

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования

"Воронежский государственный технический университет"

Кафедра автоматизированного оборудования
машиностроительного производства

ВВЕДЕНИЕ В НЕРАЗРУШАЮЩИЕ МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к выполнению практических работ
для студентов направления

15.03.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение
машиностроительных производств»

(профиль «Металлообрабатывающие станки и комплексы»)
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. В. И. Ряжских
аспирант кафедры А. А. Краснов

Неразрушающие методы контроля: методические указания к выполнению практических работ для студентов направления 15.03.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств» (профиль «Металлообрабатывающие станки и комплексы») всех форм обучения / ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»; сост.: М. Н. Краснова, В. И. Ряжских, А. А. Краснов. – Воронеж: Изд-во ВГТУ, 2021. 37 с.

Изложены общие вопросы к выполнению практических работ, сформулированы задания и представлен теоретический материал. Выполнение практических работ дает студентам возможность получения навыков при решении типовых инженерных задач с использованием мерительных инструментов, государственных стандартов, учебной и справочной литературы.

Предназначены для студентов третьего курса, направления 15.03.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств» (профиль «Металлообрабатывающие станки и комплексы») всех форм обучения.

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

Ил. 14. Табл. 9. Библиогр.: 2 назв.

УДК 621.01(07)
ББК 34.5я7

Рецензент – С. Ю. Жачкин, д-р техн. наук, проф. кафедры
автоматизированного оборудования
машиностроительного производства ВГТУ

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

Введение

Неразрушающие методы контроля реализуются в системе функциональной поддержки работоспособного состояния всех систем технологического оснащения и контроля. Другими словами, речь идет о проверке изделия без ка-кого-либо его разрушения (англ. nondestructive inspection (NDI)) (главное отличие от контроля разрушающего типа).

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).

Практические работы дают возможность ознакомиться с российскими, европейскими и международными стандартами по неразрушающему контролю, что необходимо знать будущему инженерно-техническому работнику современного машиностроительного предприятия.

Практическая работа № 1 Введение в неразрушающие методы контроля

Сегодня под неразрушающим контролем (от англ. Non-destructive testing (NDT)) чаще всего понимают анализ надежности и других свойств и основных рабочих характеристик всего объекта или отдельных его элементов (участков), не связанный с выведением этого объекта из работы либо его демонтажом.

Официально днём рождения неразрушающего контроля принято считать 28 декабря 1895 года, когда была опубликована статья Вильгельма Рентгена «О новом типе лучей». Ведь именно использование этих – рентгеновских – лучей было положено в основу одного из методов неразрушающего контроля.

Сферой, которая первой «приручила» неразрушающий контроль и взяла себе на вооружение, является строительство. В настоящее время контроль неразрушающего типа очень активно применяется в машиностроении.

Что же касается основных методов неразрушающего контроля, то ими, согласно ГОСТу 18353-79, являются такие методы как:

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

При всем многообразии методов неразрушающего контроля наиболее частое применение находят именно магнитопорошковый и ультразвуковой метод. Что же касается, например, радиационного контроля, то он используется гораздо реже. Зато именно приборы радиационного контроля позволяют контролировать большие толщины материалов, а также

те виды материалов, диагностика которых остальными методами затруднена (в частности, композиты). Своими особенными преимуществами обусловлено и применение акустического метода неразрушающего контроля: это, прежде всего, возможность диагностики дефектов внутреннего типа, относительная простота приборов неразрушающего контроля, широкий спектр материалов, пригодных для обследования. В этом плане он выгодно отличается, например, от магнитных, вихревых и электрических методов контроля, позволяющих диагностировать лишь поверхность и подповерхностный слой металлов.

Подробнее об особенностях каждого метода неразрушающего контроля описано в табл. 1 и 2.

Таблица 1

Оборудование требуемое для реализации неразрушающих методов контроля

Метод неразрушающего контроля и нормативно-техническая документация (НТД)	Требуемое для его реализации оборудование
<p>Визуально-измерительный (ВИК) РД 03-606-03 Инструкция по визуальному и измерительному контролю</p>	<p>Не требующий какого-либо оборудования метод неразрушающего контроля – может реализовываться с помощью простых измерительных средств (комплект для визуального контроля)</p>
<p>Магнитопорошковый (МК) ГОСТ 21105-87 Контроль неразрушающий. Магнитопорошковый метод РД-13-05-2006 Методические рекомендации по порядку проведения магнитопорошкового контроля технических устройств</p>	<p>Устройство для размагничивания и намагничивания контролируемых объектов Магнитный индикатор (порошки, суспензии, магнитогуммированные пасты)</p>
<p>Капиллярный (ПВК) ГОСТ 18442-80 Контроль неразрушающий. Капиллярные методы. Общие требования. РД-13-062006. Методические рекомендации о порядке проведения капиллярного контроля</p>	<p>Дефектоскопические материалы: Пенетрант, Проявитель, Очиститель</p>
<p>Ультразвуковой (УК) ГОСТ 14782-86. Контроль неразрушающий. Соединения сварные. Методы ультразвуковые</p>	<p>Ультразвуковой дефектоскоп Преобразователи пьезоэлектрического типа (ПЭП) Стандартные образцы предприятий (СОП)</p>
<p>Радиационный (РК) ГОСТ 7512-82 Контроль неразрушающий</p>	<p>Рентгеновский аппарат</p>

Метод неразрушающего контроля и нормативно-техническая документация (НТД)	Требуемое для его реализации оборудование
Соединения сварные. Радиографический контроль.	
Тепловой (ТК) ГОСТ 23483-79 Контроль неразрушающий. Методы теплового вида. Общие требования. РД-13-04-2006 Методические рекомендации о порядке проведения теплового контроля	Тепловизор
Течеискание (ПВТ) ГОСТ 24054-80 Изделия машиностроения и приборостроения. Методы испытания на герметичность	Течеискатель
Акустико-эмиссионный (АЭ) ПБ 03-593-03 Правила организации и проведения акустико-эмиссионного контроля сосудов, аппаратов, котлов и технологических трубопроводов	Акустико-эмиссионная система
Вибродиагностический (ВД) РТМ 38.001-94 Указания по расчету на прочность и вибрацию технологических стальных трубопроводов РД 08.00-60.30.00-КТН-016-1-05 Руководство по техническому обслуживанию и ремонту оборудования и сооружений нефтеперекачивающих станций	Вибродиагностический комплекс
Вихретоковый (ВТ) РД-13-03-2006 Методические рекомендации о порядке проведения вихретокового контроля технических устройств и сооружений, применяемых и эксплуатируемых на опасных производственных объектах	Вихретоковый дефектоскоп
Электрический (ЭЛ) ГОСТ 25315-82 Контроль неразрушающий электрический	Электроискровой дефектоскоп

Виды дефектов и недостатки разных видов неразрушающего контроля

Метод неразрушающего контроля	Дефекты, выявляемые данным методом неразрушающего контроля	Недостатки метода
Визуально-измерительный (ВИК)	Дефекты на поверхности объекта размером от 0,1 мм и больше	Низкая способность обнаружения мелких поверхностных дефектов Уровень выявляемости дефектов приборами зависит от субъективных факторов
Магнитопорошковый (МК)	Диагностика объектов, изготовленных из сталей ферромагнитного типа: поверхностные и подповерхностные (2-3мм) дефекты с протяженностью от 0,5 мм и шириной раскрытия от 2мкм Возможно применение для неразрушающего контроля по немагнитным покрытиям (кадмий, хром и т.д.). Покрытия с толщиной до 20 мкм практически не влияют на корректность контроля и выявляемость дефектов	Не возможен магнитопорошковый контроль элементов и конструкций из неферромагнитных сталей, если на их поверхности отсутствует зона необходимая для нанесения индикаторных материалов и намагничивания, либо изделий со структурными неоднородностями и/или резкими изменениями площади поперечного сечения с наличием несплошностей с плоскостью раскрытия не совпадающей с направлением магнитного поля, либо составляющей с ним угол в 30 градусов и менее
Капиллярный (ПВК)	Дефекты поверхностного и сквозного типа с раскрытием порядка 1мкм	С помощью приборов данного метода неразрушающего контроля возможно обнаружение лишь выходящих на поверхность, либо сквозных дефектов без определения их точной глубины. Сложность механизации и автоматизации реализации метода. Необходимость тщательной обработки поверхности контролируемого объекта
Ультразвуковой (УК)	Подходит для неразрушающего контроля изделий как из металлов, так и неметаллов Позволяет выявлять все виды дефектов в основном материале, сварных швах, околошовных зонах	Поверхность объекта должна быть подготовлена для введения ультразвука, а в случае сварных соединений- необходима подготовка и направлений шероховатости (они должны быть перпендикулярными шву)

Метод неразрушающего контроля	Дефекты, выявляемые данным методом неразрушающего контроля	Недостатки метода
	<p>Высокая скорость, производительность контроля при низкой стоимости и безопасности для человека</p> <p>Мобильность ультразвукового дефектоскопа</p>	<p>Необходимо применение контактных жидкостей (вода, клейстер, масло). Причем, при диагностике вертикальных или сильно наклоненных поверхностей эти контактные жидкости должны обладать определенной густотой</p> <p>Применение «притертых» преобразователей (с радиусом кривизны подошвы R, равным 0,9-1,1 R радиуса контролируемого объекта), не пригодных в таком виде для диагностики плоских поверхностей</p> <p>Приборы данного метода неразрушающего контроля не позволяют ответить на вопрос о размерах обнаруженного дефекта, измеряя лишь его отражательную способность в направлении приемника (в то время как данная величина коррелирует не для всех видов дефектов)</p> <p>Не позволяет контролировать соединения, в которых оба элемента кованные, литые, либо штампованные; угловые наклонные (с отклонением от перпендикулярности более 10 градусов) сварные соединения трубчатых элементов между собой либо с другими элементами, а также металлы с крупнозернистой структурой, изделия малых размеров и сложной формы.</p>
Радиационный (РК).	Внутренние дефекты сварных соединений (трещины, непровары, поры, шлаковые включения)	<p>Низкое выявление поверхностных дефектов</p> <p>Метод неразрушающего контроля не позволяет выявлять включения и поры с диаметром поперечного сечения, трещины и непровары с плоскостью раскрытия не совпадающей с направлением просвечивания</p> <p>При применении соответствующих приборов необходимо обеспечение радиационной безопасности персонала</p>

Метод неразрушающего контроля	Дефекты, выявляемые данным методом неразрушающего контроля	Недостатки метода
Тепловой (ТК)	Выявление мест проходимости теплоносителей, протечек, нарушений изоляционных покрытий, участков нагрева электрических контактов	Зависимость корректности измерений от окружающей среды и погодных условий
Течеискание (ПВТ)	Нахождение течей	Обнаружение лишь дефектов сквозного типа
Акустико-эмиссионный (АЭ)	Обнаруживает поверхностные и внутренние дефекты, в том числе – и это особенно важно – дефекты, находящиеся еще только в стадии развития (от десятых долей миллиметра). Благодаря этому позволяет проводить классификацию дефектов, в том числе, по степени их опасности	Достаточно сложная технология, требующая дорогого оборудования и приборов. Акустико-эмиссионные сигналы, как правило, трудно выделяются из помех. Необходимость последующей диагностики контролируемых объектов другими методами.
Вибродиагностический (ВД)	Обнаружение и диагностика пульсации потока технологической среды, колебаний движущихся частей	Жесткие дополнительные требования к способу крепления датчика. Зависимость уровня вибрации от целого ряда факторов Трудности выделения вибрационного сигнала
Вихретоковый (ВТ)	Обнаруживает поверхностные и подповерхностные (глубина -1 – 4 мм) дефекты	Применяется только для диагностики изделий из токопроводящих материалов
Электрический (ЭЛ)	Позволяет проводить оценку целостности изоляций	Предполагает необходимость контакта с объектом Жесткие требования к чистоте поверхности объекта Сложность автоматизации процесса неразрушающего контроля Зависимость корректности результатов измерений от состояния окружающей среды

Преимущества неразрушающих методов контроля перед другими методами

За счет использования приборов неразрушающего контроля появляется прекрасная и уникальная возможность диагностировать непосредственно то изделие, которое будет затем эксплуатироваться. Взять, например, некую втулку. С помощью статистического метода контроля можно установить: вероятность того, что данная втулка не имеет дефектов. Разрушающий метод определит, что раз конкретно в этой втулке дефектов не обнаружено, то и в другой, произведённой по аналогичной технологии и на том же оборудовании, дефектов тоже не окажется. Скорее всего, не окажется... И только неразрушающий метод может дать гарантию: именно это изделие прошло диагностику и именно оно пригодно к использованию. Причем, в отличие от большинства прочих методов, неразрушающий контроль не требует тщательной предварительной подготовки образцов.

Есть здесь и еще одна особенность. 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, склонны 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). В дальнейших практических мы рассмотрим некоторые методы неразрушающего контроля подробнее.

Контрольные вопросы

1. Что понимают под неразрушающим контролем?
2. Какие основные методы неразрушающего контроля согласно ГОСТ 18353-79 существуют?
3. Опишите преимущества и недостатки 3-х методов неразрушающего контроля, которые вы считаете наиболее интересными вам и чем?
4. В чем преимущества радиационного и акустического метода контроля над другими видами неразрушающего контроля?
5. В чем особенность приборов неразрушающего контроля?

Практическая работа № 2

Сущность и технология проведения магнитного неразрушающего контроля

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.

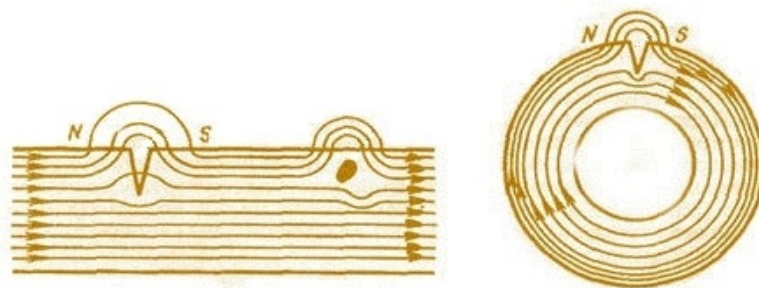


Рис. 1. Магнитные поля рассеяния

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

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 проверки;
- ГОСТ 26697-85 Контроль неразрушающий. Дефектоскопы магнитные и вихре-токовые. Общие технические требования.

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

Магнитопорошковый метод включает в себя следующие операции:

- подготовка к контролю;
- намагничивание;
- нанесение дефектоскопического материала;
- осмотр поверхности и регистрация индикаторных рисунков;
- 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 (рис. 2).



Рис. 2. Общий вид ПМД-70

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.

При замыкании выключателя В, через контакты К1 и К2 ток подается на автотрансформатор АТ. Автотрансформатор АТ питает понижающий трансформатор Т1 220 В на 6 В,

со вторичной обмотки которого выпрямленное напряжение подается на зажимные намагничивающие контакты Н, на ручные контакты Р и на катушку, устанавливаемую в зажимные контакты.

Поскольку трансформатор Т2 включен параллельно с автотрансформатором, то при замыкании выключателя В, ток пойдет и по первичной обмотке трансформатора Т2. Сигнальная лампа СЛ1 указывает на то, что прибор включен в сеть, сигнальная лампа СЛ2 свидетельствует о том, что силовой трансформатор Т1 также включен. Переключатель П имеет два возможных положения: в положении 1 — длительное намагничивание для проведения дефектоскопии в приложенном магнитном поле, в положении 2 — мгновенное намагничивание в поле остаточной намагниченности (рис. 3).

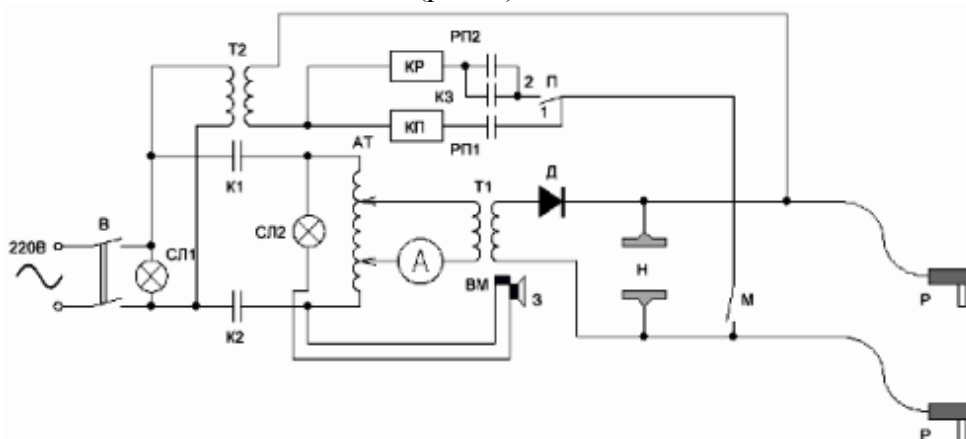


Рис. 3. Схема дефектоскопа ПМД-70:

В — пакетный выключатель, К1 и К2 — контакты магнитного пускателя, РП1 и РП2 — контакты, П — переключатель, АТ — автотрансформатор, Т1 и Т2 — понижающие трансформаторы, КП - катушка управления магнитного пускателя, КР — катушка промежуточного реле, ВМ — выключатель магнитный, СЛ1 и СЛ2 — сигнальные лампы, Р — ручные намагничивающие контакты, Н — намагничивающие контакты зажимные, М — микровыключатель, А — амперметр, З — звонок, Д — диод

Когда переключатель П находится в положении 1, микровыключатель М замыкается, катушка управления магнитного пускателя КП подключается к трансформатору Т1, вторичная обмотка которого питает ее и контакты промежуточного реле РП1. Цепь оказывается замкнутой. Пусковой прибор приводит к замыканию контактов К1 и К2, силовая часть и вместе с ней намагничивающие устройства получают питание.

Когда выключатель П находится в положении 2, параллельно катушке пускателя включается катушка промежуточного реле КР. При замыкании микровыключателя замыкается и контакт КЗ, приводящий к включению промежуточного реле, контакты РП2 замыкаются, контакты РП1 размыкаются, отключая магнитный пускатель, и контакты К1 и К2 размыкаются. Процесс длится 0,3 секунды. Пока микровыключатель не будет замкнут, реле так и будет отключено, поскольку контакт КЗ блокирует контакты РП2. После размыкания микровыключателя система возвращается в исходное состояние.

Ток устройств намагничивания можно регулировать посредством автотрансформатора АТ, регулируя величину тока от 0 до 5 кА. При намагничивании звонок З подает звуковой сигнал. Если ток намагничивания идет непрерывно, сигнал будет непрерывным, в аналогичном режиме будет работать и сигнальная лампа СЛ2. При кратковременной подаче тока звонок и лампа сработают также кратковременно.

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:

- с использованием магнитного порошка (сухой способ);
- с использованием магнитной суспензии (влажный способ);
- магнитогуммированной пасты

Сухой порошок равномерно распределяют на поверхности с помощью распылителей или погружением изделия в емкость 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, приведенным 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 в целях 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 сигналаграммы.

Задание к практической работе

1. Оформить теоретический материал по практической работе.
2. Получить у преподавателя наименование 2-х стандартов, кратко их законспектировать.

Практическая работа № 3

Сущность и технология проведения ультразвукового неразрушающего контроля

Ультразвуковой метод контроля был предложен советским физиком С. Я. Соколовым в 1928 году и в настоящее время является одним из основных методов неразрушающего контроля. Он основан на исследовании процесса распространения ультразвуковых колебаний с частотой 0,5 — 25 МГц в контролируемых изделиях с помощью специального оборудования— ультразвукового преобразователя и дефектоскопа. Методы ультразвуковой дефектоскопии позволяют производить контроль сварных соединений, сосудов и аппаратов высокого давления, трубопроводов, поковок, листового проката и другой продукции. Ультразвуковой контроль является обязательной процедурой при изготовлении и эксплуатации многих ответственных изделий, таких как части авиационных двигателей, трубопроводы атомных реакторов или железнодорожные рельсы.

По сравнению с другими методами неразрушающего контроля ультразвуковой метод обладает важными преимуществами:

- высокая чувствительность к наиболее опасным дефектам типа трещин и непроваров,
- низкая стоимость,
- безопасность для человека (в отличие от рентгеновской дефектоскопии),
- возможностью вести контроль непосредственно на рабочих местах без нарушения технологического процесса,
- при проведении УЗК исследуемый объект не повреждается,
- возможность проводить контроль изделий из разнообразных материалов, как металлов, так и неметаллов.

К недостаткам ультразвукового метода контроля можно отнести невозможность оценки реального размера и характера дефекта, трудности при контроле металлов с крупнозернистой структурой из-за большого рассеяния и сильного затухания ультразвука, а также повышенные требования к состоянию поверхности контроля по шероховатости и волнистости. Согласно РД03-606-03 максимально допустимая шероховатость при ультразвуковом контроле составляет Ra 6,3 / Rz 40.

Сущность ультразвукового метода неразрушающего контроля

Многообразие задач, возникающих при необходимости проведения неразрушающего контроля различных изделий, привело к разработке и использованию ряда различных акустических методов контроля. Согласно ГОСТ 23829-85 акустические методы контроля делятся на две большие группы: использующие излучение и приём акустических колебаний и волн (активные методы) и основанные только на приёме колебаний и волн (пассивные методы) (табл. 3)

Наиболее широкое распространение в практике ультразвуковой дефектоскопии нашли методы прохождения и отражения (импульсные методы), реже применяют другие методы: резонансный, импедансный и метод акустической эмиссии.

Таблица 3

Виды дефектов

Методы	Описание
Методы прохождения	выявляют глубинные дефекты типа нарушения сплошности, расслоения.
Методы отражения	выявляют дефекты типа нарушения сплошности, определяет их координаты, размеры, ориентацию путём прозвучивания изделия и приёма отраженного от дефекта эхо-сигнала.
Импедансный метод	предназначен для контроля клеевых, сварных и паяных соединений, имеющих тонкую обшивку, приклеенную или припаянную к элементам жёсткости.

Методы	Описание
Методы свободных колебаний	применяются для обнаружения глубинных дефектов.
Методы вынужденных колебаний (резонансные)	применяются в основном для измерения толщины изделия и для обнаружения зоны коррозионного поражения, расслоений в тонких местах из металлов.
Акустико-эмиссионный метод	обнаруживает и регистрирует только развивающиеся трещины или способные к развитию под действием механической нагрузки (квалифицирует дефекты по степени их опасности во время эксплуатации).

Импульсные методы (прохождения и отражения)

Среди многочисленных методов прохождения и отражения на сегодняшний день наибольшее применение в дефектоскопии нашли: теневой, зеркально-теневой, и эхо-метод. Эхо-метод, в отличие от других, применим при одностороннем доступе к исследуемому объекту, и при этом позволяет определить размеры дефекта, его координаты и характер. В общем случае, суть перечисленных методов заключается в излучении в изделие и последующем принятии отраженных ультразвуковых колебаний с помощью специального оборудования – ультразвукового дефектоскопа и пьезоэлектрического преобразователя (ПЭП) и дальнейшем анализе полученных данных с целью определения наличия дефектов, а также их эквивалентного размера, формы, вида, глубины залегания и пр. Чувствительность ультразвукового контроля определяется минимальными размерами выявляемых дефектов или эталонных отражателей, выполненных в настроечном образце (ранее СОП). В качестве эталонных отражателей обычно используют плоскодонные сверления, ориентированные перпендикулярно направлению прозвучивания, а также боковые сверления или зарубки.

Самой массовой областью применения ультразвуковой дефектоскопии являются сварные соединения. Основным документом в России по ультразвуковому контролю сварных швов является ГОСТ Р 55724-2013 «Контроль неразрушающий. Соединения сварные. Методы ультразвуковые», в котором рассмотрены в полном объеме методы контроля стыковых, тавровых, нахлесточных и угловых сварных швов, выполненных различными способами сварки. Также в нём подробно описаны меры (калибровочные образцы) СО-2, СО-3 и СО-ЗР, V-1, V-2 и настроечные образцы, а также параметры для их изготовления. Проведение ультразвукового контроля сварных соединений и наплавки оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок регламентируется документом ПНАЭ Г-7-030-91 «Унифицированные методики контроля основных материалов (полуфабрикатов), сварных соединений и наплавки оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок. Ультразвуковой контроль».

В зависимости от области использования, различают ультразвуковые дефектоскопы общего и специального назначения. Дефектоскопы общего назначения могут использоваться для контроля самой разнообразной продукции, а специализированные дефектоскопы созданы для решения узкоцелевых задач.

К наиболее популярным моделям ультразвуковых дефектоскопов общего назначения относятся следующие (табл. 4):

Таблица 4

Ультразвуковые дефектоскопы

Ультразвуковой дефектоскоп УД2-70	Ультразвуковой дефектоскоп A1214 Expert	Ультразвуковой дефектоскоп УСД-60	Ультразвуковой дефектоскоп УД2В-П46	Ультразвуковой дефектоскоп STARMANS DIO 1000 SFE
				

Ультразвуковая толщинометрия (резонансный и импульсный метод)

Как правило, ультразвуковой метод толщинометрии применяют в случаях недоступности или труднодоступности объекта для измерения его толщины механическим измерительным инструментом. Ультразвуковая толщинометрия - неотъемлемая процедура при определении толщины стенок труб, котлов, сосудов, то есть объектов замкнутого типа или с односторонним доступом, а также объектов судостроительного и судоремонтного производства.

Современные ультразвуковые толщиномеры позволяют измерять толщины от 1 до 50 мм с точностью $\pm 0,001$ мм. По физическим принципам, используемым для измерения толщины, акустические толщиномеры делят на резонансные и эхо-импульсные.

Резонансный метод контроля основан на возбуждении и анализе резонансных колебаний в исследуемом объеме изделия, при этом исследование проводится при доступности одной стороны изделия, а погрешность метода составляет менее 1%. Резонансным методом измеряют толщину стенок металлических и некоторых неметаллических изделий (керамика, стекло, фарфор). Кроме того, при помощи резонансной дефектоскопии можно выявлять зоны коррозионного поражения, зоны непрочности и непрооя листовых соединений, зоны расслоения в биметаллах, тонких листах. Резонансные методы вынужденных колебаний в настоящее время не имеют широкого применения, так как задачи дефектоскопии и толщинометрии более точно решают импульсные ультразвуковые методы.

К наиболее популярным моделям ультразвуковых толщиномеров можно отнести следующие (табл. 5).

Таблица 5

Ультразвуковые толщиномеры

Ультразвуковой толщиномер ТУЗ-2	Ультразвуковой толщиномер A1210	Ультразвуковой толщиномер БУЛАТ	Ультразвуковой толщиномер УТ-301	Ультразвуковой толщиномер УТ907	Ультразвуковой толщиномер УДТ-40
					

Принцип ультразвуковой импульсной толщинометрии основан на измерении времени прохождения ультразвукового импульса в изделии или в слое и умножении измеренного времени на коэффициент, учитывающий скорость звука в материале изделия. Основные нормативные документы по проведению ультразвуковой толщинометрии:

- ГОСТ Р 55614-2013 «Контроль неразрушающий. Толщиномеры ультразвуковые. Общие технические требования».
- ГОСТ Р ИСО 16809-2015 «Контроль неразрушающий. Контроль ультразвуковой. Измерение толщины».

Импедансные дефектоскопы и твердомеры (импедансный метод)

Импедансный метод разработан советским ученым Ю.В. Ланге в 1958 году. Он основан на использовании зависимости полного механического сопротивления (импеданса) контролируемого изделия от качества соединения отдельных его элементов между собой. Этим методом можно выявлять дефекты в клеевых, паяных и других соединениях, между тонкой обшивкой и элементами жёсткости или заполнителями в многослойных конструкциях. Импедансные дефектоскопы широко используются в авиастроении, автомобильной и космической промышленности. Они способны обнаружить непроклеенные участки, расслоения, нарушения целостности и пустоты в различном оборудовании, приборах, конструкциях. Кроме того, метод ультразвукового контактного импеданса широко применяется для измерения твёрдости изделий из металлов и сплавов, таких как сосуды давления различного назначения (реакторы, парогенераторы, коллекторы, котельные барабаны) роторы турбин и генераторов, трубопроводы, детали различных транспортных средств, промышленные полуфабрикаты (отливки, поковки, листы) и т.д. Метод контактного импеданса основан на измерении режима колебаний преобразователя, соприкасающегося с объектом. По амплитудам и резонансным частотам такого преобразователя (часто имеющего вид стержня) судят о твердости материала изделия, податливости (упругому импедансу) его поверхности.

Наиболее популярные модели ультразвуковых твердомеров представлены в табл. 6.

Таблица 6

Ультразвуковые твердомеры

Ультразвуковой твердомер Константа ТУ	Ультразвуковой Твердомер ТКМ-459С	Ультразвуковой твердомер ТКМ-459М	Ультразвуковой твердомер МЕТ-У1	Комбинированный твердомер МЕТ-УД
				

Средства для проведения ультразвукового контроля

Следующим важнейшим инструментом для проведения ультразвукового контроля являются пьезоэлектрические преобразователи (ПЭП), которые выступают в качестве излучателя и приемника ультразвукового импульса, обрабатываемого дефектоскопом или толщиномером. Принцип действия пьезоэлектрических преобразователей основан на использовании прямого или обратного пьезоэлектрических эффектов. Прямой пьезоэффект представляет собой способность некоторых материалов образовывать электрические заряды на поверх-

ности при приложении механической нагрузки, обратный пьезоэффект заключается в изменении механического напряжения или геометрических размеров образца материала под воздействием электрического поля. В качестве пьезоэлектрических материалов обычно используют естественный материал кварц, турмалин, а также искусственно поляризованную керамику на основе титаната бария ($BaTiO_3$), титаната свинца ($PbTiO_3$) и цирконата свинца ($PbZrO_3$)

Основные требования к ультразвуковым преобразователям указаны в:

- ГОСТ Р 55725-2013 «Преобразователи ультразвуковые пьезоэлектрические. Общие технические требования»
- ГОСТ Р 55808-2013 «Преобразователи ультразвуковые. Методы испытаний»

Подробнее о ультразвуковых преобразователях, их классификации, маркировке и применении можно посмотреть здесь.


Для обеспечения хорошего контакта между ультразвуковым преобразователем и контролируемой поверхностью, а также для предотвращения образования воздушного зазора, создающего помехи звуковому импульсу, необходимо использовать различные контактные жидкости или гели. Контактная жидкость должна иметь специальный химический состав, соответствующий диапазону температур той или иной контролируемой поверхности и ее структуре. Так, для контроля арматурных стержней и неровных поверхностей необходимо использовать контактный гель высокой степени вязкости, при контроле нагреваемых поверхностей рекомендуется применять контактные гели на водной основе, а при очень низких температурах (до $-60^{\circ}C$) в качестве контактной жидкости можно использовать пропиленгликоль. Также стоит отметить, что в некоторых случаях (в частности, при контроле оборудования, используемого в ядерной промышленности) требуются контактные среды с ограниченным галогенным и серным составом. Подробнее о контактных жидкостях для ультразвукового контроля можно посмотреть здесь.



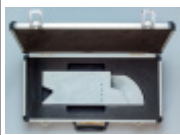



Одним из важных факторов качественного ультразвукового контроля изделий является обеспечение достоверности и единообразия при проведении контроля, особенно при диагностике объектов повышенной опасности. Метрологическое обеспечение оборудования подразумевает обязательную проверку работоспособности аппаратуры перед проведением ультразвукового контроля с использованием специальных образцов. Существует два вида образцов: меры (калибровочные образцы) и настроечные образцы (ранее стандартные образцы предприятия СОП).

Комплект калибровочных образцов (табл. 7) необходим для проверки основных параметров аппаратуры (разрешающей способности, мертвой зоны, угла ввода, стрелы ПЭП), а по контрольным образцам предприятия СОП осуществляют настройку глубиномера дефектоскопа и определение уровней чувствительности для проведения контроля конкретного изделия по определенному НД. К используемым калибровочным образцам (мерам) относятся:

Таблица 7

Калибровочные образцы

Калибровочный образец	Материал	Основное назначение
Основные калибровочные образцы (входят в обязательный перечень оборудования необходимого для аттестации лабораторий)		
СО-1	 органическое стекло марки ТОСП	<ul style="list-style-type: none"> • Определение условной чувствительности в мм. • Оценка лучевой разрешающей способности прямого ПЭП • Оценка лучевой разрешающей способности наклонного ПЭП

CO-2		Сталь марки 20 или сталь марки 3	<ul style="list-style-type: none"> Измерение угла ввода преобразователя Проверка мертвой зоны дефектоскопа с преобразователем Определение условной чувствительности в децибелах
CO-3		Сталь марки 20 или сталь марки 3	<ul style="list-style-type: none"> Определение точки выхода и стрелы ПЭП Настройка глубиномера наклонного ПЭП Настройка глубиномера для прямого и РС ПЭП
Специальные калибровочные образцы			
ISO/ DIS 19675		сталь марки S355J0	Образец выполнен в соответствии с ISO/DIS 19675 и предназначен для для настройки дефектоскопов на фазированной решетке. Данный образец должен заменить часто используемый для настройки приборов на ФР образец V1 который не может обеспечить запросы пользователей в полной мере.
CO-3P		Сталь марки 20	Специальный образец для калибровки ультразвуковых дефектоскопов при контроле качества рельсов, а также деталей и узлов железнодорожного подвижного состава при совмещенной и раздельной схеме работы ПЭП с частотой более 1,5 МГц.
V-1		Образец из углеродистой стали с цилиндром из органического стекла	Образец применяют в соответствии с рекомендациями Международного института сварки (МИС) и требованиями EN 12223-2000, ISO 2400-2013 для настройки и проверки параметров дефектоскопа и ПЭП.
V-2		Образец из углеродистой мелкозернистой стали	Образец применяют в соответствии с рекомендациями Международного института сварки (МИС) и требованиями EN 12223-2000, ISO2400-2013 для настройки и проверки параметров дефектоскопа с использованием малогабаритных и миниатюрных преобразователей.

Контрольные образцы предприятия (СОП) предназначены для настройки глубиномера и чувствительности при проведении ультразвукового контроля конкретного изделия. Наиболее распространенными типами применяемых отражателей при контроле сварных соединений являются: плоскодонные отражатели, «зарубки» и сегменты.

Помимо технических требований, предъявляемых к процессу ультразвукового контроля, существует и установленный порядок организации работ. Так лаборатории, выполняющие ультразвуковой контроль должны быть аттестованы в соответствии с

СДАНК-01-2020 «Правила аттестации и основные требования к лабораториям неразрушающего контроля»

А специалисты, проводящие ультразвуковой контроль должны быть аттестованы в соответствии с:

- СДАНК-02-2020 «Правила аттестации персонала в области неразрушающего контроля»
- ПНАЭ Г-7-010-89 «Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии»

Контрольные вопросы

1. На чем основан ультразвуковой метод контроля?
2. Какими преимуществами обладает ультразвуковой метод контроля?
3. Какими недостатками обладает ультразвуковой метод контроля?
4. Чем определяется чувствительность ультразвукового контроля?
5. В каких случаях применяют ультразвуковой метод толщинометрии?
6. На чем основан и в каких случаях применяют импедансный метод?

Практическая работа № 4

Сущность и технология проведения радиационного неразрушающего контроля

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.

Главными методами радиационного неразрушающего контроля являются:

- рентгеновская дефектоскопия. Для проведения исследований объекты облучаются рентгеновскими лучами.
- гамма-дефектоскопия. Для проведения исследований объекты облучаются гамма-лучами.

Гамма-дефектоскопия обладает в сравнении с рентгеновской дефектоскопией двумя преимуществами: возможностью использовать для проведения исследований искусственные радиоактивные изотопы с длительным сроком службы и действием лучей с одинаковой силой во всех направлениях, что необходимо для обследования, например, кольцевых сварных соединений. Недостатками гамма-дефектоскопии являются длительная экспозиция и недостаточная чувствительность для выявления дефектов в швах тоньше 50 мм. К тому же, хранение и использование рентгеновской трубки не связано с высоким риском облучения персонала и населения, как в случае с контейнерами, содержащими радиоактивные вещества.

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 изменения размеров фокусного пятна, полученного изменения тока рентгеновской трубки;
- ГОСТ 8.452-82 Приборы рентгенорадиометрические. Методы и средства проверки. 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».

Так, например, радиографический метод контроля сварных соединений осуществляется в соответствии с требованиями ГОСТ 7512-86. (рис. 4)

Радиографический контроль сварных соединений позволяет выявлять наличие в них пор, непроваров, шлаковых, вольфрамовых окисных и других включений, подрезов, трещин. Кроме того, радиографический контроль позволяет производить оценку величины выпуклости и вогнутости корня шва в недоступных для внешнего осмотра местах, например с противоположной стороны сварного шва.

Радиографический метод контроля основан на способности рентгеновских лучей проникать через металл и воздействовать на светочувствительную рентгеновскую пленку, расположенную с обратной стороны сварного шва. В местах, где имеются дефекты сплошности контролируемого материала (непровары, поры, трещины, шлаковые включения и др.) поглощение лучей будет меньше и они будут более активно воздействовать на чувствительный слой рентгеновской пленки.

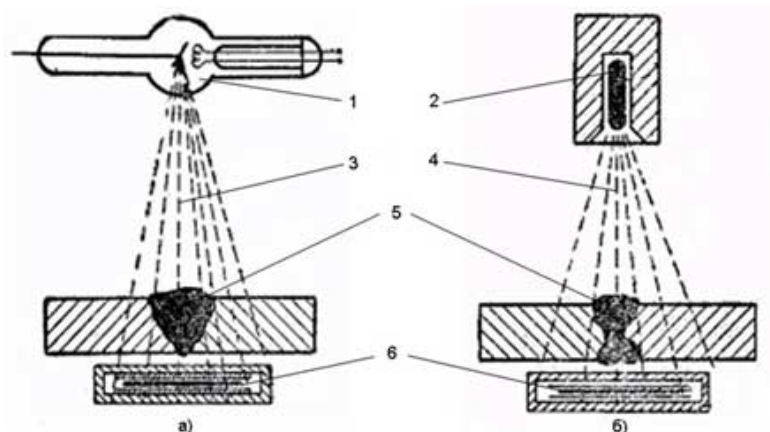


Рис. 4. Просвечивание сварного шва:

а – просвечивание сварного шва рентгеновскими лучами; б – просвечивание сварного шва гамма-лучами; 1 – рентгеновская трубка; 2 – ампула с радиоактивным веществом в защитном свинцовом кожухе; 3 – рентгеновские лучи; 4 – гамма-лучи; 5 – сварной шов; 6 – кассета с рентгеновской пленкой

После проведения рентгенографирования радиографические пленки проявляются, после чего производится их расшифровка с помощью негатоскопа с целью описания и регистрации выявленных дефектов (рис. 5).

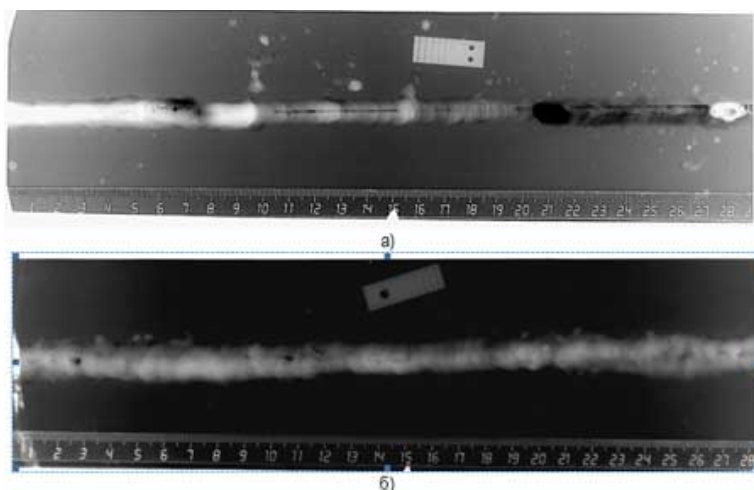


Рис. 5. Рентгенографическое изображение стыковых сварных швов с дефектами– а, б

При радиографическом контроле используются радиографические пленки, соответствующие требованиям технических условий на них. Тип радиографической пленки устанавливается технической документацией на контроль или приемку сварных соединений. Тип радиоактивного источника, напряжение на рентгеновской трубке, а также расстояние от источника излучения до изделия должны устанавливаться в зависимости от толщины просвечиваемого материала в соответствии с технической документацией на контроль или приемку сварных соединений. В качестве усиливающих экранов при радиографическом контроле используются металлические и флуоресцирующие экраны, тип которых устанавливается технической документацией на контроль или приемку сварных соединений.

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 дает 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 определять их месторасположение, 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 радиографический 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. 6) и вспомогательных средств контроля.



Рис. 6. 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.

Контрольные вопросы

1. Напишите определение радиационного метода.
2. Преимущества и недостатки гамма-дефектоскопии по сравнению с рентгеновской дефектоскопией.
3. Получить у преподавателя наименование 2-х стандартов, кратко законспектировать их основные положения.

Практическая работа № 5

Сущность и технология проведения капиллярного неразрушающего контроля

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 так же 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.

Капиллярный контроль широко востребован при дефектоскопии сварных швов. При контроле красящий пенетрант (рис. 7) 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.



Рис. 7. Пример нанесения пенетранта

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, направленного и основного металла;
- РД 153-34.1-17.461-00 Методические указания по капиллярному контролю сварных соединений, наплавов 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 наплавов;
- 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 – предварительная очистка поверхности.

Чтобы краситель мог проникнуть в дефекты на поверхности, ее предварительно следует очистить водой или органическим очистителем (рис. 8). 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. 8. Предварительная очистка поверхности

2 – 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. 9).

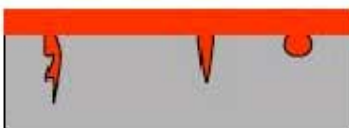


Рис. 9. Нанесение пенетранта

3 - 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. 10).



Рис. 10. Удаление излишков пенетранта

4 – нанесение проявителя.

После просушки сразу же на поверхность контроля тонким ровным слоем наносится проявитель (обычно белого цвета) (рис. 11).

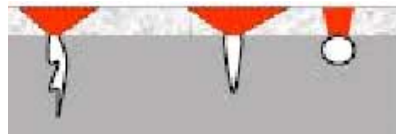


Рис. 11. Нанесение проявителя

5 - контроль.

Выявление имеющихся дефектов (рис. 12) 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. 12. Пример дефекта

Дефектоскопические материалы для цветной дефектоскопии (рис. 13) 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. 13. 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, соответствующего 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. 8).

Таблица 8

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.

Контрольные вопросы

1. Напишите определение капиллярной дефектоскопии.
2. На чем основан капиллярный метод?
3. Сколько классов чувствительности согласно ГОСТ 1844-80?
4. Напишите ширину раскрытия дефектов для каждого класса чувствительности.
5. Напишите недостатки капиллярного контроля.

Практическая работа № 6

Сущность и технология проведения теплового неразрушающего контроля

Тепловой контроль – один из видов неразрушающего контроля, основанный на фиксации и преобразовании инфракрасного излучения в видимый спектр. Тепловой метод применяется во всех отраслях промышленности, где по неоднородности теплового поля можно судить о техническом состоянии контролируемых объектов.

В настоящее время метод теплового неразрушающего контроля (ТНК) стал одним из самых востребованных в теплоэнергетике, строительстве и промышленном производстве. В России повышение интереса к тепловому контролю, во многом связано с принятием Федерального закона № 261 – ФЗ «Об энергосбережении», регламентирующим энергоаудит объектов с целью экономии ресурсов. Согласно данным в законе определениям, базовым методом контроля текущего состояния промышленных объектов является тепловой метод.

Основными достоинствами теплового контроля являются: универсальность, точность, оперативность, высокая производительность и возможность проводить контроль дистанционно. Можно выделить следующие виды теплового контроля:

- тепловизионный контроль;
- контроль теплопроводности;
- контроль температуры;
- контроль плотности тепловых потоков рассчитывать.

Условно различают пассивный и активный тепловой контроль. Пассивный ТНК не нуждается во внешнем источнике теплового воздействия. Активный ТНК напротив, предполагает нагрев объекта внешними источниками.

Пассивный метод теплового контроля подразумевает, что возникновение теплового поля в объекте контроля происходит при его эксплуатации или изготовлении. Тепловой контроль с использованием пассивного метода является наиболее распространенным методом ТК и широко применяется практически во всех отраслях современной промышленности. Основное преимущество метода — контроль объектов без вывода из эксплуатации и отсутствие необходимости дополнительных манипуляций связанных с нагревом объекта. Типичные объекты пассивного теплового контроля это строительные конструкции, работающие элект-

троприборы, контакты под напряжением и другие промышленные объекты. Приборы теплового неразрушающего контроля, наиболее часто применяемые при пассивном методе это тепловизоры, пирометры, инфракрасные термометры, измерители тепловых потоков и логгеры данных.

Активный метод теплового контроля применяется, когда во время эксплуатации объект самостоятельно не выделяет тепловое излучение достаточное для проведения ТК. При активном методе теплового контроля, объект нагревается различными внешними источниками. Типичные объекты контролируемые данным методом это многослойные композитные материалы, объекты искусства и другие объекты требующие внешней тепловой нагрузки.

В зависимости от способа измерения температуры, приборы теплового контроля разделяют на: контактные и бесконтактные.

В настоящее время, наиболее распространёнными приборами для контактного измерения температуры являются: термопары, металлические и полупроводниковые сопротивления, термоиндикаторы, термокарандаши, манометрические и жидкостные термометры. К бесконтактным приборам теплового контроля относятся тепловизоры, термографы, квантовые счетчики, радиационные пирометры и др. Среди приборов теплового контроля, самыми востребованными в настоящее время являются тепловизоры. Доля задач теплового контроля, решаемая с помощью тепловизоров настолько велика, что часто употребляется термин тепловизионный контроль.

Тепловизор — устройство для наблюдения за распределением температуры исследуемой поверхности (рис. 14). Распределение температуры отображается на дисплее как цветное поле, где определённой температуре соответствует определённый цвет. В большинстве моделей тепловизоров, информация записывается в память устройства и может быть обработана на ПК при помощи специального программного обеспечения.



Рис. 14. Пример тепловизора

Различают наблюдательные и измерительные тепловизоры. Наблюдательные приборы просто выдают инфракрасное изображение наблюдаемого объекта, а измерительные могут присваивать цифровому сигналу каждого пикселя, соответствующую ему температуру, в результате чего получается тепловая карта контролируемой поверхности.

Сегодня тепловизоры являются оптимальным инструментом, применяемым во всех случаях, где по неоднородности теплового поля можно судить о техническом состоянии контролируемых объектов. Тепловизоры позволяют быстро и надежно выявить точки аномального нагрева и потенциально проблемные участки при проведении технического обслуживания в строительстве, энергетике, производстве и других отраслях промышленности. Подробнее со сферами применения современных тепловизоров, можно ознакомиться здесь. Тепловизор входит в перечень оборудования необходимого для аттестации лаборатории НК по тепловому методу.

Пирометры (инфракрасные термометры) – приборы для бесконтактного измерения температуры тел. Принцип действия прибора, основан на измерении мощности теплового излучения в инфракрасном и видимом диапазоне света. Пирометры применяются для решения задач, где по разным причинам не возможно использование контактных термометров. Пирометры часто используются для дистанционного теплового контроля раскаленных предметов и в других случаях, когда физический контакт с контролируемым объектом невозможен из-за его труднодоступности или слишком высокой температуры.

Логгеры данных, как правило, используются для измерения температуры и влажности. Логгеры данных подходят для долгосрочного измерения и представляют собой компактный прибор с дисплеем, картой памяти, водонепроницаемым корпусом и возможностью программирования периода работы. Некоторые современные модели имеют возможность одновременного подключения нескольких зондов, позволяя проводить замеры сразу в нескольких помещениях. Данные логгеров анализируются с помощью специального ПО и могут быть использованы для составления отчетов в графической и табличной формах.

Измерители плотности тепловых потоков и температуры используются при строительстве и эксплуатации зданий для определения плотности тепловых потоков, проходящих через ограждающие конструкции по ГОСТ 25380. Данные приборы позволяют измерять температуру воздуха внутри и снаружи помещения, а также определять сопротивление теплопередаче и термическое сопротивление ограждающих конструкций. Полученные данные теплового контроля передаются на ПК, где происходит их автоматическая архивация и обработка.

Помимо перечисленных электронных приборов, широкое распространение получили различные механические средства теплового контроля, такие как самоклеящиеся этикетки, термокарандаши, температурные индикаторы, высокотемпературная краска, теплоотводящая паста и другие.

Использование теплового метода так же допускает его комбинированное применение с другими методами неразрушающего контроля. Дополнение теплового контроля другими методами НК, как правило, имеет смысл, когда ТК является методом, предвещающим использование более эффективных средств НК или, когда синтез различными методами контроля дает более точные результаты.

Комбинирование первого типа возможно, например, при выявлении воды в авиационных сотовых панелях, а так же ударных повреждений и расслоений в композитных материалах. В данных случаях с помощью теплового контроля локализируются потенциально дефектные зоны, после чего более тщательный контроль может быть выполнен с использованием УЗК. Аналогичным образом могут контролироваться заклепочные соединения авиационных панелей, где основной контроль обычно проводится вихретоковым методом.

Комбинирование второго типа как правило применяется для контроля сложных объектов, когда результат синтеза данных, является не простым суммированием отдельных результатов, а создает их новое качество, так называемый эффект синергии. В данном случае одновременное сочетание теплового контроля с другими методами НК, дает возможность получить результирующее изображение, которое будет обрабатываться, и анализироваться только один раз. Помимо более точных результатов, такое комбинирование позволяет существенно снизить временные и финансовые затраты по сравнению с последовательным применением нескольких методов. В настоящее время концепция слияния данных с помощью различных сенсоров активно развивается и уже нашла свое применение в военной и авиакосмической промышленности.

Тепловой контроль выполняется лабораториями НК располагающими аттестованным в установленном порядке персоналом по СДАНК-01-2020. Порядок лицензирования специалистов проводящих тепловой контроль на объектах, не относящихся к опасным производственным объектам, регулируется соответствующими отраслевыми ведомствами и саморегулируемыми организациями.

Основными документами регламентирующими проведение теплового контроля в РФ являются:

- ГОСТ 23483-79 «Контроль неразрушающий. Методы теплового вида. Общие требования».
- РД-13-04-2006 «Методические рекомендации о порядке проведения теплового контроля технических устройств и сооружений, применяемых и эксплуатируемых на опасных производственных объектах».
- ГОСТ Р 54852-2011 «Здания и сооружения. Метод тепловизионного контроля качества теплоизоляции ограждающих конструкций».
- СНИП 2302-2003 «Тепловая защита зданий».
- СНИП 2301-99 «Строительная климатология».
- ГОСТ 25380-82 «Метод измерения плотности тепловых потоков».
- ГОСТ 7076-99 «Измерение теплопроводности».
- ГОСТ 26782-85 «Контроль неразрушающий. Дефектоскопы оптические и тепловые. Общие технические требования».
- ГОСТ 25314-82 «Контроль неразрушающий тепловой. Термины и определения».
- ОСТ 92-1482 «Неразрушающий контроль теплозащитных покрытий».
- ГОСТ Р 8.619-2006 «Приборы тепловизионные измерительные. Методика поверки».
- РД 153-34.0-20.364-00 «Метод инфракрасной диагностики тепломеханического оборудования».
- РД 153-34.0-20.363-99 «Основные положения метода инфракрасной диагностики электрооборудования и высоковольтных линий».

Тепловой контроль проводится с применением современных промышленных тепловизоров и других приборов. Используемые в работе приборы внесены в Госреестр и имеют свидетельство о поверке. Тепловизоры обладают высокой температурной чувствительностью позволяющей различать на термограмме объекты с разницей температур менее 1°C. Диапазон измеряемой температуры находится в пределах от -20°C до 350°C.

По результатам контроля составляется подробный отчет, включающий наглядную тепловую карту (термограмму), заключение о качестве объекта. Заключение выдается аттестованной лабораторией теплового контроля и может быть использовано как для решения производственных задач, так и аргументировать позицию заказчика в спорах с подрядными организациями. Условные объекты и типы контроля приведены в табл. 9.

Таблица 9

Условная классификация контролируемых объектов и типов выявляемых нарушений

Группа объектов	Тип объекта	Тип выявляемых нарушений	Основные нормативы
Промышленные, жилые и административные здания	цеха, многоквартирные дома, квартиры, дачи, школы, больницы	Некачественная укладка утеплителя и пароизоляции • Трещины в кирпичной кладке, и панельных швах • Брак при монтаже фундамента и кровли Участки с повышенной влажностью (очаги плесени)	ГОСТ Р 54852-2011 СП 50.13330.2012 (актуализированная редакция СНиП 23-02-2003) ГОСТ 25380-2014

Группа объектов	Тип объекта	Тип выявляемых нарушений	Основные нормативы
		<ul style="list-style-type: none"> • Дефекты монтажа окон и дверей • Поиск теплого пола и труб отопления 	
Промышленные сооружения	дымовые трубы, мосты, градирни, стальные конструкции	<ul style="list-style-type: none"> • Нагрев болтовых и клепаных соединений • Нарушение футеровки и теплоизоляции • Трещины несущих конструкций 	РД-13-04-2006
Машины и оборудование	транспорт, котлы, холодильники, двигатели, конвейеры, насосы, лопатки турбин, компрессоры, зубчатые передачи	<ul style="list-style-type: none"> • Превышение поверхностного нагрева • Зоны повышенного трения • Нарушения теплоизоляции 	РД-13-04-2006
Энергетические сети	трубопроводы, ЛЭП, ЦТП, печи, котлы, радиаторы отопления, солнечные батареи	<ul style="list-style-type: none"> • Нарушения теплоизоляции трубопроводов • Воздушные пробки радиаторов отопления (завоздушивание) • Нарушение футеровки цементной печи • Непроклей панелей солнечных батарей 	РД-13-04-2006 РД 153-34.0-20.364-00
Электрооборудование	распределительные щиты, трансформаторы, конденсаторы, генераторы, предохранители, силовые кабели, радиоэлектроника, печатные платы	<ul style="list-style-type: none"> • Зоны перегрева электропроводки • Замыкания печатных плат • Нарушения герметичности 	РД 153-34.0-20.363-99

Контрольные вопросы

1. Напишите определение теплового контроля.
2. Каковы достоинства теплового контроля?
3. Для чего используется тепловизор?
4. Для чего используется пирометры?
5. Зачем используются логгеры данных?

Библиографический список

1. Кравченко, Е. Г. и др. Методы контроля качества в машиностроении [Текст]: учебное 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.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	3
Практическая работа № 1	
Введение в неразрушающие методы контроля.....	3
Практическая работа № 2	
Сущность и технология проведения магнитного неразрушающего контроля.....	9
Практическая работа № 3	
Сущность и технология проведения ультразвукового неразрушающего контроля....	14
Практическая работа № 4	
Сущность и технология проведения радиационного неразрушающего контроля.....	20
Практическая работа № 5	
Сущность и технология проведения капиллярного неразрушающего контроля.....	25
Практическая работа № 6	
Сущность и технология проведения теплового неразрушающего контроля.....	30
Библиографический список.....	35

ВВЕДЕНИЕ В НЕРАЗРУШАЮЩИЕ МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к выполнению практических работ
для студентов направления
15.03.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение
машиностроительных производств»
(профиль «Металлообрабатывающие станки и комплексы»)
всех форм обучения

Составители:

Краснова Марина Николаевна
Ряжских Виктор Иванович
Краснов Андрей Андреевич

Издается в авторской редакции

Компьютерный набор Е. Д. Зотовой

Подписано к изданию 24.11. 2021.

Уч.-изд. л. 2,3.

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