

МЕЖГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Физические методы контроля»

ДЕФЕКТЫ МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ

*Методические рекомендации к практическим занятиям
для студентов специальности 1-54 01 02 «Методы и приборы
контроля качества и диагностики состояния объектов»
дневной формы обучения*



Могилев 2023

УДК 621.791.05:620.179
ББК 34.441:30.607
Д39

Рекомендовано к изданию
учебно-методическим отделом
Белорусско-Российского университета

Одобрено кафедрой «Физические методы контроля» «1» сентября 2023 г.,
протокол № 1

Составители: ст. преподаватель А. Н. Прудников;
канд. техн. наук, доц. В. Ф. Поздняков

Рецензент канд. техн. наук, доц. М. Н. Миронова

В методических рекомендациях кратко изложены основные теоретические сведения к практическим занятиям для студентов специальности 1-54 01 02 «Методы и приборы контроля качества и диагностики состояния объектов».

Учебное издание

ДЕФЕКТЫ МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ

Ответственный за выпуск	А. В. Хомченко
Корректор	А. Т. Червинская
Компьютерная верстка	Н. П. Полевничая

Подписано в печать . Формат 60×84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.
Печать трафаретная. Усл. печ. л. . Уч.-изд. л. . Тираж 26 экз. Заказ №

Издатель и полиграфическое исполнение:
Межгосударственное образовательное учреждение высшего образования
«Белорусско-Российский университет».

Свидетельство о государственной регистрации издателя,
изготовителя, распространителя печатных изданий
№ 1/156 от 07.03.2019.

Пр-т Мира, 43, 212022, г. Могилев.

© Белорусско-Российский
университет, 2023

Содержание

Введение.....	4
1 Практическое занятие № 1. Изучение дефектов на макро- и микрошлифах	5
2 Практическое занятие № 2. Изучение микро- и макроструктуры сварных соединений	8
3 Практическое занятие № 3. Расшифровка дефектов плавки и литья, обработки давлением, полученных на рентгенограмме	11
4 Практическое занятие № 4. Расшифровка дефектов сварных соединений, полученных на рентгенограмме	14
5 Практическое занятие № 5. Изучение методов и средств выявления холодных и горячих трещин	17
6 Практическое занятие № 6. Особенности проведения магнитографического контроля разно ориентированных трещин	20
7 Практическое занятие № 7. Особенности проведения магнитопорошкового контроля разно ориентированных трещин	22
Список литературы.....	30

Введение

Целью преподавания дисциплины является изучение студентами существующих дефектов материалов и изделий, свойств металлов, строение твердых тел и их влияние на образование дефектов, причин возникновения дефектов при эксплуатации объектов, влияние дефектов на прочностные характеристики материалов и изделий, а также изучение методов неразрушающего контроля сварных соединений, литья, пайки и т. д., получение навыков по расшифровке дефектов на рентгенограммах и при металлографических исследованиях.

Задачами проведения практических занятий являются систематизация и закрепление теоретических знаний, необходимых при создании новых эффективных методик для распознавания дефектов, а также выработка умений и навыков по решению технических задач при разработке методов и приборов по их выявлению.

Отчет оформляется каждым студентом индивидуально на листах формата А4 в соответствии с ГОСТ 2.105–95 *Общие требования к текстовым документам*. Отчет должен содержать: цель работы, задание, краткие теоретические сведения по теме работы, анализ полученных в ходе работы результатов, выводы.

При использовании образцов с макроструктурой, микроструктурой, рентгеновских пленок, натуральных образцов с дефектами, произвести классификацию обнаруженных дефектов с использованием цифровой системы обозначения, согласно СТБ ISO 6520-1–2009 *Сварка и родственные процессы. Классификация дефектов при сварке металлов*.

1 Практическое занятие № 1. Изучение дефектов на макро- и микрошлифах

Цель работы: изучение методов металлографического метода выявления дефектов.

1.1 Основные теоретические сведения

Металлографические исследования – это исследования структуры металла на шлифах или изломах, осуществляемые, как правило, с фотографированием исследуемой поверхности.

Структура металла – это характер и взаимное расположение кристаллических зерен в макроструктуре, фаз в микроструктуре, атомов в кристаллической решетке, зависящее от химического состава, способа получения, условий кристаллизации, обработки давлением и термической обработки. Структуру, получаемую непосредственно после затвердевания расплава, называют первичной или литой, а структуру после перекристаллизации – вторичной.

В зависимости от величины кристаллитов различают *мелкозернистую* и *крупнозернистую* структуры. По форме кристаллитов – *равноосную* (зернистую) и *неравноосную* структуры. Разновидностью литой неравноосной структуры является *столбчатая дендритная*. Последняя в случае, когда она распространяется по всему сечению детали или рассматриваемого участка, называется *транс-кристаллической*. В процессе первичной или вторичной кристаллизации в условиях медленного охлаждения формируется равновесная структура; при больших скоростях охлаждения и направленном отводе теплоты получается неравновесная структура.

Отдельные структурные составляющие металла, образующиеся при взаимодействии его компонентов, могут представлять собой твердые растворы, химические соединения или механические смеси отдельных фаз. Например, различают следующие основные структурные составляющие стали: *аустенит*, *феррит*, *мартенсит* (твердые растворы), *цементит* (химическое соединение), *перлит* и *бейнит* (двухфазные механические смеси).

Исследуя структуру металла сварного соединения, можно установить правильность выбора режимов сварки, типа электродов, флюсов, присадочного металла и других факторов, определяющих качество сварного шва, а также выявить дефекты шва и установить причины их образования. Полный металлографический анализ сварного соединения должен состоять из исследования макро- и микроструктуры металла шва, зоны термического влияния и определения структуры основного металла.

Исследование микроструктуры сварных соединений.

Микроструктура металла – строение металла, видимое под микроскопом на отшлифованной, отполированной до зеркального блеска и протравленной специальными растворами поверхности металлического образца. Процесс исследования микроструктуры называется микроструктурным исследованием

(анализом). Исследованием микроструктуры под оптическим микроскопом (увеличение в 50–3000 раз) определяют величину и форму зерен, структурные составляющие (феррит, перлит и др.), неметаллические включения и другие дефекты в отдельных частях сварного соединения.

Исследование микроструктуры дает возможность более глубоко изучить структуру сварного соединения, чем исследование макроструктуры. По микроструктуре сварного соединения можно установить:

- 1) структуру наплавленного металла, структуру, образовавшуюся в зоне термического влияния;
- 2) примерное содержание углерода в основном и наплавленном металле и в различных участках шва;
- 3) приблизительный режим сварки и скорость охлаждения металла шва и зоны термического влияния;
- 4) количество слоев сварного шва и дефекты шва и структуры.

Вырезку образцов для исследования микроструктуры сварных швов производят так же, как и при макроанализе. Размеры поверхности микрошлифа не должны превышать 20×20 мм.

Исследование микроструктуры образцов производят чаще всего на оптических микроскопах. Исследуемая поверхность должна быть очень тщательно подготовлена – отполирована. Подготовка поверхности состоит из нескольких последовательных операций: обработки на плоскошлифовальном станке или вручную на наждачном камне, обработки шлифовальной бумагой с уменьшающимися размерами зерна и заключительной операции – полирования на сукне раствором оксида хрома или оксида алюминия.

Травление металла. Для выявления микроструктуры применяют неглубокое травление, в результате которого глубина протравленного слоя составляет не более 10 мкм.

Принципы выявления микроструктуры химическим травлением те же, что для макроструктуры. Однако в связи с тем, что микроструктуру изучают на оптических микроскопах при увеличении $50 \dots 2000^{\times}$ и на электронных микроскопах при увеличении до $100\,000^{\times}$, глубина рельефа, получаемого при микротравлении, должна быть очень небольшой. Поэтому для микротравления используют малоактивные реактивы, позволяющие постепенно травить очень тонкие слои. Для микротравления низкоуглеродистых, углеродистых, низко- и среднелегированных сталей чаще всего используют слабый раствор кислот в спирте. Наиболее распространен 2...5-процентный раствор азотной кислоты в этиловом спирте.

Травление осуществляют следующим образом. Тщательно отполированную и обезжиренную спиртом поверхность образца погружают в реагент и выдерживают необходимое время. Продолжительность травления зависит в первую очередь от химического состава металла. При повышенном количестве легирующих примесей в металле ее обычно увеличивают. Большое значение имеет также структурное состояние металла. Тростит и тростосорбит вытравливают интенсивнее, феррит и мартенсит – медленнее.

Когда необходимо провести более тщательное травление для изучения мельчайших составляющих структуры при больших увеличениях, применяют растворы пикриновой кислоты. При исследовании микроструктуры сварных швов алюминиевых сплавов в качестве реактива для травления используют 0,5-процентный водный раствор плавиковой кислоты.

Для травления микрошлифов сварных швов нержавеющей сталей применяется электролитическое травление; при этом микроструктура выявляется значительно равномернее, чем при обычном травлении. Электролитическое травление может быть применено также и для низко- и среднелегированных сталей, особенно когда качество поверхности шлифов должно быть очень высоким (для электронно-микроскопических исследований) и необходимо удалить следы наклепа в поверхностном слое.

Обычно изучение микрошлифа проводят в такой последовательности. После полирования его рассматривают под микроскопом при увеличении от 100 до 500^x на предмет определения загрязненности шва газовыми порами, оксидными пленками и на наличие в шве микротрещин. Неметаллические включения на белом фоне шлифа видны как темные пятна. Микротрещины проявляются в виде тонких черных извилистых кривых. После травления микрошлиф обследуют под микроскопом и определяют структуру сварного шва по всему сечению (вид и соотношение структурных составляющих, наличие и распределение карбидов, нитридов, сульфидов и оксидных включений).

Измерение твердости.

Для установления изменения структуры в металле шва и околошовной зоны, а также для оценки степени закалки зон сварного соединения и неравномерности механических свойств измеряют твердость сварного шва.

Испытания на твердость – определение способности материала сопротивляться проникновению в него инородного тела, не получающего остаточных деформаций. Твердость материала связана с его прочностью и износостойкостью.

Различают следующие основные виды испытаний на твердость: по Бринелю, по Роквеллу, по Шору. Испытание по Бринелю осуществляется путем вдавливания в материал стального шарика. О твердости судят по величине отпечатка и удельному давлению. При испытании по Роквеллу в материал вдавливают стальной шарик или алмазный конус стандартных размеров. Твердость определяется в условных единицах. Испытание по Шору заключается в том, что на образец с определенной высоты падает стандартный боек и твердость материала измеряется в условных единицах по высоте отскока бойка.

Измерение твердости по сечению шва производят в двух направлениях: для стыковых швов по продольной оси шва от усиления к подварке и от центра шва к основному металлу.

Для оценки микротвердости применяют специальные приборы, например, микротвердомер ПМТ-3. *Микротвердость* – твердость отдельных структурных составляющих сплава или микрообъемов металла, определяемая сопротивлением внедрению алмазной пирамидки под воздействием небольших нагрузок.

При лабораторных испытаниях часто используется *образец-свидетель* – образец шва, выполненного в условиях, соответствующих условиям сварки контролируемого шва.

1.2 Программа выполнения работы

1.2.1 Ознакомиться с методами приготовления микрошлифов с дефектами.

1.2.2 Изучить строение металла сварных соединений под микроскопом или на фотографиях.

Контрольные вопросы

1 Как проводится подготовка образцов к металлографическим исследованиям?

2 Что можно установить по микроструктуре сварного соединения?

3 На каких микроскопах производят исследование микроструктуры сварных соединений?

4 Какие размеры образцов должны быть в зависимости от толщины металла и усиления сварного шва?

5 Какие реактивы применяют для выявления микроструктуры?

2 Практическое занятие № 2. Изучение микро- и макроструктуры сварных соединений

Цель работы: изучение методов и приборов оценки дефектов структуры металла сварных соединений.

2.1 Основные теоретические сведения

Макроструктурный анализ является предварительной оценкой качества соединения, выполняемого тем или иным способом сварки.

Макроструктура металла – строение металла, видимое невооруженным глазом или через лупу на отшлифованной поверхности металлического образца. Процесс исследования макроструктуры называется макроструктурным исследованием (анализом). На макроструктуре четко выявляются зоны сварного соединения (шов, зона термического влияния), слои наплавленного металла, направленность кристаллитов, дефекты (трещины, непровары, шлаковые включения, поры) и др.

Макроструктуру металла изучают также и по изломам образцов сварных соединений, оставшихся после механических испытаний, или специально подготовленных образцов для технологической пробы. По внешнему виду излома судят о характере разрушения металла. Крупнозернистый с блестящей поверхностью излом характеризует хрупкий металл. Волокнистый серый излом

с матовой поверхностью указывает на хорошую пластичность металла.

Макроструктура сварных соединений исследуется невооруженным глазом или при тридцатикратном увеличении на поверхности макрошлифов, вырезанных и подготовленных из этих соединений.

Макроструктуру сварных соединений можно изучать и на изломах сварных образцов после механических испытаний. Исследованием макроструктуры можно выявить форму и размеры шва, его строение, наличие в соединении и основном металле различных дефектов: непроваров, трещин, шлаковых включений, газовых пор и т. п.

При исследовании макроструктуры сварных швов из контрольной сварной пластины или изделия вырезают темплеты для изготовления шлифа в плоскости поперечного сечения шва. Иногда для определения характера кристаллизации шва в сварочной ванне изготавливают шлиф по продольной оси шва. Размеры шлифа должны быть такими, чтобы поверхность его включала полное сечение сварного шва. Образцы для шлифов вырезают на расстоянии 20...30 мм от начала или конца шва. Исследуемую поверхность темплета из твердых металлов (стали) перед травлением выравнивают и шлифуют. Поверхность мягких материалов подготавливают опилованием, затем шлифованием на наждачной бумаге.

Для химического травления применяют растворы кислот, солей и щелочей. В результате травления макрошлифа должны быть четко выявлены границы между основным и наплавленным металлом, между зоной термического влияния и зоной, оставшейся без воздействия теплоты, между отдельными слоями при многослойной сварке.

Травление крупных макрошлифов проводят в вытяжном шкафу нанесением реактива на поверхность шлифа, а мелких – погружением в раствор. Хорошие результаты по выявлению макроструктуры дает глубокое травление в кислотах, смесях кислот или кислот с хлорными солями. Из неорганических кислот наиболее универсальной является азотная.

Для глубокого травления сварных швов из углеродистых сталей применяют 50-процентный водный раствор азотной кислоты. Этот реактив применяют для сталей, содержащих никель.

Для сталей, содержащих хром, следует применять 50-процентный водный раствор соляной кислоты. Одним из лучших универсальных реактивов для травления различных сталей является реактив, состоящий из смеси азотной кислоты и хлорных солей.

Для выявления кристаллизационных слоев в низкоуглеродистых, низко- и среднелегированных сталях применяют травление в растворах серной, хромовой или пикриновой кислот. Травление этими кислотами основано на избирательном растворении в них ферритной составляющей. При использовании серной кислоты готовят 20-процентный водный раствор ее; травят при 80 °С...100 °С в течение 10...12 ч.

Кроме реактивов для глубокого травления часто для выявления различных видов химической неоднородности применяют реактивы поверхностного травления, содержащие ионы меди. Обедненные реактивы четко дифферен-

цируют участки, обогащенные серой и фосфором. Они обычно светлее других участков.

Для выявления в металле серы и фосфора применяют метод отпечатков, который заключается в следующем. На подготовленный макрошлиф накладывают и прижимают к нему бромосеребряную фотобумагу, предварительно выдержанную в течение 8...10 мин в 5-процентном водном растворе серной кислоты. Через 3...5 мин бумагу осторожно снимают и фиксируют. Бумага в местах, соприкасающихся с сернистыми включениями, окрашивается в коричневый цвет. Вместо бумаги можно использовать фотопленку, что дает возможность размножить полученные отпечатки.

Способами отпечатков на фотобумаге можно выявить не только включения серы, фосфора и оксидов железа в наплавленном металле, но и определить грубые дефекты шва – трещины и непровары. Картина глубоко протравленного шлифа может быть быстро воспроизведена на бумаге типографским способом. Для этого шлиф покрывают тонким слоем типографской краски с помощью резиновой пробки и протирают сухой тряпочкой для удаления краски с выпуклых мест. Затем влажный лист белой бумаги кладут на кусок резины, на бумагу кладут подготовленный шлиф и зажимают все в прессе.

Макроструктуру можно также рассматривать и на изломах сварного шва. Изломы сварных швов исследуют после механических и технологических испытаний образцов, а также после разрушения сварных деталей. По излому можно определить характер разрушения – пластическое или хрупкое, а также дефекты шва – поры, раковины, неметаллические включения, непровары и трещины. Волокнистый серый излом без блеска характеризует высокую пластичность и ударную вязкость, блестящий крупнозернистый излом характеризует хрупкий металл с пониженной ударной вязкостью. Светлые пятна (оксидные пленки) в изломе также являются одним из дефектов, которые не выявляются практически ни одним из известных физических методов контроля.

2.2 Программа выполнения работы

2.2.1 Ознакомиться с металлографическим контролем сварных соединений.

2.2.2 Изучить методы изготовления макрошлифов и провести на них расшифровку дефектов.

Контрольные вопросы

- 1 Что такое металлографический контроль?
- 2 Что такое макроструктура сварного соединения?
- 3 Какие средства используются для проведения макроструктурного анализа?
- 4 Какие параметры и дефекты можно выявить по макроструктуре сварных соединений в основном металле, сварном шве и зоне термического влияния?
- 5 Что такое травление макрошлифов?

3 Практическое занятие № 3. Расшифровка дефектов плавки и литья, обработки давлением, полученных на рентгенограмме

Цель работы: закрепление на практике навыков определения и классификации дефектов литья на радиографических снимках.

3.1 Основные теоретические сведения

Номенклатура сварных, паяных, литых и других деталей, а также собранных узлов и изделий, подлежащих радиоскопическому контролю, определяется техническими условиями или чертежами на их изготовление, приемку и эксплуатацию.

По результатам предварительных исследований на контролируемые детали, узлы и изделия в установленном порядке разрабатываются технологические карты контроля, в которых указываются участки контроля, недопустимые дефекты, применяемое оборудование, режимы и схемы контроля, а также последовательность выполнения контрольных операций.

Подготовку источников излучения и радиоскопических установок к работе и работу на них следует проводить в соответствии с техническим описанием и инструкцией по эксплуатации этих установок. Пульты управления с видеоконтрольными устройствами рентгенотелевизионных установок следует располагать так, чтобы на их экраны не попадал яркий солнечный или искусственный свет. При работе непосредственно с флуороскопическими экранами, РЭОП и ЭОУ необходимо обеспечить предварительную адаптацию зрения оператора к уровням яркости свечения выходных экранов.

Перед проведением контроля детали и изделия необходимо тщательно осмотреть, обратив внимание на удаление всех поверхностных дефектов, и рассортировать детали по группам с таким расчетом, чтобы проводить контроль с минимальным количеством изменений режимов.

Для определения местоположения возможных дефектов контролируемые участки деталей следует маркировать. Маркировку литых и других деталей выполняют свинцовыми или медными указателями и цифрами, укрепляя их на одной из поверхностей детали. Маркировку сварных соединений труб целесообразно осуществлять с помощью измерительных лент с нанесенными на них метками и цифрами из свинца или меди, отражающими единицы длины (например, 1 см) контролируемого участка.

В начале и в конце каждой партии контролируемых деталей, узлов и изделий, а также в начале и в конце рабочей смены следует проверять чувствительность контроля по соответствующим эталонам, устанавливаемым современными действующими стандартами.

Первую контролируемую деталь из партии с укрепленными на ней эталонной чувствительности и маркировочными знаками устанавливают перед входным экраном преобразователя излучения на заданном от него расстоянии. Затем на указанном в технологической карте фокусном расстоянии устанавлива-

ют источник излучения. Включив в сеть радиоскопическую установку, настраивают ее в соответствии с техническим описанием и инструкцией по эксплуатации. После этого, включив источник излучения, устанавливают на нем малые значения анодного напряжения и тока, необходимые для получения очертаний изображения контролируемой детали, и по этим очертаниям диафрагмируют рабочее поле преобразователя любым из известных способов. Затем, установив заданные в технологической карте значения анодного напряжения и тока, определяют чувствительность контроля по укрепленному на детали эталону чувствительности.

Контроль деталей и узлов радиоскопическим методом следует проводить, используя дистанционно управляемый механический манипулятор, который обеспечивает крепление, необходимые перемещения контролируемого объекта и отметку на нем дефектных мест. Во избежание повреждения чувствительных элементов радиоскопической установки или нарушения темновой адаптации глаз контролера от существенного повышения яркости экрана при смене контролируемых деталей следует применять защитные заслонки.

При радиоскопическом контроле деталей, узлов и изделий качество контролируемого объекта оценивают непосредственно во время просвечивания. При разбраковке контролируемых объектов необходимо руководствоваться картами контроля или другой документацией, утвержденной в установленном порядке.

Регистрацию результатов контроля следует проводить с использованием фотоаппаратуры, которой укомплектованы радиоскопические установки, или автономных средств магнитной видеозаписи.

Выбор режимов контроля.

Основными режимами радиоскопического контроля с использованием рентгеновских аппаратов являются следующие:

- электрические режимы работы радиоскопических установок;
- режимы дефектоскопического контроля: напряжение на рентгеновской трубке; анодный ток рентгеновской трубки; ток фокусирующей катушки рентгеновской трубки; фокусное расстояние; расстояние от контролируемого объекта до входного экрана преобразователя излучения; скорость контроля; режимы регистрации радиоскопических изображений.

Электрические режимы работы радиоскопических установок следует устанавливать в соответствии с техническим описанием и инструкцией по эксплуатации этих установок.

Анодный ток рентгеновской трубки следует выбирать максимально возможным для данного типа рентгеновской трубки. Значения тока фокусирующей катушки рентгеновской трубки необходимо заранее определить по наилучшей четкости изображения просвечиваемого проволочного эталона для всех напряжений на рентгеновской трубке.

Фокусное расстояние (расстояние от анода рентгеновской трубки до входного окна преобразователя излучения) следует устанавливать минимально возможным в диапазоне 5...30 см, исходя из условий манипулирования контролируемой деталью в процессе контроля, а также требований по чувствительности

к дефектам. При необходимости использования больших фокусных расстояний следует использовать самые мощные рентгеновские аппараты и трубки.

Расстояние от контролируемого объекта до экрана преобразователя излучения следует устанавливать минимально возможным и не выше одной трети фокусного расстояния, а при работе с острофокусными трубками – не выше половины фокусного расстояния.

Скорость перемещения контролируемого объекта перед экраном преобразователя излучения следует устанавливать в соответствии с требуемой производительностью контроля и чувствительностью к дефектам. Для установок с флуороскопическими экранами и сцинтилляционными кристаллами она не должна превышать 1...1,5 м/мин, а для установок с рентгеновидиконами – 0,1...0,5 м/мин.

При использовании ускорителей электронов необходимую энергию ускоренных электронов, обеспечивающую наилучшую выявляемость дефектов, находят следующим образом.

Пользуясь соотношением $\mu d = 2$, где d – толщина материала контролируемого объекта, см; μ – линейный коэффициент ослабления тормозного излучения в материале контролируемого объекта, см^{-1} , находят требуемое значение и по нему – эффективную энергию тормозного излучения. Необходимая энергия ускоренных электронов, устанавливаемая на пульте ускорителя, будет при этом примерно равна удвоенной эффективной энергии тормозного излучения в диапазоне энергии электронов до 10 МэВ и утроенной эффективной энергии в диапазоне 10...30 МэВ.

Фокусное расстояние при использовании ускорителей электронов следует выбирать возможно меньшим, исходя из конструкции и габарита контролируемого объекта, а также требуемой производительности контроля. Следует учитывать, что при одном и том же фокусном расстоянии размеры поля облучения уменьшаются с повышением энергии излучения ускорителей.

Для фотосъемки изображений в радиоскопии следует применять мелкозернистую фотопленку, фотоаппараты зеркального типа, гибкий тросик. При съемке следует добиваться того, чтобы площадь кадра использовалась полностью. При необходимости для этого используют удлинительные насадочные кольца объективов. Яркость и контрастность изображений при фотографировании рекомендуется устанавливать нормальными для наблюдения.

При киносъемке изображений и магнитной видеозаписи телевизионных изображений режимы съемки и записи следует устанавливать в соответствии с рекомендациями завода-изготовителя киноаппарата или видеоманитофона, имея в виду низкие уровни яркости, контраста и четкости регистрируемых радиоскопических изображений.

3.2 Программа выполнения работы

1 Ознакомиться с методами радиоскопического контроля материалов и изделий на наличие дефектов.

2 Изучить рентгеновские электронно-оптические преобразователи и методику контроля.

Контрольные вопросы

- 1 Что такое радиоскопия изделий?
- 2 Какие детекторы применяют при радиоскопии на наличие дефектов?
- 3 Что входит в состав радиоскопического дефектоскопа?
- 4 Какова чувствительность радиоскопии?
- 5 Что входит в состав радиоскопического дефектоскопа?

4 Практическое занятие № 4. Расшифровка дефектов сварных соединений, полученных на рентгенограмме

Цель работы: закрепление на практике навыков определения и классификации дефектов сварных соединений на радиографических снимках.

4.1 Основные теоретические сведения

Просмотр и расшифровку снимков следует производить после их полного высыхания в затемненном помещении с применением специальных осветителей-негатоскопов. Рекомендуется использовать негатоскопы с регулируемой яркостью и размерами освещенного поля.

Снимки, допущенные к расшифровке, должны удовлетворять следующим требованиям:

- на снимках не должно быть пятен, полос, загрязнений, повреждений эмульсионного слоя и других дефектов, затрудняющих их расшифровку;
- на снимках должны быть видны изображения ограничительных меток, маркировочных знаков и эталонов чувствительности.

Расшифровка и оценка качества сварных соединений по снимкам, не имеющим изображений эталонов чувствительности, допускается:

- при панорамном просвечивании кольцевых сварных соединений при одновременном экспонировании более четырех пленок;
- при невозможности применения эталонов чувствительности.

Оптическая плотность изображений контролируемого участка шва, околошовной зоны и эталона чувствительности должна быть не менее 1,5. Уменьшение оптической плотности изображения сварного соединения на любом участке этого изображения по сравнению с оптической плотностью изображения эталона чувствительности не должно превышать 1,0.

Чувствительность контроля не должна превышать значений, приведенных в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Предельные значения требуемой чувствительности контроля

Контролируемая толщина, мм	Класс чувствительности		
	I	II	III
До 5 вкл.	0,1	0,1	0,2
Св. 5 до 9 вкл.	0,2	0,2	0,3
" 9 " 12 "	0,2	0,3	0,4
" 12 " 20 "	0,3	0,4	0,5
" 20 " 30 "	0,4	0,5	0,6
" 30 " 40 "	0,5	0,6	0,75
" 40 " 50 "	0,6	0,75	1
" 50 " 70 "	0,75	1	1,25
" 70 " 100 "	1	1,25	1,5
" 100 " 140 "	1,25	1,5	2
" 140 " 200 "	1,5	2	2,5
" 200 " 300 "	2	2,5	2,5
" 300 " 400 "	2,5	2,5	2,5

Конкретные значения чувствительности (класса чувствительности) должны устанавливаться нормативной документацией на контролируемые изделия либо определяться по таблице 4.1 в зависимости от контролируемой толщины и класса чувствительности.

Для сокращения записи вида и характера дефектов при расшифровке снимков и оформлении результатов контроля следует использовать условные обозначения буквами русского алфавита в соответствии с нормативно-технической документацией.

При расшифровке снимков определяются размеры изображений трещин, непроваров, пор и включений, а при необходимости оценивается величина вогнутости корня шва и превышения проплава (если корень шва недоступен для внешнего осмотра).

Если при контроле пленка располагается на расстоянии H от обращенной к пленке поверхности контролируемого сварного соединения и выполняется соотношение

$$\frac{f + s}{H} > 10,$$

то определенные по снимку размеры дефектов перед их округлением рекомендуется умножать на коэффициент

$$\frac{f + s}{f + s + H} > 10,$$

где f – расстояние от источника излучения до обращенной к источнику

поверхности контролируемого участка сварного соединения, мм;

s – радиационная толщина, мм.

При измерении размеров дефектов до 1,5 мм применяется измерительная лупа по ГОСТ 25706 с ценой деления 0,1 мм, свыше 1,5 мм – любое средство измерения с ценой деления 1,0 мм.

По результатам контроля составляется заключение о качестве сварных соединений и справка о результатах радиографического контроля.

В графе «обнаруженные дефекты» после условного обозначения дефектов указываются их размеры в миллиметрах для:

- сферических пор – диаметр;
- удлиненных пор, шлаковых и вольфрамовых включений – длина и ширина (через знак умножения);
- цепочек, скоплений, окисных включений, непроваров и трещин – длина.

Для цепочек и скоплений пор, шлаковых и вольфрамовых включений после условного обозначения дефектов, входящих в цепочку или скопление, указываются максимальные ширина или диаметр и длина этих дефектов (через знак умножения).

При наличии на снимке изображений одинаковых дефектов (одного вида с одинаковыми размерами) допускается не записывать каждый из дефектов отдельно, а указывать перед условным обозначением дефектов их число.

Для сокращенной записи максимальной суммарной длины дефектов должно использоваться условное обозначение Σ . После условного обозначения максимальной суммарной длины дефектов указывается эта длина в миллиметрах. Для непроваров, пор и шлаковых включений (если требует техническая документация на контроль) после указания линейных размеров через тире указывается высота дефекта.

За высоту пор принимается диаметр или ширина их изображения на снимке. Высота дефектов указывается в процентах к наименьшей из толщин свариваемых элементов или в миллиметрах. Для цепочек и скоплений пор и включений в заключении указывается высота максимального дефекта, входящего в цепочку или скопление.

При отсутствии на снимках изображений дефектов в графе «обнаруженные дефекты» заключения делается прочерк.

Оценка качества сварного соединения проводится по каждому снимку данного сварного соединения в соответствии с нормативными документами на контроль качества и приемку сварных соединений.

Заключение о качестве сварных соединений должно быть оформлено в двух экземплярах.

Все заключения должны быть зарегистрированы в журнале радиографического контроля. Один экземпляр каждого заключения на объект радиографического контроля и все радиографические снимки к нему должны храниться в архиве лаборатории в течение двух лет с момента сдачи объекта (трубопроводов, металлоконструкций и т. п.) в эксплуатацию.

4.2 Программа выполнения работы

4.2.1 Ознакомиться с методами расшифровки дефектов на рентгеновской пленке, флюороскопическом экране, электролюминесцентном экране.

4.2.2 Изучить аппаратуру, которая применяется для расшифровки дефектов.

Контрольные вопросы

- 1 Что представляет собой рентгеновская пленка?
- 2 Что представляет собой усиливающий флюоросцирующий экран?
- 3 Какие дефекты изделия можно обнаружить при расшифровке рентгеновских снимков?
- 4 Какие операции включает в себя фотообработка рентгеновских снимков?
- 5 Какие требования существуют для плотности почернения пленки?

5 Практическое занятие № 5. Изучение методов и средств выявления холодных и горячих трещин

Цель работы: изучение особенностей выявления поверхностных дефектов проникающими веществами.

5.1 Основные теоретические сведения

Капиллярный метод контроля (КМК) основан на капиллярном проникновении индикаторных жидкостей в полость несплошностей материала объекта контроля и регистрации образующихся индикаторных следов визуально или с помощью преобразователя. Метод позволяет обнаруживать поверхностные (т. е. выходящие на поверхность) и сквозные (т. е. соединяющие противоположные поверхности стенки ОК) дефекты, которые могут быть обнаружены также при визуальном контроле.

Наиболее важной характеристикой индикаторных жидкостей, применяемых в капиллярной дефектоскопии, является их способность к смачиванию материала изделия. Смачивание вызывается взаимным притяжением атомов и молекул жидкости и твердого тела.

Как известно, между молекулами среды действуют силы взаимного притяжения. Молекулы, находящиеся внутри вещества, испытывают со стороны других молекул в среднем одинаковое действие по всем направлениям. Молекулы же, находящиеся на поверхности, подвергаются неодинаковому притяжению со стороны внутренних слоев вещества и со стороны, граничащей с поверхностью среды.

Поведение системы молекул определяется условием мини-шума свободной энергии, т. е. той части потенциальной энергии, которая изотермически может обратиться в работу свободной энергии молекул на поверхности

жидкости и твердого тела больше чем внутренних, когда жидкость или твердое тело находится в газе или вакууме. В связи с этим они стремятся приобрести форму с минимальной наружной поверхностью. В твердом теле этому препятствует явление упругости формы, а жидкость в невесомости под влиянием этого явления приобретает форму шара. Таким образом, поверхности жидкости и твердого тела стремятся сократиться, и возникает давление поверхностного натяжения.

Величину поверхностного натяжения определяют работой (при постоянной температуре), необходимой для образования единицы площади поверхности раздела двух находящихся в равновесии фаз. Ее часто называют силой поверхностного натяжения, понимая под этим следующее. На границе раздела сред выделяют произвольную площадку. Натяжение рассматривают как результат действия распределенной силы, приложенного к периметру этой площадки. Направление сил – по касательной к границе раздела и перпендикулярно периметру. Силу, отнесенную к единице длины периметра, называют силой поверхностного натяжения. Два равновесных определения поверхностного натяжения соответствуют двум применяемым для его измерения единицам: $\text{Дж/м}^2 = \text{Н/м}$.

Для воды в воздухе при температуре $20\text{ }^\circ\text{C}$ и нормальном атмосферном давлении сила поверхностного натяжения $\sigma = (7,25 \pm 0,025) \cdot 10^{-2}$ Н/м. Это значение уменьшается с увеличением температуры. В различных газовых средах поверхностное натяжение жидкостей практически не изменяется.

Растворение состоит в распределении молекул растворяемого вещества среди молекул растворителя. В капиллярном методе контроля растворение применяют при подготовке объекта к контролю (для очистки полости дефектов). Растворение газа (обычно воздуха), собравшегося у конца тупикового капилляра (дефекта), существенно повышает предельную глубину проникновения пенетранта в дефект.

Для оценки взаимной растворимости двух жидкостей применяют эмпирическое правило, согласно которому «подобное растворяется в подобном», например, углеводороды хорошо растворяются в углеводородах, спирты в спиртах и т. д. Взаимная растворимость жидкостей и твердых тел в жидкости, как правило, увеличивается при повышении температуры. Растворимость газов, как правило, уменьшается с повышением температуры и улучшается при повышении давления.

Сорбция – это физико-химический процесс, в результате которого происходит поглощение каким-либо веществом газа, пара или растворенного вещества из окружающей среды. Различают адсорбцию – поглощение вещества на поверхности раздела фаз и абсорбцию – поглощение вещества всем объемом поглотителя. Если сорбция происходит преимущественно в результате физического взаимодействия веществ, то ее называют физической. В капиллярном методе контроля для проявления используют, главным образом, явление физической адсорбции жидкости (пенетранта) на поверхности твердого тела (частиц проявителя). Это же явление вызывает оседание на дефекте контрастных веществ, растворенных в жидкой основе пенетранта.

Диффузия – движение частиц (молекул, атомов) среды, приводящее к переносу вещества и выравнивающее концентрацию частиц разного сорта. В капиллярном методе контроля явление диффузии наблюдается при взаимодействии пенетранта с воздухом, сжатым в тупиковом конце капилляра.

Диспергирование – тонкое размельчение какого-либо тела в окружающей среде. Диспергирование твердых тел в жидкости играет существенную роль при очистке поверхности от загрязнений.

Эмульгирование – образование дисперсной системы с жидкой дисперсной фазой, т. е. диспергирование жидкости. Эмульгирование играет существенную роль при очистке, удалении излишков пенетранта, приготовлении пенетрантов, проявителей.

Поверхностно-активные вещества (ПАВ) – вещества способные накапливаться на поверхности соприкосновения двух тел (сред, фаз), понижая ее свободную энергию. ПАВ добавляют в основном для очистки поверхности ОК, вводят в пенетранты, очистители.

Важнейшие ПАВ растворяются в воде. Их молекулы имеют гидрофобную и гидрофильную части, т. е. смачиваемую и несмачиваемую водой. Обычно вода не смачивает и не удаляет масляную пленку. Молекулы ПАВ адсорбируются на поверхности пленки, ориентируются к ней своими гидрофобными концами, а гидрофильными к водной среде. В результате происходит резкое усиление смачиваемости, и жировая пленка смывается.

Суспензия – грубодисперсная система с жидкой дисперсной средой и твердой дисперсной фазой, частицы которой достаточно крупны и довольно быстро выпадают в осадок или всплывают. Суспензии обычно готовят механическим размельчением и размешиванием.

Люминесценция – свечение некоторых веществ (люминофоров), избыточное над тепловым излучением, обладающее длительностью 10^{-10} с и больше. Указание на конечную длительность нужно, чтобы отличать люминесценцию от других оптических явление, например, от рассеяния света.

В капиллярном методе контроля люминесценцию используют как один из способов контраста для визуального обнаружения индикаторных пенетрантов после проявления. Для этого люминофор либо растворяют в основном веществе пенетранта, либо само вещество пенетранта является люминофором яркостного и цветового контраста. В капиллярном методе контроля люминесценцию рассматривают с точки зрения возможности глаза человека фиксировать люминесцентное свечение, цветные и темные индикации на светлом фоне. Возможность различать степень яркости объекта называют контрастной чувствительностью. Ее определяют по различимому глазом изменению коэффициента отражения. В цветном методе контроля вводят понятие яркостно-цветового контраста, одновременно учитывающее яркость и насыщенность следа от дефекта, который нужно контролировать.

Способность глаза различать мелкие объекты, обладающие достаточным контрастом, определяют минимальным углом зрения. Установлено, что объект в виде полосы (темной, цветной или люминисцирующей) глаз способен

заметить с расстояния 200 мм при ее минимальной ширине более 5 мкм. В рабочих условиях различают объекты на порядок больше – 0,05...0,1 мм.

5.2 Программа выполнения работы

5.2.1 Ознакомиться с капиллярными методами контроля.

5.2.2 Изучить средства капиллярного контроля, дефектоскопические материалы и способы их контроля.

5.2.3 Изучить поверхностные дефекты и причины их возникновения.

Контрольные вопросы

1 Какие методы капиллярной дефектоскопии относятся к основным?

2 Какова физическая сущность диффузионного механизма проявления дефектов?

3 Какова физическая сущность сорбционного механизма проявления дефектов?

4 Какие требования предъявляются к источникам ультрафиолетового облучения при выявлении дефектов капиллярным методом?

6 Практическое занятие № 6. Особенности проведения магнитографического контроля разно ориентированных трещин

Цель работы: приобретение практических навыков по экспериментальному сравнению эффективности различных способов магнитографического контроля.

6.1 Основные теоретические сведения

Под порогом предельной чувствительности метода контроля понимают наименьшие размеры эталонной модели дефекта, уверенно обнаруживаемого при заданной настройке аппаратуры. Порог реальной чувствительности характеризует наименьшие размеры реального дефекта, обнаруживаемого в контролируемом объекте. Считается, что дефект обнаруживается уверенно, если отношение амплитуд «сигнал/шум» не менее 2. В сварных соединениях изделий из низкоуглеродистых и ряда низколегированных сталей дефекты сплошности (непровары, подрезы, трещины, цепочки пор) ориентированы вдоль продольной оси шва.

При магнитографическом контроле рекомендуют такие соединения намагничивать в поперечном направлении, т. к. вектор напряженности внешнего поля в этом случае будет ориентирован перпендикулярно направлению распространения дефектов и их выявляемость будет наилучшей. Однако при намагничивании сварного соединения в поперечном направлении валик шва создает

значительную неоднородность поля в зоне контроля. Объясняется это тем, что на его выступающей поверхности образуются магнитные полюсы, которые создают в шве и его окрестностях поле, направленное навстречу внешнему. Чем меньше ширина и больше высота валика, тем слабее намагничен шов. Особенно малая индукция в плоскости симметрии шва. Поэтому выявляемость дефектов, расположенных в указанном сечении шва, наихудшая.

Так, при применении магнитографического метода контроля сварных соединений в традиционном исполнении могут не обнаруживаться протяженные дефекты величиной более 20 %, поры и шлаковые включения до 90 %...100 % от толщины основного металла. В настоящее время разработан ряд эффективных способов магнитографического контроля, которые позволили повысить чувствительность метода на наличие локальных дефектов в 4–5 раз, протяженных (включая разноориентированные) – до 5 раз, разрешающую способность метода – более чем на порядок.

6.2 Программа выполнения работы

6.2.1 Ознакомиться с описанием способов магнитографического контроля, позволяющих повысить чувствительность и разрешающую способность метода.

6.2.2 Проконтролировать сварной образец традиционным способом магнитографического контроля при различном значении тока в катушке намагничивающего устройства (вектор напряженности поля направлен перпендикулярно продольной оси шва).

6.2.3 Проконтролировать сварное соединение, намагничивая сварной шов в продольном направлении и считывая запись вдоль линии намагничивания. Сделать выводы.

6.2.4 Тот же образец проконтролировать, используя намагничивающую систему в виде пластины прямоугольного сечения и двух пластин со скосом кромки, устанавливаемую с обратной стороны шва (образец проконтролировать на дефектном и бездефектном участках шва).

6.2.5 Плоский образец, содержащий цепочку пор, проконтролировать дважды: намагничивая поперек и вдоль цепочки дефектов. Сделать выводы относительно разрешающей способности обоих способов.

6.2.6 Описанные в п. 6.2.5 исследования провести, считывая запись вдоль и поперек направления намагничивания. Сделать выводы, объяснить причины отличия сигналограмм.

Контрольные вопросы

1 Почему при традиционном методе магнитографического контроля не всегда удовлетворительно обнаруживаются дефекты сплошности?

2 Почему труднее всего обнаруживаются дефекты, расположенные в корне шва?

3 Почему при выполнении п. 6.2.4 стык пластин со скосом кромки не обнаруживается как мнимый дефект?

4 Опишите физические основы изученных Вами способов повышения чувствительности и разрешающей способности метода.

5 Почему при намагничивании вдоль шва не обнаруживаются непровары и трещины, ориентированные вдоль шва?

6 Что такое разрешающая способность метода?

7 В каком случае чувствительность метода выше: при намагничивании объекта контроля вдоль или поперек цепочки пор?

8 В каком направлении следует считывать запись с магнитной ленты?

7 Практическое занятие № 7. Особенности проведения магнитопорошкового контроля разно ориентированных трещин

Цель работы: изучение особенностей проведения магнитопорошкового контроля и выявления поверхностных и подповерхностных дефектов.

7.1 Основные теоретические сведения

Магнитопорошковый метод неразрушающего контроля основан на явлении притяжения частиц магнитного порошка магнитными потоками рассеяния, возникающими над дефектами в намагниченных объектах контроля. Метод предназначен для выявления поверхностных и подповерхностных нарушений сплошности: волосовин, трещин, непроваров сварных соединений и т. д.

Магнитопорошковый метод контроля включает следующие технологические операции: подготовка к контролю, намагничивание объекта контроля, нанесение дефектоскопического материала на объект контроля, осмотр контролируемой поверхности и регистрация индикаторных рисунков дефектов, оценка результатов контроля, размагничивание.

При магнитопорошковом методе контроля применяют: способ остаточной намагниченности (СОН), способ приложенного поля (СПП).

При контроле СОН объект контроля предварительно намагничивают, а затем, после снятия намагничивающего поля, на его поверхность наносят дефектоскопический материал. Промежуток времени между указанными выше операциями должен быть не более часа. Осмотр контролируемой поверхности проводят после стекания основной массы суспензии.

При контроле СПП операции намагничивания объекта контроля и нанесения суспензии выполняют одновременно. Индикаторные рисунки выявляемых дефектов образуются в процессе намагничивания. Намагничивание прекращают после стекания с контролируемой поверхности основной массы суспензии. Осмотр контролируемой поверхности проводят после прекращения намагничивания.

7.1.1 Подготовка к контролю. Подготовка к контролю должна включать:

- подготовку объекта к операциям контроля;
- проверку работоспособности дефектоскопов;

– проверку качества дефектоскопических материалов.

При подготовке объекта с контролируемой поверхностью необходимо удалить продукты коррозии, остатки окалины, масляные загрязнения, а при необходимости следы лакокрасочных покрытий.

Проверку работоспособности дефектоскопов и качества дефектоскопических материалов осуществляют при помощи стандартных образцов предприятий, специально изготовленных или отобранных из числа забракованных изделий с дефектами, размеры которых соответствуют принятому уровню чувствительности.

7.1.2 Намагничивание объекта контроля.

7.1.2.1 Выбор способа магнитопорошкового контроля. При выборе способа магнитопорошкового контроля следует руководствоваться следующим.

Контроль в приложенном поле позволяет достичь, как правило, более высокой чувствительности (за исключением случаев контроля деталей с выраженной текстурой, когда порошок осаждается по волокнам металла), а также с грубой обработкой поверхности.

Способ остаточной намагниченности более прост и удобен в осуществлении и имеет следующие преимущества: возможность установки детали в любое требуемое положение для осмотра; возможность нанесения суспензии как путем полива, так и путем погружения в ванну с суспензией; простоту расшифровки результатов контроля, т. к. при контроле на остаточной намагниченности порошок в меньшей степени оседает по рискам, наклепу, местам грубой обработки поверхности; меньшую возможность прижога деталей. Поэтому необходимо отдавать предпочтение способу контроля на остаточной намагниченности, если установлено, что при этом достигается требуемая согласно ТУ чувствительность контроля. В противном случае детали контролируют в приложенном поле.

СОН применяют при контроле объектов из магнитотвердых материалов с коэрцитивной силой $H_c > 1000$ А/м, с остаточной индукцией 0,5 Тл и более при условии, что он обеспечивает требуемый уровень чувствительности (таблица 7.1). Возможность достижения требуемого уровня чувствительности при контроле СОН определяют по известным магнитным характеристикам (коэрцитивной силе H_c и остаточной индукции B_r) материала объекта (рисунок 7.1).

Контроль СОН с требуемой чувствительностью возможен в том случае, если остаточная индукция материала равна или больше значения остаточной индукции, определенной по кривой для соответствующего условного уровня чувствительности А, Б, В (рисунок 7.2).

Если требуемый уровень чувствительности СОН не достижим, то применяют СПП. Кроме того, контроль СПП производят, когда контролируемая поверхность детали покрыта слоем немагнитного покрытия толщиной свыше 30 мкм (рисунок 7.3).

Условный уровень чувствительности А достигается при шероховатости контролируемой поверхности $R_a \leq 2,5$ мкм, уровни чувствительности Б и В – при $R_a \leq 10$ мкм.

Таблица 7.1 – Уровни чувствительности магнитопорошкового контроля

Условный уровень чувствительности	Минимальная ширина раскрытия условного дефекта, мкм	Минимальная протяженность условного дефекта, мм
А	2,0	0,5
Б	10,0	0,5
В	25,0	0,5

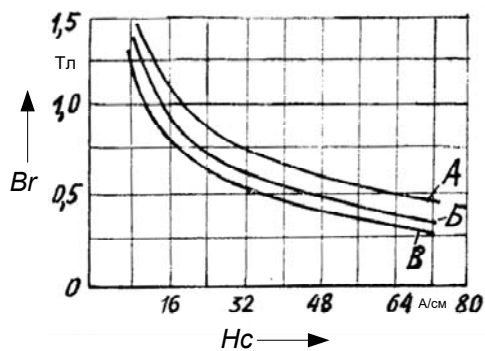


Рисунок 7.1 – Определение способа контроля

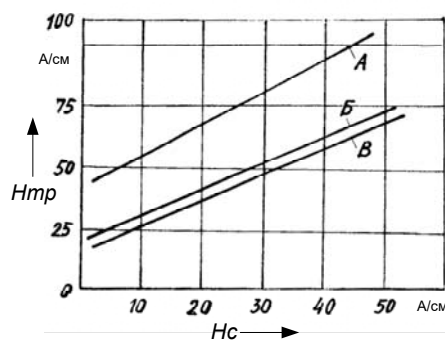
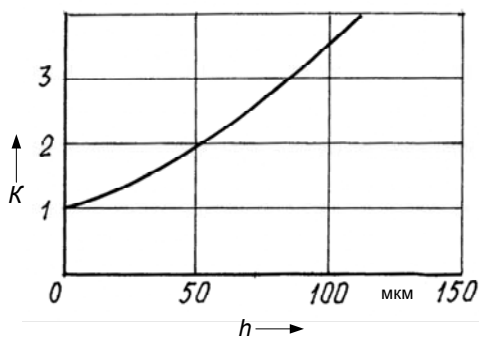
Рисунок 7.2 – Определение H_{mp} при контроле СПП

Рисунок 7.3 – Учет влияния толщины покрытия при выборе режима намагничивания

7.1.2.2 Выбор вида намагничивания. В настоящее время, согласно ГОСТ 21105–87, применяют четыре вида намагничивания: циркулярное, полюсное, комбинированное, во вращающемся магнитном поле.

В большинстве случаев для контроля может быть использован любой вид намагничивания, однако предпочтение необходимо отдавать более простому в осуществлении. Так, комбинированный вид намагничивания целесообразно применять только при наличии разноориентированных трещин или когда ориентация трещин в изделии неизвестна (при этом вектор напряженности результирующего поля поворачивается на угол 90° или вращается и в некоторые моменты времени перпендикулярен направлению распространения дефектов). Циркулярное намагничивание целесообразно применять для обнаружения дефектов в телах вращения, т. к. одновременно и равномерно намагничивается при этом вся поверхность объекта контроля. Для более равномерного намагничивания полых деталей кабель или стержень, по которому пропускают ток, центрируют с помощью неэлектропроводящих втулок. Однако этот вид намагничивания успешно применяют и при контроле отдельных мест крупногабаритных изделий, сортового проката и т. д. При этом следует помнить, что намагничивающий ток может достигать от сотен до нескольких тысяч ампер.

Для обнаружения дефектов в деталях малых размеров удобно применять полюсное намагничивание. При этом контролируемые детали можно поместить в ванну, расположенную между полюсами электромагнита, и осуществлять на них полив суспензии или нанесение порошка. Чтобы достичь на поверхности объекта контроля требуемой напряженности намагничивающего поля при минимальной намагничивающей силе электромагнита, цепь «электромагнит – деталь» должна быть замкнутой.

7.1.2.3. Выбор способа намагничивания. Выбор способа намагничивания зависит, в частности, от направления распространения дефектов в детали. Выбирают такой способ намагничивания, чтобы угол α между вектором напряженности магнитного поля и направлением распространения дефектов был близок к 90° , т. к. при этом достигается наибольшая чувствительность метода. Чувствительность метода значительно ухудшается при углах $\alpha < 20^\circ$, а при $\alpha = 0$ практически нельзя обнаружить даже крупные дефекты. Если неизвестно направление распространения трещин, а также если деталь имеет сложную форму, то намагничивание проводят в двух или трех направлениях, нанося суспензию и осматривая деталь после каждого намагничивания. Если намагничивание производят в двух взаимно перпендикулярных направлениях, то при одном из них увеличивают требуемое значение напряженности в 1,41 раза. В этом случае, дефекты, ориентированные наименее выгодно к направлению намагничивания ($\alpha = 45^\circ$), будут намагничены полем напряженности H_{mp} перпендикулярно направлению распространения дефекта.

Для выявления различно ориентированных трещин одной операцией намагничивания применяют комбинированное намагничивание (при этом намагничивание производят только в приложенном поле), или намагничивание во вращающемся магнитном поле (СОН).

7.1.2.4 Выбор рода тока. При намагничивании объектов применяют постоянный, переменный однофазный и трехфазный, выпрямленный однополупериодный и двухполупериодный, а также импульсный токи.

Считают, что постоянный ток наиболее удобен для выявления внутренних дефектов, находящихся на расстоянии до 2...3 мм от поверхности. Однако детали с толщиной стенки более 20...25 мм не следует намагничивать постоянным током, т. к. такие детали после контроля трудно размагнитить. Кроме того, названные дефекты можно выявить с помощью переменного или импульсного тока, если амплитуду увеличить в 1,5...2,5 раза по сравнению с амплитудой тока, рассчитанной для выявления поверхностных дефектов. Это справедливо для контроля способом приложенного поля и способом остаточной намагниченности.

Для создания требуемой напряженности поля при намагничивании деталей путем пропускания по ним тока необходимы большие плотности тока. В этих случаях целесообразно применять импульсный ток. Импульсный ток обеспечивает отсутствие прижогов, которые опасны как зародыши дефектов. Увеличение глубины промагничивания при использовании импульсного тока достигается путем повторного (3–5-кратного) намагничивания импульсами одного направления. Это объясняется тем, что магнитная дифференциальная проницаемость верхнего слоя достигает стабильной величины после 3–5 импульсов тока.

7.1.2.5 Определение режима намагничивания. Определение режима намагничивания при контроле СПП. Напряженность магнитного поля на контролируемом участке поверхности объекта выбирают в зависимости от коэрцитивной силы и требуемой чувствительности контроля.

Значение напряженности магнитного поля может быть уточнено экспериментально применительно к контролю конкретных изделий. При контроле СПП отношение нормальной составляющей напряженности магнитного поля к тангенциальной на контролируемом участке поверхности объекта должно быть не более 3.

При контроле объектов с большим размагничивающим фактором, имеющим отношение длины к эквивалентному диаметру меньше 5, следует:

- составлять контролируемые изделия в цепочку, размещая их друг к другу торцевыми поверхностями;
- применять удлинительные наконечники;
- применять переменный намагничивающий ток.

Определение режима намагничивания при СОН. Если выяснено, что деталь можно контролировать СОН, то режимом будет напряженность приложенного поля, при котором деталь намагничивается до технического насыщения.

Намагничивание во вращающемся магнитном поле применяют при контроле СОН объектов сложной формы, а также объектов с большим размагничивающим фактором, с ограниченной контактной площадью или нетокопроводящими гальваническими покрытиями.

Режимы контроля при комбинированном намагничивании. Напряженность поля циркулярного намагничивания устанавливают в 2–3 раза больше напряженности поля полюсного намагничивания, если кинематическая вязкость суспензии меньше $20 \cdot 10^{-6}$ м²/с (водная, керосиновая суспензия, суспензия

на основе масла РМ). Если же вязкость дисперсионной среды суспензии больше $20 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ (например, трансформаторное масло), то напряженности полей при комбинированном намагничивании могут быть одинаковыми.

Если при комбинированном намагничивании участвуют токи одного рода, то напряженности их полей должны быть одинаковыми.

Режим контроля деталей с немагнитными покрытиями. Если деталь имеет немагнитное покрытие толщиной до 20 мкм, то при определении режима намагничивания влияние покрытия не учитывается.

В ГОСТ 21105–87 нет рекомендаций относительно способа контроля деталей с немагнитными покрытиями, толщина которых больше 20 мкм (за исключением того, что требуется применять способ воздушной взвеси, если $h > 100$ мкм). Однако из литературы известно, что при больших (свыше 30 мкм) толщинах немагнитного покрытия наблюдается явление размывания картины оседания порошка на трещинах после снятия поля. Поэтому такие объекты необходимо контролировать в приложенном поле, увеличив требуемую напряженность намагничивающего поля в K раз.

Определение намагничивающего тока при циркулярном намагничивании. При циркулярном намагничивании максимальное (амплитудное) значение намагничивающего тока I для получения заданной напряженности магнитного поля H определяют расчетным путем.

При циркулярном намагничивании деталей сложной формы рассчитать напряженность поля на контролируемой поверхности можно лишь приблизительно. В этом случае расчет следует подтвердить измерениями поля и внести соответствующую корректировку в величину намагничивающего поля.

Измерение напряженности намагничивающего поля на поверхности контролируемого изделия. Если при циркулярном намагничивании с большей или меньшей точностью можно рассчитать напряженность поля, то при полюсном намагничивании этого сделать не удастся. Даже если напряженность поля в центре намагничивающего устройства известна, напряженность поля на поверхности контролируемой детали следует измерить, т. к. рассчитать ее практически невозможно. На поверхности детали напряженность поля может быть в несколько раз меньше, чем в центре намагничивающего устройства без детали, особенно если контролируется короткая и толстая деталь. Размагничивающее действие полюсов, образующихся на концах намагничиваемой детали, уменьшает напряженность поля на ее поверхности.

Истинное значение напряженности поля на поверхности контролируемого изделия измеряют на практике с помощью преобразователей Холла (Щ4311), индукционных катушек при включении или выключении микроверметра типа Ф18, феррозондовых измерителей напряженности поля. Обычно шкала таких приборов проградуирована не в единицах напряженности поля, а в единицах индукции. Чтобы определить значение индукции $B_{тр}$, соответствующее $H_{тр}$, преобразователь Холла устанавливают на поверхности контролируемого объекта так, чтобы намагничивающее поле было направлено перпендикулярно плоскости преобразователя.

7.1.3 Порошки и суспензии для магнитопорошкового контроля, нанесение их на объект.

Для контроля применяют:

- способ магнитной суспензии;
- способ сухого магнитного порошка;
- способ магнитогуμμмированной пасты.

Черные порошки применяют при контроле деталей со светлой поверхностью. Для контроля деталей с черной поверхностью используют магнитолюминесцентный порошок, а осмотр детали производят в ультрафиолетовом свете. Для этих же целей применяют красный магнитный порошок, а также порошок черного цвета, покрыв поверхность детали слоем белой нитрокраски толщиной до 20 мкм. Применяют также светлый порошок.

Высокодисперсный сухой порошок (с размерами частиц 0,1...10 мкм) наносят на деталь в виде воздушной взвеси, получаемой распылением порошка в специальных установках, погружением объекта в емкость с порошком. Применяют его для обнаружения подповерхностных дефектов, дефектов под слоем немагнитного покрытия толщиной от 100 до 200 мкм. Грубодисперсный порошок (с размерами частиц 0,05...2 мм) наносят с помощью пульверизатора, резиновой груши, сита. Применяют его для обнаружения относительно крупных поверхностных и подповерхностных дефектов, для контроля деталей с грубо обработанной поверхностью.

Чаще магнитные порошки применяют в виде суспензий. В качестве дисперсионной среды используется вода (с различными добавками), минеральные масла, керосин и смесь трансформаторного масла с керосином. Водная суспензия, кроме воды, содержит антикоррозионные и поверхностно-активные добавки. Магнитную суспензию на контролируемую поверхность наносят путем полива из шланга, резиновых груш, бачков, пипеток, путем погружения в ванну, а также аэрозольным способом.

Магнитогуμμмированная паста представляет собой смесь магнитного порошка и затвердевающих органических полимерных веществ.

Магнитогуμμмированную пасту готовят непосредственно перед применением и наносят на контролируемую поверхность в жидком виде. Способ магнитогуμμмированной пасты применяют при контроле внутренних стенок полостей диаметром менее 20 мм при отношении глубины к диаметру 1 к 10.

При контроле детали в приложенном магнитном поле начало обработки деталей суспензией должно протекать одновременно (или несколько опережать) начало намагничивания. Намагничивающий ток включается после полного стекания суспензии с детали.

При контроле на остаточной намагниченности промежуток времени между намагничиванием и обработкой суспензией должен быть не более 1 ч.

7.1.4 Осмотр деталей. Осмотр контролируемой поверхности и регистрацию индикаторных рисунков выявляемых дефектов проводят визуально или с применением автоматизированных систем обработки изображений.

Осмотр проводят непосредственно после извлечения детали из ванны или полива (если применяют керосиновую или водную суспензию) и не ранее чем

через 4...6 мин, когда применяют масляную суспензию.

При контроле в приложенном поле осмотр проводят во время и после нанесения суспензии.

Детали с немагнитными покрытиями иногда осматривают, не извлекая их из суспензии. Для этого применяют экраны с прозрачным дном, профилированные по форме контролируемой поверхности детали. Осмотр можно проводить также без экранов. Для этого деталь погружают в суспензию на глубину, при которой контролируемая поверхность оказывается покрытой слоем суспензии толщиной 1...2 мм.

Через этот слой суспензии осматривают деталь. Такой способ позволяет обнаружить дефекты под слоем немагнитного покрытия толщиной 80...100 мкм.

Осмотр при МПК проводят без применения или с применением оптических средств (луп, микроскопов, эндоскопов). Выбираемое увеличение оптического прибора зависит от шероховатости поверхности детали, типа дефектов, условий контроля и обычно находится в пределах 1,25...24 крат.

7.1.5 Аппаратура для магнитопорошкового контроля. При контроле магнитопорошковым методом применяют стационарные, передвижные и переносные дефектоскопы по ГОСТ 26697–85.

В зависимости от назначения дефектоскопы включают в себя следующие функциональные устройства:

- блок питания;
- блок формирования намагничивающего тока;
- намагничивающее устройство;
- устройство для размагничивания;
- устройство для нанесения дефектоскопических материалов;
- блок автоматического управления технологическими операциями контроля;
- исполнительные устройства для осуществления автоматических операций контроля;
- приборы и устройства для контроля качества дефектоскопических материалов и технологических процессов;
- устройство для осмотра контролируемой поверхности и регистрации дефектов.

Дефектоскопы, в которых намагничивание изделий осуществляется переменным, выпрямленным или импульсным токами, при контроле способом остаточной намагниченности должны обеспечивать выключение тока в момент времени, при котором значение остаточной индукции составляет не менее 0,9 ее максимального значения для данного материала при выбранном режиме.

В дефектоскопах при контроле способом остаточной намагниченности не допускается использовать в качестве намагничивающих устройств электромагниты постоянного тока, а также устройства, в которых снижение магнитного потока от максимального значения до нуля при намагничивании происходит в течение времени, превышающем 5 мс.

В настоящее время для магнитопорошковой дефектоскопии применяют дефектоскопы МД-50П, МПД-70, МПД-77, МПД-3М, ДМП-2 и др.

7.1.6 Требования безопасности. Общие требования к проведению магнитопорошкового контроля изложены в ГОСТ 12.3.002–75.

При циркулярном намагничивании путем пропускания тока через изделие или проводник, помещенный в сквозное отверстие объекта, следует:

- включать и выключать электрический ток только при надежном электрическом контакте электродов с объектом контроля;
- применять защитные щитки для защиты лица от возможного попадания мелких частиц расплавленного свинца.

Органы управления магнитопорошковых дефектоскопов, создающих постоянные магнитные поля напряженностью более 80 А/см должны быть вынесены из зоны действия этих полей.

При контроле СПП с циркулярным намагничиванием не допускается применять керосиновую или керосино-масляную суспензию.

Для приготовления суспензий не допускается использовать керосин с температурой вспышки ниже 30 °С.

Наносить магнитный порошок способом воздушной взвеси следует в камерах с отсасывающими вентиляционными устройствами.

Контрольные вопросы

- 1 Магнитопорошковый метод НК: физическая основа и область применения?
- 2 Приведите примеры ферромагнитных металлов?
- 3 Какие дефектоскопические материалы используются при магнитопорошковом методе контроля?
- 4 Индикаторный рисунок при магнитопорошковом методе проявляется через какое время?
- 5 Какие факторы влияют на чувствительность магнитопорошкового контроля?
- 6 В каких случаях деталь контролируют способом приложенного поля?

Список литературы

- 1 **Холодилов, О. В.** Дефектоскопия подвижного состава железнодорожного транспорта : учебное пособие / О. В. Холодилов. – Гомель: БелГУТ, 2020. – 326 с.
- 2 **Поздняков, В. Ф.** Приборы и методы визуального и оптического контроля: учебно-методическое пособие / В. Ф. Поздняков, Е. В. Позднякова, А. Н. Прудников. – Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2022. – 288 с.: ил.