

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Воронежский государственный технический университет»

Кафедра автоматизированного оборудования  
машиностроительного производства

## **НЕРАЗРУШАЮЩИЕ МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ В МАШИНОСТРОЕНИИ**

*МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ  
к выполнению практических работ  
для студентов направления 15.04.01 «Машиностроение»  
(профиль «Обеспечение качественно-точных характеристик  
при изготовлении изделий в автоматизированном машиностроительном  
производстве»)  
всех форм обучения*



Воронеж 2021

УДК 621.01 (07)  
ББК 34.5я7

**Составители:**

*канд. техн. наук, доц. М. Н. Краснова  
д-р техн. наук, проф. С. Ю. Жачкин*

**Неразрушающие методы контроля в машиностроении:** методические указания к выполнению практических работ для студентов, обучающихся по направлению 15.04.01 «Машиностроение» (профиль «Обеспечение качественно-точных характеристик при изготовлении изделий в автоматизированном машиностроительном производстве») всех форм обучения / ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»; сост.: М. Н. Краснова, С. Ю. Жачкин. – Воронеж: Изд-во ВГТУ, 2021. – 35 с.

Изложены общие вопросы к выполнению практических работ, сформулированы задания и представлен теоретический материал.

Предназначены для студентов, обучающихся по направлению 15.04.01 «Машиностроение» (профиль «Обеспечение качественно-точных характеристик при изготовлении изделий в автоматизированном машиностроительном производстве») всех форм обучения.

Методические указания подготовлены в электронном виде и содержатся в файле МУ ПР НМКвМ.pdf.

Ил. 23. Табл. 2. Библиогр. 4 назв.

**УДК 621.01(07)  
ББК 34.5я7**

***Рецензент** – С. Н. Яценко, канд. физ.-мат. наук, доцент кафедры автоматизированного оборудования машиностроительного производства ВГТУ*

*Издается по решению редакционно-издательского совета  
Воронежского государственного технического университета*

## **Введение**

В методических указаниях рассмотрены отдельные вопросы применения неразрушающих методов при контроле качества материалов, деталей и изделий машиностроительного производства (выявление дефектов в литых изделиях, сварных и паяных соединениях и т.п.) и функционировании узлов и механизмов, а также в научных исследованиях (регистрация быстро протекающих процессов, физических явлений). Приборы неразрушающего контроля позволяют проверять объект как полностью, так и «фрагментарно», то есть только «опасные» его участки, которые вызывают наибольшие опасения с точки зрения эксплуатационной надёжности, склонные к износу и т.д. Разнообразие приборов неразрушающего контроля, у каждого из которого свой уровень чувствительности к определённому свойству материала, позволяет получать информацию о самых многочисленных характеристиках объекта. И самое важное: от воздействия на эти характеристики неразрушающего контроля объект своих качеств не теряет (что особенно важно, например, при контроле дорогостоящей продукции).

Практические работы дают возможность ознакомиться с российскими, европейскими и международными стандартами по неразрушающим методам контроля и руководящие документы и схемы для метрологического обеспечения средств и методов неразрушающего контроля, которые необходимо знать будущему инженерно-техническому работнику современного машиностроительного предприятия.

## **1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ И УКАЗАНИЯ К САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЕ СТУДЕНТОВ**

### **1.1. МАГНИТНАЯ ДЕФЕКТОСКОПИЯ**

Магнитная дефектоскопия представляет собой комплекс методов неразрушающего контроля, применяемых для обнаружения дефектов в ферромагнитных металлах (железо, никель, кобальт и ряд сплавов на их основе). К дефектам, выявляемым магнитным методом, относят такие дефекты как: трещины, волосовины, неметаллические включения, несплавления, флокены. Выявление дефектов возможно в том случае, если они выходят на поверхность изделия или залегают на малой глубине (не более 2-3 мм).

Магнитные методы основаны на изучении магнитных полей рассеяния вокруг изделий из ферромагнитных материалов после намагничивания (рис. 1). В местах расположения дефектов наблюдается перераспределение магнитных потоков и формирование магнитных полей рассеяния.

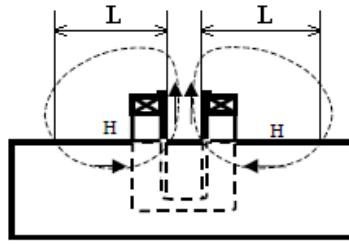


Рис. 1. Магнитные поля рассеяния и силовые линии магнитного поля  $H$  (показаны пунктиром), создаваемого намагничивающими устройствами дефектоскопов МД-12ПШ, МД-12ПС, МД-12ПЭ и расположение зон ДН.  
 $L$  — длина зоны ДН (достаточной намагниченности)

Требуемое направление силовых линий магнитного поля в контролируемой детали обеспечивается полюсным, циркулярным или комбинированным намагничиванием.

При *полюсном намагничивании* магнитные силовые линии пересекают поверхность контролируемой детали в продольном или поперечном направлении относительно оси детали. В местах входа и выхода силовых магнитных линий в контролируемой детали образуются магнитные полюса. Примеры полюсного продольного намагничивания показаны на рис. 1.

При *циркулярном намагничивании* магнитные силовые линии замыкаются преимущественно в контролируемой детали (рис. 2).

*Комбинированное намагничивание* — это сочетание полюсного и циркулярного намагничивания. Применяется в том случае, если требуется получить силовые магнитные линии не строго в продольном или поперечном направлениях относительно оси контролируемой детали.

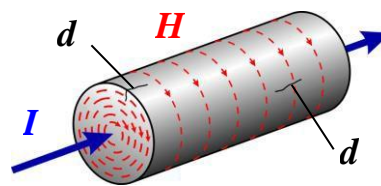


Рис. 2. Циркулярное намагничивание пропусканием тока по контролируемой детали:  $I$  — ток намагничивания;  $H$  — магнитные силовые линии (со стрелками);  
 $d$  — выявляемые дефекты

Для выявления и фиксации потоков рассеяния над дефектами используются различные методы.

Наиболее распространенным методом магнитной дефектоскопии является магнитопорошковый метод. При использовании метода магнитопорошковой

дефектоскопии (МПД) на намагниченную деталь наносится магнитный порошок или магнитная суспензия, представляющая собой мелкодисперсную взвесь магнитных частиц в жидкости. Частицы ферромагнитного порошка, попавшие в зону действия магнитного поля рассеяния, притягиваются и оседают на поверхности вблизи мест расположения несплошностей. Ширина полосы, по которой происходит оседание магнитного порошка, может значительно превышать реальную ширину дефекта. Вследствие этого даже очень узкие трещины могут фиксироваться по осевшим частицам порошка невооруженным глазом. Регистрация полученных индикаторных рисунков проводится визуально или с помощью устройств обработки изображения.

Магнитопорошковый метод неразрушающего контроля регламентируется следующими отечественными и зарубежными стандартами:

1. Российские стандарты:

- ГОСТ 24450-80 Контроль неразрушающий магнитный. Термины и определения;
- ГОСТ Р 56512-2015 Контроль неразрушающий. Магнитопорошковый метод;
- ГОСТ 8.283-78 Дефектоскопы электромагнитные. Методы и средства поверки;
- ГОСТ 26697-85 Контроль неразрушающий. Дефектоскопы магнитные и вихретоковые. Общие технические требования.

2. Европейские стандарты:

- EN ISO 9934-1 Неразрушающий контроль. Магнитопорошковый контроль. Часть 1 Общие принципы;
- EN ISO 9934-2 Неразрушающий контроль. Магнитопорошковый контроль. Часть 2 Материалы для обнаружения;
- EN ISO 12707 Июнь 2000 Неразрушающий контроль. Терминология — Термины, используемые при магнитопорошковом контроле;
- EN ISO 3059 Неразрушающий контроль — Капиллярный и магнитопорошковый контроль. Условия осмотра;
- ISO 3059 Контроль неразрушающий. Контроль методом проникающих жидкостей и методом магнитных частиц. Условия наблюдения;
- ISO 9934 Контроль неразрушающий. Магнитопорошковый метод. Часть 3. Оборудование;
- ASTM E 709-01 Стандартное руководство по магнитопорошковой дефектоскопии;
- ASTM E1444-05 Стандартная методика тестирования с помощью магнитопорошковой дефектоскопии.

Магнитопорошковый метод применяется для контроля изделий из ферромагнитных материалов, имеющих относительную магнитную проницаемость не менее 40. Чувствительность контроля данным методом зависит от различных факторов, в том числе от магнитных характеристик исследуемого материала, формы, размеров и шероховатости объекта контроля (макс. Ra 10 / Rz 63), напряженности приложенного поля, местоположения и ориентации дефектов и свойств магнитного порошка. Согласно ГОСТ 21105 устанавливаются 3 услов-

ных уровня чувствительности (А, Б, В). Они характеризуются минимальной шириной раскрытия и минимальной протяженностью выявляемого дефекта.

Магнитопорошковый метод включает в себя следующие операции:

- 1) подготовка к контролю;
- 2) намагничивание;
- 3) нанесение дефектоскопического материала;
- 4) осмотр поверхности и регистрация индикаторных рисунков;
- 5) размагничивание.

Перед проведением контроля изделие должно быть зачищено от масла, окалины и других загрязнений. Подготовку поверхности для уменьшения сил трения осуществляют пескоструйной и механической обработкой. Применяется также грунтовка поверхности красками и лаками, обеспечивающими необходимый контраст с порошком.

Для намагничивания и размагничивания объектов контроля применяются стационарные или передвижные магнитные дефектоскопы, например, ПМД-70 (рис. 2). Дефектоскопы снабжаются измерителями намагничивающего тока, а также устройствами для осмотра поверхности и регистрации индикаторных картинок (измерительные лупы, микроскопы, эндоскопы или автоматизированные системы получения изображений). Используются различные виды намагничивания: циркулярное, продольное, комбинированное. В промышленности широко применяются переносные дефектоскопы типа ПМД-70, МД-12ПШ с шеечным соленоидом, МД-12ПС с седлообразным намагничивающим устройством, установка Р 8617М (рис. 3).

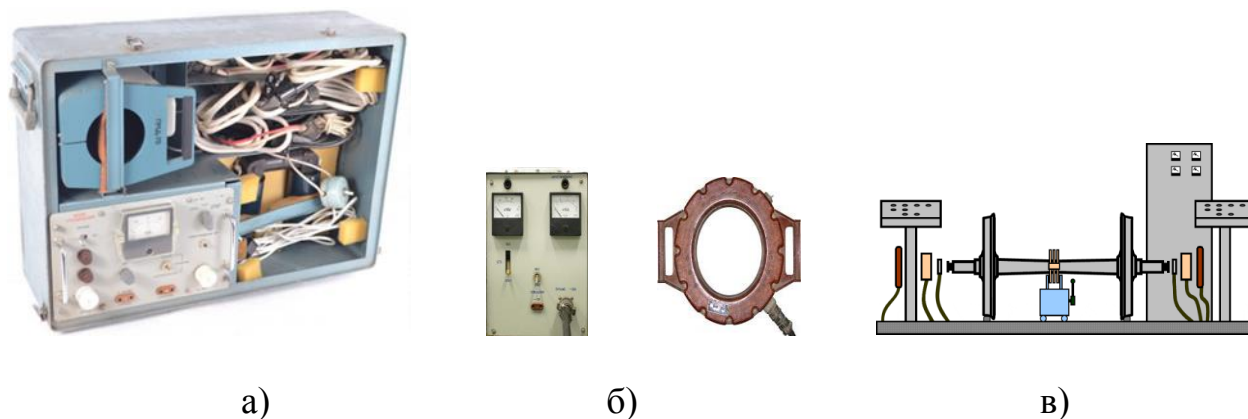


Рис. 3. Общий вид ПМД-70 (а), МД-12ПШ с шеечным соленоидом (б), установка Р 8617М (в)

ПМД-70 — универсальный дефектоскоп. Он состоит из силовой части, включающей понижающий трансформатор 220 В на 6 В мощностью 7 кВт, а также автотрансформатор и еще один трансформатор 220 В на 36 В, из приборов включения, измерения, управления и сигнализации, из намагничивающей части, включающей в себя передвижной контакт, контактную площадку, выносные контакты и катушку, из ванны для суспензии.

Магнитопорошковый метод контроля может осуществляться двумя различными способами. При применении способа остаточной намагниченности дефектоскопический порошок наносят после снятия намагничивающего поля. При применении способа приложенного поля операция намагничивания и нанесение порошка осуществляются одновременно. Выбор способа контроля зависит от магнитных свойств материала изделия и требуемой чувствительности.

Применяемые для контроля материалы могут иметь различные оттенки (от светло-серых и желтоватых до красно-коричневых и черных) в зависимости от цвета контролируемой поверхности. Магнитные порошки, на поверхность которых нанесен слой люминофора, позволяют повысить чувствительность метода.

Нанесение магнитного материала осуществляют следующими способами:

- 1) с использованием магнитного порошка (сухой способ);
- 2) с использованием магнитной суспензии (влажный способ);
- 3) магнитогуммированной пасты.

Сухой порошок равномерно распределяют на поверхности с помощью распылителей или погружением изделия в ёмкость с порошком. Суспензию наносят путем полива или погружения изделия в ванну с суспензией. Удобны в пользовании аэрозольные баллончики, содержащие суспензии магнитных материалов на водной или масляной основе.

Качество применяемых магнитных материалов оценивается по методикам, приведённым в нормативной документации на их поставку. Перед проведением контроля качество готовых порошков и суспензий определяется на контрольных (стандартных) образцах, имеющих дефекты известного размера и аттестованных в установленном порядке. С помощью контрольных образцов также отрабатывается технология контроля для достижения заданной чувствительности.

При проведении контроля частицы материала намагничиваются и под действием результирующих сил образуют скопления в виде полосок (валиков). После формирования индикаторной картинки из осевшего порошка осуществляется осмотр контролируемого изделия. При визуальном осмотре могут быть использованы оптические устройства, позволяющие увеличить изображение. Рекомендуется применять комбинированное освещение (местное и общее).

При применении люминесцентных порошков осмотр поверхности проводят при ультрафиолетовом облучении. Используются ультрафиолетовые фонари, лампы, а также индукционные источники ультрафиолетового излучения.

Преимущества магнитопорошкового метода неразрушающего контроля заключаются в его относительно небольшой трудоемкости, высокой производительности и возможности обнаружения поверхностных и подповерхностных дефектов. При помощи этого метода выявляются не только полые несплошности, но и дефекты, заполненные инородным веществом. Магнитопорошковый метод может быть применен не только при изготовлении деталей, но и в ходе их эксплуатации, например, для выявления усталостных трещин.

К недостаткам метода можно отнести сложность определения глубины распространения трещин в металле.

Другими методами магнитной дефектоскопии являются феррозондовый и магнитографический методы.

Феррозондовый метод основан на регистрации магнитных полей феррозондовыми преобразователями, в которых взаимодействуют измеряемое поле и собственное поле возбуждения.

В магнитографическом методе применяется запись магнитных полей на магнитный носитель записи (магнитную ленту) с последующим формированием сигналограммы.

## 1.2. РАДИАЦИОННЫЙ КОНТРОЛЬ

Радиационный метод — это метод неразрушающего контроля, который заключается в воздействии на объект ионизирующего излучения с последующим анализом и регистрацией его последствий.

Наиболее широко этот способ исследований используется в дефектоскопии, где его применяют для выявления нарушений однородности и сплошности материала: трещин, утяжин, пор, непроваров, раковин, неметаллических и металлических включений, превышений проплава, прожогов, подрезов, смещения кромок и других. Минимальный размер выявляемых дефектов — 0,1 мм. Также с помощью радиационного метода можно определить внутреннюю конфигурацию и взаимное расположение объектов контроля, которые не доступны для визуального осмотра в процессе производства, сборки, эксплуатации и ремонта.

Методы радиационного контроля различаются способами детектирования дефектоскопической информации и соответственно делятся:

- 1) радиографические;
- 2) радиоскопические;
- 3) радиометрические.

Изделия просвечиваются с использованием различных видов ионизирующих излучений.

### 1.2.1. Радиографические методы

Радиографические методы радиационного неразрушающего контроля основаны на преобразовании радиационного изображения контролируемого объекта в радиографический снимок или запись этого изображения на запоминающем устройстве с последующим преобразованием в световое изображение.

На практике этот метод наиболее широко распространен в связи с его простотой и документным подтверждением получаемых результатов. В зависимости от используемых детекторов различают:

- 1) пленочную радиографию;
- 2) ксерорадиографию (электрорадиографию).

В первом случае детектором скрытого изображения и регистратором статического видимого изображения служит фоточувствительная пленка, во вто-



ром — полупроводниковая пластина, а в качестве регистратора используют обычную бумагу.

В зависимости от используемого излучения различают несколько разновидностей промышленной радиографии:

- 1) рентгенографию;
- 2) гаммаграфию;
- 3) ускорительную;
- 4) нейтронную радиографию.

Каждый из перечисленных методов имеет свою сферу использования. Этими методами можно просвечивать стальные изделия толщиной от 1 до 700 мм.

Также существуют стандарты, устанавливающие единые требования в области радиационных методов:

1. Стандарты, устанавливающие единые требования к терминологии в области радиационных методов контроля и конкретизирующие понятия в этой сфере:

- ГОСТ 20337-74 Приборы рентгеновские. Термины и определения;
- ГОСТ Р 55776-2013 Контроль неразрушающий радиационный. Термины и определения (ИУС 11-2014), действующим с 1.07.2015 г. (вместо ГОСТ 24034-80 Контроль неразрушающий радиационный. Термины и определения);
- ГОСТ 23480-79 Контроль неразрушающий. Методы радиоволнового вида. Общие требования;
- ГОСТ 16950-81 Техника радиационно-защитная. Термины и определения;
- ГОСТ 15484-81 Излучения ионизирующие и их измерения. Термины и определения;
- Рекомендации по межгосударственной стандартизации. Государственная система обеспечения единства измерений. РМГ 78-2005 Излучения ионизирующие и их измерения. Термины и определения, действует с 01.09.2006 г. Вместо ГОСТ 15484-81 Излучения ионизирующие и их измерения. Термины и определения;
- ГОСТ 17064-71 Узлы и принадлежности для гамма-аппаратов. Термины и определения;

2. Стандарты, регламентирующие сферу использования, общие требования к приборам, аппаратам и образцам, методике проведения контроля, порядку оформления результатов операций и правилам безопасности:

- ГОСТ 27947-88 Контроль неразрушающий. Рентгентелевизионный метод. Общие требования;
- ГОСТ 23480-79 Контроль неразрушающий. Методы радиоволнового вида. Общие требования;
- ГОСТ 27451-87 Средства измерений ионизирующих излучений. Общие технические требования;
- ГОСТ 23764-79 Гамма-дефектоскопы. Общие технические условия;
- ГОСТ 25113-86 Аппараты рентгеновские для дефектоскопии. Общие технические условия;
- ГОСТ 20426-82 Контроль неразрушающий. Методы радиационные. Область применения;

3. Стандарты на вновь разрабатываемые и модернизируемые аппараты, предназначенные для рентгенорадиометрических методов контроля. При необходимости регламентирующие методику их поверок:

- ГОСТ 29074-91 Аппаратура контроля радиационной обстановки;
- ГОСТ 29025-91 Дефектоскопы рентгентелевизионные и электрорентгенографические;
- ГОСТ 26114-84 Дефектоскопы на базе ускорителей заряженных частиц. Параметры и требования;
- ГОСТ 17209-89 Средства измерений объемной активности радионуклидов в жидкости;

4. Стандарты, регламентирующие методику контроля качества радиографическими методами:

- Приказ Ростехнадзора № 468-18 от 27.09.2018 Руководство по безопасности «Методические рекомендации о порядке проведения компьютерной радиографии сварных соединений технических устройств, строительных конструкций зданий и сооружений, применяемых и эксплуатируемых на опасных производственных объектах»;
- ГОСТ 7512-82 Контроль неразрушающий. Сварные соединения. Радиографический метод. Регламентирует требования к рентгенографическому контролю сварных соединений толщиной от 1 до 400 мм;
- ГОСТ 23055-78 Классификация сварных соединений по результатам радиографического контроля. Устанавливает семь классов сварных соединений по допустимым размерам дефектов, выявляемых в ходе радиографического контроля;
- ГОСТ 8.638-2013 Государственная система обеспечения единства измерений. Метрологическое обеспечение радиационного контроля. Основные положения (ИУС 12-2014), действует с 01.07.2015 г. Вместо ГОСТ Р 8.594-2002 Метрологическое обеспечение радиационного контроля. Регламентирует требования к состоянию и изменения радиационной обстановки на объекте контроля и контролю за выполнением требований установленных норм;
- ГОСТ 15843-79 Принадлежности для промышленной радиографии. Основные размеры. Регламентирует основные размеры пленок, экранов, кассет, знаков для промышленной радиографии;
- ГОСТ 22091.14-86 Приборы рентгеновские. Методы измерения напряжения рентгеновской трубки. Регламентирует методику контроля за счет определения плотности фотонов, излучаемых рентгеновской трубкой;
- ГОСТ 22091.9-86 Приборы рентгеновские. Измерение размеров эффективного фокусного пятна. Регламентирует методику контроля за счет изменения размеров фокусного пятна, полученного в результате излучения рентгеновской трубки;
- ГОСТ 22091.5-86 Приборы рентгеновские. Методы измерения тока рентгеновской трубки. Регламентирует методику контроля за счет из-

- менения размеров фокусного пятна, полученного изменения тока рентгеновской трубки;
- ГОСТ 8.452-82 Приборы рентгенорадиометрические. Методы и средства поверки. Регламентирует способы и методику проверок рентгенорадиометрических приборов для определения элементного состава веществ;
  - ГОСТ ISO 17636-1-2017 «Неразрушающий контроль сварных соединений. Радиографический контроль. Часть 1. Способы рентгено- и гаммаграфического контроля с применением плёнки»;
  - ГОСТ ISO 17636-2-2017 «Неразрушающий контроль сварных соединений. Радиографический контроль. Часть 2. Способы рентгено- и гаммаграфического контроля с применением цифровых детекторов».

### 1.2.2. Методика и техника контроля

Детали, узлы, изделия поступают на просвечивание после визуального контроля очищенными от масла, грязи, шлака и т.п. На контролируемые узлы изделий разрабатываются технологические карты контроля, которые определяют порядок и технику контроля с использованием ионизирующих излучений.

Перед просвечиванием новых объектов выполняются следующие операции:

- 1) анализируются конструкции, и определяются участки и схемы просвечивания;
- 2) выбираются источники излучения, тип рентгенографической пленки, усиливающие экраны;
- 3) определяются режимы просвечивания (напряжение на рентгеновской трубке и сила тока, тип радиоактивного источника, тип ускорителя и энергия излучения, фокусное расстояние, время просвечивания);
- 4) проводятся мероприятия по защите людей от воздействия ионизирующего излучения, по обеспечению электро- и пожаробезопасности;
- 5) заряжаются кассеты;
- 6) устанавливаются с помощью средств механизации и автоматизации в положение просвечивания источники излучения и контролируемые объекты, а также кассеты, маркировочные знаки, эталоны чувствительности, компенсаторы;
- 7) защищается кассета от действия рассеянного излучения;
- 8) подготавливаются к включению рентгеновские аппараты, бетатроны, гамма-дефектоскопы.

Места на деталях и узлах изделий, подлежащие контролю просвечиванием, размечают цветным карандашом или мелком на отдельные участки, соответствующие размеру снимка, и маркируют условными обозначениями. Маркировочные знаки (цифры, буквы, стрелки) изготавливают в соответствии с ГОСТ 15843-70. При повторном контроле на данном участке к маркировке снимка добавляют букву «П».

При проведении просвечивания кассету с пленкой необходимо защитить от постороннего рассеянного и вторичного излучения с задней стороны листовым свинцом толщиной 1-3 мм или другими эквивалентными материалами соответствующей толщины. Заряженные кассеты вместе со свинцовым листом закрепляют на контролируемом объекте с помощью приспособлений, обеспе-

чивающих плотное прилегание кассет к просвечиваемому участку. При просвечивании плоских деталей в стационарных условиях кассету укладывают на специальный стол, покрытый листовым окрашенным свинцом, либо на свинцовый лист размерами не менее поля облучения.

При просвечивании вне такого стола кассеты вместе со свинцовыми листами плотно прижимают к контролируемым участкам. Источник излучения и контролируемый объект с прижатой к нему кассетой во время просвечивания должны находиться в условиях, исключающих их сотрясение и вибрации.

*Радиографический контроль* необходимо проводить с оптимальным применением средств механизации и автоматизации основных и подготовительных операций, фотообработки рентгеновской пленки, а также с использованием оснастки и приспособлений, повышающих эксплуатационные характеристики основного оборудования.

Выбор или создание устройств, механизмирующих и автоматизирующих операции радиографического контроля, следует проводить с учётом конкретных условий, конструкции контролируемых объектов, технико-экономической эффективности от внедрения этих устройств, включающей в себя снижение трудоёмкости выполнения контрольных операций, улучшение культуры и условий труда, рациональное использование производственных площадей.

В практической деятельности радиографы постоянно сталкиваются с необходимостью решения новых задач по контролю конкретных изделий, когда применение просвечивания в обычной форме их не решает. Приведем несколько таких примеров.

Полностью пропаянное соединение иногда трудно отличить по радиографическому снимку от полностью непропаянного. В этом случае необходимо обратить внимание на то, как на снимке выглядят галтели. Наличие их изображения на снимке может служить признаком пропаянного соединения.

При радиографическом контроле качества сварных швов алюминиевых сплавов на снимках иногда наблюдаются полосы вдоль сварного соединения — это так называемые ложные дефекты.

Основная причина их появления — дифракция рентгеновского излучения на зернистой структуре в металле шва.

Известно, что дефекты, имеющие плоскостной характер, плохо выявляются при просвечивании в направлении, перпендикулярном плоскости раскрытия.

Это относится к непроварам точечной сварки, отсутствию клея в клеевых, клеесварных и клеемеханических соединениях. В этом случае иногда между соединяемыми поверхностями (или в клей) вводят контрастирующие материалы (например, металлическую пудру), хорошо поглощающие излучение, распределение которых отчетливо выявляется по радиографическим снимкам.

Глубину залегания дефектов можно определить, используя принципы стереоскопии. Для этого делают два снимка при смещённых относительно друг друга положениях источника излучения или один снимок, производя просвечи-

вание на одну пленку два раза из разных положений. На поверхностях изделия располагают свинцовые метки.

Глубину залегания дефекта определяют расчётным путем или рассматривая стереоскопическую пару снимков через специальную линзовую стереоскопическую систему.

Специалисты по неразрушающему контролю должны работать в контакте с конструкторами изделий, материаловедцами и технологами. Обязательными являются:

- 1) проверка надежности применяемых приемов по результатам металлографического анализа;
- 2) оценка влияния вносимых изменений в технологию изготовления (например, введение в соединение контрастирующих материалов) на прочностные свойства изделий.

Надежность радиографического контроля повышается при привлечении специалистов по неразрушающему контролю к анализу дефектоскопической технологичности вновь создаваемых конструкций на ранних стадиях проектирования.

Схемы просвечивания объектов контроля указаны на рис. 4 – 9.

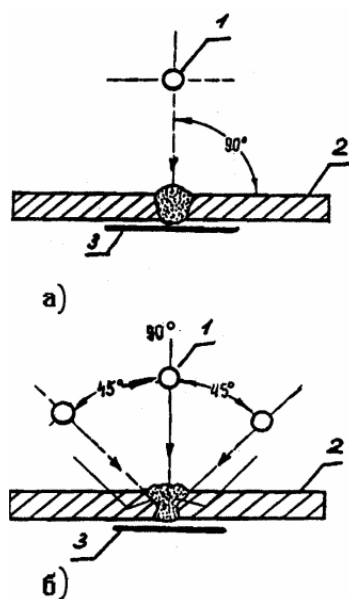
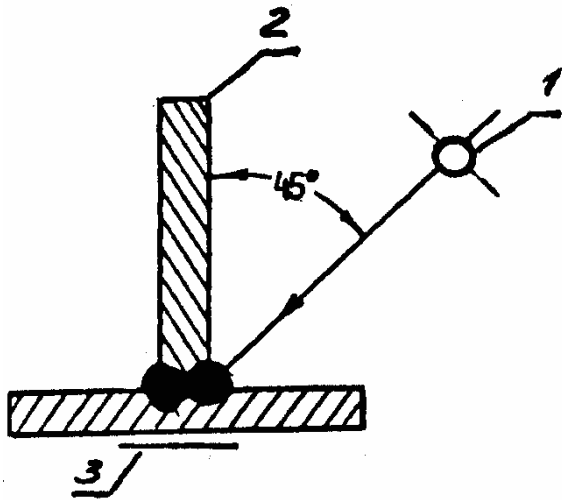


Рис. 4. Схемы просвечивания объекта контроля (ОК) со сварным швом: а — без скоса кромок, б — с кромками X-образной разделки; 1 — источник излучения; 2 — ОК; 3 — пленка



1 — источник излучения; 2 — ОК; 3 — плёнка

Рис. 5. Схемы просвечивания тавровых ОК с неполным проплавлением угла между ними

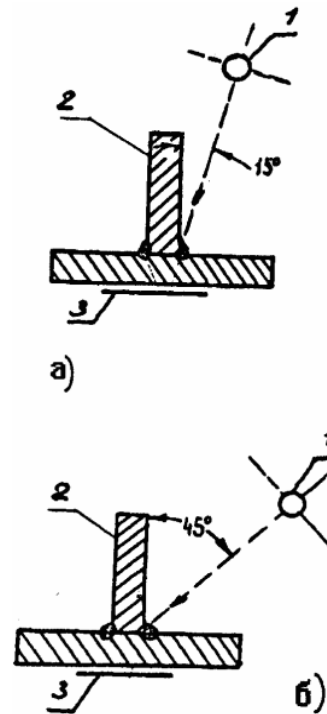


Рис. 6. Схемы просвечивания тавровых ОК с полным проплавлением угла между ними: а — правильная, б — неправильная

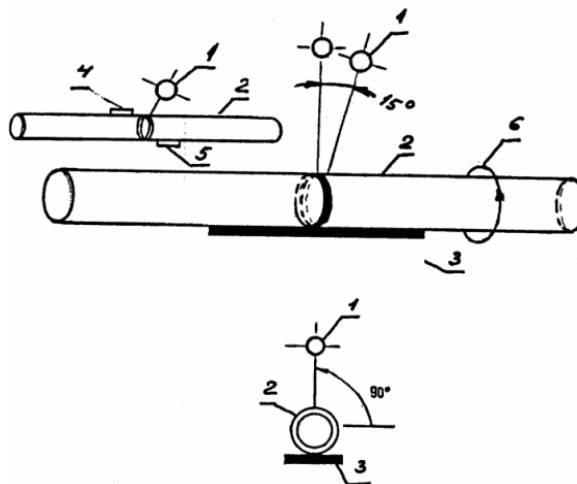
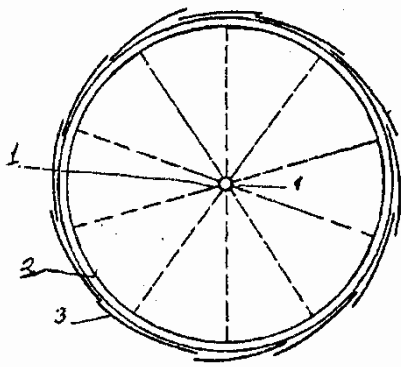


Рис. 7. Схема просветки кольцевого стыкового сварного соединения с внешним диаметром 32...64мм через две стенки: 1 — источник излучения; 2 — ОК; 3 — плёнка; 4 — пластинчатый эталон чувствительности с толщиной 2% от удвоенной толщины стенки; 5 — пластинчатый эталон чувствительности с толщиной 2% от толщины одной стенки; 6 — участки (экспозиции) при контроле (не менее 6)



1 — источник излучения; 2 — ОК; 3 — плёнки

Рис. 8. Схема просвечивания труб большого диаметра

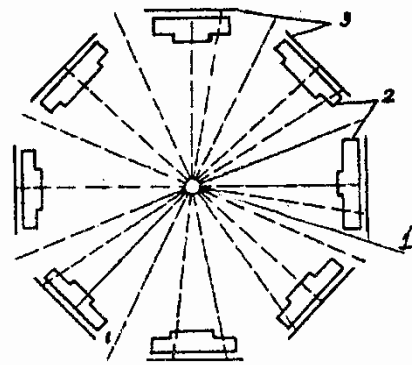


Рис. 9. Схема просвечивания одинаковых мелких ОК

### 1.2.3. Примеры рентгено- и гамма- дефектоскопов

#### 1. Регистратор гамма-изображений (Разработчик РНЦ «Курчатовский институт»)

Этот прибор предназначен для получения гамма-изображений (изображений в гамма-лучах), по которым можно с безопасного расстояния обнаруживать радиоактивные источники и определять распределения радиоактивности.

Изображённый на рис. 10 прибор состоит из коллиматора, формирующего изображение; сцинтиллятора, излучающего свет при поглощении гамма-квантов; усилителя света на основе МКП и цифровой ПЗС камеры. Кадры дефектных областей могут сохраняться для последующего анализа.

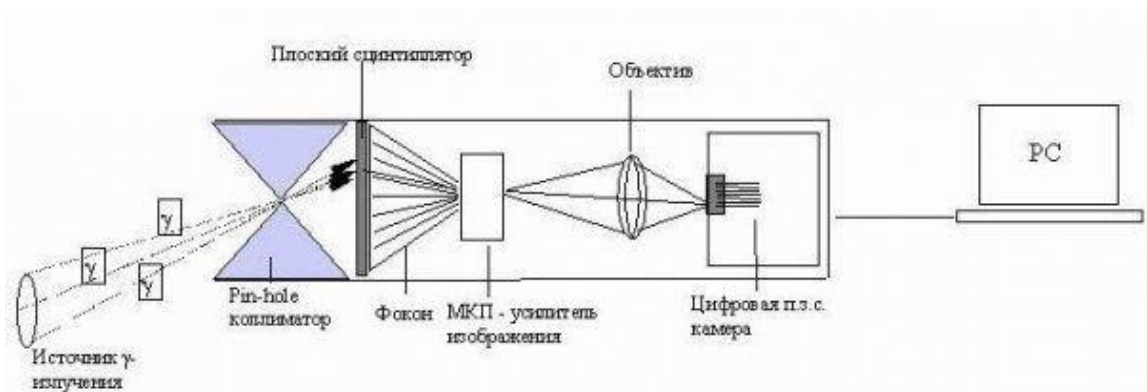


Рис.10 Схема прибора для получения гамма-изображений



Рис. 11. Способ представления результатов измерения распределения радиоактивности — радиоактивное пятно на полу помещения

На рис. 11 справа изображены распределения радиоактивности в пятне, слева — наложение полученного распределения (в виде изолиний одинаковой интенсивности) на видеоизображение помещения.

## 2. Рентгено-дефектоскопия (Разработчик РНЦ «Курчатовский институт»)

Отделом разработки детектирующих систем создан и внедрён в производство рентгенодиагностический комплекс контроля сварных швов и толщины стенок стальных труб. Применение цифровой рентгеновской телевизионной системы позволяет осуществлять контроль шва длиной около 4 метров всего за 8 минут и контроль толщины стенки труб со скоростью до 3 м/мин. По традиционной технологии пленочной радиографии на эти процессы уходит несколько часов.

## 3. Рентгеновский дефектоскопический аппарат стационарный РАП-150/300 (рис. 12).

Технические характеристики РАП-150/300:

Рентгеновский дефектоскопический аппарат стационарный РАП-150/300 предназначен для рентгеновского контроля качества металлических и неметаллических изделий, в условиях цеха или заводской лаборатории:

- 1) Сварки, литья изделий из сплавов на основе железа;
- 2) Сварки, пайки, литья нарушений целостности тонкостенных объектов менее 10 мм;
- 3) Особо тонкостенных (10 — 100 мкм) объектов из металлов, полупроводников, органических и полимерных материалов.

Толщина просвечиваемого слоя для стали составляет 10 мкм — 70 мм, для алюминия — до 250 мм.

Отличительной особенностью аппарата является его блочная конструкция. Рентгеновский аппарат РАП 150/300 состоит из законченных функциональных блоков, составляющих (в соответствии с профилем применения) шесть различных.





Рис.12. Рентгеновский дефектоскопический аппарат стационарный РАП-150/300

Рентгеновский аппарат РАП 150/300 обеспечивает:

- 1) рентгенографию малых толщин стали (от 10 мкм) с применением рентгеновской трубки 1БПВ15-100;
- 2) просвечивание толстостенных материалов (стали до 70 мм, алюминия до 250 мм) с помощью трубки 1,2-ЗБПМ5-300 (на 300 кВ);
- 3) получение панорамных рентгенограмм полых изделий, применяя трубку с круговым выходом излучения (1,5ВПВ7-150 на 150 кВ, 10 мА).

Во все модификации рентгеновского аппарата РАП 150/300 включают: сетевой щиток, пульт управления, высоковольтный генератор (катодный элемент), комплект низковольтных и высоковольтных кабелей.

4. Многофункциональный дозиметр гамма-излучения ДКГ-01 «Гарант» рис.13.



Рис. 13 Многофункциональный дозиметр гамма-излучения ДКГ-01 «Гарант»

Универсальный дозиметр, применяемый как для инспекционного, так и для непрерывного радиационного контроля объектов и установок. Используется также для пешеходной гамма-съемки местности. Имеет возможность передачи данных в ПЭВМ.

Назначение:

- измерение амбиентного эквивалента дозы гамма-излучения  $H^*(10)$ ;
- измерение мощности амбиентного эквивалента дозы гамма-излучения  $H^*(10)$ .

Режимы работы:

- переносной прибор оперативного контроля с памятью на 1000 результатов;
- стационарный прибор контроля динамики изменения радиационного фона с записью результатов («черный ящик»);
- стационарный прибор радиационного контроля с сигнализацией о превышении пороговых уставок;
- точки контроля дозиметрической системы с передачей данных по линии связи.

Режим измерения:

- со временем измерения, задаваемым оператором в диапазоне от 1 мин до 60 мин: запись результатов производится автоматически;
- измерение производится непрерывно с уточнением результата измерения и непрерывной индикацией результата измерения и статистической погрешности. При существенном изменении (увеличении или уменьшении) радиационного фона (больше чем 3,6) происходит запись прежнего результата измерения, после чего начинается новое измерение.

Основные возможности рентгеновского контроля:

- возможность обнаружить такие дефекты, которые невозможно выявить любым другим методом — например, непропаев, раковин и других;
- возможность точной локализации обнаруженных дефектов, что даёт возможность быстрого ремонта;
- возможность оценки величины выпуклости и вогнутости валиков усиления сварного шва.

Проведение дефектоскопии с применением рентгеновского просвечивания металлов является наиболее достоверным способом контроля сварных соединений и основного металла, позволяющим наглядно определять вид и характер выявленных дефектов, достаточно точно выявлять их месторасположе-

ние, а также архивировать результаты контроля. Кроме того, современные аппаратно-программные комплексы позволяют осуществлять автоматизированную расшифровку рентгеновских снимков.

К существенным недостаткам радиографического контроля следует отнести его рентгеновское излучение, являющееся ионизирующим, которое оказывает воздействие на живые организмы и может являться причиной лучевой болезни и рака. По этой причине при работе с рентгеновским излучением необходимо соблюдать меры защиты, а организации, осуществляющие рентгенографический контроль, в обязательном порядке должны иметь Лицензию на проведение работ, связанных с использованием Источников ионизирующего излучения (ИИИ), и Санитарно-Эпидемиологическое Заключение (СЭЗ), выданные Федеральной службой Роспотребнадзора.

Рентгенографический контроль наряду с другими физическими методами (ультразвуковой контроль, капиллярный контроль, магнитно-порошковый контроль, визуально-измерительный контроль) является надежным и высокоэффективным средством для выявления возможных дефектов. Требуется наличие специально подготовленных специалистов, специализированного оборудования, такого как рентгеновский аппарат ЭКСТРАВОЛЬТ-225 (рис. 14) и вспомогательных средств контроля.



Рис. 14. ЭКСТРАВОЛЬТ-225

Некоторые производители в целях экономии или некомпетентности игнорируют проведение неразрушающего контроля продукции или вспоминают о нём только на последней стадии — уже непосредственно перед сдачей объекта (а это приводит к дополнительной потере времени и непредусмотренным расходам), когда контроль бывает технически неосуществим. Подобное отношение к контролю качества чаще всего приводит к аварийным ситуациям в процессе эксплуатации и способно привести даже к техногенным катастрофам.

### 1.3. ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ АКУСТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ

Акустическими методами называют методы контроля, основанные на применении упругих колебаний и волн в контролируемом объекте. Одна из основных причин широкого распространения акустических методов заключается в том, что свойства материалов, определяющие возбуждение и распространение механических колебаний, тесно связаны с прочностными характеристиками. В связи с этим основными задачами методов акустического неразрушающего контроля являются:

- 1) выявление дефектов типа нарушения сплошности;
- 2) оценка геометрических параметров изделий;
- 3) оценка физико-химических параметров изделий или механических свойств материала.

При *ультразвуковом методе акустического контроля* задействуются волны ультразвукового диапазона, для возбуждения и приёма которых требуется наличие пьезопреобразователя. Для лучшей передачи волн и устранения воздушных зазоров, влияющих на точность показаний прибора, при проведении измерений необходимо использовать специальную жидкость, в роли которой зачастую выступает глицерин.

При *частотном методе акустического контроля* волны звукового диапазона возбуждаются не только посредством пьезокристаллов, но и особыми ударными устройствами, а для их приёма требуются микрофоны.

Помимо этого, все методы акустического контроля классифицируются по характеру взаимодействия с исследуемым объектом. Таким образом, различают пассивные методы (вибрационный и шумовибрационный) и активные, перечень которых гораздо шире:

1. Эхолокация. Пьезопреобразователь посылает импульс, который отражается либо от внутренней стенки объекта, либо от дефекта. Данная методика особенно популярна в сферах, где требуется проведение исследований качества сварных швов и заготовок из различных металлов, включая всевозможные сосуды и трубы.

2. Спектральный метод подразумевает использование специального оборудования, благодаря которому можно проанализировать спектр частот собственных колебаний материала, возникающих после того, как по изделию был нанесён удар определённой силы.

3. Эмиссионный метод подразумевает использование упругих ультразвуковых волн, которые появляются по причине изменения структуры материала. Чтобы иметь возможность воспользоваться такой методикой, нужно задействовать сразу несколько приёмников и преобразователей ультразвуковой волны. Координаты дефекта определяются, исходя из времени поступления сигнала от источника к каждому приёмнику.

4. Резонансный. Толщина объекта определяется по резонансным частотам, а при наличии дефекта, показания прибора будут ниже номинального значения.

5. Теневой. Чтобы провести исследования с помощью такого метода, нужно обеспечить двусторонний доступ к объекту, ввиду того, что сигнал отправляется с одного пьезопреобразователя, а принимается другим. То есть, методика пригодна лишь для поверхностной (неточной) оценки качества изделия.

6. Импедансный. Благодаря использованию такого метода, можно без труда определить твёрдость и плотность материала, а также наличие или отсутствие дефектов внутри него. Если дефект есть, то амплитуда колебаний генератора ультразвуковых волн неизбежно увеличивается.

7. Зеркально-теневой метод имеет свои преимущества: ему безразлично качество поверхности и не требуется обеспечение двустороннего доступа. Но и недостатков он не лишён: с его помощью невозможно определить точные координаты дефекта, зато он явственно укажет на его наличие. Самостоятельно подобный метод исследований применяется крайне редко, а только в комплексе с другим, более точным.

Работа всех методов акустического контроля основывается на звуковых и ультразвуковых колебаниях с фиксацией их параметров, благодаря чему можно без лишних усилий выявить дефекты любых размеров на любых поверхностях, в том числе и скрытых. Ведь ультразвуковые волны имеют свойство проходить сквозь материал и, пройдя требуемое расстояние, возвращаться. Как только одна волна возвращается, сразу же посылается другая, и такие действия могут совершаться до полумиллиона раз в секунду. Эту величину принято называть частотой волн.

### 1.3.1. Классификационная система

В соответствие с ГОСТ 18353—79 все методы НК классифицируются по следующим признакам:

- 1) по характеру взаимодействия физических полей или веществ с контролируемым объектом. Под характером взаимодействия физического поля или вещества с ОК подразумевается непосредственное взаимодействие поля или вещества с контролируемым объектом, но не с проникающим веществом;
- 2) по первичному информативному параметру. Под первичным информативным параметром подразумевается одна из основных характеристик физического поля, регистрируемая после взаимодействия этого поля с ОК;
- 3) по способу получения первичной информации. Под первичной информацией подразумевается совокупность характеристик физического поля, регистрируемая после взаимодействия этого поля с ОК.

На рис. 15 приведена классификационная схема акустических методов НК по ГОСТ 18353—79. Согласно ГОСТ 23829—79 акустические методы подразделяются на две большие группы. Одна из них использует излучение и при-

ём акустических колебаний и волн (*активные методы*), вторая — только приём колебаний и волн (*пассивные методы*). Колебания в последнем случае возбуждаются под действием процессов, происходящих в самом ОК. В каждой из этих групп можно выделить методы, основанные на возникновении в ОК бегущих и стоячих волн или колебаний (рис. 16).



Рис. 15. Классификация акустических методов контроля по ГОСТ 18353-79

Активные акустические методы, в которых применяют бегущие волны, делят на подгруппы: методы, использующие прохождение, отражение волн, и комбинированные методы, в которых применяют как отражение, так и прохождение.

К пассивным методам относят акустико-эмиссионный метод, в котором используют бегущие волны. Явление акустической эмиссии (от лат. *emissio* — испускание, излучение) состоит в излучении упругих волн материалом ОК в результате внутренней динамической локальной перестройки его структуры.

К пассивным методам относят также вибрационно-диагностический и шумодиагностический. В первом из них анализируют параметры вибрации какой-либо отдельной детали или узла с помощью приемников контактного типа. Во втором изучают спектр шумов работающего механизма в целом на слух или с помощью микрофонных и других приемников и приборов-анализаторов спектра.

При использовании методов колебаний возбуждают свободные или вынужденные колебания либо ОК в целом (интегральные методы), либо его части (локальные методы). Свободные колебания возбуждают путем кратковременного внешнего воздействия на ОК, вынужденные колебания предполагают постоянную связь колеблющегося ОК с возбуждающим генератором, частоту которого изменяют. Измеряемыми величинами служат частоты свободных колебаний либо резонансов вынужденных колебаний.



гания дефекта), фаза колебаний. Методы отражения включают эхометод, зеркальный эхометод, дельта-метод, реверберационный метод.

### Комбинированные методы

В комбинированных методах используются принципы как прохождения, так и отражения акустических волн. К числу комбинированных методов относятся: зеркально-теневой, эхотеневой и эхосквозной методы. Благодаря совместному применению методов отражения и прохождения достигается повышение надежности контроля.

#### 1.3.2. Способы осуществления акустического контакта

Акустический контакт — способ передачи акустического сигнала из объекта контроля в преобразователь и наоборот. Акустические волны сильно отражаются от тонких воздушных зазоров. Поэтому для передачи волн от преобразователя к объекту такие промежутки часто заполняются жидкостью.

При *бесконтактном способе* акустические колебания в ОК возбуждаются через слой воздуха либо создаются в ОК с помощью действия электромагнитных, оптических, тепловых и других явлений. Данный метод контакта имеет пониженную чувствительность контроля, но его применение оправдано в следующих случаях:

- 1) объект контроля имеет грубую поверхность;
- 2) высокие скорости контроля;
- 3) контроль ведется при высоких температурах;
- 4) поверхность контролируемого объекта загрязнена.

При *щелевом (менисковом) способе* иммерсионная жидкость удерживается в зазоре между преобразователем и поверхностью объекта контроля силами поверхностного натяжения (рис. 17). В щелевом способе длина волны соизмерима с толщиной иммерсионного слоя  $h \ll \lambda$ .

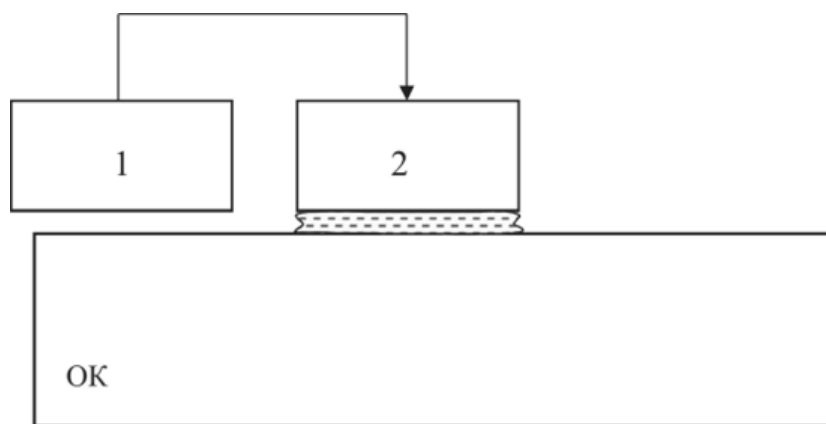


Рис. 17. Щелевой акустический контакт



*Контактный метод.* Для обеспечения акустического контакта преобразователь должен быть плотно прижат к поверхности объекта контроля, смазанного жидкостью (например, трансформаторным маслом) для сглаживания шероховатости. Толщина слоя контактной жидкости существенно меньше длины волны УЗК:  $h$ .

*Иммерсионный метод.* Объект контроля погружается в иммерсионную жидкость целиком. Кроме того, возможно применение локальной жидкостной ванны для части ОК. В этом случае толщина слоя жидкости — расстояние между преобразователем и поверхностью объекта контроля — существенно больше длины волны:  $h < \lambda$ . Иммерсионный способ используется в тех методах контроля, для которых особенно важна стабильность акустического контакта (таких как амплитудный теневой, эхосквозной методы):  $\lambda < h$ .

Контактные среды должны соответствовать следующим требованиям:

- 1) иметь малое поглощение энергии акустических колебаний;
- 2) обеспечивать хорошую смачиваемость;
- 3) быть экологически безвредными;
- 4) не должны вызывать коррозию изделия;
- 5) свойства контактной среды должны сохраняться во всем рабочем интервале температур;
- 6) контактная среда не должна быть дорогостоящей, что особенно важно для иммерсионного способа контакта.

### 1.3.3. Преимущества и недостатки АК

Основные преимущества АК:

- 1) возможность контроля изделий из самых различных металлических и неметаллических материалов независимо от их электропроводности, диэлектрической и магнитной проницаемости;
- 2) возможность выявления как поверхностных, так и внутренних дефектов;
- 3) безопасность для исполнителей и окружающих;
- 4) сравнительно небольшие затраты на контроль;
- 5) мобильность и адаптивность;
- 6) относительная легкость автоматизации.

Основные недостатки акустических методов НК:

- 1) трудность или невозможность контроля изделий из неоднородных крупнозернистых материалов (нетермообработанных литых металлов, например, аустенитных сталей, некоторых типов чугунов);
- 2) требование ровной, гладкой поверхности изделия;
- 3) трудность контроля изделий малых размеров или сложной формы.

Из рассмотренных методов АК наибольшее практическое применение находит эхометод. Около 90 % объектов, контролируемых акустическими методами, проверяют эхометодом. С его помощью решают задачи дефектоскопии

литья, сварных соединений, многих неметаллических материалов. Эхометод используют также для измерения геометрических параметров ОК и оценки физико-механических свойств материалов.

Другие методы АК применяют для решения задач контроля, в котором использование эхометода невозможно, либо в качестве дополнительных к эхометоду для более полного обнаружения и исследования дефектов. В табл. 1 приведена краткая сравнительная характеристика методов АК.

Таблица 1

Краткая сравнительная характеристика методов АК

Метод	Преимущества метода	Особенность применения
Эхометод	Односторонний доступ к изделию	Контроль литья, сварных соединений, неметаллических материалов, определение геометрических размеров и физико-механических свойств
Зеркально-теневой	Выявление слабо отражающих дефектов перпендикулярно поверхности контроля	Контроль литья, металла
Эхозеркальный	Выявление более мелких дефектов, чем зеркально-теневым методом	Контроль литья, металла
Дельта-метод	Получение дополнительной информации о дефектах сварных соединений, определение геометрии дефекта	Контроль сварных соединений
Эхотеневой	Обнаружение слабо отражающих дефектов	Автоматизированный контроль сварных соединений
Теневой, эхосквозной	Возможность контроля изделий с большим уровнем реверберационных помех	Автоматизированный контроль сварных соединений, тонких металлических изделий простой формы (листовой прокат), контроль физико-механических свойств неметаллических материалов

Акустический метод неразрушающего контроля имеет как достоинства, так и недостатки. Главное преимущество чётко обозначено в слове «неразрушающий», ибо для диагностики предмета исследований не требуется ни его демонтаж, ни даже частичное разрушение, ни остановка поточных линий, что особенно важно в условиях промышленного производства. Более того, совре-

менные приборы, применяемые для исследований, отличаются компактностью и мобильностью, а это значит, что диагностике подлежат любые изделия, в том числе и те, что будут в дальнейшем эксплуатироваться.

Акустические дефектоскопы могут проверить объект целиком и полностью или частично. То есть, полное исследование не всегда уместно, а возможность «фрагментации» позволит держать под контролем особо уязвимые места объекта, а также участки, подверженные наибольшему износу. Более того, при необходимости можно организовать непрерывный контроль, который просто необходим на АЭС и иных стратегических и потенциально опасных объектах. Но и самое главное не в этом. Важно, что предмет исследования в ходе проводимых с ним манипуляций не теряет своих свойств, а это значит, что дорогостоящее оборудование или продукция полностью сохранит свои характеристики.

Преимущества:

- 1) высокая скорость проведения исследования;
- 2) незамедлительная выдача результатов;
- 3) возможность использования на самых разных материалах;
- 4) возможность проведения исследования только с одной стороны объекта.

Недостатки:

- 1) для корректной работы прибора необходимо обеспечить хороший контакт поверхности с пьезопреобразователем;
- 2) если дефекты расположены параллельно ультразвуковым лучам, то есть риск их не обнаружить и вовсе;
- 3) чтобы верно интерпретировать полученные данные, отображённые на дисплее, нужны соответствующие навыки;
- 4) всякому прибору требуется регулярная настройка и проверка.

Выбор конкретного метода неразрушающего контроля в той или иной ситуации осуществляется экспертом организации, выполняющей работы по НК. Он принимает во внимание следующие факторы:

- вид анализируемого объекта;
- материал, из которого он изготовлен;
- размер изделия;
- область его применения;
- другие условия.

Акустический неразрушающий контроль является одним из наиболее популярных методов проверок. Это связано с тем, что он может быть использован для самых различных материалов, включая те, которые не поддаются диагностике другими методами. Кроме того, широкий спектр вариаций данного метода позволяет применять его для объектов, обладающих специфическими свойствами. Например, это могут быть материалы, создающие помехи, изделия, имеющие микроскопические трещины, и другие объекты.

## 1.4. ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ ПРОНИКАЮЩИМИ ВЕЩЕСТВАМИ

Капиллярная дефектоскопия является одним из основных методов неразрушающего контроля и предназначена для обнаружения поверхностных и сквозных дефектов в объектах контроля, определения их расположения, протяженности (для протяженных дефектов типа непроваров, трещин) и их ориентации на поверхности. Капиллярный метод неразрушающего контроля (ГОСТ 18442-80) основан на капиллярном проникновении внутрь дефекта индикаторных жидкостей, хорошо смачивающих материал объекта — поверхность контроля, и последующей регистрации индикаторных следов (благодаря чему носит название цветная дефектоскопия).

В соответствии с техническими требованиями в большинстве случаев необходимо выявлять настолько малые дефекты, что заметить их при визуальном осмотре невооруженным глазом практически невозможно. В то же время применение оптических приборов, например лупы или микроскопа, не позволяет выявить поверхностные дефекты из-за недостаточной контрастности изображения дефекта на фоне металла и малого поля зрения при больших увеличениях.

В таких случаях наиболее применим капиллярный метод контроля. Капиллярная дефектоскопия позволяет контролировать объекты любых размеров и форм, изготовленные из различных материалов: черных и цветных металлов, сплавов, пластмасс, стекла, керамики и т.п.

Области применения:

- авиастроение;
- автомобилестроение;
- машиностроение;
- судостроение;
- строительство ядерных реакторов;
- металлургия;
- электротехника;
- литейное производство.

Капиллярный контроль широко востребован при дефектоскопии сварных швов. При контроле красящий пенетрант наносится на контролируемую поверхность и благодаря своим особым качествам под действием капиллярных сил проникает в мельчайшие дефекты, имеющие выход на поверхность объекта контроля.

Проявитель, наносимый на поверхность объекта контроля через некоторое время после осторожного удаления с поверхности пенетранта, растворяет находящийся внутри дефекта краситель и за счет диффузии «вытягивает» оставшийся в дефекте пенетрант на поверхность объекта контроля. Имеющиеся дефекты видны достаточно контрастно. Индикаторные следы в виде линий указывают на трещины или царапины, отдельные точки — на поры.

Перечень основных национальных и европейских стандартов и нормативных документов по капиллярному неразрушающему контролю:

- ГОСТ 18442-80 Контроль неразрушающий. Капиллярные методы. Общие требования;
- ГОСТ 24522-80 Контроль неразрушающий капиллярный. Термины и определения;
- ГОСТ 28369-89 Контроль неразрушающий. УФ-облучатели. Общие технологические требования;
- ГОСТ 23349-84 Контроль неразрушающий. Дефектоскопы капиллярные. Общие технологические требования;
- ГОСТ 18353-79 Контроль неразрушающий. Классификация видов и методов;
- ОСТ 26-5-99 Контроль неразрушающий. Цветной метод контроля сварных соединений, наплавленного и основного металла;
- ОСТ 36-76-83 Контроль неразрушающий. Сварные соединения трубопроводов и конструкций. Цветной метод;
- ОСТ 108.004.101-80 Контроль неразрушающий. Люминесцентный, цветной и люминесцентно-цветной методы. Основные положения;
- ОСТ 95.955-82 Контроль неразрушающий. Соединения сварные. Метод капиллярный;
- ОСТ 26-5-88 Контроль неразрушающий. Цветной метод контроля сварных соединений, наплавленного и основного металла;
- РД 153-34.1-17.461-00 Методические указания по капиллярному контролю сварных соединений, наплавки и основного металла при изготовлении, монтаже, эксплуатации и ремонте объектов энергетического оборудования;
- РДИ 38.18.019-95 Инструкция по капиллярному контролю деталей технологического оборудования, сварных соединений и наплавки;
- РД-13-06-2006 Методические рекомендации о порядке проведения капиллярного контроля технических устройств и сооружений, применяемых и эксплуатируемых на опасных производственных объектах;
- ПНАЭ Г-7-010-89 Оборудование и трубопроводы атомных энергетических установок. Сварные соединения и наплавки. Правила контроля;
- ПНАЭ Г-7-018-89 Унифицированная методика контроля основных материалов (полуфабрикатов), сварных соединений и наплавки оборудования и трубопроводов АЭУ. Капиллярный контроль;
- EN 473 Квалификация и сертификация персонала в области неразрушающего контроля. Общие требования;
- EN 1289 Контроль неразрушающий сварных соединений. Контроль проникающими веществами (капиллярный). Границы допустимости;
- EN ISO 3452-2 Неразрушающие испытания. Испытания проникающим веществом. Ч. 2. Испытания проникающих материалов;
- EN ISO 3452-3 Неразрушающий контроль. Проникающие испытания. Ч. 3. Эталонные контрольные блоки;

- EN ISO 3452-4 Неразрушающий контроль. Проникающие испытания. Ч. 4. Оборудование;
- ISO 3059 Неразрушающий контроль. Капиллярный и магнитопорошковый методы. Условия наблюдения;
- ISO 9935 Методы неразрушающего контроля. Проникающая дефектоскопия. Общие технические требования;
- ISO 12706 Испытания без разрушения. Терминология. Термины, применяемые при проникающем испытании;
- ISO/TS 18173 Испытания неразрушающие. Общие термины и определения. Процесс капиллярного контроля состоит из 5 этапов:  
1-й этап — предварительная очистка поверхности.

Чтобы краситель мог проникнуть в дефекты на поверхности, ее предварительно следует очистить водой или органическим очистителем (рис. 18). Все загрязняющие вещества (масла, ржавчина, и т.п.) любые покрытия (ЛКП, металлизация) должны быть удалены с контролируемого участка. После этого поверхность высушивается, чтобы внутри дефекта не оставалось воды или очистителя.



Рис. 18. Предварительная очистка поверхности

2-й этап — нанесение пенетранта.

Пенетрант (обычно красного цвета) наносится на поверхность путем распыления, кистью или погружением объекта контроля в ванну, для хорошей пропитки и полного покрытия пенетрантом. Как правило, при температуре 5...50 °С, на время 5...30 мин (рис. 19).

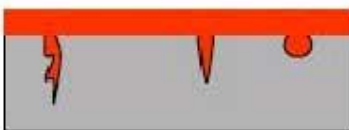


Рис. 19. Нанесение пенетранта

3-й этап — удаление излишков пенетранта.

Избыток пенетранта удаляется протиркой салфеткой, промыванием водой или тем же очистителем, что и на стадии предварительной очистки. При этом пенетрант должен быть удален только с поверхности контроля, но никак не из

полости дефекта. Затем поверхность высушивается салфеткой без ворса или струей воздуха (рис. 20).

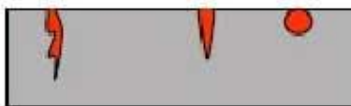


Рис. 20. Удаление излишков пенетранта

4-й этап — нанесение проявителя.

Сразу же после просушки на поверхность контроля тонким ровным слоем наносится проявитель (обычно белого цвета) (рис. 21).

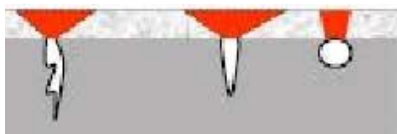


Рис. 21. Нанесение проявителя

5-й этап — контроль.

Выявление имеющихся дефектов (рис. 22.) начинается непосредственно после окончания процесса проявки. При контроле выявляются и регистрируются индикаторные следы, интенсивность окраски которых говорит о глубине и ширине раскрытия дефекта — чем бледнее окраска, тем дефект мельче. Интенсивную окраску имеют глубокие трещины. После проведения контроля проявитель удаляется водой или очистителем.

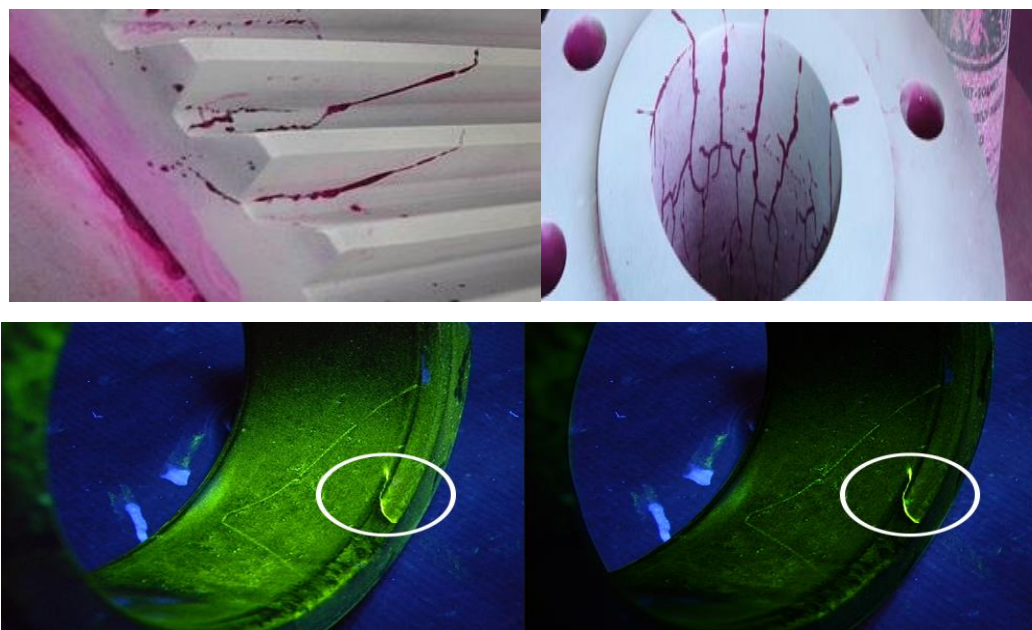


Рис. 22. Пример дефекта

Дефектоскопические материалы для цветной дефектоскопии (рис. 23) выбирают в зависимости от требований, предъявляемых к контролируемому объекту, его состояния и условий контроля. Их укомплектовывают в целевые наборы, в которые входят полностью или частично взаимообусловленные совместимые дефектоскопические материалы.



Рис. 23. Пример дефектоскопических материалов для цветной дефектоскопии в баллончиках

Совместимость дефектоскопических материалов в наборах или сочетаниях обязательна. Составы набора не должны ухудшать эксплуатационные качества материала контролируемого объекта.

Согласно ГОСТ 18442-80 класс чувствительности контроля определяется в зависимости от размера выявляемых дефектов. В качестве параметра размера дефекта принимается поперечный размер дефекта на поверхности объекта контроля — так называемая ширина раскрытия дефекта. Минимальная величина раскрытия выявленных дефектов называется нижним порогом чувствительности и ограничивается тем, что весьма малое количество пенетранта, задержавшееся в полости небольшого дефекта, оказывается недостаточным, чтобы получить контрастную индикацию при данной толщине слоя проявляющего вещества. Существует также верхний порог чувствительности, который определяется тем, что из широких, но неглубоких дефектов пенетрант вымывается при устранении излишков пенетранта на поверхности.

Обнаружение индикаторных следов, соответствующих указанным выше основным признакам, служит основанием для анализа о допустимости дефекта по его размеру, характеру, положению.

ГОСТ 18442-80 установлено 5 классов чувствительности (по нижнему порогу) в зависимости от размеров дефектов (табл. 2).



Классы чувствительности

Класс чувствительности	Ширина раскрытия дефекта, мкм
I	менее 1
II	от 1 до 10
III	от 10 до 100
IV	от 100 до 500
технологический	не нормируется

Капиллярный контроль наряду с другими физическими методами (визуально-измерительный контроль, рентгенографический контроль, ультразвуковой контроль, магнитно-порошковый контроль) является надежным и высокоэффективным средством для выявления возможных поверхностных дефектов. Требуется наличие специально подготовленных специалистов, специализированного оборудования и вспомогательных средств контроля, и, кроме того, предъявляет особые требования к подготовке поверхности изделия под контроль.

К недостаткам капиллярного контроля следует отнести его высокую трудоемкость при отсутствии механизации, большую длительность процесса контроля (от 0.5 до 1.5 ч), а также сложность механизации и автоматизации процесса контроля; снижение достоверности результатов при отрицательных температурах; субъективность контроля — зависимость достоверности результатов от профессионализма оператора; ограниченный срок хранения дефектоскопических материалов, зависимость их свойств от условий хранения.

Некоторые производители в целях экономии или некомпетентности игнорируют проведение неразрушающего контроля продукции или вспоминают о нём только на последней стадии — уже непосредственно перед сдачей объекта (а это приводит к дополнительной потере времени и непредусмотренным расходам), когда контроль бывает технически неосуществим. Подобное отношение к контролю качества чаще всего приводит к аварийным ситуациям в процессе эксплуатации и способно привести даже техногенным катастрофам.

## 2. ПРАКТИЧЕСКИЕ РАБОТЫ

### 2.1. ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 1 ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МАГНИТНОЙ ДЕФЕКТОСКОПИИ

Изучить методы магнитной дефектоскопии. Ознакомиться с магнитным контролем фазового состава сплавов и магнитным структурным анализом.

## **2.2. ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 2**

### **ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МЕТОДОВ РАДИАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ**

Изучить источники ионизирующего излучения и применяемой аппаратуры для радиационного контроля. Изучить технологии радиографической дефектоскопии.

## **2.3. ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 3**

### **ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ АКУСТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ**

Изучить основные параметры акустического контроля. Особенности технологии акустического контроля.

## **2.4. ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 4**

### **ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ ПРОНИКАЮЩИМИ ВЕЩЕСТВАМИ**

Изучить основные параметры капиллярной дефектоскопии и дефектоскопии течеискания. Особенности применения данных видов контроля для различных объектов.

## **2.5. ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 5**

### **ИЗУЧЕНИЕ ОСНОВНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ И ВЫБОР НЕРАЗРУШАЮЩИХ МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ**

Провести сравнительный анализ при обнаружении дефектов с учетом параметров дефектов и предельной чувствительности методов контроля.

## **2.6. ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 6**

### **СТАНДАРТИЗАЦИЯ И МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СРЕДСТВ И МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ**

Изучить основные стандарты на неразрушающие методы контроля. Изучить сущность метрологического обеспечения и руководящие документы для метрологического обеспечения средств и методов неразрушающего контроля.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кравченко, Е. Г. и др. Методы контроля качества в машиностроении [Текст]: учеб. пособие / Е. Г. Кравченко, Б. Я. Мокринский, А. С. Верещагина. – Старый Оскол: ООО «Точные наукоемкие технологии», 2017. – 132 с.; ил.
2. Клюев, В. В. Неразрушающий контроль [Текст]: справочник в 5 т. / под ред. Клюева. – М.: Машиностроение, 2003.
3. Современные методы контроля материалов без разрушения / под ред. С. Т. Назарова, 2004.
4. Таточенко, Л. К., Медведев, С. В. Промышленная гамма-дефектоскопия / М., 1955.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	3
1. Общие положения и указания к самостоятельной работе студентов.....	3
1.1. Магнитная дефектоскопия.....	3
1.2. Радиационный контроль.....	8
1.3. Физические основы акустических методов контроля.....	20
1.4. Физические основы неразрушающего контроля проникающими веществами...28	
2. Практические работы.....	33
2.1. Практическая работа № 1. Физические основы магнитной дефектоскопии..33	
2.2. Практическая работа № 2. Физические основы методов радиационного контроля.....	34
2.3. Практическая работа № 3 Физические основы акустических методов контроля.....	34
2.4. Практическая работа № 4. Физические основы неразрушающего контроля проникающими средствами.....	34
2.5. Практическая работа № 5. Изучение основных особенностей и выбор неразрушающих методов контроля.....	34
2.6. Практическая работа № 6. Стандартизация и метрологическое обеспечение средств и методов контроля.....	34
Библиографический список.....	35

# **НЕРАЗРУШАЮЩИЕ МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ В МАШИНОСТРОЕНИИ**

## *МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ*

*к выполнению практических работ*

*для студентов, обучающихся по направлению 15.04.01 «Машиностроение»*

*(профиль «Обеспечение качественно-точных характеристик*

*при изготовлении изделий в автоматизированном машиностроительном*

*производстве»)*

*всех форм обучения*

### **Составители:**

**Краснова Марина Николаевна**

**Жачкин Сергей Юрьевич**

Издается в авторской редакции

Компьютерный набор Е. Д. Зотовой

Подписано к изданию 28.10.2021.

Уч.-изд.л. 2,3

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»  
394026 Воронеж, Московский просп., 14