

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФГБОУ ВО БРЯНСКИЙ ГАУ

Исаев Х.М., Исаев С.Х.

**Ремонт технологического
оборудования
перерабатывающих
предприятий**

КРАТКИЙ КУРС ЛЕКЦИЙ

Учебно-методическое пособие
для бакалавров направление подготовки
35.03.06 Агроинженерия, профиль Технологическое оборудование
для хранения и переработки сельскохозяйственной продукции

Брянская область, 2022

УДК 629.3.083 (076)

ББК 30.8

И 85

Исаев, Х. М. Ремонт технологического оборудования перерабатывающих предприятий. Краткий курс лекций: учебно-методическое пособие для бакалавров направления подготовки 35.03.06 Агроинженерия, профиль Технологическое оборудование для хранения и переработки сельскохозяйственной продукции / Х. М. Исаев, С. Х. Исаев. – Брянск: Изд-во Брянский ГАУ, 2022. – 79 с.

Краткий курс лекций по дисциплине «Ремонт технологического оборудования перерабатывающих предприятий» составлен в соответствие с рабочей программой дисциплины и предназначен для бакалавров направления подготовки 35.03.06 Агроинженерия, профиль Технологическое оборудование для хранения и переработки сельскохозяйственной продукции. Краткий курс лекций содержит теоретический материал по основным вопросам дисциплины «Ремонт технологического оборудования перерабатывающих предприятий». Направлен на формирование у бакалавров знаний диагностики, ремонта и монтажа оборудования для переработки сельскохозяйственной продукции отечественных и зарубежных производителей.

Рецензент: А.И. Купреенко – д.т.н., профессор кафедры Технологического оборудования животноводства и перерабатывающих производств.

Рекомендовано к изданию методической комиссией инженерно-технологического института Брянского ГАУ, протокол №2 от 28 октября 2022 года.

© Брянский ГАУ, 2022

© Исаев Х.М., 2022

© Исаев С.Х., 2022

Содержание

Введение	5
Лекция 1 - Введение в предмет. Понятия безопасности, закон о промышленной безопасности опасных производств. Система экспертизы промышленной безопасности потенциально-опасных производств.	6
Лекция 2 – Понятие надежности технологического оборудования. Система обеспечения надежности технологического оборудования на пищевых предприятиях. Техническая диагностика. Основные понятия и определения. Цели и задачи технической диагностики в системе экспертизы промышленной безопасности опасных производственных объектов пищевых производств. Методы и средства технической диагностики.	11
Лекция 3 – Основы теории механики разрушения. Основные понятия и определения. Виды и типы разрушений. Примеры разрушений. Основные механизмы разрушений. Виды и типы дефектов. Основные понятия, определения и классификация дефектов. Сварные соединения. Дефекты сварных соединений.	16
Лекция 4 – Неразрушающие методы контроля. Основные понятия и определения неразрушающего контроля при изготовлении, монтаже и эксплуатации. Визуальный и измерительный контроль (ВИК). Физические основы. Понятия и определения.	25
Лекция 5 – Приборы и технология проведения визуального и измерительного контроля на объектах пищевой инженерии. Ультразвуковая дефектоскопия (УЗД). Понятия и определения. Физические основы. Приборы.	30
Лекция 6 – Ультразвуковая толщинометрия (УЗТ). Физические основы. Технология проведения контроля на объектах пищевой инженерии.	36
Лекция 7 – Цветная дефектоскопия. Основные понятия и определения капиллярных методов НК. Физические основы.	39
Лекция 8 – Магнитопорошковая дефектоскопия. Физические основы. Технология проведения контроля на объектах пищевой инженерии.	48
Лекция 9 – Акустическая эмиссия. Физические основы. Технология проведения контроля на объектах пищевой инженерии.	51
Лекция 10 – Радиография. Физические основы. Технология проведения контроля на объектах пищевой инженерии.	58
Лекция 11 – Система НК на предприятиях пищевой инженерии. Выбор методов НК при технической диагностике.	63

Лекция 12 – Нормы и критерии оценки технического состояния сосудов.	65
Лекция 13 – Прогнозирование остаточного ресурса работоспособности технологического оборудования.	69
Лекция 14 – Примеры определения остаточного ресурса технологического оборудования.	72
Литература	78

Введение

В настоящем учебно-методическом пособии представлены основные методические материалы к лекционным занятиям по ремонту технологического оборудования перерабатывающих предприятий, предназначенные для студентов, обучающихся по направлению 35.03.06 Агроинженерия, профиль Технологическое оборудование для хранения и переработки сельскохозяйственной продукции.

Студенты должны научиться пользоваться современной литературой, справочными материалами, каталогом, плакатами и нормативными документами.

Данные виды работы позволяет студентам получить практические навыки диагностики, ремонта и монтажа оборудования для переработки сельскохозяйственной продукции, необходимые для формирования высококвалифицированных специалистов в области ремонта технологического оборудования предприятий переработки сельскохозяйственной продукции.

Учебно-методическое пособие разработано в соответствии с ФГОС ВО по направлению подготовки 35.03.06 Агроинженерия, профиль Технологическое оборудование для хранения и переработки сельскохозяйственной продукции с выполнением компетентного подхода и соблюдением профессиональных компетенций: ПК-9 способностью использовать типовые технологии технического обслуживания, ремонта и восстановления изношенных деталей машин и электрооборудования.

**Лекция 1 - Введение в предмет. Понятия безопасности,
закон о промышленной безопасности опасных производств.
Система экспертизы промышленной безопасности потенциально-опасных
производств**

Диагностика технического состояния является одной из специальных дисциплин, на базе которых формируются знания по обеспечению надежности и безопасности эксплуатации длительно проработавших сварных конструкций оболочкового типа. К числу отличительных черт пищевых производств следует отнести наличие значительной доли потенциально опасных объектов, выработавших проектный срок эксплуатации или не имеющих расчетного срока эксплуатации. Износ основного технологического оборудования достиг 80-90 % и оно естественно нуждается в замене. Поддерживать работоспособное состояние оборудования не представляется возможным без решения проблем диагностики современными достоверными методами. Параметры эксплуатации такого оборудования (рабочая температура и давление, рабочая среда и т.д.) охватывают очень широкие интервалы и весьма различны по воздействию на материал. Им присуще разнообразие по конструктивным оформлением и по применяемым методам формоизменяющих операций при изготовлении. В процессе эксплуатации в металле конструктивных элементов оборудования происходит постепенное накопление необратимых повреждений и по истечении определенного времени возможны преждевременные их разрушения.

1 Федеральный закон о промышленной безопасности опасных производственных объектов Принят Государственной Думой 20 июня 1997 года.

Настоящий Федеральный закон определяет правовые, экономические и социальные основы обеспечения безопасной эксплуатации опасных производственных объектов и направлен на предупреждение аварий на опасных производственных объектах и обеспечение готовности организаций, эксплуатирующих опасные производственные объекты, к локализации и ликвидации последствий указанных аварий.

Положения настоящего Федерального закона распространяются на все организации независимо от их организационно-правовых форм и форм собственности, осуществляющие деятельность в области промышленной безопасности опасных производственных объектов на территории Российской Федерации.

Основные понятия:

В целях настоящего Федерального закона используются следующие понятия:

- промышленная безопасность опасных производственных объектов (далее - промышленная безопасность) - состояние защищенности жизненно важных интересов личности и общества от аварий на опасных производственных объектах и последствий указанных аварий;

- авария - разрушение сооружений и (или) технических устройств, применяемых на опасном производственном объекте, неконтролируемые взрыв и (или) выброс опасных веществ;

- инцидент - отказ или повреждение технических устройств, применяемых на опасном производственном объекте, отклонение от режима технологического процесса, нарушение положений настоящего Федерального закона, других федеральных законов и иных нормативных правовых актов Российской Федерации, а также нормативных технических документов, устанавливающих правила ведения работ на опасном производственном объекте.

Опасные производственные объекты

1. Опасными производственными объектами в соответствии с настоящим Федеральным законом являются предприятия или их цехи, участки, площадки, а также иные производственные объекты, указанные в Приложении 1 к настоящему Федеральному закону.

2. Опасные производственные объекты подлежат регистрации в государственном реестре в порядке, устанавливаемом Правительством Российской Федерации.

Требования промышленной безопасности

1. Требования промышленной безопасности - условия, запреты, ограничения и другие обязательные требования, содержащиеся в настоящем Федеральном законе, других федеральных законах и иных нормативных правовых актах Российской Федерации, а также в нормативных технических документах, которые принимаются в установленном порядке и соблюдение которых обеспечивает промышленную безопасность.

2. Требования промышленной безопасности должны соответствовать нормам в области защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций, санитарно-эпидемиологического благополучия населения, охраны окружающей природной среды, экологической безопасности, пожарной безопасности, охраны труда, строительства, а также требованиям государственных стандартов.

Технические устройства, применяемые на опасном производственном объекте

1. Технические устройства, в том числе иностранного производства, применяемые на опасном производственном объекте, подлежат сертификации на соответствие требованиям промышленной безопасности в установленном законодательством Российской Федерации порядке. Перечень технических устройств, применяемых на опасных производственных объектах и подлежащих сертификации, разрабатывается и утверждается в порядке, определяемом Правительством Российской Федерации.

2. Сертификацию технических устройств, применяемых на опасных производственных объектах, проводят организации, аккредитованные федеральным органом исполнительной власти в области промышленной безопасности. (в ред. Федерального закона от 22.08.2004 N 122-ФЗ).

3. Правила проведения сертификации устанавливаются федеральным органом исполнительной власти в области стандартизации, метрологии и сертификации совместно с федеральным органом исполнительной власти в области промышленной безопасности. (в ред. Федерального закона от 22.08.2004 N 122-ФЗ).

4. Общий порядок и условия применения технических устройств на опасном производственном объекте устанавливаются Правительством Российской Федерации.

5. Технические устройства, применяемые на опасном производственном объекте, в процессе эксплуатации подлежат экспертизе промышленной безопасности в установленном порядке.

Требования промышленной безопасности к эксплуатации опасного производственного объекта

1. Организация, эксплуатирующая опасный производственный объект, обязана:

- соблюдать положения настоящего Федерального закона, других федеральных законов и иных нормативных правовых актов Российской Федерации, а также нормативных технических документов в области промышленной безопасности;

иметь лицензию на осуществление конкретного вида деятельности в области промышленной безопасности, подлежащего лицензированию в соответствии с законодательством Российской Федерации; (в ред. Федерального закона от 10.01.2003 N 15-ФЗ)

- обеспечивать укомплектованность штата работников опасного производственного объекта в соответствии с установленными требованиями;

- допускать к работе на опасном производственном объекте лиц, удовлетворяющих соответствующим квалификационным требованиям и не имеющих медицинских противопоказаний к указанной работе;
- обеспечивать проведение подготовки и аттестации работников в области промышленной безопасности;
- иметь на опасном производственном объекте нормативные правовые акты и нормативные технические документы, устанавливающие правила ведения работ на опасном производственном объекте;
- организовывать и осуществлять производственный контроль за соблюдением требований промышленной безопасности;
- обеспечивать наличие и функционирование необходимых приборов и систем контроля за производственными процессами в соответствии с установленными требованиями;
- обеспечивать проведение экспертизы промышленной безопасности зданий, а также проводить диагностику, испытания, освидетельствование сооружений и технических устройств, применяемых на опасном производственном объекте, в установленные сроки и по предъявляемому в установленном порядке предписанию федерального органа исполнительной власти в области промышленной безопасности, или его территориального органа; (в ред. Федерального закона от 22.08.2004 N 122-ФЗ)
- предотвращать проникновение на опасный производственный объект посторонних лиц;
- обеспечивать выполнение требований промышленной безопасности к хранению опасных веществ;
- разрабатывать декларацию промышленной безопасности;
- заключать договор страхования риска ответственности за причинение вреда при эксплуатации опасного производственного объекта;
- выполнять распоряжения и предписания федерального органа исполнительной власти в области промышленной безопасности, его территориальных органов и должностных лиц, отдаваемые ими в соответствии с полномочиями; (в ред. Федерального закона от 22.08.2004 N 122-ФЗ)
- приостанавливать эксплуатацию опасного производственного объекта самостоятельно или по решению суда в случае аварии или инцидента на опасном производственном объекте, а также в случае обнаружения вновь открывшихся обстоятельств, влияющих на промышленную безопасность; (в ред. Федеральных законов от 22.08.2004 N 122-ФЗ, от 09.05.2005 N 45-ФЗ)
- осуществлять мероприятия по локализации и ликвидации последствий аварий на опасном производственном объекте, оказывать содействие государственным органам в расследовании причин аварии;

- принимать участие в техническом расследовании причин аварии на опасном производственном объекте, принимать меры по устранению указанных причин и профилактике подобных аварий;

- анализировать причины возникновения инцидента на опасном производственном объекте, принимать меры по устранению указанных причин и профилактике подобных инцидентов;

- своевременно информировать в установленном порядке федеральный орган исполнительной власти в области промышленной безопасности, его территориальные органы, а также иные органы государственной власти, органы местного самоуправления и население об аварии на опасном производственном объекте; (в ред. Федерального закона от 22.08.2004 N 122-ФЗ)

- принимать меры по защите жизни и здоровья работников в случае аварии на опасном производственном объекте;

- вести учет аварий и инцидентов на опасном производственном объекте;

- представлять в федеральный орган исполнительной власти в области промышленной безопасности, или в его территориальный орган информацию о количестве аварий и инцидентов, причинах их возникновения и принятых мерах. (в ред. Федерального закона от 22.08.2004 N 122-ФЗ).

2. Работники опасного производственного объекта обязаны:

- соблюдать требования нормативных правовых актов и нормативных технических документов, устанавливающих правила ведения работ на опасном производственном объекте и порядок действий в случае аварии или инцидента на опасном производственном объекте;

- проходить подготовку и аттестацию в области промышленной безопасности;

- незамедлительно ставить в известность своего непосредственного руководителя или в установленном порядке других должностных лиц об аварии или инциденте на опасном производственном объекте;

- в установленном порядке приостанавливать работу в случае аварии или инцидента на опасном производственном объекте;

- в установленном порядке участвовать в проведении работ по локализации аварии на опасном производственном объекте.

Система экспертизы промышленной безопасности потенциально-опасных производств

1. Экспертизе промышленной безопасности подлежат:

- проектная документация на строительство, расширение, реконструкцию, техническое перевооружение, консервацию и ликвидацию опасного производственного объекта;

- технические устройства, применяемые на опасном производственном объекте;
- здания и сооружения на опасном производственном объекте;
- декларация промышленной безопасности и иные документы, связанные с эксплуатацией опасного производственного объекта.

2. Экспертизу промышленной безопасности проводят организации, имеющие лицензию на проведение указанной экспертизы, за счет средств организации, предполагающей эксплуатацию опасного производственного объекта или эксплуатирующей его.

3. Результатом осуществления экспертизы промышленной безопасности является заключение.

4. Заключение экспертизы промышленной безопасности, представленное в федеральный орган исполнительной власти в области промышленной безопасности, или в его территориальный орган, рассматривается и утверждается ими в установленном порядке. (в ред. Федерального закона от 22.08.2004 N 122-ФЗ)

5. Порядок осуществления экспертизы промышленной безопасности и требования к оформлению заключения экспертизы промышленной безопасности устанавливаются федеральным органом исполнительной власти в области промышленной безопасности. (в ред. Федерального закона от 22.08.2004 N 122-ФЗ)

6. Экспертиза промышленной безопасности может осуществляться одновременно с осуществлением других экспертиз в установленном порядке.

Лекция 2 - Понятие надежности технологического оборудования.

Система обеспечения надежности оборудования на пищевых предприятиях. Техническая диагностика. Основные понятия и определения. Цели и задачи технической диагностики в системе экспертизы промышленной безопасности опасных производственных объектов пищевых производств.

Методы и средства технической диагностики

1 Понятие надежности технологического оборудования.

Надежность - одно из свойств качества продукции. Это свойство изделий проявляется в процессе использования изделий по назначению и рассматривается нередко как свойство изделия сохранять качество (значения основных эксплуатационных и потребительных характеристик) во времени.

Терминология, используемая в теории надежности, регламентирована ГОСТ 27.002 "Надежность в технике. Термины и определения". Под надежностью понимают "свойство объекта сохранять во времени в установленных пре-

делах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, ремонта, хранения и транспортирования". Надежность является комплексным свойством, которое в зависимости от назначения объекта и условий эксплуатации может включать свойства безотказности, долговечности, ремонтпригодности и сохраняемости. В зависимости от вида изделия его надежность может включать только часть составных свойств надежности. Так, например, если изделие не подлежит ремонту, то для таких изделий в свойство надежности не включаются долговечность и ремонтпригодность, для них важно только свойство безотказности, а подлежащих длительному хранению - еще и свойство сохраняемости. Безотказность - свойство объекта непрерывно сохранять работоспособное состояние в течение некоторого времени или некоторой наработки. Наработка - это временное понятие, служащее для количественной оценки надежности объекта. Она может измеряться в часах, числах циклов нагружений, километрах пробега и других величинах, определяемых специфическими особенностями изделия.

Долговечность - свойство объекта сохранять работоспособное состояние изделия до наступления предельного состояния при установленной системе технического обслуживания и ремонта.

Ремонтпригодность - свойство объекта, заключающееся в приспособленности к предупреждению и обнаружению предотказных состояний, отказов и повреждений, поддержанию и восстановлению работоспособного состояния путем проведения технического обслуживания и ремонта.

Сохраняемость - свойство объекта сохранять значения показателей безотказности, долговечности и ремонтпригодности в течение и после хранения и транспортирования.

С позиций надежности различают следующие состояния объекта: исправное, неисправное, работоспособное, неработоспособное, предельное. Исправным называется такое состояние объекта, при котором он соответствует всем требованиям нормативно-технической и конструкторской документации. Если имеет место несоответствие хотя бы одному из требований, то такое состояние называется неисправным.

Признаком неисправного состояния является наличие или появление технического дефекта или повреждения при эксплуатации.

Работоспособным называется такое состояние объекта, при котором он способен выполнять заданные функции, соответствующие требованиям нормативно-технической и конструкторской документации.

Если изделие перешло в состояние, при котором оно не способно выполнять заданные функции, то такое состояние называется неработоспособным.

Переход объекта из работоспособного в неработоспособное состояние происходит при наступлении события, называемого отказом.

По характеру утраты работоспособности отказы могут быть внезапными и постепенными. При этом внезапность отказа при эксплуатации аппарата ввиду скрытности процесса разрушения еще не означает, что такой отказ может быть квалифицирован как внезапный. Спецификой внезапного отказа является независимость момента его наступления от длительности предыдущей работы элемента. К внезапным отказам можно отнести потерю устойчивости, хрупкое разрушение и другие случаи потери работоспособности. К постепенным отказам относятся большинство отказов элементов машин и аппаратов. Они связаны с процессами износа, общей коррозии, усталости и ползучести материалов.

Неисправное изделие может быть работоспособным. Например, повреждение окраски автомобиля означает его неисправное состояние, но такой автомобиль работоспособен.

Неработоспособное изделие является одновременно и неисправным.

Предельным называется состояние объекта, при котором его дальнейшее применение по назначению недопустимо или нецелесообразно, либо восстановление его работоспособного состояния невозможно или нецелесообразно. Предельное состояние наступает после исчерпания ресурса. После наступления предельного состояния изделие списывается или направляется в ремонт.

В зависимости от того, предусмотрены или не предусмотрены нормативно-технической и конструкторской документацией для данного изделия операции технического обслуживания, изделия подразделяются на обслуживаемые и необслуживаемые, а в зависимости от того, предусмотрены или нет операции ремонта - на ремонтируемые и неремонтируемые. В зависимости от того, возможно или невозможно у данного изделия восстановление работоспособного состояния в рассматриваемой ситуации и предусмотрено или не предусмотрено такое восстановление в нормативно-технической и конструкторской документации, они подразделяются на восстанавливаемые и невосстанавливаемые. Одно и то же изделие может быть как восстанавливаемым так и невосстанавливаемым, в зависимости от его целевого назначения и условий эксплуатации.

Для количественной характеристики каждого из свойств надежности отдельного объекта служат такие временные понятия, как наработка, наработка до отказа, наработка между отказами, ресурс, срок службы, срок сохраняемости, время (трудоемкость) восстановления. Значения этих характеристик, обычно полученные по экспериментальным данным, служат основой для последующего вычисления оценок таких показателей надежности, как средняя наработка на отказ, средний ресурс и т.д. Нарботка до отказа исчисляется от начала эксплуатации объекта до возникновения первого отказа, наработка меж-

ду отказами исчисляется от окончания восстановления его работоспособного состояния после отказа до возникновения следующего отказа.

Ресурс исчисляется как суммарная наработка объекта от начала его эксплуатации или ее возникновения после ремонта до перехода в предельное состояние. Срок службы выражается в единицах календарной продолжительности и исчисляется так же, как и ресурс: от начала эксплуатации объекта или ее возобновления до перехода в предельное состояние. Таким образом, отличие ресурса и срока службы состоит только в единицах измерения.

Срок сохраняемости исчисляется как календарная продолжительность хранения и транспортирования объекта, в течение и после которой значения показателей надежности сохраняются в установленных пределах.

Время восстановления характеризует календарную продолжительность операций по восстановлению работоспособного состояния объекта или продолжительность операций по техническому обслуживанию и ремонту.

2 Система обеспечения надежности технологического оборудования на пищевых предприятиях

Если, в 30-40-х годах прошедшего столетия более остро стояли вопросы обеспечения надежности и прочности строительных конструкций, то в последние десятилетия важное значение получили проблемы прочностной надежности объектов машиностроения. Наука о прочностной надежности конструктивных элементов аппаратов находится в стадии становления.

Проблема обеспечения надежности связана со всеми этапами изготовления оборудования и полным периодом его эксплуатации. Надежность формируется еще на стадии исследований, конструкторских расчетов и проектирования оборудования и обеспечивается в процессе его изготовления на основе правильного выбора технологии производства и контроля за качеством изготовления. Надежность поддерживается также соблюдением установленных требований к эксплуатации, технологическому обслуживанию и ремонту оборудования.

С позиции надежности конструктивных элементов оборудования, работающего под внутренним давлением, одним из важнейших свойств является обеспечение и поддержание его работоспособного состояния.

Работоспособное состояние (работоспособность по ГОСТ 27.002) оборудования - это такое состояние, при котором значения всех параметров, характеризующих способность выполнять заданные функции, соответствуют требованиям нормативно-технической документации.

3 Техническая диагностика. Основные понятия и определения.

Цели и задачи технической диагностики в системе экспертизы промышленной безопасности опасных производственных объектов пищевых производств. Методы и средства технической диагностики

Техническая диагностика – теория, методы и средства определения технического состояния объекта.

Техническое диагностирование - определение технического состояния объекта.

Техническое состояние объекта - состояние, которое характеризуется в определенный момент времени, при определенных условиях внешней среды значениями параметров, установленных в технической документации на объект.

Система технического диагностирования – совокупность средств, объекта и исполнителей, необходимая для проведения диагностирования (контроля) по правилам, отраженным в технической документации.

Диагностическое обеспечение – комплекс взаимоувязанных правил, методов, алгоритмов и средств. Необходимых для осуществления диагностирования на всех этапах жизненного цикла объекта.

Программа технического диагностирования (контроля технического состояния) совокупность предписаний, определяющих последовательность действий при диагностировании (контроле).

Основными задачами диагностики технического состояния являются контроль и оценка качества изделия. В задачу контроля качества входят измерение размеров, определение свойств, проверка сплошности и однородности материала и конструктивного элемента с обязательной проверкой соответствия материала и изделия регламентированным требованиям НТД.

Цель технической диагностики при изготовлении аппарата сводится к обнаружению дефектов и к постановке задачи по контролю и оценке качества материала в исходном состоянии. Неразрушающие методы контроля служат инструментом для улучшения качества конструирования и технологических процессов изготовления аппаратов.

Методы диагностики технического состояния можно разделить на два принципиально отличающихся типа: разрушающие и неразрушающие. К методам разрушающего контроля обычно относят предпусковые или периодические гидравлические испытания аппаратов, а также механические испытания образцов металла, вырезанных из их элементов. При оценке технического состояния длительно проработавших аппаратов неразрушающие методы контроля обеспечивают получение наиболее существенной информации для прогнозирования ресурса их безопасной эксплуатации. Неразрушающие методы контроля пред-

полагают применение физических методов контроля качества, не влияющих на работоспособность конструкции аппарата. Средства технической диагностики (контроля технического состояния) – аппаратура, методы и программы, посредством которых осуществляется диагностирование (контроль технического состояния).

Лекция 3 - Основы теории механики разрушения. Основные понятия и определения. Виды и типы разрушений. Примеры разрушений. Основные механизмы разрушений. Виды и типы дефектов. Основные понятия, определения и классификация дефектов. Сварные соединения, дефекты сварных соединений

1 Основы теории механики разрушения. Основные понятия и определения. Виды и типы разрушений. Примеры разрушений. Основные механизмы разрушений.

Процесс деформирования любых твердых тел начинается с упругой деформации. Простота законов, устанавливающих однозначную связь между силами (напряжениями) и упругими, деформациями (исчезающими после снятия нагрузки), способствовала тому, что теория упругости приобрела большую роль в механике твердых деформируемых тел.

Название "пластическая деформация" относится к остаточной деформации сдвига в кристаллических телах и прежде всего в металлах. Она вызывается действием касательных напряжений.

Механизм разрушения и долговечность материала определяются постепенным накоплением локальных дефектов -деформаций и трещин в материале. Локальные дефекты материала, создавая локальные перенапряжения, становятся центрами разрушения.

Природа происхождения дефектов различна. Можно различать дефекты атомного строения (вакансии, дислокации), без которых реальных материалов не существует. Главным из них, снижающим теоретическую прочность металлических материалов до уровня реальной, является дефект строения кристаллической решетки, называемой дислокацией.

Именно дислокации являются основной причиной пластической деформации кристаллических тел (ковки, штамповки и прокатки). Начавшаяся пластическая деформация, сопровождающаяся в конечном счете изменением формы и размеров объекта, резко затормаживает рост напряжений, которые не могут достигнуть теоретического уровня в процессе всей деформации вплоть до разрушения.

В инженерных расчетах на прочность, при анализе причин и характера разрушения объектов сложных технических систем традиционно рассматриваются дефекты, имеющие металлургическую природу (раковина, усадочные трещины) или технологическое происхождение (сварочные, закалочные, ковочные трещины), а также дефекты (особенно опасны трещиноподобные дефекты), которые могут появиться или развиваться в результате длительной эксплуатации аппарата. Доказано, что под воздействием коррозионно-активной среды, циклического нагружения и других факторов дефекты могут увеличиваться в размерах и тогда их развитие переходит из стадии стабильного (контролируемого) в стадию спонтанного разрушения. Поэтому неслучайно, что в практике эксплуатации сварных конструкций отмечаются случаи их преждевременного разрушения.

Разрушение - один из видов нарушения прочности.

Нарушение прочности конструкции или его отдельного элемента может происходить в результате чрезмерной (упругой или пластической) деформации, потери устойчивости, разрушения.

Разрушение может быть частичным или полным. При частичном разрушении в теле возникают повреждения материала в виде отдельных трещин или в виде распределенной по объему дефектности материала, выражающейся в изменении (в неблагоприятную для прочности сторону) его механических свойств. При полном разрушении происходит разделение тела на части.

Виды разрушения:

1. Пластическое. Происходит после существенной пластической деформации, протекающей по всему (или почти по всему) объему тела.

2. Хрупкое. Происходит в результате распространения магистральной трещины после пластической деформации, сосредоточенной в области действия механизма разрушения.

3. Квазихрупкое. Переходный вид разрушения.

Хрупкое и вязкое разрушение в изломе выглядят по-разному. Полностью хрупкий разрыв распространяется в кристаллических телах вдоль простых кристаллографических плоскостей (как правило, с малыми индексами) и дает гладкую поверхность излома, состоящую из плоских граней расколотых кристаллических зерен. Последние обладают высокой отражающей способностью, что создает металлический блеск. Такой вид разрушения будем называть отрывом.

В месте отрыва заметной остаточной деформации металла не наблюдается. Отрыв вызывается действием нормальных напряжений.

Пластическое разрушение сопровождается пластической деформацией, о чем свидетельствуют утонение образца и неровная волокнистая поверхность

излома. При пластическом разрыве кроме нормальных напряжений в разрушении участвуют и касательные, так как пластическая деформация вызывается действием только касательных напряжений. В тех случаях, когда разрушение происходит под действием только нормальных или только касательных напряжений, внешним признаком может служить вид разрушения: разная ориентация излома относительно направления главных напряжений в образце. Наглядно это проявляется при разрушении кручением пластичной и хрупкой сталей.

Вследствие указанных причин хрупкие материалы для изготовления несущих элементов конструкций, работающих на растяжение, в машиностроении не пригодны.

Квазихрупкое разрушение предполагает наличие пластической зоны перед краем трещины и наклепанного материала у поверхности трещины. Остальной, и значительно больший по величине, объем тела находится при этом в упругом состоянии.

4. Усталостное. Происходит при циклическом (повторном) нагружении в результате накопления необратимых повреждений. Излом макроскопически хрупкий, его поверхность имеет выраженную кристалличность. Этот вид разрушения считается наиболее опасным, так как реализуется без макроскопической деформации и высоких скоростей распространения трещины.

Усталость характеризуется номинальными напряжениями предела текучести; повторное нагружение макроскопически происходит в упругой области, поэтому число циклов до разрушения велико.

Малоцикловая усталость (или иначе повторно-статическое нагружение) характеризуется номинальными напряжениями, большими пределами текучести; при каждом цикле нагружения возникает макроскопическая пластическая деформация; число циклов до разрушения сравнительно невелико.

5. Деформация и разрушение при ползучести. Такой механизм разрушения реализуется при повышенных температурах эксплуатации аппарата.

6. Коррозионное. Происходит от совместного воздействия коррозионно-активной рабочей среды и внутреннего давления в аппаратах. Особенно возрастает коррозионное разрушение в связи с усталостным и коррозионно-механическим воздействием.

2 Виды и типы дефектов. Основные понятия, определения и классификация дефектов. Сварные соединения, Дефекты сварных соединений.

В соответствии с ГОСТ 17102 термин дефект определяют как каждое отдельное несоответствие продукции требованиям, установленным нормативной документацией.

Главной причиной появления дефекта является отклонение рабочего параметра от его нормативного значения задаваемого, как правило, обоснованным допуском. То есть любое несоответствие контролируемого параметра качества регламентированным нормам можно рассматривать как дефект. Выход параметра за пределы регламентированного допуска обусловлен целым рядом случайных и неслучайных факторов. Дефект, не выявленный при изготовлении аппарата, является потенциальным очагом отказа, а вероятность отказа зависит от размеров дефекта, условий его подрастания при эксплуатации и степени опасности. При оценке степени влияния дефекта на работоспособность аппарата приходится учитывать условия его работы, характер дефекта (величину, местонахождение) и другие факторы. Так, при оценке влияния на работоспособность аппарата дефектов металла обечаек (днищ), обусловленных металлургическими, а также чисто внешними (механическими) причинами, учитывают такие факторы: режим эксплуатации (по величине и характеру распределения нагрузок, температурные условия); физико-химические свойства рабочего продукта; уровень действующих напряжений; возможность и характер перегрузок; ориентация дефекта в конструктивном элементе; степень концентрации напряжений; чувствительность материала к концентратору напряжений.

Дефекты конструктивных элементов обечаек (днищ и т.д.) аппаратов следует рассматривать с двух самостоятельных позиций, обусловленных некачественным металлом, либо нарушением внешней и внутренней целостности поверхности стенки обечаек (днищ) аппарата.

Все дефекты стенки аппаратов по их происхождению можно разделить на три группы (таблица 1).

Таблица 1 - Классификация дефектов

Дефект	Описание и геометрическая характеристика дефекта
1	2
Трещина	Металлургического происхождения Узкий разрыв металла, направленный в глубь металла под углом, близким к 90°. Направление трещины на поверхности аппарата (трубы) может быть произвольное. Трещины подразделяются на сквозные и несквозные.
Расслоение	Нарушение сплошности металла, направленное параллельно плоскости листового проката. Более присуще толстостенному прокату свыше 15-20 мм

Закат	Нарушение сплошности поверхности в направлении прокатки по всей длине обечайки или на значительной ее части
Плена	Отслоение металла различной толщины и размера, чаще всего языкообразной формы, вытянутое в направлении прокатки и соединенное с основным металлом одной стороной. Нижняя поверхность плены, а также образованное ею углубление, окислены.
Вмятина в прокате	Отдельное местное углубление различной величины и формы, образовавшееся от вдавливания валками неудаленной окалины, металлической крошки или от случайных ударов
Рванина	Раскрытый глубокий окисленный разрыв поверхности металла разнообразного очертания, расположенный поперек или под углом к направлению прокатки и образующийся при горячей прокатке несовершенной калибровки валков, пониженной пластичности или пережоге металла
Риска	Продольная канавка, образовавшаяся от царапанья поверхности металла наварями и другими выступами на прокатном инструменте

Механические повреждения

1	2
Царапина	<p>Механические повреждения</p> <p>Повреждение наружной поверхности металла в результате однократного динамического взаимодействия поверхности с перемещающимся относительно нее твердым телом ("индентором"), имеющим острые края. При образовании царапины контактные напряжения достигают разрушающих значений. Форма поперечного сечения царапины близка к треугольной или трапециевидной и может изменяться по длине. Направление относительно продольной оси аппарата (трубы) произвольное. Форма царапины на поверхности обечаек корпуса аппарата (трубопровода) может быть прямолинейной, криволинейной и полигональной</p>
Задир	<p>Повреждение с теми же характеристиками, что и у царапины. В отличие от царапины задир имеет зазубренные края. Задир характеризуется адгезионным отрыве" при котором прочность фрикционных связей между поверхностью металла и царапающим телом выше прочности основного материала стенки аппарата</p>
Забоина	<p>Повреждение, проявляющееся в результате динамического взаимодействия поверхности аппарата (трубы) с твердым телом,</p>

Вмятина	<p>имеющим острые края, без тангенциального перемещения. В зависимости от характера и силы удара забоина может иметь различную форму, площадь и глубину (до 4 мм). В стенке обечайки аппарата в момент удара возникают значительные напряжения изгиба. Площадь забоины условно равна произведению ее длины (максимального линейного размера забоины в плане) на ширину (наибольший размер, перпендикулярный длине забоины)</p> <p>Повреждение в результате статического или динамического взаимодействия поверхности аппарата (трубопровода) с твердым телом, не имеющим острых кромок. Вмятина характеризуется плавным сопряжением поверхностей, образующих углубление, с поверхностью обечайки. Характерным параметром вмятины является ее глубина, определяемая как максимальное радиальное смещение поверхности вмятины от своего первоначального (номинального) положения</p>
---------	--

Дефекты сварных соединений

1	2
Трещина (технологическая трещина)	<p>Дефекты сварных соединений</p> <p>Наиболее опасный дефект сварного соединения в виде узкого разрыва металла, направленного под углом примерно 90° к поверхности стенки обечайки (днища) аппарата. Трещины могут образовываться в шве, зоне термического влияния и по границе сплавления</p>
Пора	<p>Дефект металла сварного шва обычно в виде округлых не сплошностей (пустот)</p>
Шлаковое включение	<p>Дефект металла сварного шва в виде заполненной шлаком несплошности металла различной формы</p>
Непровар	<p>Дефект сварного шва, заключающийся в отсутствии сплавления между металлом шва и основным металлом или (при многослойной сварке) между отдельными слоями шва</p>
Подрез	<p>Дефект сварного соединения, представляющий собой углубление (канавку); в основном металле, расположенное вдоль границы шва</p>
Смещение	<p>Неправильное положение кромок друг относительно друга, когда плоскости, касательные к поверхности стыкуемых деталей, не совпадают</p>

Сварные соединения аппаратов можно рассматривать как наиболее заселенные дефектами. К дефектам сварных соединений (таблица 2) относят разного рода отклонения от установленных норм и технических требований, которые уменьшают прочность и эксплуатационную надежность сварных соединений и могут привести к разрушению всей конструкции. Наиболее часто встречаются дефекты формы и размеров сварных швов, дефекты макро- и микроструктуры, деформации и коробление сварных конструкций.

Таблица 2 – Дефекты сварных соединений

Вид дефекта	Ручная электродуговая сварка	Автоматическая и полуавтоматическая сварка
1	2	3
Непостоянные по длине, ширине и высоте швы	Неравномерный зазор между кромками свариваемых элементов; неравномерное перемещение электрода; несоблюдение установленного режима сварки; низкая квалификация сварщика	Неравномерное вращение обечаек, трубы, изменение скорости подачи сварочной проволоки; изменение зенита в процессе сварки; изменение силы сварочного тока и напряжения в процессе сварки; наличие "губ" и выхватов на стыке; увеличенный вылет сварочной проволоки; несоответствие грануляции флюса
Грубая чешуйчатость шва	Низкое качество электродов, неумение манипулировать электродом; неправильно подобранные силы тока и скорость сварки	Увеличенный вылет сварочной проволоки; большая толщина флюсовой подушки; смещение зенита; увеличение угла наклона сварочной проволоки
Подрезы	Применение тока чрезмерно большой силы, сварка длинной дугой, низкая квалификация сварщика, неумение манипулировать электродом; сварка на одну кромку	Смещение сварочной головки и мундштука на одну кромку; наличие "губ" на стыке; большая сила тока и малое напряжение сварочной дуги; износ наконечника
Трещины	Напряжения, возникающие в металле вследствие неравномерного нагрева и охлаждения, усадки; способность	Напряжения, возникающие в металле вследствие неравномерного нагрева и охлаждения, усадки; способность высокоуглеродистых и легированных со

	<p>высокоуглеродистых ($C \geq 0,25\%$) и легированных со стойкими карбидообразующими элементами (Cr, Mo, V, W - содержащих) сталей подвергаться закалке при охлаждении после сварки; повышенное содержание вредных примесей в металле (серы, фосфора); попадание влаги на сварной шов при сварке; нарушение технологии сварки</p>	<p>стойкими карбидообразующими элементами (Cr, Mo, V, W - содержащих) сталей подвергаться закалке при охлаждении после сварки; повышенное содержание вредных примесей (серы, фосфора) в металле; попадание влаги на сварной шов при сварке</p>
Непровары	<p>Недостаточный угол скоса кромок; неудовлетворительная зачистка кромок, отсутствие зазора, большое притупление, смещение кромок; недостаточный или избыточный ток; слишком быстрое перемещение электрода к одной кромке; сварка длинной дугой; изменение силы тока при сварке</p>	<p>Недостаточная сила тока, избыточное напряжение дуги; смещение сварочной головки на одну кромку; неравномерное вращение обечаек и нестабильная подача сварочной проволоки; сварка электродами "углом вперед", смещение электрода с зенита вперед</p>
Поры	<p>Повышенное содержание влаги в обмазке электрода; окалина и ржавчина на кромках стыка; влага на стыке; несоблюдение установленного режима сварки; сварка длинной дугой; появление "козырьков" при сварке в обмазке электрода; выдувание сварочной дуги ветром; несоответствие химического состава металла электрода или присадочного материала</p>	<p>Наличие инородных тел в стыке; малая толщина флюсовой подушки и выдувание ее ветром; увеличение вылета сварочной проволоки; ржавчина на проволоке; флюс крупного гранулометрического состава; попадание влаги на сварочную ванну; влажная поверхность стыка; несоответствие химического состава проволоки или флюса</p>

Шлаковые включения	Неудовлетворительная зачистка кромок предыдущего слоя; неумений манипулировать электродом; неравномерное плавление электродной обмазки; загрязнение основного и присадного металла окислами; сварка электродами большого диаметра в потолочной части стыка; изменение угла наклона электрода к трубе	Неудовлетворительная зачистка кромок предыдущего слоя от шлака; смещение сварочной головки на одну кромку; смещение зенита вперед; увеличение угла наклона и вылета сварочной проволоки; малая сила тока и большое напряжение сварочной дуги; отсутствие зазора; местное смещение кромок; увеличение флюсовой подушки, сварочной ванны и наличие во флюсе инородных тел; неравномерное вращение трубы и подача сварочной проволоки
Прожоги	Большая сила тока; недостаточная толщина металла; малая величина притупления кромок, большой зазор (выхваты) и малая толщина предыдущего слоя; резкое изменение силы сварочного тока при сварке; большая сила тока при малой скорости сварки	Большая сила тока, недостаточная толщина металла; малая величина притупления кромок, большой зазор (выхваты) и малая толщина предыдущего слоя; резкое изменение силы сварочного тока при малом напряжении; недостаточная скорость вращения трубы; уменьшение угла наклона и вылета сварочной проволоки; смещение зенита от себя; увеличение флюсовой подушки
Пережог	Значительная окислительная среда; большая длина дуги; неправильно подобранная скорость сварки (по отношению к силе тока), повышенная интенсивность режима сварки; увеличение толщины наплавки слоя более чем на 4-5 мм	Значительная окислительная среда; большая длина дуги; неправильно подобранная скорость сварки (по отношению к силе тока), интенсивность режима сварки; увеличение толщины наплавки слоя более чем на 6-7 мм

Форма и размеры швов установлены стандартами, правилами и нормами, техническими условиями, их указывают на рабочих чертежах. При сварке плавлением наиболее часто встречаются такие дефекты формы и размеров сварных соединений, как неравномерность шва, его неравномерная ширина и высота, крупная чешуйчатость, бугристость, седловины.

**Лекция 4 – Неразрушающие методы контроля. Основные понятия и определения неразрушающего контроля при изготовлении, монтаже и эксплуатации. Визуальный и измерительный контроль (ВИК).
Физические основы. Понятия и определения**

1. Неразрушающие методы контроля. Основные понятия и определения неразрушающего контроля при изготовлении, монтаже и эксплуатации.

В настоящее время для обнаружения и идентификации дефектов используется широкий спектр методов неразрушающего контроля (НК). (Современная классификация методов НК включает девять видов контроля: электрический, магнитный, вихретоковый, радиоволновой, тепловой, визуально-измерительный, радиационный, акустический и проникающими веществами). По причинам конструктивного и эксплуатационного характера при диагностировании сварных аппаратов используются, в основном, следующие методы НК: магнитный контроль; капиллярный контроль, акустический контроль (ультразвуковая дефектоскопия и толщинометрия, метод акустической эмиссии), радиационные методы (рентгеновский, гамма- и бета-излучением). При этом следует отметить, что радиационные методы применяются преимущественно на стадии изготовления аппаратов, а использование магнитного метода носит эпизодический характер. Руководящие документы по оценке текущего состояния оборудования пищевых производств предписывают использование в качестве основных методов ультразвуковой и капиллярной дефектоскопии, а остальные методы рассматривают как дополнительные.

Методы НК основаны на использовании физических явлений для обнаружения и определения параметров дефекта. В свою очередь неразрушающие методы контроля подразделяются на пассивные (интегральные) и активные (локальные).

К активным методам НК относятся методы, в которых измеряется изменение возбуждаемого физического поля, а к пассивным методам относятся методы, использующие свойства физического поля, возбуждаемого самым контролируемым объектом.

Локальные методы позволяют обнаружить дефект лишь на ограниченной площади, а интегральные методы способны проконтролировать весь крупногабаритный объект в целом.

Активными методами являются: визуальный и измерительный контроль, ультразвуковая дефектоскопия, магнитные, радиографические капиллярные, метод вихревых токов, электрический.

К пассивным относятся: тепловизионный, виброакустические методы и акустической эмиссии.

2. Визуальный и измерительный контроль (ВИК). Физические основы. Понятия и определения.

Визуальный осмотр и при необходимости выполнения текущего контроля измерениями являются необходимыми и обязательными условиями контроля качества как при изготовлении, так и при эксплуатации технологического оборудования, работающего под внутренним давлением.

При изготовлении сварных сосудов и аппаратов производится контроль пооперационный и контроль готовой продукции. ВИК является примером контроля всего процесса изготовления. В соответствии с требованиями ОСТ 26-291-94 обязательному визуальному контролю и измерению подлежат все сварные швы в доступных местах с двух сторон по всей протяженности шва.

В соответствии с "Правилами устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением" ВИК относится к основным видам НК металла и сварных соединений при изготовлении, реконструкции, наладке, монтаже, ремонте, техническом диагностировании и эксплуатации сосудов, работающих под избыточным давлением.

Так, при техническом освидетельствовании сосудов после монтажа, до пуска в работу и периодически в процессе эксплуатации наружный и внутренний осмотры сосудов являются регламентируемым методом контроля.

При первичном освидетельствовании при этом необходимо проверить, что сосуд установлен и оборудован в соответствии с "Правилами", а также что сосуд и его элементы не имеют повреждений. При периодических и внеочередных освидетельствованиях установить исправность сосуда и возможность его дальнейшей работы.

ВИК подлежат все сварные соединения сосудов и их элементов с целью выявления в них следующих дефектов:

- трещин всех видов и направлений;
- свищей и пористости наружной поверхности шва;
- подрезов;
- наплывов, прожогов, незаплавленных кратеров;
- смещения и совместного увода кромок свариваемых элементов свыше норм, предусмотренных настоящими Правилами;
- непрямолинейность соединяемых элементов;
- несоответствие формы и размеров швов требованиям технической документации.

При диагностировании технического состояния длительно проработавших аппаратов с целью оценки остаточного ресурса проведения ВИК имеет весьма важное значение для выявления наиболее экономичным образом всех факторов, влияющих на безопасность эксплуатации.

ВИК проводится после анализа технической документации на аппарат, который должен предусматривать получение следующих сведений:

- о наличии паспорта и правильности его заполнения;
- об изготовлении и монтаже сосуда, в том числе название завода-изготовителя, даты изготовления и ввода в эксплуатацию;
- об основных технических параметрах сосуда и о материале (марка стали, химический состав, механические свойства и др.);
- об объеме и виде неразрушающего контроля при изготовлении сосуда;
- перечень документов, подтверждающих изготовление сосуда в соответствии с требованиями нормативных документов (сертификатов, актов испытаний и т.д.);
- об отклонениях от регламента, имевших место при эксплуатации: сосуда (нарушениях эксплуатационных режимов, аварии и др.);
- о проведенных ремонтах (по какой причине и когда проводились, характеристика дефектов, технология их ремонта и др.).

При внешнем и внутреннем осмотре сварных сосудов и аппаратов необходимо фиксировать следующие поверхностные дефекты и повреждения:

- наличие заплат и заварки различных локальных повреждений типа коррозионных язв, трещин и т.п. дефектов сварных соединений на корпусе аппаратов;
- наличие различных механических повреждений (вида вмятин, выпучин, риск, погнутостей, отклонений форм и размеров корпуса или приварных элементов, неплотности в соединениях, коррозионных язв, трещин и т.п.);
- наличие на сварных швах внешних дефектов (в частности, чрезмерное усиление шва более 3,0 мм, подрезов, смещения кромок, трещин, ослабления шва, "ножевой" коррозии у сплавления и межкристаллитной коррозии ЗТВ аустенитной стали и т.д.), особо обратить внимание на узлы вварки наиболее нагруженных при эксплуатации штуцеров (ввод орошения, вход и выход сырья и т.д.), на перекрещивающиеся швы, места исправления швов, на зоны расположения границ раздела агрегатных состояний рабочей среды ("жидкость-пар", "газ-жидкость"), на места изменения направления потоков, зоны входа и выхода продукта;
- наличие трещин в местах концентрации технологических напряжений и остаточных напряжений от сварки, от воздействия рабочей среды, из-за пониженной трещиностойкости металла закаливающихся хромомолибденовых и хромомолибденованадиевых сталей и т.п., особенно в местах резкого изменения сечения элементов, неплавного изменения размеров, несплавления кромок, наплывов, пор, незаделанных кратеров и др.; в местах пересекающихся швов, обваренных по контуру накладок, ребер жесткости, в местах прикрепления штуцеров и днищ, горизонтальных полок, уголков, прикрепления распорок по-

перечных связей к ребрам жесткости; в местах перехода от цилиндрической к выпуклой части днищ и перехода от основного металла к усилению сварного шва; в трубных решетках - в мостиках между отверстиями и на поверхности трубных отверстий;

- конструктивные недостатки, способствующие хрупким разрушениям, коррозии и перегревам (пазухи и щели с продуктами коррозии, недостатки водоотвода), наличие в подкладных местах опор и на накладных кольцах люков и штуцеров контрольных отверстий, качественная и правильная приварка различных площадок обслуживания, швы приварки элементов внутренних и наружных устройств, расположенные на корпусных швах или ближе 20 мм от них, а также фиксировать иные отклонения от требований ОСТ 26-291-94;

- состояние окраски элементов корпуса и теплоизоляции (различные механические повреждения, шелушение, потеки, пропуски, пузыри, отлупы, места нарушения и протекания ее);

- указать расположение аппарата (вертикальное, горизонтальное, на какой отметке, на улице или в помещении и т.д.).

Требования по организации и порядку производства работ по визуальному и измерительному контролю объектов топливно-энергетического комплекса регламентированы в РД 34.10.130-96 "Инструкция по визуальному и измерительному контролю".

В ходе визуального осмотра для повышения надежности выявления дефектов при необходимости отдельные участки зачищают, а также пользуются увеличительной лупой.

Если в элементах сосуда обнаружены зоны коррозионного повреждения, деформированные участки, трещины и другие повреждения, то дефектные зоны элементов следует осмотреть с противоположной стороны, полностью удалив тепловую изоляцию или обмуровку аппарата, препятствующие осмотру.

Результаты анализа технической документации и ВИК учитываются при определении объема и вида диагностических работ и должны содержать вышеуказанные сведения. Визуальный контроль материала и сварных соединений выполняют с целью выявления поверхностных повреждений (трещин, коррозионных повреждений, деформированных участков, наружного износа элементов и т.д.), образовавшихся в процессе эксплуатации изделий.

Измерительный контроль материала и сварных соединений выполняют с целью определения соответствия геометрических размеров конструкций и допустимости повреждений материала и сварных соединений, выявленных при визуальном контроле, требованиям рабочих чертежей, ТУ, стандартов и паспортов.

При визуальном контроле материала и сварных соединений проверяют:

- отсутствие (наличие) механических повреждений поверхностей;

- отсутствие (наличие) формоизменения элементов конструкций (деформированные участки, коробление, провисание и другие отклонения от первоначального расположения);

- отсутствие (наличие) трещин и других поверхностных дефектов, образовавшихся (получивших развитие) в процессе эксплуатации;

- отсутствие коррозионного и механического износа поверхностей.

При измерительном контроле состояния материала и сварных соединений определяют:

- размеры механических повреждений материала и сварных соединений;

- размеры деформированных участков материала и сварных соединений, в том числе длину, ширину и глубину вмятин выпучин, отдулин;

- овальность цилиндрических элементов, в том числе гибов труб;

- прямолинейность (прогиб) образующей конструкции (элемента);

- фактическую толщину стенки материала (при возможности проведения прямых измерений);

- глубину коррозионных язв и размеры зон коррозионного повреждения, включая их глубину.

Разметку поверхности для измерения толщины стенок рекомендуется проводить термостойкими и хладостойкими маркерами, а при их отсутствии - краской или мелом.

Наружный и внутренний осмотр сосуда проводится в целях выявления дефектов, которые могли возникнуть как в процессе его эксплуатации, так и при его изготовлении, транспортировке и монтаже.

При осмотре защитные покрытия и изоляция подлежат удалению на участках поверхности сосуда, где имеются явные признаки нарушения их целостности.

Необходимость удаления защитного покрытия и изоляции на других участках поверхности сосуда определяется специалистами организации, проводящей техническое диагностирование.

Осмотру подлежат все доступные сварные соединения сосуда и его элементы в целях выявления в них следующих дефектов:

- трещин;

- свищей и пористости швов;

- подрезов, наплывов, прожогов, незаплавленных кратеров;

смещений и уводов кромок стыкуемых элементов свыше норм, предусмотренных Правилами устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением (ПБ 03-576-03), Правилами проектирования, изготовления и приемки сосудов и аппаратов стальных сварных (ПБ 03-384-00) и ОСТ 24.201.03-90 «Сосуды и аппараты стальные высокого давления. Общие технические требования»;

- несоответствий форм и размеров швов требованиям технической документации;

- деформаций поверхности сосуда (в виде вмятин, отдулин и т.п.).

Особое внимание следует обратить на состояние сварных соединений в зонах концентрации напряжений (местах приварки горловины люка и штуцеров к обечайке и днищам, особенно в зонах входных и выходных штуцеров, на участках пересечения швов, в зонах сопряжения обечайки с днищами, местах приварки опорных узлов и др.), а также в местах возможного скопления конденсата и зонах проведенного ранее ремонта.

Для сосудов из аустенитных сталей особое внимание при осмотре следует уделять местам возможного попадания на поверхность сосуда воды, паров и влажных газов ввиду возможного образования в этих местах коррозионных трещин.

При проведении осмотра в случае возникающих сомнений по классификации и размерам выявленных дефектов следует применять лупу 4-20-кратного увеличения, а также по усмотрению специалиста, выполняющего осмотр. Оценка выявленных при осмотре деформированных участков поверхности сосуда производится путем замера максимального прогиба и площади деформированного участка. Замер производится мерительным инструментом, обеспечивающим погрешность $\pm 1,0$ мм.

Нормы допустимых дефектов, выявленных при наружном и внутреннем осмотре, должны соответствовать требованиям.

Правил устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением (ПБ 03-576-03), Правил проектирования, изготовления и приемки сосудов и аппаратов стальных сварных (ПБ 03-384-00) и ОСТ 24.201.03-90 «Сосуды и аппараты стальные высокого давления. Общие технические требования».

Результаты осмотра оформляются в виде заключения (протокола), подписываемого специалистами организации, проводящей техническое диагностирование.

Лекция 5 – Приборы и технология проведения визуального и измерительного контроля на объектах пищевой инженерии. Ультразвуковая дефектоскопия (УЗД). Понятия и определения. Физические основы. Приборы

1 Приборы и технология проведения визуального и измерительного контроля на объектах пищевой инженерии.

При визуальном и измерительном контроле применяют:

- лупы, в том числе измерительные;
- линейки измерительные металлические;

- угольники поверочные лекальные;
- штангенциркули, штангенрейсмусы и штангенглубиномеры;
- щупы;
- угломеры с нониусом;
- стенкомеры и толщиномеры индикаторные;
- микрометры;
- нутромеры микрометрические и индикаторные;
- калибры;
- эндоскопы;
- шаблоны, в том числе специальные и универсальные (например, типа УШС), радиусные, резьбовые и другие;
- поверочные плиты;
- плоскопараллельные концевые меры длины с набором специальных принадлежностей;
- штриховые меры длины (стальные измерительные линейки, рулетки).

Измерительный контроль материала и сварных соединений выполняют с целью определения соответствия геометрических размеров конструкций и допустимости повреждений материала и сварных соединений, выявленных при визуальном контроле, требованиям рабочих чертежей, ТУ, стандартов и паспортов.

При визуальном контроле материала и сварных соединений проверяют:

- отсутствие (наличие) механических повреждений поверхностей;
- отсутствие (наличие) формоизменения элементов конструкций (деформированные участки, коробление, провисание и другие отклонения от первоначального расположения);
- отсутствие (наличие) трещин и других поверхностных дефектов, образовавшихся (получивших развитие) в процессе эксплуатации;
- отсутствие коррозионного и механического износа поверхностей.

При измерительном контроле состояния материала и сварных соединений определяют:

- размеры механических повреждений материала и сварных соединений;
- размеры деформированных участков материала и сварных соединений, в том числе длину, ширину и глубину вмятин выпучин, отдулин;
- овальность цилиндрических элементов, в том числе гибов труб;
- прямолинейность (прогиб) образующей конструкции (элемента);
- фактическую толщину стенки материала (при возможности проведения прямых измерений);
- глубину коррозионных язв и размеры зон коррозионного повреждения, включая их глубину.

Разметку поверхности для измерения толщины стенок рекомендуется проводить термостойкими и хладостойкими маркерами, а при их отсутствии - краской или мелом.

2 Ультразвуковая дефектоскопия (УЗД). Понятия и определения. Физические основы. Приборы.

Ультразвуковой метод основан на исследовании процесса распространения упругих колебаний в контролируемом изделии. Ультразвуковые волны, используемые в дефектоскопии, представляют собой упругие колебания частотой свыше 20 кГц, возбуждаемые в материале изделия. При этом частицы материала не перемещаются вдоль направления движения волны, каждая частица, совершив колебательное движение относительно своей первоначальной ориентации, снова занимает исходное положение. В металлах ультразвуковые волны распространяются как направленные лучи.

Ультразвуковые волны обладают способностью проникать в глубь материала, что используется при обнаружении весьма малых внутренних дефектов. Распространение ультразвуковых волн подчиняется законам геометрической оптики. Упругая волна в направлении распространения несет определенную энергию, и по мере удаления от излучателя интенсивность волн, т. е. количество энергии, переносимое волной за 1 с сквозь поверхность площадью 1 м^2 , падает, а амплитуда колебаний частиц убывает.

В металлах возбуждаются волны нескольких типов: поперечные, продольные и поверхностные. Возникновение волн того или иного типа определяется упругими свойствами объекта и его формы. Если частицы совершают колебательные движения, совпадающие с направлением движения волны по объекту, то это продольные волны. Когда колебания частиц происходят поперек направления распространения волны, возникают волны сдвига, их называют поперечными волнами.

Поверхностные волны обусловлены колебанием частиц со значительной амплитудой на поверхности тела и постепенным ее уменьшением при удалении частиц от поверхности. Если продольная волна падает перпендикулярно на плоскую границу раздела -двух сред, обладающих различным акустическим сопротивлением, то одна часть ее энергии переходит во вторую среду, а другая отражается в первую. Доля отраженной энергии тем больше, чем больше разность акустических сопротивлений сред. Если продольная волна попадает на границу раздела двух твердых сред под углом, то отраженная и прошедшая волны преломляются и трансформируются в продольные и сдвиговые, распространяющиеся в первой и второй средах под различными углами. Законы отражения и преломления волн аналогичны законам геометрической оптики.

В качестве источников энергии в ультразвуковых дефектоскопах для возбуждения ультразвуковых колебаний используют электронные генераторы. Получаемые в них электрические импульсы преобразуются в ультразвуковые механические колебания с помощью преобразователей, основанных на пьезоэлектрическом эффекте.

Прямой пьезоэлектрический эффект - это возникновение электрических зарядов на гранях пьезоэлектрической пластинки при ее деформации. Если к такой пьезоэлектрической пластинке подвести электрический заряд, она изменит свои размеры (обратный пьезоэлектрический эффект).

Наибольшее распространение имеют пьезоэлектрические преобразователи, представляющие собой пластинку, изготовленную из монокристалла кварца или пьезокерамических материалов: титанат бария, цирконат-титанат свинца и др. На поверхности этих пластинок наносят тонкие серебряные электроды и поляризуют их в постоянном электрическом поле. Излучающую пластинку монтируют в специальной выносной искательной головке, связанной с генератором коаксиальным кабелем.

Преобразователи разделяются на прямые - вводят продольную волну перпендикулярно контролируемой поверхности; наклонные - вводят поперечную волну под углом к поверхности; раздельно-совмещенные - вводят продольную волну под углом $5...10^\circ$ к плоскости, перпендикулярной поверхности ввода.

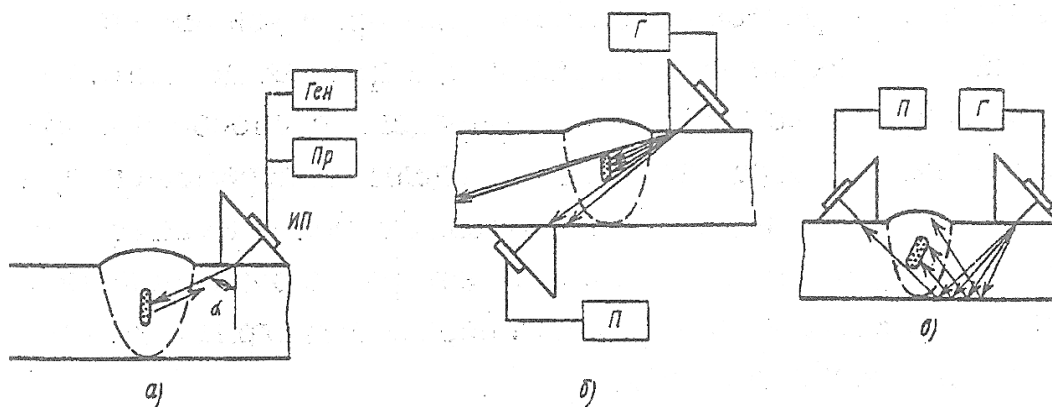
При диагностировании технического состояния сварных сосудов и аппаратов ультразвуковой метод применяется при толщинометрии и дефектоскопии. Применяются приборы трех типов:

- УЗ-толщиномеры;
- УЗ-дефектоскопы с электронно-лучевой трубкой и блоком цифрового отсчета (БЦО);
- УЗ-дефектоскопов с электронно-лучевой трубкой без БЦО.

При ультразвуковом контроле используют несколько методов прозвучивания. Выбор методов прозвучивания и настройка дефектоскопа - наиболее ответственные методические операции. Последующие операции оценки эквивалентных размеров и допустимости дефектов существенно зависят от этих операций.

Основные схемы ультразвукового контроля изображены на рисунке 1.

Эхо-зеркальный метод основан на анализе акустических импульсов, зеркально отраженных от донной поверхности объекта контроля и дефекта. Он заключается в озвучивании изделия короткими импульсами ультразвука, излучаемого от генератора Ген регистрации эхо-сигналов, отраженных от дефекта к приемнику Пр (рисунок 1, а). Этот метод позволяет контролировать сварные соединения при одностороннем доступе к ним.



а) - эхо-зеркальный метод; б) - теневой; в) - зеркально-теневой

Рисунок 1 - Схемы использования основных методов УЗ-контроля сварных швов и варианты включения УЗ-преобразователей

Теневой (или амплитудно-теневой) метод основан на регистрации уменьшения амплитуды прошедшей волны (сквозного сигнала) под влиянием дефекта. Для контроля этим методом излучающий и приемный ПЭП располагают по разные стороны от объекта контроля (рисунок 1, б).

Зеркально-теневой метод (рисунок 1, в) основан на измерении амплитуды данного сигнала. Этот метод не требует двустороннего доступа и позволяет определять дефекты в корневых швах стыковых соединений.

Неразрушающий контроль сварных соединений следует проводить ультразвуковым (УЗК) методом в соответствии с действующими на данный момент нормативно-техническими документами на данные методы для выявления внутренних дефектов сварных соединений в виде трещин, непроваров, пор и неметаллических включений.

Для проведения контроля методом УЗК применяется аппаратура, предназначенная для этих целей и обладающая необходимой чувствительностью.

При разработке индивидуальных программ технического диагностирования в них следует указывать зоны и объем контроля сварных соединений сосудов.

Контроль сварных соединений и основного металла сосудов и устранение выявленных недопустимых дефектов рекомендуется проводить в следующем порядке:

- анализ технической документации по изготовлению, эксплуатации, ремонтам и контролю, ранее проведенным на сосуде; визуальный контроль;
- выдача задания на подготовку сварных соединений для дефектоскопии;
- магнитопорошковый или капиллярный контроль; ультразвуковой или радиационный контроль;
- устранение выявленных недопустимых дефектов; дефектоскопия ремонтируемых участков.

Объем дефектоскопического контроля сварных соединений сосудов зависит от группы сосуда [табл. 6 Правил устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением (ПБ 03-576-03)], от объема контроля, выполненного в процессе изготовления сосуда и в процессе его эксплуатации, и определяется в каждом конкретном случае специалистами, проводящими диагностирование. Необходимо, чтобы объем полученной информации позволял достоверно судить о техническом состоянии всех несущих элементов сосуда. Объем контроля сварных соединений определяется в процентах от общей длины сварных швов.

В случае обнаружения при осмотре сосуда локально деформированных участков (например вмятин, выпучин, гофров и т.п.) деформированную зону и прилегающую к ней зону недеформированного металла шириной 100-150 мм по периметру следует подвергнуть контролю на отсутствие трещин с помощью дефектоскопии.

Дефектоскопии следует подвергать элементы оборудования или сварные соединения, качество металла которых вызывает сомнение.

При назначении выборочного (неполного) контроля сварных соединений следует учитывать, что участки пересечения продольных и кольцевых сварных швов обязательно должны быть включены в зоны контроля.

При технической невозможности осмотра внутренней или наружной поверхности сосуда объем контроля сварных соединений независимо от группы сосуда должен составлять 100 %.

При обнаружении недопустимых дефектов в процессе неполного контроля сварных соединений объем контроля должен быть увеличен не менее чем вдвое. В первую очередь следует расширить зоны контроля сварных швов в местах обнаружения дефектов.

После проведения ультразвукового контроля в необходимых случаях дополнительно для уточнения характера дефектов и глубины их расположения может быть применен радиографический метод, метод послойного вскрытия сварного соединения или металлографический метод.

Шероховатость поверхности сварных соединений, подлежащих УЗК, должна соответствовать нормативным требованиям. Для зачистки поверхности сварных соединений рекомендуется применять щетки, шлифмашинки, пескоструйную, химическую и другую обработку.

Качество сварных соединений сосуда признается неудовлетворительным, если при любом виде контроля будут выявлены наружные или внутренние дефекты, выходящие за пределы допусковых величин, установленных нормативными документами.

Результаты контроля оформляются в виде заключения или протокола. Расположение участков контроля с привязкой к основным размерам элементов сосуда следует условно изображать на прилагаемой к заключению или протоколу схеме.

Лекция 6 – Ультразвуковая толщинометрия (УЗТ). Физические основы. Технология проведения контроля на объектах пищевой инженерии

1. Ультразвуковая толщинометрия (УЗТ). Физические основы.

Ультразвуковой метод основан на исследовании процесса распространения упругих колебаний в контролируемом изделии. Ультразвуковые волны, используемые в дефектоскопии, представляют собой упругие колебания частотой свыше 20 кГц, возбуждаемые в материале изделия. При этом частицы материала не перемещаются вдоль направления движения волны, каждая частица, совершив колебательное движение относительно своей первоначальной ориентации, снова занимает исходное положение. В металлах ультразвуковые волны распространяются как направленные лучи.

Ультразвуковая толщинометрия (УЗТ) применяется в целях определения количественных характеристик утонения стенок элементов сосуда в процессе его эксплуатации. По результатам УЗТ определяют скорость коррозионного или коррозионно-эрозионного изнашивания стенок и устанавливают расчетом на прочность допустимый срок эксплуатации изношенных элементов, уровень снижения рабочих параметров или сроки проведения восстановительного ремонта.

Для измерений толщины металла могут быть использованы ультразвуковые толщинометры, соответствующие требованиям действующей нормативно-технической документации и обеспечивающие погрешность измерения не более $\pm 0,1$ мм.

Контроль толщины стенки проводят в местах элементов сосуда, указанных в специальных инструкциях, в типовых или индивидуальных программах диагностирования, а также в зонах интенсивного коррозионно-эрозионного износа металла, в местах выборок дефектов и на поверхности вмятин или выпучин.

Толщинометрия может проводиться как по наружной, так и по внутренней поверхностям сосуда. Измерения осуществляются по четырем образующим обечайки и четырем радиусам днищ через 90^0 по окружности элемента. На каждой царге обечайки сосуда проводится не менее трех измерений по каждой образующей (в середине и по краям) рисунок 2.

+ координаты точек по замеру толщины стенок (указаны условно); - рекомендуемые зоны по проведению УЗД и ЦЦ штуцеров. На днищах проводится не менее пяти измерений на каждом из четырех радиусов и в центре. При обна-

ружении зон с расслоением металла число точек измерения в этом месте должно быть увеличено до количества, достаточного для установления границ (контура) зоны расслоения металла.

2. Технология проведения контроля на объектах пищевой инженерии

Измерения толщины стенки вварных патрубков диаметром d_0 (d_0 - диаметр отверстия, не требующий укрепления) и более согласно ГОСТ 24755-88 следует проводить в одном сечении в четырех точках, расположенных равномерно по окружности элемента.

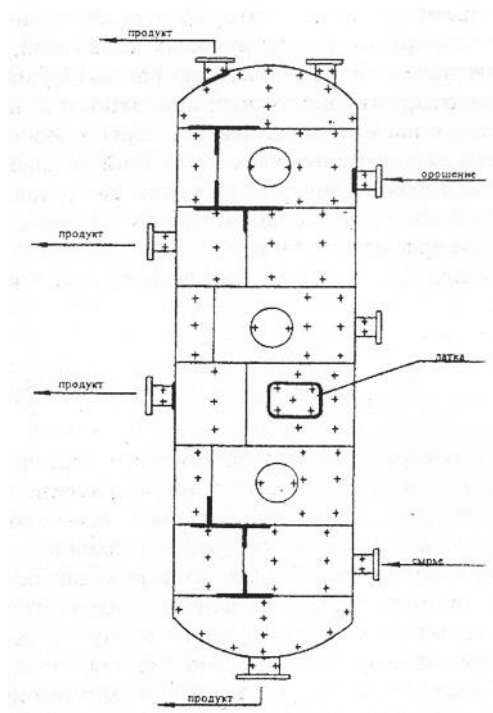


Рисунок 2 - Принципиальная схема колонны с указанием мест контроля неразрушающими методами

В случае невозможности выполнения УЗТ сосуда по полной программе число точек замера толщины стенок должно быть таким, чтобы обеспечить максимально надежное представление о состоянии сосуда и проведение прочностных расчетов. В местах измерения толщины поверхность должна быть защищена до металлического блеска. Толщина металла определяется как среднее значение из результатов трех измерений.

Результаты УЗТ элементов сосуда рекомендуется оформлять в виде заключений (протоколов), в которых следует приводить схему расположения мест замера толщины и таблицу значений измеренной толщины.

Все точки замера обозначаются порядковыми номерами. Результаты измерений толщины стенок оформляются актом со схемой контроля и таблицей замеров.

При наличии коррозии металла непосредственными замерами устанавливают степень ослабления сечения элементов. По уменьшению толщины стенки определяют также скорость протекания коррозионных процессов.

По результатам ультразвуковой толщинометрии (УЗТ) аппарат может быть допущен к эксплуатации, если толщина стенок несущих конструктивных элементов аппарата (обечаек и днищ корпуса, патрубков, штуцеров и люков и т.п.) не менее минимальной (отбраковочной) расчетной величины для этих элементов.

При достижении предельно-допустимого значения толщины стенок конструктивных элементов аппарата эти части заменяют, подвергают восстановлению ремонт или снижают рабочее; давление до величины, определенной поверочным расчетом на прочность.

Ультразвуковой метод неразрушающего контроля основан на способности ультразвуковых колебаний отражаться от внутренних неоднородностей контролируемой среды.

Для измерения толщины применяют обычно эхо-импульсный метод. При этом толщину стенки изделия определяют по длительности прохождения ультразвукового импульса t или по времени между повторно отраженными импульсами. Импульс упругих ультразвуковых колебаний, распространяясь в металле с определенной скоростью C , многократно отражается от противоположных поверхностей и при обратном ходе отдает пьезоэлементу часть энергии. Из-за поглощения и рассеяния ультразвуковых колебаний каждый последующий импульс несет меньшую энергию. Интервал времени между двумя последовательными импульсами прямо пропорционален измеряемой толщине.

$$S = 1/2Ct$$

где t - время распространения ультразвукового импульса в изделии от поверхности ввода УЗК до донной поверхности и обратно;

C - скорость распространения ультразвуковых волн в материале, из которого выполнено измеряемое изделие.

Для измерения толщины металла конструктивных элементов аппарата применяют малогабаритные высокоточные эхо-импульсные толщиномеры для ручного контроля (в том числе автокалибрующиеся), представляющие собой портативные приборы массой 0,15-2,0 кг с автономным питанием и цифровыми индикаторами. Для расширения возможностей они комплектуются преобразователями различных типов с рабочими частотами от 2 до 25 МГц, в том числе для измерения при повышенных измеряемых температурах изделия.

Лекция 7 – Цветная дефектоскопия.
Основные понятия и определения капиллярных методов НК.
Физические основы

1. Цветная дефектоскопия.

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

Капиллярный НК предназначен для обнаружения невидимых или слабо-видимых невооруженным глазом поверхностных и сквозных дефектов в объектах контроля, определения их расположения, протяженности (для дефектов типа трещин) и ориентации по поверхности. Этот вид контроля позволяет диагностировать объекты любых размеров и форм, изготовленные из черных и цветных металлов и сплавов, пластмасс, стекла, керамики, а также других твердых неферромагнитных материалов.

Капиллярный контроль применяют также для объектов, изготовленных из ферромагнитных материалов, если их магнитные свойства, форма, вид и месторасположение дефектов не позволяют достичь требуемой чувствительности магнитопорошковым методом или магнитопорошковый метод контроля не допускается применять по условиям эксплуатации объекта.

Капилляр, выходящий на поверхность объекта контроля только с одной стороны, называют поверхностной несплошностью, а соединяющий противоположные стенки объекта контроля, - сквозной. Если поверхностная и сквозная несплошности являются дефектами, то допускается применять вместо них термины "поверхностный дефект" и "сквозной дефект".

Изображение, образованное пенетрантом, в месте расположения несплошности и подобное форме сечения у выхода на поверхность объекта контроля, называют индикаторным рисунком (след). Применительно к несплошности типа единичной трещины вместо термина "индикаторный рисунок" допускается применение термина "индикаторный след".

Глубина несплошности - размер несплошности в направлении внутрь объекта контроля от его поверхности. Длина несплошности - продольный размер несплошности на поверхности объекта. Раскрытие несплошности - поперечный размер несплошности у ее выхода на поверхность объекта контроля.

Необходимым условием выявления дефектов нарушения сплошности материала типа полостных капиллярным контролем, имеющих выход на поверхность объекта и глубину распространения, значительно превышающую ширину

их раскрытия, является относительная их незагрязненность посторонними веществами.

Капиллярные методы подразделяют на основные, использующие капиллярные явления, и комбинированные.

Основные капиллярные методы контроля подразделяют в зависимости от типа проникающего вещества на следующие:

1. *Метод проникающих растворов* - жидкостный метод капиллярного неразрушающего контроля, основанный на использовании в качестве проникающего вещества жидкого индикаторного раствора.

2. *Метод фильтрующихся суспензий* - жидкостный метод капиллярного неразрушающего контроля, основанный на использовании в качестве жидкого проникающего вещества индикаторной суспензии, которая образует индикаторный рисунок из отфильтрованных частиц дисперсной фазы.

Капиллярные методы в зависимости от способа выявления индикаторного рисунка подразделяют на *люминесцентный*, основанный на регистрации контраста люминесцирующего в длинноволновом ультрафиолетовом излучении видимого индикаторного рисунка на фоне поверхности объекта контроля,

цветной, основанный на регистрации контраста цветного в видимом излучении индикаторного рисунка на фоне поверхности объекта контроля;

люминесцентно-цветной, основанный на регистрации контраста цветного или люминесцирующего индикаторного рисунка на фоне поверхности объекта контроля в видимом или длинноволновом ультрафиолетовом излучении;

яркостный, основанный на регистрации контраста в видимом излучении ахроматического рисунка на фоне поверхности объекта контроля.

Комбинированные методы капиллярного неразрушающего контроля сочетают два или более различных по физической сущности методов неразрушающего контроля, один из которых обязательно жидкостный.

Комбинированные капиллярные методы контроля подразделяют в зависимости от характера физических полей (излучений) и особенностей их взаимодействия с контролируемым объектом.

Капиллярно-электростатический метод основан на обнаружении индикаторного рисунка, образованного скоплением электрически заряженных частиц у поверхностной или сквозной несплошности неэлектропроводящего объекта, заполненного ионогенным пенетрантом.

Капиллярно - электроиндуктивный метод основан на электроиндуктивном обнаружении электропроводящего индикаторного пенетранта в поверхностных и сквозных несплошностях неэлектропроводящего объекта.

Капиллярно-магнитопорошковый метод основан на обнаружении комплексного индикаторного рисунка, образованного пенетрантом и ферромагнитным порошком, при контроле намагниченного объекта.

Жидкостный капиллярно-радиационный метод излучения основан на ре-

гистрации ионизирующего излучения соответствующего пенетранта в поверхностных и сквозных несплошностях, а капиллярно-радиационный метод поглощения - на регистрации поглощения ионизирующего излучения соответствующим пенетрантом в поверхностных и сквозных несплошностях объекта контроля.

Капиллярный дефектоскопический материал применяют при капиллярном неразрушающем контроле и используют для пропитки, нейтрализации или удаления избытка проникающего вещества с поверхности и проявления его остатка с целью получения первичной информации о наличии несплошности в объекте контроля.

Дефектоскопические материалы выбирают в зависимости от требований, предъявляемых к объекту контроля, его состояния и условий контроля. Их укомплектовывают в целевые наборы, в которые входят полностью или частично взаимообусловленные совместимые дефектоскопические материалы, приведенные ниже.

Набор дефектоскопических материалов - взаимозависимое целевое сочетание дефектоскопических материалов: индикаторного пенетранта, проявителя, очистителя и гасителя.

Индикаторный пенетрант (пенетрант) И - капиллярный дефектоскопический материал, обладающий способностью проникать в несплошности объекта контроля и индицировать их.

Очиститель от пенетранта (очиститель) М - капиллярный дефектоскопический материал, предназначенный для удаления индикаторного пенетранта с поверхности объекта контроля самостоятельно или в сочетании с органическим растворителем или водой.

Гаситель пенетранта (гаситель) Г - капиллярный дефектоскопический материал, предназначенный для гашения люминесценции или цвета остатков соответствующих индикаторных пенетрантов на поверхности объекта контроля.

Проявитель пенетранта (проявитель) П - капиллярный дефектоскопический материал, предназначенный для извлечения индикаторного пенетранта из капиллярной полости несплошности с целью образования четкого индикаторного рисунка и создания контрастирующего с ним фона.

Проявитель разделяют в зависимости от характера взаимодействия его с индикаторным пенетрантом.

Химически пассивный проявитель не меняет колористические свойства индикаторного пенетранта, а активный проявитель предназначается для химического взаимодействия с индикаторным пенетрантом с образованием специфического индикаторного рисунка (следа), меняющего цвет, способность.

2 Основные операции капиллярного НК

Основными операциями капиллярного неразрушающего контроля являются:

- подготовка объекта к контролю;
- обработка объекта дефектоскопическими материалами;
- проявление дефектов;
- обнаружение дефектов и расшифровка результатов контроля;
- окончательная очистка объекта.

Технологический режим операций контроля (продолжительность, температуру, давление) устанавливают в зависимости от используемого набора дефектоскопических материалов, особенностей объекта контроля и типа искомых дефектов, условий контроля и используемой аппаратуры.

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

Для предварительной очистки поверхностей применяют механическую очистку объекта контроля струёй песка, дроби, косточковой крошки, другими диспергированными абразивными материалами или резанием, в том числе обработку поверхности шлифованием, полированием, шабровкой.

Для окончательной очистки контролируемых объектов используют следующие виды очисток:

- в парах органических растворителей;
- растворяющую очистку воздействием на объект контроля удаляющих загрязнение водяных или органических растворителей, в том числе посредством струйной промывки, погружения, протирки;
- химическую очистку водными растворами химических реагентов, взаимодействующих с удаляемыми загрязнениями, не повреждая объект контроля;
- электрохимическую очистку водными растворами химических реагентов с одновременным воздействием электрического тока;
- ультразвуковую очистку органическими растворителями, водой или водными растворами химических соединений в ультразвуковом поле с использованием режима ультразвукового капиллярного эффекта. Ультразвуковой капиллярный эффект - явление аномального увеличения высоты и скорости подъема жидкости в капиллярной полости под действием ультразвука;
- анодно-ультразвуковую очистку водными растворами химических реагентов с одновременным воздействием ультразвука и электрического тока;
- тепловую очистку путем прогрева при температуре, не вызывающей недопустимых изменений материала объекта контроля;
- сорбционную очистку смесью сорбента и быстросохнущего органиче-

ского растворителя, наносимой на очищаемую поверхность выдерживаемой и удаляемой после высыхания.

Необходимые способы очистки, их сочетание и требуемую чистоту контролируемых поверхностей определяют в технической документации на контроль. При высоком классе чувствительности контроля предпочтительны не механические, а химические и электрохимические способы очистки, в том числе с воздействием на объект контроля ультразвука или электрического тока. Эффективность этих способов обусловлена оптимальным выбором очищающих составов, режимов очистки, сочетанием и последовательностью используемых способов очистки, включая сушку.

При подготовке объекта к контролю в необходимых случаях проводят работы по снятию или компенсации остаточных или рабочих напряжений в объекте, сжимающих полости искомых дефектов.

При поиске сквозных дефектов в стенках трубопроводных систем, баллонов, агрегатов и аналогичных полостных объектов, заполненных газом или жидкостью и находящихся под избыточным давлением, полости таких объектов освобождают от жидкости и доводят давление газа в них до атмосферного.

Этап обработки объекта дефектоскопическими материалами заключается в заполнении полостей дефектов индикаторным пенетрантом, удалении его избытка и нанесении проявителя.

Контролируемые поверхности первоначально смачивают специальной жидкостью, - индикаторным пенетрантом, проникающим в щель на поверхности (рисунок 3). Основной частью пенетранта обычно является керосин, который исключает закупорку щелевидностей. Проникновение пенетранта может иметь место в результате капиллярности, компрессии, воздействия ультразвука, комбинации воздействий. Время действия пенетранта - до 5 мин. Далее проводится очистка поверхности от пенетранта и проявление оставшегося на поверхности рисунка.

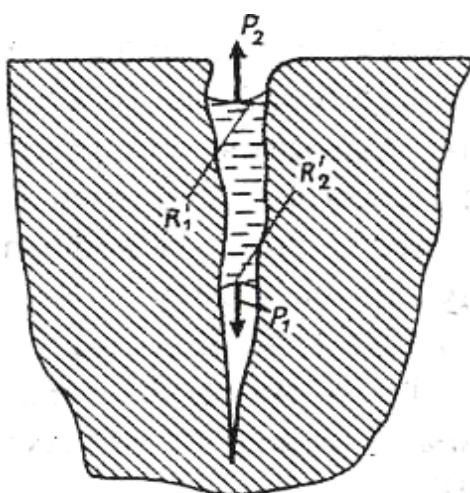


Рисунок 3 - Схема проникновения жидкости вглубь полости трещины

Проявлению дефектов помогают сорбционные процессы, а также влияние эффектов люминесценции, цветных контрастов.

Для заполнения дефектов индикаторным пенетрантом применяют следующие способы:

- капиллярное, самопроизвольное заполнение полостей несплошностей индикаторным пенетрантом, наносимым на контролируемую поверхность смачиванием, погружением, струйно, распылением с помощью сжатого воздуха, хладона или инертного газа;

- вакуумное заполнение полостей несплошностей индикаторным пенетрантом при давлении в их полостях менее атмосферного;

- компрессионное заполнение полостей несплошностей индикаторным пенетрантом при воздействии на него избыточного давления;

- ультразвуковое заполнение полостей несплошностей индикаторным пенетрантом в ультразвуковом поле с использованием ультразвукового капиллярного эффекта;

- деформационное заполнение полостей несплошностей индикаторным пенетрантом при воздействии на объект контроля упругих колебаний звуковой частоты или статического нагружения, увеличивающего раскрытие несплошности.

Для выявления сквозных дефектов пенетрант допускается наносить на поверхность, противоположную контролируемой.

Температура контролируемого объекта и индикаторного пенетранта, а также продолжительность заполнения полостей дефектов должны быть в пределах, указанных в технической документации на данный дефектоскопический материал и объект контроля.

Избыток индикаторного пенетранта удаляют или гасят на контролируемой поверхности одним из следующих способов:

- протиранием салфетками с применением в необходимых случаях очищающего состава или растворителя;

- промыванием водой, специальным очищающим составом или их смесями;

- погружением, струйно или распылением;

- обдуванием струей песка, дроби, косточковой крошки, древесных опилок или другого абразивного очищающего материала;

- воздействием на пенетрант гасителем люминесценции или цвета.

При использовании водоемываемых (после воздействия очистителя) индикаторных пенетрантов перед употреблением проявителей любого типа (кроме суспензий на водяной основе) мокрую контролируемую поверхность под-

вергают естественной сушке или сушке в потоке воздуха. Допускается протирка чистой гигроскопической тканью, ветошью, древесными опилками и т.п. В отдельных случаях допускается удалять индикаторный пенетрант обдувкой и гашением без предварительной обработки очистителем и водой.

Проявитель наносят указанными способами:

- распылением жидкого проявителя струёй воздуха, инертного газа или безвоздушным методом;
- электрораспылением проявителя в электрическом поле струёй воздуха или механическим путем;
- путем создания воздушной взвеси порошкообразного проявителя в камере, где размещен объект контроля;
- нанесением жидкого проявителя кистью, щеткой или заменяющими их средствами;
- погружением объекта контроля в жидкий проявитель;
- обливанием жидким проявителем;
- электроосаждением проявителя путем погружения в него объекта контроля с одновременным воздействием электрического тока;
- посыпанием порошкообразного проявителя, припудривание или обсыпание объекта контроля;
- наклеиванием ленты пленочного проявителя прижатием липкого слоя к объекту контроля.

При использовании самопроявляющихся, фильтрующихся и других подобных индикаторных пенетрантов проявитель не наносят.

Проявление следов дефектов представляет собой процесс образования рисунка в местах наличия дефектов, для чего используют один из способов проявления индикаторных следов:

- выдержку объекта контроля на воздухе до момента появления индикаторного рисунка;
- нормированное по продолжительности и температуре нагревание объекта контроля при нормальном атмосферном давлении;
- выдержку в нормированном вакууме над поверхностью объекта контроля;
- упругодеформационное воздействие на объект посредством вибрации, циклического или повторного статического его нагружения.

Обнаружение дефектов представляет собой сочетание или отдельное использование способов наблюдения и регистрации индикаторного следа.

При изготовлении сварных сосудов и аппаратов в соответствии с требованиями ОСТ 26-291 цветная дефектоскопия является регламентируемым методом контроля качества сварных соединений. Цветной или магнитопорошковой

дефектоскопии следует подвергать сварные швы, не доступные для осуществления контроля радиографическим или ультразвуковым методом (в частности, швов приварки штуцеров и труб внутренним диаметром менее 100 мм), а также сварные швы сталей, склонных к образованию трещин при сварке.

Цветная дефектоскопия сварных соединений должна проводиться в соответствии с ГОСТ 18422 и ОСТ 26-5.

Сварные соединения, длина которых не превышает 900 мм, относят к соединениям малой протяженности. Соединения длиннее 900 мм относят к соединениям большой протяженности, которые следует разделить на участки (зоны контроля). Длина или площадь контролируемых участков устанавливается так, чтобы не допускалось высыхание индикаторного раствора до повторного его нанесения на контролируемую поверхность.

Для кольцевых сварных соединений и кромок под сварку протяженность контролируемого участка должна выбираться в зависимости от диаметра изделия:

- не более 500 мм – для изделий диаметром до 900 мм;
- не более 700 мм – для изделий диаметром свыше 900 мм.

Площадь контролируемого участка поверхности не должна превышать 0,6 м².

При контроле внутренней поверхности цилиндрического сосуда его ось должна быть наклонена под углом 3-5⁰, обеспечивающем сток отработанных жидкостей.

Методика проведения контроля включает следующие операции:

- нанесение индикаторного пенетранта;
- удаление индикаторного пенетранта;
- нанесение и сушка проявителя пенетранта;
- осмотр контролируемой поверхности и регистрация дефектов.

Нанесение индикаторного пенетранта.

На подготовленную поверхность индикаторный пенетрант следует наносить аэрозольным способом краскораспылителем, окунанием или с помощью жесткой кисти. Пенетрант наносится 4-6 раз, при том высыхание предыдущего слоя недопустимо.

При нанесении индикаторного пенетранта в условиях отрицательной температуры окружающего воздуха температура индикаторного пенетранта должна быть не ниже 15⁰С.

Удаление индикаторного пенетранта.

После нанесения последнего слоя индикаторного пенетранта его следует сразу же удалить протиркой ветошью (салфеткой), смоченной в очистителе, промывкой очистителем и при необходимости водой.

После удаления индикаторного пенетранта контролируемую поверхность следует обдуть теплым воздухом (50-80⁰С) или протереть насухо ветошью (салфеткой).

Качество удаления пенетранта следует проконтролировать протиркой светлой чистой салфеткой; после протирки поверхности ткань не должна окрашиваться в красный цвет.

Нанесение проявителя пенетранта.

Проявитель следует наносить сразу же после удаления пенетранта с контролируемой поверхности аэрозольным способом (при помощи пульверизатора, краскораспылителя) или ручным (кистью).

Проявитель следует наносить тонким равномерным слоем. При этом подтеки и наплывы проявителя недопустимы.

При нанесении проявителя аэрозольным способом распылительную головку следует держать от контролируемой поверхности на расстоянии 250-300 мм.

Проявитель перед его нанесением ручным способом следует тщательно перемешать. Проявитель наносят мягкой кистью из волоса пушнины, не следует проводить кистью дважды по одному и тому же участку контролируемой поверхности.

Сушку проявителя следует проводить при температуре окружающего воздуха за счет естественного испарения или теплым воздухом с температурой 50-80⁰С.

Осмотр контролируемой поверхности и регистрация дефектов.

С целью надежного выявления дефектов осмотр контролируемой поверхности следует проводить дважды: через 3-4 минуты и через 15-20 минут после высыхания проявителя. Для выявления дефектов по первому классу чувствительности по ГОСТ 18442-80 следует проводить дополнительный осмотр контролируемой поверхности через 40-60 минут.

Дефекты, выходящие на контролируемую поверхность, проявляются в виде ярко окрашенных полосок, извилин, расплывчатых пятен и точек. По форме наблюдаемого рисунка и степени растекания индикаторного пенетранта на проявителе следует определить вид дефекта и оценить его величину. В сомнительных случаях (при размере индикаторного рисунка до 3 мм) рекомендуется применять лупу пяти- или десяти кратного увеличения.

При послойном контроле после нанесения проявителя на органической основе контролируемая поверхность должна осматриваться не позднее чем через 2 минуты.

После осмотра контролируемой поверхности следует отметить выявленные дефекты способом, принятом на предприятии, и оформить документально результаты контроля.

Удаление проявителя

Контролируемую поверхность следует очистить от проявителя и других дефектоскопических материалов протиркой сухой ветошью (при необходимости смоченной ацетоном) или любым способом, исключаящим коррозию и загрязнение металла.

При послойном контроле проявитель с контролируемой поверхности перед проходом следующего валика сварного шва допускается не удалять.

Оценку качества объектов контроля по результатам цветного метода следует проводить по размерам индикаторных рисунков (следов), выявленных при окончательном осмотре.

Лекция 8 – Магнитопорошковая дефектоскопия. Физические основы. Технология проведения контроля на объектах пищевой инженерии

Напомним о том, что относительная магнитная проницаемость μ представляет собой отношение магнитного поля, создаваемого током в намагниченной среде, например, в металле, к магнитному полю, создаваемому тем же током в вакууме. В зависимости от значения μ материалы разделяют на ферромагнитные (железо) - $\mu > 10^4$; диамагнитные (медь, цинк) - $\mu = 1 - \epsilon$; парамагнитные (алюминий, марганец) - $\mu = 1 + \epsilon$, где ϵ - коэффициент, равный $10^{-4} \dots 10^{-5}$.

Контролю магнитными методами подвергают только ферромагнитные материалы.

В пределах малых объемов, так называемых доменов ($v = 10^{-5} \dots 10^{-8} \text{ см}^3$), магнитные поля, вызываемые вращением электронов вокруг собственных осей, уравнивают друг друга, и деталь оказывается размагниченной. Но под действием внешних магнитных линий поля доменов устанавливаются в его направлении; при этом образуется общее поле.

Когда деталь намагничена, то магнитные линии имеют определенную направленность. При встрече с дефектом, магнитная проницаемость которого в тысячи раз меньше проницаемости основного металла, силовые линии обходят объект и образуют поле рассеивания магнитных линий. Дефекты, направленные вдоль магнитных линий, не вызывают существенного препятствия распространению потока, поэтому трудно обнаруживаются магнитным контролем. Напротив, дефекты, направленные перпендикулярно магнитным линиям, вызывают значительное рассеивание и обнаруживаются значительно легче.

Магнитопорошковый метод дефектоскопии предназначен для выявления поверхностных и подповерхностных нарушений сплошности: трещин различ-

ного происхождения, непроваров, сварных соединений, волосовин, флокенов, закатов, надрывов и т. п.

Магнитопорошковый метод основан на намагничивании контролируемого изделия и выявлении магнитного поля рассеяния возникающего над дефектом, с помощью ферромагнитных частиц, играющих роль индикатора.

Магнитопорошковый метод применим для контроля объектов только из ферромагнитных материалов, магнитные свойства которых, форма и размеры дают возможность создавать в местах нарушения сплошности магнитные поля рассеяния, достаточные для притяжения частиц магнитного порошка.

Магнитопорошковый метод позволяет контролировать изделия с немагнитными покрытиями (краска, цинк, хром, кадмий, полимерные пленки и т. д.) если толщина покрытия не превышает 100 мкм.

Чувствительность и разрешающая способность магнитопорошкового метода зависят от качества магнитного порошка, магнитных характеристик материала объекта контроля, его формы, размеров и шероховатости поверхности, от напряженности намагничивающего поля и направления намагничивающего потока к плоскости дефекта, от способа намагничивания и условий регистрации индикаторного рисунка (осаждения магнитного порошка в месте расположения дефекта), от освещенности осматриваемого участка объекта контроля и других факторов.

Предельная чувствительность магнитопорошкового метода дефектоскопии при благоприятных условиях контроля соответствует выявлению несплошностей с раскрытием 1 мкм и более, глубиной 10 мкм и более и протяженностью 0,5 мм и более. При контроле сварных соединений с неснятым валиком усиления, выполненных ручной сваркой, чувствительность снижается на порядок и более.

Наилучшая выявляемость дефекта достигается при расположении его плоскости перпендикулярно направлению магнитного потока. Если дефект наклонен к поверхности объекта контроля под углом менее 20° , выявление дефекта не гарантируется.

Подповерхностные дефекты обнаруживаются хуже, чем поверхностные. Дефекты, залегающие на глубине более 2-3 мм от поверхности, могут быть не обнаружены.

Чистота обработки контролируемых магнитопорошковым методом поверхностей должна соответствовать по параметру шероховатости $R_a \leq 10$ мкм.

Изделия, имеющие грубообработанную поверхность ($R_z \geq 80$), грубые риски, забоины, наклей и другие повреждения, контролировать неселесообразно в связи с возможностью регистрации ложных дефектов.

Основными средствами магнитопорошкового метода контроля технологического оборудования отрасли являются универсальные дефектоскопы типа ПМД-87, МД-50П, МД-87П, ПМД-70 и другие.

Дефектоскопы имеют источники тока намагничивания, устройства для подвода тока к контролируемому изделию (токовые контакты) и для полюсного намагничивания (соленоиды, электромагниты, гибкие кабели), измерители тока (или напряженности магнитного поля), устройства для нанесения магнитной суспензии на контролируемое изделие и устройства для размагничивания контролируемого изделия после контроля.

Магнитные порошки, используемые в качестве индикаторов дефектов, должны удовлетворять требованиям ГОСТ 9849-86 и содержать $Fe \geq 98,5 \%$, $C \leq 0,08 \%$ и минимальное количество неферромагнитных примесей. Частицы порошка должны быть в основном одного размера и, желательно, величиной $8+10$ мкм. Наиболее полно удовлетворяет этим требованиям порошок ПЖВ1.71.26 ГОСТ 9849-86.

Магнитные порошки выбирают с учетом цвета контролируемой поверхности; для изделий со светлой поверхностью используют черный магнитный порошок, для изделий с темной поверхностью – магнитолюминесцентный порошок или цветную пасту КМ-К ТУ 6-09-5387-88.

Магнитные порошки наносят на контролируемое изделие сухим способом – путем распыления или мокрым способом – в виде суспензии, путем полива или погружения изделия в суспензию.

Магнитные суспензии готовят либо на водной основе (водные суспензии), либо на основе масла и керосина (масляные суспензии).

В зависимости от ориентации возможных дефектов, размеров и формы контролируемого изделия применяют следующие виды намагничивания: циркулярное (относительно продольной оси детали), продольное (магнитный поток направляют вдоль детали) и комбинированное (намагничивание детали двумя или несколькими магнитными полями, направления которых не совпадают).

Магнитопорошковый метод состоит из следующих технологических операций:

- подготовки к контролю;
- намагничивания изделия;
- нанесения на изделие магнитной суспензии;
- осмотра изделия на наличие нарушений сплошности в местах концентрации магнитного порошка;
- оценки результатов контроля;
- размагничивания изделия.

Поверхность объекта очищают от загрязнения, окалины, шлака, продуктов коррозии; наносят суспензию или порошок на контролируемую зону; намагничивают изделие. Под действием магнитного поля частицы ферромагнитного порошка перемещаются по поверхности детали, скапливаются в виде валиков над дефектами. Последующий осмотр позволяет судить об их контурах. Затем объект размагничивают.

Порошок (размер частиц 5...10 мкм) может быть сухим или в виде суспензии с керосином или машинным маслом. Для их подвижности частицы иногда покрывают пигментом с малым коэффициентом трения. Намагничивание предпочтительнее проводить постоянным током, глубже проникающим в металл. Детали толщиной менее 20 мм целесообразнее намагничивать переменным током, не требующим последующего размагничивания.

В случае наличия на поверхности детали впадин и местных усилений порошок скапливается не столько в зависимости от присутствия дефекта, сколько от особенностей рельефа. В этом случае контроль дефектов порошком становится малоэффективным.

Рассмотренный метод контроля позволяет четко определять длину и конфигурацию дефекта, но не дает информации о глубине трещины. Полезным дополнением является использование потенциометрических датчиков. Пропуская ток относительно невысокого напряжения и регистрируя падение напряжения у поверхности, числовое значение этого падения можно использовать для калибровки глубины трещины.

Применяются дефектоскопы стационарные, универсальные, переносные, передвижные. В России выпускают стационарные установки типа МД-5, ХМД-10П и др.; переносные и передвижные установки ПМД-70, ПМД-50. За рубежом выпускают установки для магнитно-порошкового контроля фирмы "Карл Дейч" (Германия), "Магнофлор США" и другие.

В качестве порошка применяют молотую закись железа, стальные опилки, цветные порошки для распознавания дефектов; для суспензий - 50...60 г порошка на 1 л жидкости

Лекция 9 – Акустическая эмиссия. Физические основы.

Технология проведения контроля на объектах пищевой инженерии

Метод акустической эмиссии (АЭ) относится к диагностике и направлен на выяснение состояния объектов путем определения и анализа шумов, сопровождающих процесс образования и роста трещины в контролируемых объектах. Он базируется на регистрации акустических волн, возникающих в металле и

сварных соединениях при нагружении в результате образования пластических деформаций, движения дислокаций, появления микро- и макротрещин. В основу метода положено явление излучения (эмиссии) упругих волн твердым телом при локальных динамических перестройках его структуры при его деформировании и локальном разрушении (пластическая деформация, скачкообразное развитие трещин). Метод применяется для выявления состояния предразрушения тяжело нагруженных конструкций: сосудов высокого давления, конструкций атомной энергетики, газопроводов, железнодорожных мостов и др.

По классификации (ГОСТ 18353) этот метод относится наряду с ультразвуковой дефектоскопией (УЗД) к классу акустических методов неразрушающего контроля. Однако; он имеет принципиальное отличие от ультразвукового метода: АЭ фактически объединяет методики, характерные для неразрушающего контроля, и модели механики разрушения. Кроме того, по формальному классификационному признаку УЗД относится к активному методу, в котором ультразвуковые волны возбуждаются в объекте внешним устройством (от пьезодатчика), тогда как в методе АЭ они порождаются динамическими процессами перестройки структуры и разрушения (роста трещин) в материале контролируемого аппарата.

Акустическая эмиссия - это физическое явление излучения упругих волн в твердом теле при его нагружении, В основе явления АЭ лежит возникновение упругих колебаний при разрыве атомных связей в твердом теле или перестройке его кристаллической структуры.

Главные источники АЭ - процессы пластической деформации, связанные с появлением, движением и исчезновением дефектов кристаллической решетки: трещин, фазовых превращений, двойникования и скольжения. На практике широко оперируют электрическими сигналами, поэтому целесообразно ввести понятие электрического сигнала АЭ, получаемого как электрический сигнал на выходе приемного преобразователя. Эти сигналы можно характеризовать такими параметрами, как общее число импульсов, суммарная АЭ, интенсивность АЭ, уровень (сигналов) АЭ, амплитуда АЭ, амплитудное распределение, энергия (сигнала) АЭ, спектральная плотность (сигналов) АЭ.

Общее число импульсов - это число зарегистрированных импульсов дискретной АЭ за исследуемый интервал времени.

Суммарная[АЭ представляет собой число зарегистрированных превышении Сигналом АЭ установленного уровня ограничения (дискриминации) за исследуемый интервал времени.

Активность АЭ - это общее число импульсов, отнесенное к единице времени, ч.

Уровнем АЭ называется среднее квадратическое значение сигнала в рассматриваемый интервал времени.

Амплитудой АЭ является максимальное значение сигнала АЭ в течение выбранного интервала времени.

Амплитудное распределение - это распределение 5 амплитуд АЭ за исследуемый интервал времени.

Энергия (сигнала) АЭ - это энергия, выделяемая в месте измерения в исследуемой полосе частот за выбранный интервал времени.

Спектральная плотность (сигналов) АЭ представляет собой распределение сигналов АЭ по частотам энергии.

Важное значение имеют виды обработки, которые материал претерпел. Литые изделия и металл сварного шва, как правило, имеют крупное зерно, малую плотность дислокаций, что приводит к излучению импульсов АЭ большой амплитуды при нагружении материала.

Для обнаружения всех опасных источников сигналов в процессе АЭ-контроля производят оперативное накопление и обработку данных. Накопление производят после выделения параметров сигналов АЭ. При наличии цифровых регистраторов используется запоминание сигналов АЭ с целью последующего анализа процесса. После обработки принятых сигналов результаты контроля представляют в виде идентифицированных и классифицированных источников АЭ.

Классификацию источников АЭ выполняют с использованием следующих параметров сигналов: суммарный счет, число импульсов, амплитуда (амплитудное распределение), энергия (либо энергетический параметр), скорость счета, активность, концентрация источников АЭ. В систему классификации также входят параметры контролируемого объекта и время. Выявленные и идентифицированные источники АЭ рекомендуется разделять на четыре класса - I, II, III, IV.

Источник I класса - пассивный источник.

Источник II класса - активный источник.

Источник III класса - критически активный источник.

Источник IV класса - катастрофически активный источник.

Для регистрации волн акустической эмиссии используют аппаратуру, работающую в широком интервале частот – от кГц до МГц.

При испытании объекта или в процессе его эксплуатации приложение нагрузки приводит к возникновению в зоне предразрушения акустического сигнала. Информация о времени распространения сигнала, его амплитуде, частотном спектре и т.п. воспринимается пьезоэлектрическими акустическими датчиками - преобразователями акустической эмиссии (ПАЭ), расположенными на поверхности контролируемой конструкции. Обработка полученной инфор-

мации служит основанием для заключения о природе, месте расположения и росте дефекта.

"Оживающий" при нагружении контролируемого объекта дефект конструкции сигнализирует автоматически о своем статусе, что позволяет формировать "правильную" систему классификации дефектов по степени их опасности и адекватные критерии бракования. Однако максимальная наглядность при обнаружении дефекта проявляется лишь в том случае, когда в объекте присутствуют катастрофически активные источники АЭ. Последние свидетельствуют о наступлении конечной стадии; в жизни объекта, связанной с ускоренным ростом трещины, либо с общей потерей устойчивости. И то и другое приводит к отказу, завершающим этапом которого является разрушение объекта. Вероятность присутствия таких дефектов в промышленном объекте ответственного назначения составляет 10^{-5} - 10^{-6} .

Размещение преобразователей АЭ (ПАЭ) по рекомендации Стандарта определяется конфигурацией сосуда и максимальным расстоянием между ПАЭ. Принимаются в расчет критические места сосуда, сварные швы, зоны, подвергнутые ремонту, и т.д. Для контроля сосудов расстояние между ПАЭ может изменяться в пределах 2-5 м.

Согласно методическим рекомендациям МР 204-86 "Применение метода акустической эмиссии для контроля сосудов, работающих под давлением, и трубопроводов, при размещении ПАЭ следует выполнять следующие операции. В зависимости от конфигурации объект делится на отдельные элементарные участки: линейные, плоские, цилиндрические, сферические. Для каждого участка выбирается соответствующая схема расположения преобразователей. Необходимо учитывать дополнительное затухание акустического сигнала в сварных швах.

Интерес специалистов по диагностике к данному методу объясняется рядом его достоинств:

- высокой чувствительностью к растущим дефектам;
- возможностью выявления опасных (развивающихся) дефектов;
- интегральностью, т.е. возможностью контроля одним или несколькими неподвижными датчиками всего объекта;
- малой чувствительностью к положению и ориентации дефекта;
- возможностью контроля труднодоступных зон;
- широким диапазоном применения по материалам;
- возможностью проведения контроля процессов изменения свойств и напряженно-деформированного состояния материала объекта;
- возможностью диагностирования объектов без полной разборки и снятия изоляции.

К недостаткам метода, ограничивающим его применение, следует отнести его чувствительность только к динамическим дефектам, высокую трудоемкость, потребность в высококвалифицированных специалистах, трудность выделения сигналов акустической эмиссии из помех, сложность интерпретации полученных результатов.

Весьма серьезным недостатком является чувствительность к разнообразным помехам, в том числе электромагнитным, радиовибрационным, климатическим, акустическим и прочим.

Основные задачи, решаемые АЭ-методом:

- выявление разнообразных дефектов материала, в том числе развивающихся трещин, коррозионных поражений, мест эрозионного износа с определением их местоположения на контролируемом объекте;

- контроль герметичности корпусных конструкций в режиме течеискания и выявление сквозных дефектов, в том числе свищей, коррозионных проеданий и неплотностей соединений;

- контроль сварных швов непосредственно в процессе сварки и в период остывания;

- выявление районов повышенной напряженности и перегруженности конструкций по регистрации зон локальных пластических деформаций и общей текучести материала.

Основные операции при проведении контроля:

- установка преобразователей акустической эмиссии;

- проверка работоспособности АЭ аппаратуры и калибровка каналов;

- нагружение объекта;

- анализ шумов;

- определение местоположения источников АЭ;

- накопление, обработка и анализ данных;

- оценка результатов контроля.

Каждый ПАЭ должен быть установлен непосредственно на поверхность объекта либо должен быть использован соответствующий волновод. Следует учитывать, что при наличии окраски и защитных покрытий, а также кривизны и неровностей поверхности объекта в зоне контакта возможно уменьшение амплитуды сигнала АЭ и искажение его формы. Если уменьшение амплитуды сигнала АЭ превышает 6 дБ, поверхность объекта в месте установки ПАЭ должна быть очищена от краски или покрытия в обязательном порядке. Необходимо предусмотреть также крепление сигнального кабеля и преусилителя, чтобы исключить потерю контакта и механическое нагружение ПАЭ. Размещение ПАЭ должно обеспечивать контроль по всей поверхности контролируемого объекта.

Проверку работоспособности АЭ системы выполняют тотчас после установки ПАЭ на контролируемый объект, а также после проведения испытаний путем возбуждения акустического сигнала АЭ имитатором, расположенным на определенном расстоянии от каждого ПАЭ. Отклонение зарегистрированной амплитуды сигнала АЭ не должно превышать 3 дБ от средней величины для всех каналов. В случае превышения указанного значения необходимо устранить причину, в противном случае следует провести повторный контроль.

После выполнения подготовительных и настроечных работ производится нагружение объекта.

АЭ контроль выполняется в процессе нагружения объекта внутренним давлением до определенной, заранее выбранной величины и в процессе выдержки давления на определенных уровнях.

При нагружении объекта контроля внутренним давлением его максимальное значение – испытательное давление ($P_{исп}$) должно превышать разрешенное рабочее давление – эксплуатационную нагрузку ($P_{раб}$) не менее чем на 5-10 %, но не превышать пробного давления ($P_{пр}$), определяемого по формуле

$$P_{пр} = aP[\sigma]_{20}/[\sigma]_t,$$

где P – расчетное давление сосуда, МПа;

$[\sigma]_{20}, [\sigma]_t$ – допускаемые напряжения для материала сосуда или его элементов соответственно при 20 °С и расчетной температуре, МПа;

$a=1,25$ для всех сосудов, кроме литых;

$a=1,5$ для литых сосудов

В случае если максимальное давление испытания равно величине пробного давления, длительность выдержки для объектов, находящихся в эксплуатации не должна превышать 5 минут, а при испытании вновь изготовленных объектов выбирается в зависимости от толщины стенки объекта:

- до 50 мм – 10 мин;
- свыше 50 до 100 мм – 20 мин;
- свыше 100 мм – 30 мин;
- для литых и многослойных независимо от толщины стенки – 60 мин.

Если максимальное давление испытания меньше величины пробного давления, длительность выдержки при испытании вновь изготовленных объектов должна быть не менее 10 мин.

При АЭ контроле резервуаров для хранения пищевых масс используют максимальную величину нагрузки, равную $P_{исп} = 1,05P_{раб}$.

При АЭ контроле объектов. Испытуемых под налив. Время выдержки их при максимальном допустимом уровне заполнения должно быть не менее двух часов.

При назначении максимального давления испытаний должны учитываться характеристики материала, условия эксплуатации объекта контроля, температура, а также предыстория его нагружения.

Нагружение осуществляется с использованием специального оборудования, обеспечивающего повышение внутреннего (внешнего) давления по заданному графику, определяющему скорость нагружения, время выдержек объекта под нагрузкой и значений нагрузок.

Испытания объекта подразделяют на предварительные и рабочие.

Предварительные испытания имеют целью:

- проверку работоспособности всей аппаратуры;
- уточнение уровня шумов и корректировку порога аппаратуры;
- опрессовку заглушек и сальниковых уплотнений;
- выявление источников акустического излучения. Связанных с трением в точках подвески (крепления) объектов, опор, конструкционных элементов жесткости и пр.

Предварительные испытания проводят при циклическом нагружении в диапазоне $0-0,25P_{\text{раб}}$. Для объектов без лакирующих покрытий и ребер жесткости число циклов нагружения составляет не менее 2, для прочих - не менее 5.

Рекомендуется нагружение при рабочем испытании проводить ступенями, с выдержками давления на уровне $0,5 P_{\text{раб}}$; $0,75 P_{\text{раб}}$; $1,0 P_{\text{исп}}$ и $P_{\text{исп}}$. Время выдержки на промежуточных ступенях, должно как правило, составлять 10 минут.

Нагружение объектов должно проводиться плавно со скоростью, при которой не возникают интенсивные помехи, рекомендуемые скорости повышения давления составляют

$$P_{\text{исп}}/60 - P_{\text{исп}}/20, \text{ МПа/мин.}$$

Допускается проведение испытаний со скоростью нагружения меньшей минимально указанной. В этих случаях промежуточные выдержки можно не проводить.

В качестве нагружающей среды могут быть использованы вода, масло, рабочее тело объекта в виде жидких сред (гидравлические испытания), а также газообразные среды (пневмоиспытания). В случае проведения гидравлических испытаний подача нагружающей жидкости должна производиться через патрубок, расположенный в нижней части сосуда, ниже уровня жидкости, заполняющей сосуд.

Лекция 10 – Радиография. Физические основы. Технология проведения контроля объектах на пищевой инженерии.

Для определения внутренних дефектов металла и сварных соединений (трещин, непроваров, включений) аппаратов и трубопроводов в основном применяют радиационный и ультразвуковые методы контроля, в более редких случаях – гнитный.

Радиационные и ультразвуковые методы являются регламентируемыми методами контроля качества металла и сварных соединений при изготовлении и эксплуатации сварных сосудов, аппаратов и трубопроводов, работающих под внутренним давлением в соответствии с действующими НТД. Остальные методы контроля могут применяться часто как дополнительные.

Преимущество радиационного метода - получение результатов в документальной форме, недостаток - низкая выявляемость плоскостных дефектов, продолжительность операций, использование остродефицитной пленки. По определению расположения и размеров дефекта возможности рассматриваемого метода НК ограниченные.

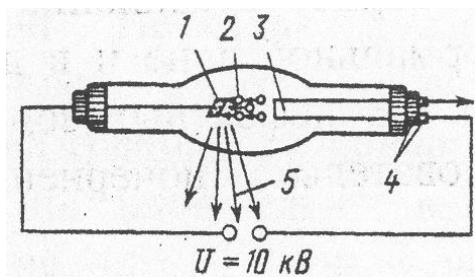
Физические основы. В основе радиационных методов контроля лежит ионизирующее излучение в форме рентгеновских лучей и гамма-излучения. И то и другое излучения имеют электромагнитную природу.

Длина волн рентгеновских лучей $\sim 6 \cdot (10^{-13} \dots 10^{-9})$ мм; гамма-излучения $\sim (10^{-13} \dots 4 \cdot 10^{-12})$ мм, что во много раз меньше длин световых волн $[(4 \dots 7) \cdot 10^{-7}]$ мм.

Образование рентгеновского излучения происходит в рентгеновской трубке (рисунок 4). Катод 3, изготовленный из вольфрамовой проволоки, при пропускании тока нагревается до высоких температур и начинает испускать электроны, направляющиеся на анод 1 в форме пластины из вольфрама или молибдена, из которой исходит так называемое тормозное излучение. Это излучение является прямым следствием торможения свободных электронов на пластине, откуда и происходит название тормозное излучение.

Кроме тормозного излучения, имеющего непрерывный спектр, возникает другое излучение, именуемое характеристическим или фотонным, которое возникает в результате изменения энергетического состояния атомов и имеет дискретный (прерывистый) характер. При выбивании электрона с внутренней оболочки атома под действием тормозного излучения последний приходит в возбужденное состояние. Освобожденное в оболочке место тотчас заполняется другим электроном с более удаленных оболочек. После этого атом приходит в нормальное состояние и испускает квант характеристического излучения, используемый при рентгеноструктурном анализе (рисунок 5).

Радиационный контроль металла и сварных соединений производится также гамма-излучением, образуемым при распаде ядер радиоактивных материалов - изотопов. При контроле пользуются искусственными изотопами, которые получают при бомбардировке ядер элементов нейтронами.



1 - анод; 2 - электроны; 3 - катод; 4 - контакты нити накала катода; 5 - рентгеновское излучение

Рисунок 4 - Схема рентгеновской трубки



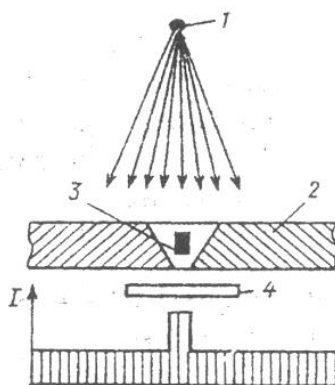
Рисунок 5 - Схема возникновения фотоэлектрона и характеристического излучения при поглощении фотона рентгеновского излучения

Для обнаружения дефектов применяются различные виды ионизирующих излучений: рентгеновское, гамма-излучение; более редко - нейтронное, бетатронное. При предъявлении высоких требований к качеству используют по преимуществу рентгенографию, при контроле соединений в полевых, монтажных условиях, а также при анализе дефектов весьма больших толщин применяют гамма-графирование. Бетатронная радиография используется также при контроле больших толщин; нейтронная - радиоактивных элементов.

Для выявления дефектов в сварных швах используют следующие схемы просвечивания: с одной стороны объекта устанавливают источник излучения -

рентгеновскую трубку, с другой - детектор, фиксирующий результаты просвечивания. В качестве детекторов используют наиболее часто рентгеновские пленки, однако применяют и детекторы более совершенных видов.

Пленка, например, из ацетатцеллюлозы покрывается эмульсией толщиной 0,03 мм из суспензии микрокристаллов бромистого серебра в желатине, которая под действием излучения раскрывает форму дефектов. Излучение от источника 1, (рисунок 6), пройдя через сварное соединение 2, имеющее внутренний дефект 3, в нормальной зоне и в дефектной будет ослабляться различно. В дефектных зонах проходимость излучения выше, следовательно, почернение пленки 4 сильнее.



1 - источник; 2 - контролируемое соединение; 3 - дефектное место; 4 - детектор;

Рисунок 6 - Схема просвечивания сварного соединения

I - график интенсивности излучения, прошедшего через контролируемое соединение

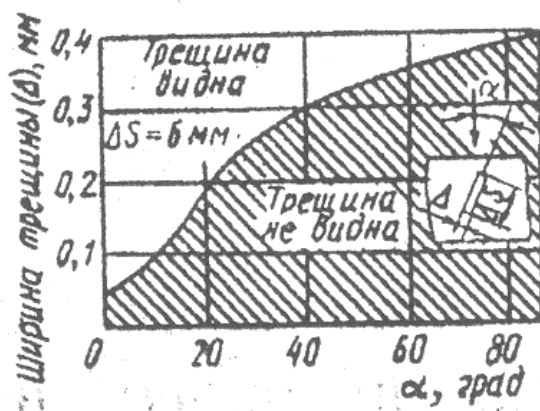


Рисунок 7 - Выявляемость трещины в зависимости от ориентации ее к направлению излучения

Радиография имеет ограничения по выявляемости дефектов,

Результаты исследований показывают, что чувствительность контроля тем выше, чем меньше энергия излучения. Чувствительность пленки зависит от условий ее изготовления и фотообработки, а также от жесткости излучения; наилучшая чувствительность при $E = 60 \dots 80$ кэВ.

Наиболее хорошо радиографическим методом выявляются несплошности, непровары, трещины, направленные параллельно излучению, вследствие более резкого очертания границ. Несколько хуже выявляются шаровые дефекты - пузырьки, а также шлаковые включения. Вероятность выявления трещин, непроваров имеющих малую ширину раскрытия Δ при значительной величине ΔS и большом угле α , невелика (рисунок 7). Трудно выявляются несплавления. Для произвольно ориентированных дефектов рекомендуется выполнять не менее трех снимков.

Усиливающие экраны способствуют некоторому повышению чувствительности. Тип пленки оказывает существенное влияние на чувствительность радиационного контроля. Пленки, обеспечивающие лучшую чувствительность, имеют мелкозернистую структуру, но требуют более продолжительной выдержки.

Для обеспечения оптимальной выявляемости дефектов выбирают соответствующую схему просвечивания (рисунок 8).

Для определения размеров дефектов производятся следующие операции. Сначала просвечивают источником излучения перпендикулярно поверхности сваренной детали. Устанавливают на детали положение дефекта, наносят реперные метки. Производят вторичное просвечивание под углом. Полученные снимки накладывают друг на друга, совмещая метки, и измеряют расстояние между обоими изображениями дефекта. Глубину его залегания определяют по формуле

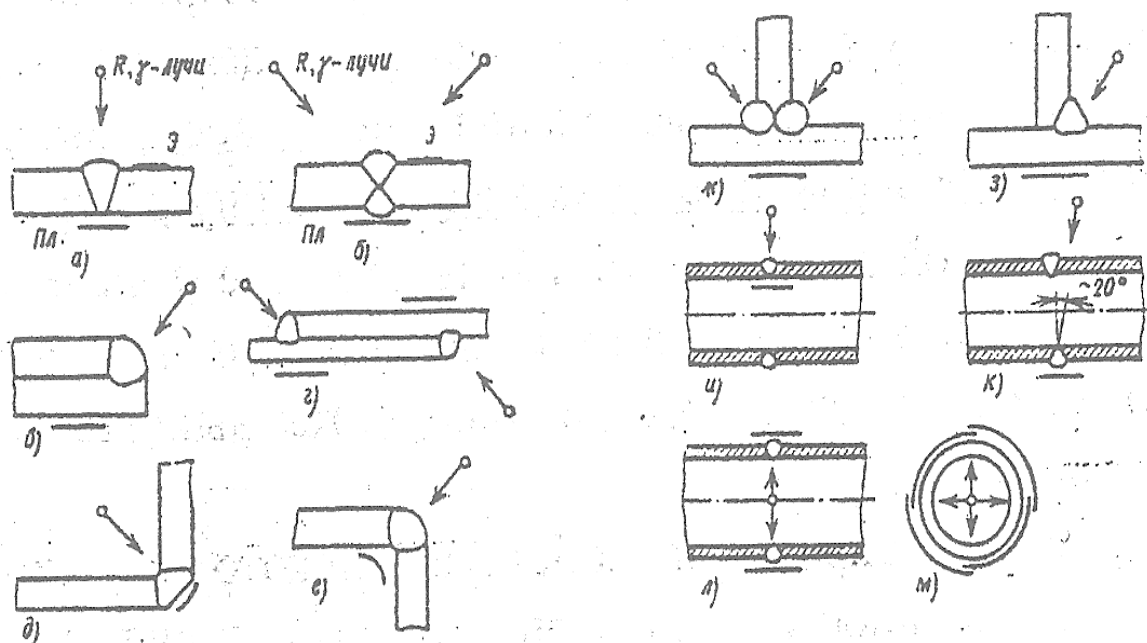
$$x = (F-b)\delta'S'/b,$$

где F - расстояние от источника излучения;

b - смещение источника;

S - смещение ориентира на поверхности;

δ - смещение дефекта.



а, б) - стыковых швов плоских элементов; в, г) - нахлесточных соединений; д, е) - угловых соединений; ж, з) - тавровых швов; и, к, л, м) - кольцевых швов

Рисунок 8 - Схемы просвечивания сварных соединений

Процесс фотообработки пленок состоит в проявлении, промывке, фиксировании, сушке. Расшифровка снимков включает измерение мелких дефектов лупой (ГОСТ 25706); более крупных (свыше 1,5 мм) - прозрачной линейкой. Оценка качества производится по сухому снимку (ГОСТ 7512). В сомнительных случаях необходимо производить контрольный снимок. На снимке производится запись: Т - трещины; Н - не-провары; П - поры; Ш - шлаковые включения; В - вольфрамовые включения; Р - разностенность; О - ослабление корня шва; См - смещение кромок; размер дефекта - наибольший размер дефекта на пленке, мм.

Относительная чувствительность радиографического контроля оценивается в соответствии с ГОСТ 7512 с использованием канавочных и проволоочных эталонов.

Радиографический контроль сварных соединений сосудов и аппаратов должен проводиться в соответствии с ГОСТ 7512 и ОСТ 26-11-03.

Лекция 11 – Система НК на предприятиях пищевой инженерии. Выбор методов НК при технической диагностике

При изготовлении сварного оборудования возможны дефекты различного происхождения: несоответствие конструктивных элементов шва требованиям ГОСТов и других нормативных документов; наплывы, прожоги, незаваренные кратеры, подрезы, наружные трещины шва и околошовной зоны, непровары, несплавления., перегрев металла шва, дефекты структуры шва и зоны термического влияния, внутренние трещины, газовые поры, шлаковые включения.

Силовые, температурные и коррозионные факторы приводят при эксплуатации аппаратов к появлению трещин различной природы, язв, свищей, недопустимых пластических деформаций, изменению механических свойств металла и другим повреждениям. В таблице 3 приведена классификация дефектов различной природы и диагностируемых параметров.

Таблица 3 - Классификация контролируемых параметров и дефектов

Группа	Параметры и дефекты
1	Дефекты типа нарушения сплошности.
2	Отклонения размеров, а также толщины покрытия и глубины поверхностного слоя (закаленного, обезуглероженного и т.д.).
3	Удельная электрическая проводимость, магнитная проницаемость, коэрцитивная сила, остаточная индукция, твердость, влажность, напряжение, структура, химический состав, предел прочности, предел текучести, относительное удлинение, плотность и другие.
4	Эмиссия волн напряжения, развитие во времени трещин, увеличение напряжений, утонение стенки, увеличение зазора и другие.

Такое разнообразие технологических и эксплуатационных повреждений делает необходимым использование при диагностировании аппаратов совокупности методов НК. Другими словами, ни один метод НК не является универсальным. Подтверждением этого служит таблица 4, в которой приведена сравнительная характеристика различных методов НК с точки зрения выявляемости различных дефектов.

Таблица 4 - Оценка выявляемости дефектов различными видами НК

Вид дефекта	Вид НК					
	ВИ	Р	М	К	В	А
1	2	3	4	5	6	7
Газовая пористость	0	4	2	2	4	3
Трещины: водородные	0	0	5	5	5	5
горячие	0	3	0	2	2	2
сварочные	0	4	3	0	2	5
термические	0	0	4	4	4	4
Вмятины	4	0	0	0	2	0
Волосовины	0	0	5	0	3	0
Грубозернистость околошовной зоны	0	0	0	0	2	4
Коррозия: атмосферная	3	0	0	3	4	4
межкристаллитная	4	0	0	4	4	0
Науглероживание	0	0	4	0	4	0
Несоответствие заданной структуре	0	0	3	0	4	3
Обезуглероживание	0	0	4	0	4	0
Перегрев	0	0	3	0	3	3
Пережог	0	0	3	0	3	3
Непровар	0	3	3	0	0	4
Закаты	2	0	0	2	3	3
Расслоения	0	0	0	0	0	4
Рванины	5	0	0	4	4	4
Раковины усадочные	0	4	0	0	0	4
Разрывы внутренние	0	1	0	0	0	4

Примечания:

1. Методы НК: ВИ - визуально-измерительный; Р - радиационный; М - магнитный; К - капиллярный; В - вихретоковый; А - акустический.

2. Оценка видов НК: 5 - отличная; 4 - хорошая; 3 - удовлетворительная; 2 - нерекомендуемый вид НК; 0 - неудовлетворительная.

Таким образом, на использование конкретного метода и прибора НК всегда наложены определенные ограничения, зависящие от параметров диагностируемого объекта и условий проведения операций НК.

Выбор метода неразрушающего контроля обуславливается группой сосуда, свойствами свариваемых сталей, конструкцией сварного соединения, наличием методики контроля и дефектоскопической аппаратуры, техническими условиями на качество швов сварных соединений, производительностью контроля.

Методы контроля или их сочетания устанавливаются конструкторской организацией (конструкторским отделом предприятия), согласовываются со службой неразрушающего контроля организации (предприятия) и указываются в технической документации на изготовление изделия.

Последовательность применения методов контроля или их сочетания определяется технологическим процессом на изготовление изделия. Технологический процесс согласовывается технологической организацией (службой предприятия) со службой неразрушающего контроля организации (предприятия).

Методика проведения контроля неразрушающими методами определяется ГОСТ, отраслевыми стандартами и инструкциями по контролю.

Оценка качества швов сварных соединений производится в соответствии с требованиями ОСТ 26-291-71 и другой документации, регламентирующей качество сварных соединений.

Чувствительность и разрешающая способность выбранного метода должна обеспечивать надежное выявление недопустимых дефектов.

Объем контроля устанавливается в зависимости от группы сосудов и аппаратов в соответствии с ОСТ 26-291-71.

Выбор метода контроля или их сочетания определяется из условия обеспечения выполнения требований ОСТ 26-291-71, а также с учетом требований ОСТ или Инструкций по контролю.

Лекция 12 – Нормы и критерии оценки технического состояния сосудов

1 Дефекты и повреждения сосудов и аппаратов

Повреждения сосудов и аппаратов возникают вследствие воздействия различных эксплуатационных факторов. Наиболее распространенные виды повреждений обусловлены следующими воздействиями: коррозией металла (сплошной или общей, пятнами, межкристаллитной, язвенной, питтинговой, щелевой, контактной, структурно-избирательной, атмосферной, коррозионным растрескиванием и др.), эрозионным истиранием стенок рабочей средой, усталостью, ползучестью, изменением физико-химических свойств металла и другими причинами.

В сосудах, работающих в водородсодержащих средах, под воздействием водорода, при повышенных температуре и давлении, могут возникнуть водородная коррозия, охрупчивание (снижение трещиностойкости) и снижение пластичности металла.

Наиболее часто встречаемыми повреждениями поверхностей нагрева являются свищи, отдулины, трещины и разрывы в местах вварки штуцеров, которые могут быть вызваны различными причинами.

При эксплуатации и ремонте сосудов возможно механическое повреждение поверхностей в виде вмятин или царапин, а также при нарушении технологии ремонта возможны дефекты сварных швов и изменение свойств основного металла.

Воздействие вышеуказанных факторов при эксплуатации вызывает изменение технического состояния сосудов, проявляющегося в уменьшении толщины стенок, изменении геометрических размеров сосудов, механических свойств и структуры металла, возникновении локальных повреждений в виде трещин, каверн, язв, появлении участков пластической деформации или изменении других параметров технического состояния (ПТС) сосудов.

Предельно допустимые значения ПТС, установленные в нормативно-технической документации, называют критериями предельного состояния (КПС), которые являются критериями для оценки технического состояния сосудов при диагностировании и определении их остаточного ресурса безопасной эксплуатации. Дефекты и повреждения, которые в момент контроля не являются критическими, но могут за период планируемой эксплуатации достичь значений КПС, при проведении диагностирования должны быть выявлены и устранены. Для выявления таких дефектов применяют критерии отбраковки (КО) элементов сосудов, изложенные ниже.

2 Нормы оценки технического состояния сосудов

Нормы оценки технического состояния сосудов (аппаратов), при которых допускается их дальнейшая эксплуатация без проведения специальных расчетов, определяются нормативной технической документацией на сосуды, устанавливающей допуски на отклонение геометрических размеров сосудов, механических свойств и структуры металла, размеры дефектов, в частности:

- размеры основных элементов сосуда должны соответствовать проектным, указанным в паспорте и заводских чертежах, с учетом допусков на размеры полуфабрикатов и их изменение при технологических операциях на заводе-изготовителе;

- механические свойства металла основных элементов сосуда, указанные в сертификатных данных, должны удовлетворять требованиям соответствующих нормативных документов;

- отклонения формы, увод (угловатость) кромок в сварных швах, смещение кромок стыкуемых листов должны соответствовать допускам, установленным Правилами устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением (ПБ 03-576-03), и (или) требованиями Правил проектирования, изготовления и приемки сосудов и аппаратов стальных сварных (ПБ 03-384-00), ОСТ 24.201.03-90 «Сосуды и аппараты стальные высокого давления. Общие технические требования» и другими нормативными документами.

При выявлении в ходе диагностирования сосудов отклонений каких либо параметров от норм, установленных на сосуды, необходимо производить оценку технического состояния сосудов по критериям отбраковки и проводить анализ их влияния на безопасность эксплуатации сосуда.

3 Критерии отбраковки при диагностировании сосудов

Эксплуатационные нормы допускаемых размеров повреждений могут превышать технологические допуски на изготавливаемые сосуды. Основные критерии отбраковки элементов сосудов приведены ниже.

Допускаемые отклонения геометрических размеров и формы сосудов – отклонение от прямолинейности образующей цилиндрического корпуса сосуда, отклонение диаметра сосуда, овальность, допускаемые размеры отдельных выпуклостей (выпучин) и вогнутостей (вмятин). Смещение кромок сварных швов указаны в нормативной документации на сосуды (отраслевые стандарты, технические условия на изделия). Если измеренные отклонения геометрических размеров сосудов не превышают допусков, то сосуды могут быть допущены к дальнейшей эксплуатации без исправления. Если размеры отклонений больше допускаемых, то вопрос о возможности дальнейшей эксплуатации сосуда без исправления решается на основе расчета на прочность специализированной организацией.

4 Допускаемые толщины стенок сосудов и размеров коррозионных повреждений

При равномерной коррозии минимальная толщина стенок элементов корпуса сосуда должна быть не менее расчетной с учетом эксплуатационной прибавки на коррозию. В качестве расчетной (отбраковочной) величины различных конструктивных элементов сосуда принимается наибольшая толщина, полученная из расчетов на прочность и устойчивость при различных режимах эксплуатации и испытания. Если минимальная толщина стенки равна расчетной без эксплуатационной прибавки, то возможность дальнейшей эксплуатации сосуда и остаточный срок его службы устанавливаются при условии изменения рабочих параметров эксплуатации.

Для сосудов из пластичных материалов в условиях эксплуатации участки с локальными коррозионными повреждениями, расположенные на расстоянии не менее $\sqrt{D(S-C)}$ от штуцеров или других элементов, вызывающих краевой эффект, могут быть допущены к эксплуатации без ремонта, если одиночные коррозионные язвы, эрозионные повреждения (нетрещиноподобного вида) имеют глубину C_1 не более 80 % от минимальной толщины стенки элемента S , определенной при толщинометрии, и имеют длину не более величины, вычисленной по формуле

$$L \leq 1,2B \sqrt{D(S-C)}, \text{ где } B=(1-C_1/S)/\sqrt{C_1/S},$$

где D – внутренний диаметр сосуда,

C – расчетная прибавка на равномерную коррозию.

Одиночными считаются дефекты, расстояние между ближайшими кромками которых составляет не менее длины меньшего дефекта. Если это расстояние меньше, то дефекты считаются взаимодействующими. В этом случае два дефекта (или несколько) могут рассматриваться как один, длина которого принимается равной расстоянию между наиболее удаленными кромками этих дефектов, а глубина принимается равной наибольшей глубине дефектов.

Если размеры дефектов превышают L , то вопрос о возможности ремонта или допуска к дальнейшей эксплуатации сосуда без ремонта решается на основе расчета на прочность специализированной организацией.

Сосуды с трещинами любых видов, трещиноподобными дефектами, размеры которых превышают допускаемые, к эксплуатации не допускаются. Вопрос о возможности допуска к эксплуатации сосуда с указанными дефектами решается специализированной организацией.

Для конкретных типов аппаратов (реакторов, автоклавов, теплообменников и др.) критерии отбраковки могут регламентироваться в технической документации с учетом характера нагрузки на элементы оборудования и свойств применяемых материалов.

5 Контроль исправленных дефектов

Исправленные дефекты после выборки (зашлифовки) абразивным инструментом (с плавным скруглением краев выборок) должны быть проконтролированы методом ЦД или МПД по всей поверхности выборок.

Заваренные после выборки дефекты должны быть проконтролированы неразрушающими методами контроля. Выборки дефектов могут быть допущены к эксплуатации без заварки, если их глубина и длина не превышает значе-

ний, указанных выше. Вопрос о возможности эксплуатации сосуда без заварки выборок, превышающих указанные размеры, решается специализированной организацией на основе расчета на прочность.

Отбракованные элементы после их ремонта должны быть проконтролированы неразрушающими методами контроля; при невозможности (нецелесообразности) ремонта они могут быть подвергнуты более детальному исследованию (расчетному или экспериментальному) в целях определения возможности и условий их дальнейшей безопасной эксплуатации.

Лекция 13 – Прогнозирование остаточного ресурса работоспособности технологического оборудования. Основные понятия и определения

Ресурс – суммарная наработка объекта (сосуда) от начала его эксплуатации или ее возобновления после ремонта до перехода в предельное состояние.

Срок службы – календарная продолжительность эксплуатации объекта (сосуда) до и после ремонта до перехода в предельное состояние.

Расчетный срок службы – срок службы сосуда в календарных годах, исчисляемый со дня ввода его в эксплуатацию.

Остаточный ресурс – суммарная наработка объекта от момента контроля его технического состояния до перехода в предельное состояние.

Остаточный срок службы – суммарная наработка от момента контроля его технического состояния до перехода в предельное состояние.

Расчетный ресурс безопасной эксплуатации – продолжительность эксплуатации сосуда (элемента) в годах или циклах нагружения, в течение которого изготовитель гарантирует надежность его работы при условии соблюдения режима эксплуатации, указанного в инструкции предприятия-изготовителя, и расчетного числа пусков из холодного или горячего состояния.

Работоспособность оборудования (трубопроводы, сосуды, аппараты и др.) зависит от качества проектирования, изготовления и эксплуатации. Качество проектирования, в основном, зависит от метода расчета на прочность и долговечность, определяется совершенством оценки напряженного состояния металла, степенью обоснованности критериев наступления предельного состояния, запасов прочности и др. В области оценки напряженного состояния конструктивных элементов аппарата к настоящему времени достигнуты несомненные успехи. Достижения в области вычислительной техники позволяют решать практически любые задачи определения напряженного состояния элементов оборудования. Достаточно обоснованы критерии и коэффициенты запасов прочности. Тем не менее, существующие методы расчета на прочность и оста-

точного ресурса требуют существенного дополнения. Они должны базироваться на временных факторах (коррозия, цикличность нагружения, ползучесть и др.) повреждаемости и фактических данных о состоянии металла (физико-механические свойства, дефектность и др.).

После проведения комплекса работ по технической диагностике неразрушающими и разрушающими методами длительно проработавших аппаратов важным моментом является прогнозирование технического состояния, т.е. определение технического состояния объекта обследования с заданной вероятностью на предстоящий интервал времени. Целью прогнозирования технического состояния является определение с заданной вероятностью интервала времени (ресурса), в течение которого сохранится работоспособное состояние аппарата или вероятность сохранения работоспособного состояния объекта на заданный интервал времени.

Механизм закономерного перехода показателей конструктивной надежности аппарата в область их критических значений (предельного состояния), к сожалению, изучен слабо; Тем не менее можно выделить две концепции развития такого механизма:

1. концепция, основанная на детерминированном (обусловленном) подходе, опирающаяся на линейную или экспоненциодальную модели непрерывного снижения уровня начальных свойств конструкции (R и Q) и реализующая схему накапливающихся повреждений;

2. концепция, основанная на стохастической (вероятностной, случайной) теории развития случайных процессов, описывающих изменчивость как отдельных, так и комплексных свойств конструктивных элементов аппарата.

Данные концепции служат хорошей методологической основой разработки расчетных моделей и структур, а в дальнейшем количественной теории прогнозирования конструктивной надежности аппаратов.

В процессе эксплуатации конструкции в результате постепенного накопления повреждений в металле происходит снижение ресурса и показателей надежности (R - параметр предельной нагрузки, Q - параметр нагрузки). Процесс накопления повреждений в металле объединяется понятием "старение". Интенсивность накопления поврежденности определяется свойствами металла M , напряженным состоянием H и воздействием рабочей среды C . При этом движущими силами процесса старения являются эффекты взаимодействия этих трех необходимых условий разрушения. В зависимости от параметров M , H и C контролирующими процесс старения могут быть усталость (малоцикловая многоцикловая усталость, коррозионно-механическая усталость, коррозионное растрескивание и др.); износ (коррозионный и эрозионный); при повышенных температурах эксплуатации ползучесть. Часто процесс старения определяется в ре-

зультате действия одновременно всех механизмов повреждаемости. Достижение в конструкции степени поврежденности до некоторой критической величины, при которой происходит разгерметизация или разрушение, означает частичную или полную потерю работоспособности (частичный или полный отказ). Условием обеспечения надежности на всех стадиях жизненного цикла изделия является недопущение в назначенный срок безопасной эксплуатации полной потери работоспособности.

Методы прогнозирования ресурса отдельных элементов рассматриваются как проверочные и должны служить основанием для принятия технических мероприятий по обслуживанию и ремонту оборудования. В силу недостаточной обоснованности использования значений коэффициентов запаса прочности, изменения режимов эксплуатации и др. долговечность конструкции (время до наступления полной потери работоспособности) нередко оказывается больше назначенного ресурса.

Прогнозирование, ресурса безопасной эксплуатации (остаточного ресурса) должно производиться по измененным свойствам M_s , H_e , C_c , устанавливаемым по результатам комплексного исследования свойств металла и технического состояния оборудования.

Технологические дефекты геометрического характера могут быть подразделены на две группы. К первой группе отнесены дефекты в виде отклонения формы (депланация кромок, угловатость, овальность и др.). Вторая группа объединяет трещиноподобные дефекты типа трещин, подрезов и непроваров швов, царапин и др.

Методики должны регламентировать методы определения ресурса безопасной эксплуатации сосудов, аппаратов, и трубопроводов (оборудование), работающих при различных эксплуатационных условиях, в том числе при коррозионном воздействии рабочих сред. В результате расчетов устанавливается индивидуальный остаточный ресурс оборудования, - продолжительность эксплуатации от данного времени до наступления предельного состояния или до ближайшего диагностирования, в пределах которого обеспечивается безопасность эксплуатации аппарата.

Методики! расчета ресурса безопасной эксплуатации аппаратов базируются на двух подходах к оценке ресурса.

Первый подход - традиционный, основанный на сравнении результатов диагностирования с нормативными данными; по механическим свойствам, дефектности, расчетам на прочность и др.

Второй поход расчета ресурсов аппаратов базируется на фактических данных диагностирования. Однако часто диагностической информации недостаточно для объективной оценки остаточного ресурса. Тогда используются

априорные данные по дефектности, свойствам металла, параметрам последующей эксплуатации, которые при расчетах должны обеспечивать необходимый запас прочности и долговечности.

Лекция 14 – Примеры определения остаточного ресурса технологического оборудования

Расчеты выполнены в рамках работ по оценке технического состояния и определению срока безопасной эксплуатации емкости и служат для обоснования возможности ее дальнейшей эксплуатации. В качестве базовой концепции принят подход, основанный на принципе "безопасной эксплуатации по техническому состоянию", согласно которому оценка технического состояния рассматриваемого оборудования осуществляется по параметрам технического состояния, обеспечивающим его надежную и безопасную эксплуатацию, а срок безопасной эксплуатации – по определяющим параметрам технического состояния.

Расчеты включают в себя два последовательных этапа. На первом выполняется оценка работоспособности оборудования на момент обследования, а на втором делается прогноз срока безопасной эксплуатации основных элементов и конструкции в целом.

1. Оценка работоспособности оборудования

Конструктивными элементами, подлежащими расчету, являются цилиндрическая обечайка корпуса и эллиптические днища.

Емкость подвергается при эксплуатации коррозионно-эрозионному износу, поэтому предельное состояние сосуда наступает при уменьшении толщины его стенок до предельной величины, ниже которой либо не обеспечивается необходимый запас его несущей способности, либо он подлежит отбраковке в соответствии с нормами ИТН-93

Материалы обследования технического состояния, приведенные выше, и их анализ служат основой для определения возможности дальнейшей эксплуатации оборудования, сохранения или снижения рабочих параметров и прогнозирования остаточного ресурса.

Оборудование считается работоспособным, если его основные несущие элементы имеют запасы прочности не ниже установленных нормативными документами. Для статических условий нагружения по ГОСТ 14249 они равны:

- по пределу текучести $[n_T] = 1,5$;
- по пределу прочности $[n_B] = 2,4$.

Таким образом, работоспособность оборудования будет обеспечена, если для всех его основных элементов выполняются условия прочности:

$$n_T = \sigma_T / \sigma_\Phi \geq 1,5 \text{ и } n_B = \sigma_B / \sigma_\Phi \geq 2,4,$$

где σ_T и σ_B соответственно пределы текучести и прочности материала при расчетной температуре;

σ_Φ – фактическое напряжение в элементе конструкции при расчетной нагрузке.

В расчете используется не минимальная *измеренная* толщина стенки, а минимальная *вероятная* толщина стенки. Такой подход обусловлен тем, что общая площадь измерений представляет лишь малую часть по отношению к полной площади поверхности рассчитываемого элемента. При определении минимальной вероятной толщины стенки учитывается ошибка прибора и вероятность того, что фактическая минимальная толщина не была обнаружена. Минимальная вероятная толщина стенки определяется в предположении о нормальном распределении ошибки прибора и значений толщин, полученных в процессе измерений.

Ошибка прибора учитывается по формуле:

$$\tilde{s}_{\text{ош}} = \tilde{s} - (d + 0,01s_0) k / (3n^{0,5})$$

где $\tilde{s}_{\text{ош}}$ – средняя толщина стенки с учетом ошибки прибора, мм;

d – паспортная ошибка прибора, мм;

\tilde{s} – средняя измеренная толщина, мм;

s_0 – толщина стенки элемента по паспорту, мм;

n – число измерений;

k – квантиль распределения

Стьюдента, который определяется степенью опасности разрушения сосуда и количеством измерений.

Минимальная вероятная толщина стенки вычисляется по формуле:

$$s_{\text{вер}} = \tilde{s}_{\text{ош}} - k_1 s.$$

где $s_{\text{вер}}$ – минимальная вероятная толщина стенки в мм;

k_1 – коэффициент интервальной оценки, определяемый при доверительной вероятности 99%;

s – среднее квадратичное отклонение толщины стенки, мм.

На рис. 2 представлена расчетная схема сосуда и его основных элементов. В скобках (рис. 2,а) указаны минимальные значения толщин стенок элементов по данным толщинометрии.

Исходные данные

Давление расчетное, МПа	0,03
Температура расчетная, град С	50
Материал сосуда:	
корпус и днища	В ст3сп
штуцеры	сталь 20
Механические характеристики материала при расчетной температуре, МПа:	
допускаемое напряжение [s].	152
расчетное значение предела текучести R_e	242
расчетное значение временного сопротивления R_m	450
Коэффициент прочности сварного шва j	0,8
Прибавка для компенсации коррозии c, мм	1,0

Результаты замеров толщины СТЕНКИ ЭЛЕМЕНТОВ СОСУДА

Элемент конструкции	Толщина стенки, мм														S ₀	S _{отбр}
	Измеренная в указанных на схеме обследования точках															
Обечайка корпуса	№ точ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	8	4	
	Сизм	7,0	6,7	6,7	6,0	6,6	6,5	6,9	6,4	6,2	6,2	6,7	6,0			
	№ точ	13	14													
	Сизм	6,1	6,5													

Продолжение таблицы

Днище эллиптическое левое	№ точ	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	14	4
	Сизм	12,8	12,8	12,7	12,9	12,5	12,3	12,2	12,7	11,8	12,6	12,5	12,4		
Днище эллиптическое правое	№ точ	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	14	4
	Сизм	12,3	12,8	12,7	12,3	12,3	12,4	11,1	12,9	12,6	11,9	13,0	12,6		

Патрубки штуцеров

	Dy400 (10)	Dy80 (6)	Dy200 (8)			Dy250 (8)	Dy50 (4)	
№ точ	39	40	41	44	46	42	43	45
S изм	9,1	5,5	5,8	7,0	7,1	7,6	2,9	3,6

1.1 Цилиндрическая обечайка корпуса (рисунок 2,б).

Наибольшее фактическое напряжение равно

$$\sigma_{\phi} = \frac{p(D + s_{\text{вер}} - c)}{2\phi(s_{\text{вер}} - c)} = \frac{0,03(2400 + 5,5 - 1,0)}{2 \cdot 0,8(5,5 - 1,0)} = 10,02 \text{ МПа}$$

Запасы прочности:

по пределу текучести

$$n_T = \sigma_T / \sigma_{\phi} = 242 / 10,02 = 24,15;$$

по пределу прочности

$$n_B = \sigma_B / \sigma_{\phi} = 450 / 10,02 = 44,91.$$

Так как условия прочности выполняются

$$n_T = 24,15 > [n_T] = 1,5 \text{ и } n_B = 44,91 > [n_B] = 2,4,$$

то работоспособность корпуса обеспечена.

Условие применимости использованных выше расчетных формул выполняется, так как

$$(s_{\text{вер}} - c) / D = (5,5 - 1,0) / 2400 = 0,0019 < 0,1$$

1.2. Эллиптические днища (рис. 2, в).

Наибольшие напряжения возникают в правом днище, которое подверглось наибольшему коррозионному износу. Имеем

$$\sigma_{\phi} = \frac{p(2D + s_{\text{вер}} - c)}{4\phi(s_{\text{вер}} - c)} = \frac{0,03(2 \cdot 2400 + 10,4 - 1,0)}{4 \cdot 0,8(10,4 - 1,0)} = 4,8 \text{ МПа}$$

Запасы прочности по пределу текучести

$$n_T = \sigma_T / \sigma_{\phi} = 242 / 4,8 = 50,41;$$

по пределу прочности

$$n_B = \sigma_B / \sigma_{\phi} = 450 / 4,8 = 93,75.$$

Так как условия прочности выполняются

$$n_T = 50,41 > [n_T] = 1,5 \text{ и } n_B = 93,75 > [n_B] = 2,4,$$

то работоспособность днищ обеспечена.

Условия применимости использованных выше расчетных формул выполняются, так как

$$0,002 \leq (s_1 - c) / D = (10,4 - 1,0) / 2400 = 0,004 \leq 0,1;$$

$$0,2 \leq H / D = 0,25 \leq 0,5.$$

2. Прогнозирование срока безопасной эксплуатации

Прогнозирование срока безопасной эксплуатации производится только для оборудования, технического состояния которого по результатам экспертного обследования и исследования физико-механических свойств металла оценивается как удовлетворительное. Для каждого из основных элементов оборудования оно осуществляется по установленному доминирующему механизму повреждения, играющему определяющую роль в исчерпании ресурса оборудования в процессе его эксплуатации. В качестве остаточного ресурса принимается

минимальное значение ресурса из полученных для основных несущих элементов оборудования.

Для емкостей основным повреждающим фактором является общий коррозионно-эрозионный износ, поэтому остаточный ресурс определяется по формуле (РД 03-421-01)

$$T_{ост} = (s_{вер} - s_{пред}) / a,$$

где $s_{вер}$ – минимальная вероятная толщина стенки оцениваемого элемента, $s_{пред}$ – предельная толщина, ниже которой либо не обеспечивается необходимый запас несущей способности элемента, либо он подлежит отбраковке в соответствии с нормами (ИТН-93), т. е. $s_{пред} = \max \{s_p, s_{омб}\}$.

Наиболее слабым элементом конструкции является цилиндрическая обечайка корпуса, по которой и определяется срок безопасной эксплуатации сосуда. Скорость равномерной коррозии, определенная согласно РД 03-421-01 (п. 6.1.2.) с учетом данных толщинометрии составляет $a = 0,15$ мм/год.

Результаты расчета остаточного ресурса

	Позиция	Год ввода в эксплуатацию	Толщина, мм			Остаточный ресурс, лет	
			s_{min}	$s_{вер}$	$s_{пред}$	расчетный	принятый
1	54	1977	6,0	5,5	4,0	10	8

Таким образом, срок безопасной эксплуатации емкости поз. 54 назначается равным 8 (восемью) годам при условии соблюдения правил ГТН России и РУА-93.

Выводы:

В результате изучения дисциплины студент должен знать:

- 1) основные понятия и требования закона о промышленной безопасности опасных производственных объектов;
- 2) цели и задачи технической диагностики;
- 3) виды и механизмы разрушения металлических материалов;
- 4) неразрушающие методы контроля, их физические основы, технологию проведения и порядок применения;
- 5) иметь общие представления о прогнозировании остаточного ресурса работоспособности технологического оборудования.

Литература

1. Неразрушающий контроль и диагностика: справочник / В. В. Клюев, Ф. Р. Соснин, В. Н. Филинов и др.; под. ред. В. В. Клюева. М.: Машиностроение, 1995. 488 с.
2. Халимов А.Г., Зайнуллин Р.С., Халимов А.А. Техническая диагностика и оценка ресурса аппаратов: учебное пособие. Уфа: Изд-во УГНТУ, 2001. 408 с.
3. ПБ-03-76-03 «Правила устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением».
4. ПБ 03-384-00 «Правила проектирования, изготовления и приемки сосудов и аппаратов стальных сварных».
5. ОСТ 24.201.03-90 «Сосуды и аппараты стальные высокого давления»
6. РД 03-421-01 «Методические указания по проведению диагностирования технического состояния и определению остаточного срока службы сосудов и аппаратов».
7. ГОСТ 14782-86 «Контроль неразрушающий. Соединения сварные. Методы ультразвуковые».
8. ОСТ 26-5-88 «Контроль неразрушающий. Цветной метод контроля сварных соединений, наплавленного и основного металла»
9. РДИ 38.18.017-94 «Инструкция по магнитопорошковому контролю оборудования и сварных соединений».
10. ПБ 03-593-03 «Правила организации и проведения акустико-эмиссионного контроля сосудов, аппаратов, котлов и технологических трубопроводов».
11. ОСТ 26-2079-80 «Швы сварных соединений сосудов и аппаратов, работающих под давлением. Выбор методов неразрушающего контроля».

Учебное издание

Исаев Хафиз Мубариз-оглы
Исаев Самир Хафизович

**Ремонт технологического оборудования
перерабатывающих предприятий**

КРАТКИЙ КУРС

Учебно-методическое пособие
для бакалавров направление подготовки
35.03.06 Агроинженерия,
профиль Технологическое оборудование для хранения
и переработки сельскохозяйственной продукции

Редактор Осипова Е.Н.

Подписано к печати 28.11.2022 г. Формат 60x84¹/₁₆.
Бумага офсетная. Усл. п. л. 4,59. Тираж 25 экз. Изд. № 7438.

Издательство Брянского государственного аграрного университета
243365 Брянская обл., Выгоничский район, с. Кокино, Брянский ГАУ