 мм фиксируется индикаторами дефектоскопа?

**Практическое занятие 2** Проведение ультразвукового контроля сварного соединения.

*Цель работы:* изучение физических основ ультразвукового контроля, схемы контроля, технологии выполнения и оборудования для ультразвуковой дефектоскопии.

*Оборудование и материалы*

Контролируемые образцы.

Ультразвуковой дефектоскоп.

Контрольные образцы для настройки дефектоскопа.

Рентгеновские снимки сварного шва контрольных образцов.

Минеральное масло, кисточка, ветошь и др. материалы.

*Порядок выполнения работы*

Изучить документацию по устройству и обслуживанию.

Согласно инструкции по эксплуатации выполнить настройку дефектоскопа по скорости УЗК и чувствительности.

Произвести контроль испытываемого сварного образца.

*Содержание отчета*

1. Название и цель работы.
2. Дать общие сведения о контроле ультразвуком.
3. Описать схемы контроля образцов.
4. Привести рисунки сварного соединения с указанием дефектов.
5. Сделать выводы по работе.

*Контрольные вопросы*

1. При контроле сварных соединений наклонным ПЭП для лучшего выявления разноориентированных дефектов рекомендуется в процессе сканирования производить повороты ПЭП относительно его вертикальной оси?
2. Как следует подключать к дефектоскопу раздельно-совмещенный преобразователь?
3. Угол падения, при котором угол преломления составляет  $90^\circ$ , называется?
4. Что, в соответствии с ГОСТ 55724-2013, относится к условным размерам дефекта?

**Практическое занятие 3.** Ознакомление с оборудованием методикой составления технологической карты капиллярного контроля

*Цель:* разработать технологическую карту контроля по исходным данным, представленным в задании.

*Задача:* по результатам проведенного контроля и оценки качества участнику необходимо оформить дефектограмму и заключение/протокол.

*Оборудование и материалы*

Контролируемые образцы.

Бланк технологической карты

*Порядок выполнения работы*

Изучить нормативную документацию по составлению технологической карты

Заполнить технологическую карту на капиллярный контроль сварного образца.

*Содержание отчета*

1. Название и цель работы.
2. Дать общие сведения о контроле капиллярным методом.
3. Описать схемы контроля образцов.
4. Привести рисунки сварного соединения с указанием мест контроля.
5. Сделать выводы по работе.

*Контрольные вопросы*

1. Какой должна быть общая освещенность поверхности люминесцентными лампами при контроле по I и II классам чувствительности по ГОСТ 18442 и РД 13-06-2006?
2. Как должны отмечаться обнаруженные в результате капиллярного контроля недопустимые дефекты по РД 13-06-2006?
3. На выявляемость дефектов оказывает влияние?
4. Какое свойство нежелательно для всех пенетрантов?

**Практическое занятие 4** Капиллярные методы неразрушающего контроля сварного соединения.

*Цель работы:* изучение основ капиллярного контроля, схемы контроля, технологии выполнения и оборудования для капиллярного.

*Оборудование и материалы*

Контролируемые образцы.

Контрольные образцы для проверки дефектоскопических материалов.  
Набор дефектоскопических материалов, кисточка, ветошь и др. материалы.

*Порядок выполнения работы*

Изучить документацию по обнаружению дефектов.

Произвести контроль испытываемого сварного образца.

*Содержание отчета*

1. Название и цель работы.
2. Дать общие сведения о контроле капиллярным методом.
3. Описать схемы контроля образцов.
4. Привести рисунки сварного соединения с указанием дефектов.
5. Сделать выводы по работе.

*Контрольные вопросы:*

1. Как часто дефектоскопические материалы проверяют на контрольных образцах после приготовления и в процессе хранения по РД 13-06-2006?
2. Какой способ проявления индикаторных следов дефектов не применяется при капиллярном контроле по ГОСТ 18442?
3. Чем не допускается обезжиривать поверхность, подлежащую капиллярному контролю по РД 13-06-2006?
4. От чего зависит выбор значения освещенности при цветном и ахроматическом капиллярном контроле с визуальным способом выявления дефектов по ГОСТ 18442?

## **МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ**

Для успешного усвоения материала магистрант должен кроме аудиторной работы заниматься самостоятельно. Самостоятельная работа является активной учебной деятельностью, направленной на качественное решение задач самообучения, самовоспитания и саморазвития. Самостоятельная работа студента (СР) выполняется без непосредственного участия преподавателя, но по его заданию и в специально отведенное для этого время. Условием эффективности самостоятельной работы магистрантов является ее систематическое выполнение.

В структуре содержания самостоятельной работы по инструментальным методам анализа в химической технологии можно выделить два основных блока: теоретические основы инструментальных методов анализа, включающие основы качественного и количественного анализа, физическую суть методов, законы, лежащие в основе методов; классификации; приборное обеспечение (принципиальные схемы, основные узлы приборов); особенности подготовки аналитической пробы; объекты анализа, порог обнаружения; области применения, преимущества и недостатки методов анализа.

Самостоятельная работа студентов включает самостоятельную проработку теоретического материала, работу с литературой, подготовку к лекциям и лабораторным занятиям, составление конспектов, оформление отчетов по лабораторным работам, самостоятельное исследование теоретического материала, невыносимого на лекции, выполнение контрольных и проверочных работ, решение задач, проведение расчетов по исследованиям, подготовку к зачету.

Все формы СР, а также методы контроля способствуют многократному повторению материала, что, в свою очередь, позволяет магистранту лучше запомнить термины и определения, понять изучаемый материал, разобраться в алгоритме проведения практических занятий и решения задач. Таким образом, СР как одна из активных форм обучения студентов способствует формированию у них знаний, умений и навыков, направленных на самостоятельное, творческое решение задач, возникающих в практической деятельности, направляет на дальнейшую творческую работу либо как продолжение научной карьеры, либо в работе на предприятии своего профиля.

Изучение каждой темы необходимо начинать с конкретной сущности изучаемого метода контроля дефектов, освоении новой терминологии. В основе каждого метода контроля лежат определенные законы и закономерности, которые необходимо понять, а по ряду методов количественного анализа знать математическое обоснование. Каждая группа методов

характеризуется определенными особенностями, способами и условиями проведения анализа. Необходимо выделить главное в методе анализа, не забывая и о частностях. Уметь определить метрологические и аналитические характеристики метода, положительные стороны и недостатки, а также направления применения.

Изучение инструментальных методов неразрушающего контроля представляет определенные трудности из-за большого объема фактического материала, значительного количества новых понятий и терминов, необходимости изучения и освоения работы на приборах и специфическом оборудовании. Поэтому, усвоение этого курса требует систематической и последовательной работы. Важно соблюдать последовательность перехода к изучению каждого следующего раздела лишь после того, как усвоен материал предыдущего. Необходимо суметь выделить главное, понять сущность тех или иных физико-аналитических процессов, лежащих в основе качественного или количественного анализа, найти взаимную связь между измеряемым параметром (аналитическим сигналом) исследуемого компонента и соответствующими свойствами вещества (материала).

Для успешного освоения курса студенты обязаны самостоятельно выполнить ряд работ:

- изучить предлагаемые преподавателем темы теоретического материала и представить их в виде сжатого конспекта, пройти собеседование;
- выполнить в указанные сроки варианты расчетно-графических работ по предложенным темам;
- подготовиться к выполнению лабораторных работ, оформляя в лабораторном журнале последовательно требуемый минимум для проведения испытания/анализа, а затем дооформить работу по полученным результатам и сдать преподавателю для проверки;
- затем подготовиться к собеседованию/защите лабораторной работы;
- подготовиться к выполнению тестирования или проверочной работы на аудиторных и внеаудиторных занятиях по изученным темам;
- обязательно знакомиться и осваивать дополнительный материал по разным литературным источникам, в том числе научным статьям, монографиям по изучаемым вопросам.

Система контроля и оценки знаний. Формой текущего контроля при прохождении дисциплины «Неразрушающие методы контроля» является контроль посещаемости всех аудиторных занятий, предусмотренных расписанием, сдача заданий для самостоятельной работы и написание контрольных работ. Для того, чтобы получить зачет и быть допущенным к зачету, студент должен выполнить следующее:

- в ходе прохождения дисциплины посетить не менее 50 % занятий;
- набрать не менее 60 % баллов за задания для самостоятельной работы;
- написать четыре контрольные работы.

Контрольные работы пишутся строго в установленный срок, назначаемый преподавателем. В случае отсутствия на контрольной работе по уважительной причине (наличие медицинской справки) ее можно переписать или зачесть на основании самостоятельных заданий по согласованию с преподавателем. Всего в течение прохождения курса студент получает несколько заданий для самостоятельной работы различной сложности. Каждое задание оценивается в 10 баллов. Задания для самостоятельной работы оцениваются по следующему алгоритму:

- в случае успешного решения задания с первого раза магистрант получает 9-10 баллов;
- в случае успешного решения задания со второй попытки магистрант получает 7-8 баллов;
- в случае успешного решения задания с третьей попытки магистрант получает 5-6;
- в случае неспособности решить задачу с трех попыток магистрант получает за данное самостоятельное задание 0 баллов.

На зачете студенту предлагается для решения комплексная задача по определению структуры соединения, включающая в себя аналитические данные различных инструментальных методов, рассмотренных в курсе. Зачетная работа оценивается в 40 баллов. Итоговая оценка за предмет выставляется с учетом итоговой зачетной задачи и работы в семестре. Все баллы, набранные в течение прохождения курса за самостоятельные работы и за зачетную работу суммируются (исходя из суммы баллов за семестр 100).

Задания для самостоятельной работы студенту выдаются в виде печатных материалов и/или электронных данных в системе Moodle. Для решения полученных задач студент может использовать любую справочную литературу, программное обеспечение, спектральные библиотеки и базы данных, доступные ему.

Для успешной подготовки к текущему контролю студентам предлагаются вопросы для изучения и задания.