

Г.М.Бутов, С.В. Лапшина

ДИАГНОСТИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ РЕМОНТА

Волжский
2018

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ВОЛЖСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ (ФИЛИАЛ)
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО
УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ВОЛГОГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Г.М. Бутов, С.В. Лапшина

ДИАГНОСТИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ РЕМОНТА

Электронное учебное пособие



2018

УДК 66.02(07)
ББК 34.7я73
Б 934

Рецензенты:
инженер-конструктор ООО «Комед»
Харитонов В.Н.,
начальник монтажно-технологического отдела ОАО
«Гипрорезинотехника»
Афанасьева Е.Е.

Печатается по решению редакционно-издательского совета
Волгоградского государственного технического университета

Бутов, Г.М.

Диагностика и организация ремонта [Электронный ресурс] :
учебное пособие / Г.М.Бутов, С.В. Лапшина ; ВПИ (филиал) ВолгГТУ.
– Электрон. текстовые дан. (1 файл: 1,22 МБ). – Волжский, 2018. –
Режим доступа: <http://lib.volpi.ru>. – Загл. с титул. экрана.
ISBN 978-5-9948-2992-9

В учебном пособии рассматриваются основы диагностики оборудования химических и нефтеперерабатывающих предприятий. Приведены методики проведения испытаний, конструкции и технические характеристики приборов неразрушающего контроля. Учебное пособие предназначено для студентов, обучающихся по направлению 18.03.02 «Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии».

Ил. 40, табл. 5, библиограф.: 21 назв.

ISBN 978-5-9948-2992-9

© Волгоградский государственный
технический университет, 2018
© Волжский политехнический
институт, 2018

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	5
ЧАСТЬ 1. Вибродиагностика.....	6
1.1 Цели и задачи вибродиагностики.....	6
1.2 Средства и методы вибродиагностики.....	9
1.3 Методика диагностирования дефектов.....	11
1.4 Условия определения нормального состояния агрегата.....	13
1.5 Методы измерения параметров вибрации.....	14
1.6 Классификация диагностических параметров вибрации.....	20
ЧАСТЬ 2. Цветная дефектоскопия.....	22
2.1 Основные операции при проведении испытания.....	22
2.2 Обнаружение мельчайших дефектов.....	23
2.3 Очистка поверхности.....	24
2.4 Использование аэрозолей.....	26
2.5 Применение цветного пенетранта.....	27
2.6 Применение проявителя.....	29
2.7 Оценка результатов контроля.....	30
2.8 Проведение контроля в специфических условиях.....	31
2.9 Применение флюоресцентных пенетрантов.....	33
ЧАСТЬ 3. Магнитопорошковая дефектоскопия.....	36
3.1 Виды магнитопорошковых дефектоскопов.....	37
3.2 Чувствительность магнитопорошкового метода.....	43
3.3 Магнитопорошковый контроль.....	48
3.3.1 Подготовка детали к контролю.....	48
3.3.2 Намагничивание детали.....	49
3.3.3 Нанесение на деталь магнитного порошка или суспензии.....	56
3.3.4 Осмотр детали.....	57
3.3.5 Разбраковка и размагничивание детали.....	58

3.4 Трудности определения дефектов магнитопорошковым методом.....	60
ЧАСТЬ 4. Ультразвуковая дефектоскопия.....	62
4.1 Особенности ультразвукового дефектоскопа.....	62
4.2 Принцип работы дефектоскопа.....	63
4.3 Наладка дефектоскопа.....	68
ЧАСТЬ 5. Рентгенодиагностика.....	71
5.1 Применение средств неразрушающего контроля на различных стадиях производства.....	72
5.2 Общие сведения радиационного контроля.....	76
5.3 Рентгеновские аппараты.....	79
5.3.1 Аппаратурное оформление.....	79
5.3.2 Схема проведения испытания.....	85
5.4 Рентгеновская аппаратура для промышленного просвечивания.....	91
5.4.1 Переносная (портативная) рентгеновская аппаратура.....	91
5.4.2 Импульсная рентгеновская аппаратура.....	94
Библиографический список.....	96
Приложение.....	98

ВВЕДЕНИЕ

В последнее время все предприятия вынуждены искать способы повышения эффективности работы своих ремонтных служб. Наилучшие результаты при этом получаются при переходе от системы обслуживания оборудования – ППР к системе обслуживания по техническому состоянию. Известно, что не следует разбирать и ремонтировать еще хорошее оборудование. Простая разборка и сборка оборудования, даже без замены деталей, может уменьшить ресурс его работы на 30 процентов. Также нет гарантии, что Вы при ремонте установите комплектующие лучшего качества. А если еще учесть неизбежную послеремонтную приработку узлов агрегата, то вместо пользы будет... Но нельзя и откладывать необходимый ремонт. Обычно все дефекты имеют тенденцию к дальнейшему саморазвитию, разрастаясь до целого "букета" причин, одна из которых приводит в конечном итоге к аварийной остановке агрегатов. Самый дешевый и быстрый ремонт – своевременное устранение первопричины аварии. Это достигается за счет оперативной оценки текущего технического состояния оборудования, своевременного выявления дефектов, оптимального планирования сроков проведения ремонтов.

ЧАСТЬ 1. Вибродиагностика

1.1 Цели и задачи вибродиагностики

Техническая диагностика – наука о распознавании технического состояния объекта, включающая широкий круг проблем, связанных с получением и обработкой диагностической информации.

Техническая диагностика преимущественно использует весьма ограниченную информацию, она производится обычно в процессе эксплуатации и не предусматривает разборку машины, ее часто называют безразборной диагностикой.

Теоретическим фундаментом технической диагностики считают общую теорию распознавания образов, которая является разделом технической кибернетики.

При решении диагностической задачи имеется существенный риск допустить две ошибки, первая из которых состоит в ложной тревоге, а вторая – пропуске цели (дефекта). Соотношение между этими ошибками таково, что, пытаясь застраховаться от одной, мы неизбежно повышаем риск допустить другую. Цена каждой из этих ошибок должна быть соответственно учтена при принятии решения. Для принятия правильного решения с учетом этого обстоятельства рекомендуют применять теорию статических решений.

Диагностические алгоритмы, или алгоритмы распознавания, представляют собой последовательность действий в процессе диагностирования. Алгоритмы распознавания, в частности, используют диагностические модели и модели отказов. Модели отказов, изучаемые теорией надежности, позволяют заблаговременно предсказывать время возможного отказа.

Помимо теории распознавания в технической диагностике также используется теория контролеспособности.

Контролеспособность – свойство объекта обеспечивать достоверную оценку его технического состояния и своевременное обнаружение неисправностей, она определяется конструкцией объекта и используемыми контрольно-измерительными и диагностическими средствами. Теория контролеспособности занимается задачами проектирования систем контроля и диагностики, их оптимизацией (минимизацией) и разработкой алгоритмов поиска неисправностей, способов диагностического тестирования.

Таким образом, теория распознавания и теория контролеспособности составляют двуединую теорию технической диагностики.

К решению задачи распознавания существует два основных подхода:

- Вероятностный.
- Детерминистский.

Вероятностный метод использует статистические связи между состоянием объекта и диагностическими параметрами, в результате реализации некоторого алгоритма при этом находится наиболее вероятный диагноз и по возможности определяется степень его достоверности.

Детерминистский метод устанавливает связь состояния объекта с координатами в пространстве диагностических параметров на основе изученных закономерностей, в частности с использованием теории колебаний.

Приведем два примера. На машине некоторого типа произошел отказ, при этом не исключено несколько диагнозов, например таких: обрыв детали (лопатки) на роторе, поломка болтов муфты, отрыв фундаментальной плиты.

Изменения диагностических параметров при этом таковы, что все рассматриваемые причины не исключены и примерно равновероятны.

Одновременно известно, что на машинах данного типа первый дефект встречается при 50% отказов, второй при 5% и третий при 3%. Из этой последовательности информации на основе теории вероятности делается

вывод, что наиболее вероятен первый дефект. Этот пример иллюстрирует вероятностную методологию.

Второй пример. В одной из точек контроля вибрации на подшипнике машины постепенно нарастает высокочастотная вибрация, при этом наиболее резко растут составляющие, кратные по частоте половин оборотной ($1,5 \omega$, $2,5 \omega$, $3,5 \omega$., где ω – частота вращения). Установлено, что такой признак однозначно определяет появление ослаблений (разболтанности) в опорной системе. Соответствующий диагноз получен при этом, детерминистским методом.

Необходимо сделать одно очень важное замечание. Все статистические методы требуют репрезентативного статистического материала в виде известных вероятностей рассматриваемых событий. За редким исключением, таких данных нет, это относится, прежде всего, к крупным энергетическим агрегатам. Кроме того, при достаточно достоверном обнаружении статистическими методами склонности машины к определенным отказам в ее конструкцию вносятся изменения, которые перечеркивают всю накопленную статистику.

В распоряжении специалистов, разрабатывающих и использующих системы вибродиагностики, имеются, главным образом, некоторые детерминированные диагностические алгоритмы и, что важнее всего, их знания и опыт, в применении которых чаще всего неформально и в неявной форме сочетаются вероятностные и детерминистские методы.

Методы вибродиагностики направлены на обнаружение и идентификацию таких исправностей агрегата, которые оказывают влияние на его вибрацию: дефектов роторов, опорной системы и узлов статора, испытывающих либо генерирующих динамические нагрузки.

Целями вибродиагностики являются:

- Предупреждение развития дефектов агрегата и сокращение затрат на его восстановление.
- Определение оптимальной технологии восстановления работоспособности агрегата, если возникший дефект исключает возможность его нормальной эксплуатации.

Основной задачей вибродиагностики является разделение множества возможных технических состояний агрегата на два подмножества: исправных и не исправных.

Следующей задачей является постановка диагноза, состоящего в определении характера и локализации одного или группы дефектов, соответствующих вибрационному состоянию агрегата.

Одной из задач вибродиагностики является возможное обнаружение дефекта на ранней стадии и прогнозирование его развития во времени.

На основании диагноза определяются оптимальный режим эксплуатации агрегата в условиях возникшей неисправности и технология устранения дефекта и восстановления работоспособности агрегата.

Чем надежней и конкретней диагноз, тем ниже затраты, связанные с восстановлением агрегата.

1.2 Средства и методы вибродиагностики

В зависимости от привлекаемых средств, конкретных целей и принятой технологии вибродиагностики формируется ее методика.

Наиболее простой и дешевой технологией вибродиагностики является периодический контроль интенсивности вибрации статорных элементов (подшипников) простейшими переносными виброметрами. При этом диагностическими признаками дефектов служит уровень интенсивности вибрации, соотношение между его значениями в разных точках и изменение во времени (тренд).

Трудность диагностирования при этом состоит в том, что не существует надежных признаков для идентификации конкретных дефектов; кроме того, в ряде случаев при существенном возрастании некоторой диагностической информативной гармоника вибрации общий уровень интенсивности вибрации может меняться несущественно. В то же время по уровню вибрации и росту ее во времени в большинстве случаев можно достаточно надежно квалифицировать состояние агрегата как исправное и не исправное.

У некоторых дефектов есть признаки, позволяющие в определенной ситуации установить дефект как наиболее вероятный. Назовем некоторые из них.

Если ротор опирается на подшипники качения интенсивность вибрации (СКЗ виброскорости) преобладает на одном подшипнике и растет во времени, то, скорее всего, дефект состоит в повреждении (износе поверхностей качения) этого подшипника. Однако такой же характер вибрации может быть связан с деградацией опорных (фундаментальных) элементов под рассматриваемым подшипником либо с появлением дисбаланса с одной стороны ротора; в этом случае упомянутый признак оказывается несостоятельным.

Если наблюдаются относительно высокие вибрации в осевом направлении при повышенных вибрациях в других направлениях на подшипниках одного ротора, то это может быть связано с остаточным прогибом этого ротора. В то же время при несоосности венцов муфты (коленчатость) на машине, состоящей из приводного электродвигателя, подшипники которого встроены в корпус, возможен такой же характер вибрации, который может быть и при определенном расположении дисбалансов на некотором роторе машины.

Если резко нарушается соотношение между вертикальными и поперечными составляющими вибрации, то это может быть вызвано повреждением фундамента либо отрывом фундаментальной плиты. Однако при некоторых динамических свойствах агрегата это может быть связано с определенной формой неуравновешенности, появлением низкочастотной вибрации и другими причинами.

Наиболее распространена технология диагностирования, предусматривающая определение неисправного состояния агрегата по данным штатных контрольных измерений вибрации с последующим определением характера неисправности по данным специальных виброизмерений и диагностического тестирования (вибрационных исследований). При специальных виброизмерениях производится гармонический анализ вибрационных сигналов, определяются амплитуды и фазы оборотной и двойной оборотной вибрации. Вибрационные измерения производятся на разных, целесообразным образом осуществляемых режимах агрегата при выбеге и развороте агрегата.

1.3. Методика диагностирования дефектов

Определение технического состояния агрегата по вибрационным параметрам производится как по содержанию соответствующей информации в текущий момент времени, так и на основе анализа изменений ее во времени.

В качестве диагностических параметров используются разнообразные параметры вибрации (в том числе и спектры вибрации), параметры случайного процесса изменения вибрации, специальные функции параметров вибрации (например, полусумма и полуразность оборотной вибрации в двух выбранных точках, отношение некоторых параметров вибрации в разных

направлениях). В ряде случаев необходимо измерять и учитывать невибрационные параметры, влияющие на вибрацию.

Количественные и качественные характеристики значений диагностических параметров и их изменений, характерные для некоторого дефекта, являются признаками этого дефекта. У дефекта может быть несколько признаков, а некоторый признак может быть общим для группы разных по природе дефектов. Например, наличие в спектре вибрации некоторых низкочастотных гармоник может быть признаком и задеваний ротора за статорные элементы, и субгармонических колебаний под действием дисбаланса, и несовершенства формы расточки подшипника скольжения. В совокупности признаков дефекта может не оказаться ни одного, который сам по себе был бы необходимым и (или) достаточным для диагностирования.

В принципе возможно экспериментальными и математическими методами получить количественные оценки влияния любого дефекта на диагностические параметры для любых условий, хотя это, как правило, связано с большими трудностями и затратами. Однако такая работа обесценивается тем обстоятельством, что неуловимые отличия динамических характеристик агрегата оказывают на эти оценки решающее влияние. Разные эксперты оценивают максимально возможные отличия значений влияния заданных дефектов на вибрационные параметры однотипных машин в пределах от 10 до 1000 раз. Наибольшие отличия относятся к высокочастотным составляющим спектра вибрации.

При всех описанных сложностях всесторонний учет экспериментальных данных, математических и экспериментальных оценок делают задачу вибродиагностики в большинстве случаев разрешимой.

Для повышения достоверности диагноза с учетом приведенных соображений целесообразно: полное использование всех известных

признаков дефектов, вероятностью которых нельзя пренебречь по результатам анализа наблюдаемых диагностических параметров.

Отметим, что даже полный и правильный учет всех доступных данных не всегда гарантирует стопроцентную точность диагноза. Ошибки возможны в определении как характера дефекта, так и его локализации. Например, при определенных динамических свойствах машины легко можно перепутать поломку лопатки с проскальзыванием по ротору насадной детали, ошибиться в определении места повреждения на роторе и даже в определении ротора, на котором возник дефект. Известны случаи, когда ошибочный диагноз (поставленный современными методами диагностирования) приводил к большим и напрасным работам по разборке агрегата. Сказанное иллюстрирует необходимость разумной осторожности при постановке диагноза и указания в нем всех возможных вариантов неисправностей.

1.4 Условия определения нормального состояния агрегата

Состояние агрегата определяется как нормальное при одновременном выполнении следующих условий:

- Интенсивность вибрации в контролируемых точках соответствует стандартным нормам.
- Диагностические параметры находятся в пределах, соответствующих заданному режиму работы агрегата.
- На стационарном режиме наблюдается стационарная вибрация: параметры ее изменчивости не выходят за пределы, характерные для заданного режима.
- Отсутствуют существенные внезапные изменения вибрации.
- Отсутствует существенный монотонный рост вибрации во времени (тренд).
- Отсутствует существенная низкочастотная вибрация.

- Отсутствуют существенные изменения спектрального состава вибрации.

Количественные оценки (эталон качества) для определения выполнения этих условий определяются нормативными документами, результатами статической обработки данных виброизмерений (архивных) и экспертными оценками.

Приведенная технология определения нормального состояния по существу является процедурой, которая в технической диагностике называется сигнатурным анализом. Сигнатура – стандартный, соответствующий нормальному состоянию агрегата набор значений контролируемых параметров вибрации, включая параметры спектра вибрации. Сигнатура определяется статистическими методами на основе виброизмерений при разных режимах в течение достаточного времени адаптации системы вибродиагностики. Для каждого характерного режима агрегата может быть определена соответствующая сигнатура. Существенные, статистически достоверные изменения сигнатуры – свидетельство появления ненормальности.

1.5 Методы измерения параметров вибрации

Современные технологии требуют непрерывного контроля за многими параметрами технологического процесса и контроля состояния оборудования. Одними из важнейших являются параметры механического движения, в частности параметры периодических перемещений исследуемого объекта в пространстве (вибрации). Этими параметрами являются виброперемещение (амплитуда вибрации) и виброскорость (частота вибрации).

Подобный контроль необходим в самых разных областях:

- В полупроводниковой электронике (контроль вибрации установок для выращивания кристаллов).
- В микроэлектронике (вибрация установок фотолитографии).
- В машиностроении (вибрация станков и биение деталей).
- В автомобильной промышленности (контроль вибрации отдельных узлов автомобилей и всего автомобиля в целом).
- На железнодорожном транспорте (датчики приближения поезда).
- В энергетике (контроль вибрации лопаток газовых турбин).
- В авиастроении (контроль биений турбин) и т.д.

В настоящее время разработано достаточно много вибродатчиков, основанных на различных методах приема и обработки сигнала. Все они имеют свои преимущества и недостатки.

Существует две группы методов измерения параметров вибраций:

- Контактные, подразумевающие механическую связь датчика с исследуемым объектом.
- Бесконтактные, т.е. не связанные с объектом механической связью.

Рассмотрим вначале контактные методы. Наиболее простыми являются методы регистрации вибраций с помощью пьезоэлектрических датчиков. Они позволяют проводить измерения с высокой точностью в диапазоне низких частот и относительно больших амплитуд вибрации, но вследствие своей высокой инерционности, приводящей к искажению формы сигнала, делает невозможным измерение вибраций высокой частоты и малой амплитуды.

Кроме того, если масса исследуемого объекта мала, следовательно, и его инерционность не велика, то такой датчик может существенно влиять на характер вибрации, что вносит дополнительную ошибку в измерения.

Эти недостатки позволяет устранить метод открытого резонатора. Суть метода заключается в измерении параметров СВЧ резонатора, изменяющихся

вследствие вибрации исследуемого объекта. Резонатор имеет два зеркала, причем одно из них фиксировано, а другое механически связано с исследуемым объектом. Регистрация перемещений при малых амплитудах вибраций производится амплитудным методом по изменению входной мощности в случае проходной схемы включения резонатора или отраженной мощности, в случае применения конечного включения. Этот метод измерения требует постоянства мощности, подводимой к резонатору и высокой стабильности частоты возбуждения.

В случае больших амплитуд вибраций регистрируется смещение резонансной частоты, что можно сделать с очень высокой точностью. Для повышения добротности и уменьшения дифракционных потерь используют сферические зеркала.

Разрешающая способность данного метода 3 мкм. Метод обладает малой инерционностью по сравнению с описанным выше методом, но его применение не рекомендуется, если масса зеркала принципиально меньше массы исследуемого объекта.

Однако механическая связь датчика с исследуемым объектом далеко не всегда допустима, поэтому последние годы основное внимание уделяется разработке бесконтактных методов измерения параметров вибраций. Кроме того, их общим достоинством является отсутствие воздействия на исследуемый объект и пренебрежительно малая инерционность.

Все бесконтактные методы основаны на зондировании объекта звуковыми и электромагнитными волнами.

Одной из последних разработок является метод ультразвуковой фазометрии. Он заключается в измерении текущего значения разности фаз опорного сигнала ультразвуковой частоты и сигнала, отраженного от исследуемого объекта. В качестве чувствительных элементов используется пьезоэлектрическая керамика.

На частоте ультразвука 240 кГц. чувствительность измерения виброперемещения 10 мкм в диапазоне от 10 до $5 \cdot 10$ мкм, расстояние до объекта до 1.5 м.

На частоте 32 кГц. чувствительность 30 мкм, расстояние до объекта до 2м. С ростом частоты зондирующего сигнала чувствительность растет.

В качестве достоинств метода можно отметить дешевизну и компактность аппаратуры, малое время измерения, отсутствие ограничения снизу на частотный диапазон, высокую точность измерения низкочастотных вибраций.

Недостатками являются сильное затухание ультразвука в воздухе, зависимость от состояния атмосферы, уменьшение точности измерения с ростом частоты вибрации.

Большое распространение получили методы, основанные на зондировании объекта видимым светом.

Все оптические методы подразделяются на две группы. К первой относятся методы, основанные на регистрации эффекта Доплера. Простейшим из них является гомодинный метод, который позволяет измерять амплитуды и фазы гармонических вибраций, но с его помощью невозможно исследовать негармонические и большие по амплитуде вибрации. Эти недостатки можно устранить, используя гетеродинные методы. Но они требуют калибровки и, кроме того, измерительная аппаратура сильно усложняется. Существенным недостатком перечисленных выше методов являются высокие требования к качеству поверхности исследуемого объекта. Но они теряют свое значение при использовании голографических методов, которые и образуют вторую группу.

Голографические методы обладают высокой разрешающей способностью (до 0.05), но они требуют сложного и дорогостоящего оборудования. Кроме того, время измерений очень велико.

Общими недостатками оптических методов являются сложность, громоздкость и высокая стоимость оборудования, большое энергопотребление, высокие требования к состоянию атмосферы (определенная влажность, отсутствие запыленности и т.п.). Кроме того, лазерное излучение оказывает вредное влияние на зрение обслуживающего персонала и требует дополнительных мер предосторожности и защиты.

Часть этих недостатков можно устранить, применяя методы, основанные на использовании СВЧ излучения. Они подразделяются на интерференционные и резонаторные.

В основе интерференционных методов лежит зондирование исследуемого объекта волнами ВЧ и СВЧ диапазонов, прием и анализ отраженных (рассеянных) объектом волн. Между излучателем и исследуемым объектом в результате интерференции образуется стоячая волна. Вибрация объекта приводит к амплитудной и фазовой модуляции отраженной волны и к образованию сигнала биений. У выделенного сигнала переменного тока амплитуда пропорциональна виброперемещению, а частота соответствует частоте вибрации объекта. Установка состоит из СВЧ генератора на отражательном клистроне, который модулируется прямоугольными импульсами, вырабатываемыми генератором, вентилем для отсечки отраженной волны, измерительной линии, приемно-передающей антенны с диэлектрической линзой, исследуемого объекта, кристаллического детектора, усилителя переменного тока, детектора низкой частоты и индикаторного устройства.

Данная установка обеспечивает высокую точность измерений при значительном удалении от исследуемого объекта, обладает малой инерционностью, не зависит от температуры. Но она требует точной градуировки.

Резонаторные методы основаны на размещении вибрирующего объекта в поле СВЧ резонатора (вне или, хотя бы частично, внутри его), вследствие чего изменяются характеристики резонатора.

Сигнал с СВЧ генератора через двойной Т-образный мост поступает на приемно-передающую антенну и регулируемую нагрузку. Отказавшись от исследуемого объекта, сигнал через двойной Т-образный мост поступает на кристаллический детектор, на который одновременно приходит сигнал, отраженный от согласованной нагрузки. Продетектированный сигнал увеличивается усилителем, после чего поступает на индикаторное устройство. Любое смещение исследуемого объекта вызывает разбаланс двойного Т-образного моста, что приводит к появлению сигнала на индикаторном устройстве. Минимальное регистрируемое виброперемещение зависит от собственных шумов генератора, его мощности и стабильности, а также от механической стабильности устройства.

Бесконтактное измерение параметров вибраций резонаторным методом позволяет включать приемно-передающей антенны в частотнозадающую цепь СВЧ генератора, т.е. при работе в автогенераторном режиме. Такие системы называются автодинными генераторами или просто автодинами. Автодинный измеритель вибраций состоит из отражательного клистрона, волноводной системы, коротко замыкающего поршня, диэлектрической антенны и исследуемого объекта. Вследствие вибрации объекта изменяется режим генерации, появляется приращение постоянной составляющей тока в цепи резонатора клистрона, а на резисторе R появляется приращение напряжения.

Разрешающая способность данной установки до 1 мкм. Недостаток заключается в том, что клистрон требует больших питающих напряжений, что приводит к увеличению размеров аппаратуры и большому энергопотреблению. Но этого можно избежать, если в качестве СВЧ

генератора использовать твердотельные СВЧ диоды (ДГ, ЛПД, ИПД, ЕД и т.д.).

1.6 Классификация диагностических параметров вибрации

Для каждого эпизода, при котором нарушаются критерии нормального состояния агрегата, в связи с необходимостью диагностирования возникает задача выбора диагностических параметров из доступного множества данных. Прежде всего, следует выбрать точки, в которых параметры вибрации не соответствуют эталонам качества. Для этих точек выделяются гармонические составляющие, которые вносят наибольший вклад в нарушение эталона качества. Параметры этих составляющих и их функции являются основными диагностическими параметрами, по которым определяют группу возможных причин вибрации. Другие параметры используются для уточнения диагноза.

Разделим спектр вибрации на четыре зоны:

- Обратная вибрация.
- Низкочастотная вибрация.
- Двойная обратная вибрация.
- Высокочастотная вибрация.

Оборотная и двойная обратная вибрации являются синхронными: точно определены их частоты (f_0 и $2f_0$) и могут быть определены фазы.

Низкочастотная вибрация (НЧВ) чаще имеет половинную оборотную частоту ($f/2$), иногда частоту ($f_0/3$), и является при этом синхронной. Нередко наблюдаются несинхронные (некратные) частоты НЧВ, обычно имеющие частоту собственных колебаний ротора.

Высокочастотные составляющие обычно имеют богатый спектр.

Для крупных энергетических турбоагрегатов в первом приближении важно знать не дискретные составляющие высокочастотного спектра, а

общий вклад высокочастотных составляющих в интенсивность вибрации. Для данного случая диагностическим параметром является среднеквадратическое значение вибрации для всех гармоник выше ($2f_0$).

В качестве диагностических, помимо параметров спектра, используются другие параметры вибрационного процесса, соответствующие потребностям конкретных диагностических алгоритмов, которые получают путем специальной обработки вибрационных сигналов.

ЧАСТЬ 2. Цветная дефектоскопия

2.1 Основные операции при проведении испытания

Метод цветной дефектоскопии применяют для контроля сварных соединений из немагнитных материалов: коррозионно-стойких сталей аустенитного класса, алюминия, латуни, титана и др., для которых неприменим магнитный метод контроля. Так как метод магнитной дефектоскопии сварных соединений более сложный, цветной контроль применяют и для проверки качества сварных соединений из ферромагнитных материалов.

Метод цветной дефектоскопии применяют для выявления межкристаллитной коррозии как на образцах из коррозионно-стойких сталей, так и на деталях действующей аппаратуры химических производств. В качестве инструмента для проведения контроля методом цветной дефектоскопии применяют пенетрационный набор различных фирм – изготовителей. Рассмотрим на примере пенетранта компании SHERWIN.

Основные операции, производимые при проведении цветного капиллярного контроля:

- Очистка поверхности.
- Нанесение пенетранта.
- Удаление избытков пенетранта.
- Нанесение проявителя.
- Оценка результатов контроля.

Важные операции: удаление избытков Пенетранта и применение Проявителя.

Наибольшее влияние на качество контроля оказывают две операции: удаление избытков Пенетранта и нанесение Проявителя. В данной части описывается использование материалов для проведения цветного капиллярного контроля в специфических условиях: в режиме высоких и низких температур, методом течеискания, совместного применения цветного и флюоресцентного методов, а также при использовании аэрозольной упаковки и упаковки для нанесения материалов вручную.

2.2 Обнаружение мельчайших дефектов

Капиллярный метод пригоден для выявления несплошностей с поперечными размерами 0,1 - 500 мкм, в т.ч. сквозных, на поверхности черных и цветных металлов, сплавов, керамики, стекла и т.п. Межкристаллитная коррозия выявляется в виде мелкой сетки на белом фоне покрытия или сплошного покраснения покрытия на прокорродировавших участках металла. При наличии эталонных образцов с различной глубиной коррозии по степени покраснения можно приблизительно определить глубину коррозии. При значительной глубине межкристаллитной коррозии покраснение белого покрытия происходит уже через 1—2 мин.

По совокупности качеств: возможности выявления микроскопических дефектов на поверхности, недоступных другими методами, стоимости контроля единицы площади изделия, простоте, отсутствию сложной аппаратуры, портативности и мобильности – капиллярный метод превосходит все другие методы. Широко применяется для контроля целостности сварного шва. Дефекты проявляются в виде красных "следов" на белом фоне.

В результате проведения цветного контроля дефекты обнаруживаются в виде ярких четких красных линий на белом фоне. Сам же процесс обычно

делят на 3 этапа. 1-ый этап состоит в нанесении жидкого красного Пенетранта, который проникает в поверхностные дефекты. 2-ой этап – удаление излишков Пенетранта с поверхности объекта контроля. 3-ий этап – нанесение Проявителя, содержащего белое пигментное вещество, способствующее "вытягиванию" Пенетранта из дефектов и одновременно служащее для повышения контрастности.

В проведении тестирования применяются три материала: Пенетрант (1-я Фаза), Очиститель (2-я Фаза), Проявитель (3-я Фаза). Наиболее часто используемой упаковкой являются удобные герметичные аэрозольные баллончики. При использовании такой упаковки отпадает необходимость в использовании кисти, нет угрозы разлива или перерасхода материала, упаковка удобна для хранения и применения. Цветной Пенетрант может быть нанесен на отдельные участки, нуждающиеся в контроле, например, на сварной шов. Пенетрант может быть удален сухой или смоченной очистителем салфеткой. Если Пенетрант водосмываемый, то излишки Пенетранта могут быть смыты с поверхности водой или салфеткой, смоченной в воде. Проявитель всегда наносится распылением.

2.3 Очистка поверхности

Очистка поверхности – важный этап в проведении цветного капиллярного контроля. Контролируемая поверхность должна быть очищена от остатков смазки, сварочных шлаков, окалины, ржавчины, краски, масла. Полированные детали очищают особенно тщательно, так как для полирования применяют труднорастворимые вещества. Оксидную пленку на деталях, препятствующую выявлению дефектов, удаляют механическим способом.

Цветной метод применяют для контроля сварных швов, выполненных как автоматической, так и ручной сваркой. На поверхности сварного шва и прилегающих к нему участков основного металла (околошовная зона) не должно быть следов окалины, оксидной пленки, шлака, ржавчины, а также грязи, масел и других органических и неорганических веществ. Ширина околошовной зоны, подвергаемой контролю, – не менее 30 мм с каждой стороны от сварного шва.

Валики шва, подрезы, шлаковые включения и т. п. при наличии на поверхности сварного шва резких западаний между ними удаляют механической зачисткой. Если шов недостаточно тщательно промыт и очищен от окалины, проявляющее покрытие окрашивается в розовый цвет и чувствительность метода снижается, так как мелкие трещины на розовом фоне покрытия трудноразличимы.

Очистка поверхности при помощи очистителя SHERWIN. Распылите Очиститель SHERWIN на загрязненную поверхность. Подождите 30 секунд для разрушения органических загрязнений. Высушите поверхность тканью или салфеткой. Повторяйте до полного очищения поверхности.

Проводя очистку поверхности, выделяйте достаточно времени для высыхания Очистителя, попавшего в дефекты. Очиститель должен полностью улетучиться из дефектов перед применением Пенетранта. Время, необходимое для этого, зависит от температуры и влажности окружающей среды.

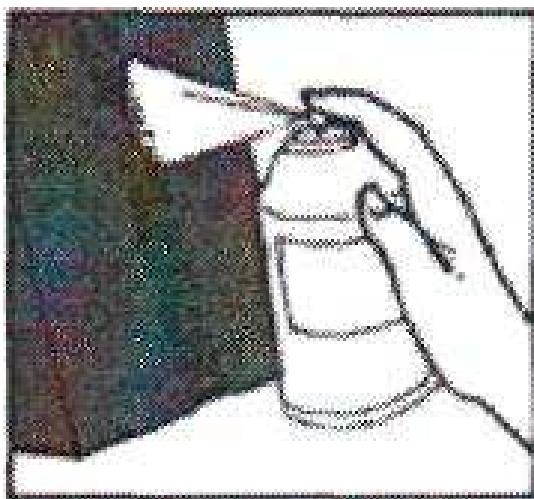


Рис.1 Распылите Очиститель контролируемую поверхность

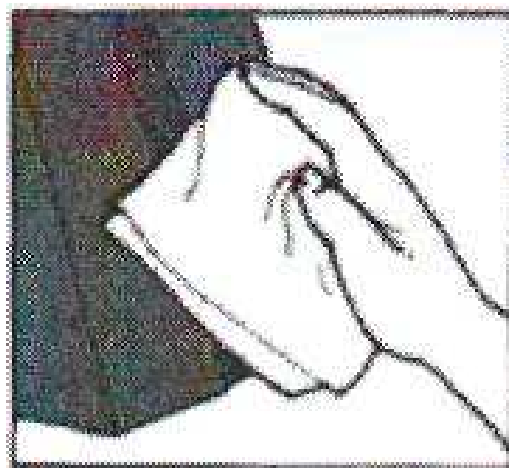


Рис. 2 Высушите контролируемую поверхность салфеткой

2.4 Использование аэрозолей

При нанесении Проявителя распылением требуется особенно хорошая техника:

- Тщательно встряхивайте аэрозольные баллоны с Проявителем непосредственно перед использованием, пока не услышите, что шарики, способствующие перемешиванию, стучат свободно.
- Держите баллон на расстоянии 20-30 см от поверхности.
- Чтобы напыляемый слой сделать ровным и гладким, начните работать с аэрозольным баллоном на области, соседней с исследуемой.
- Затем перемещайте распыление поперек исследуемой поверхности с постоянной медленной скоростью, помня, что 2 или 3 тонких слоя Проявителя лучше, чем один толстый слой.

В отличие от нанесения Проявителя, специальных методик при нанесении Пенетранта на поверхность или Очистителя на салфетку не требуется. Все аэрозольные баллоны подвержены влиянию температурных изменений. Давление в таком баллоне понижается при низких температурах

и повышается при высоких температурах. Температуры ниже $+7^{\circ}\text{C}$ могут привести к снижению давления ниже требуемого. Высокие температуры могут вызывать избыточное давление, которое может быть опасным. Нельзя хранить аэрозоли при температурах выше 40°C ; оберегайте от попадания прямых солнечных лучей; держите вдали от источников открытого огня; не сжигайте.

2.5 Применение цветного пенетранта

Пенетрант SHERWIN нужно распылить на очищенную и высушенную поверхность. Подождите 3-5 минут. Если поверхность не была хорошо подготовлена и в дефектах возможны остатки загрязнений или температура окружающей среды ниже 12°C , то время, необходимое для впитывания Пенетранта, должно быть увеличено. Если температура поверхности выше 45°C , время, необходимое для впитывания Пенетранта, может быть уменьшено. При температуре поверхности выше 80°C это время составляет около 1 минуты. При более высокой температуре поверхности используйте набор материалов для цветной дефектоскопии.

Удаление излишков цветного Пенетранта. Очень важно внимательно провести данную процедуру во избежание вымывания Пенетранта из дефектов. Излишки цветного Пенетранта снимаются с контролируемой поверхности салфеткой из ткани или бумаги. Салфетка может быть предварительно смочена Очистителем. Высушите контролируемую поверхность.

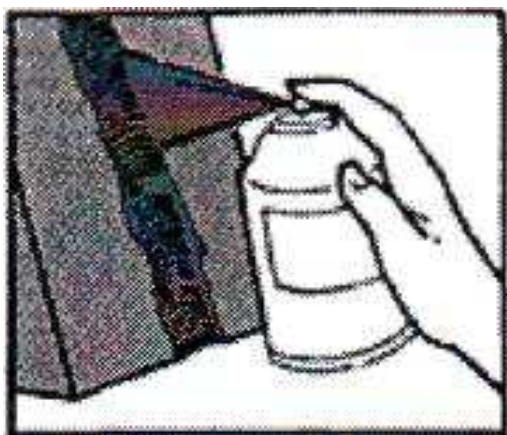
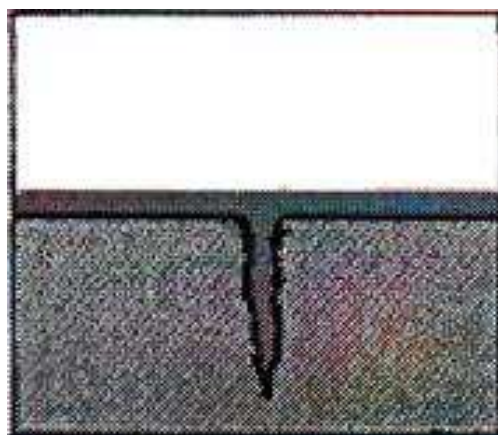


Рис.3 Распылите Пенетрант на контролируемую поверхность



27 Рис. 4 Дайте Пенетранту время проникнуть в дефекты, благодаря капиллярным силам

При необходимости повторите процедуру до полного удаления излишков Пенетранта с поверхности. Важно, что на этой стадии не надо распылять Очиститель прямо на контролируемую поверхность. Излишки водосмываемого Пенетранта могут быть удалены с поверхности таким же образом, как и несмываемого, водой. В этом случае салфетка может быть смочена водой вместо Очистителя.

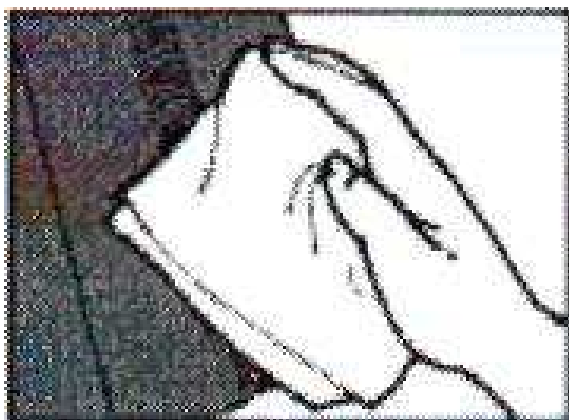


Рис.5 Удалите излишки Пенетранта сухой или смоченной Очистителем салфеткой

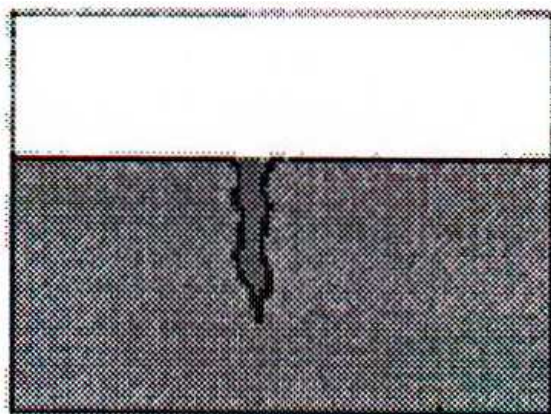


Рис. 6 Поверхность очищена, а Пенетрант остался внутри дефектов

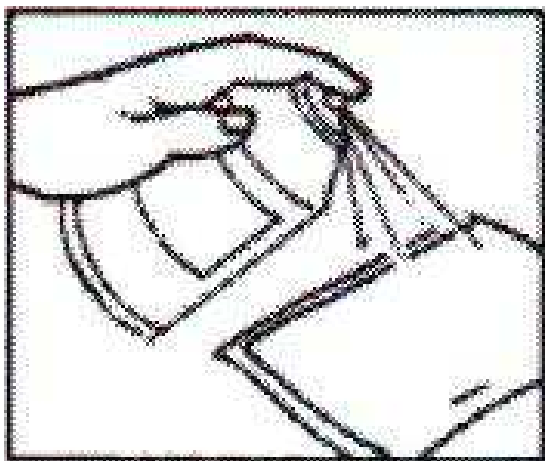


Рис.7 Смочите салфетку Очистителем, и потрите ею оставшиеся красные пятна

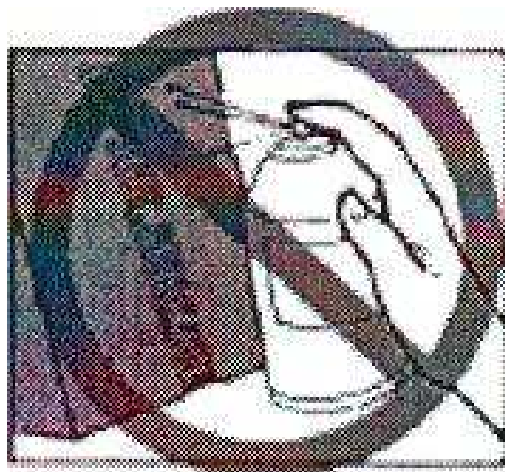


Рис. 8 Не распыляйте Очиститель прямо на потрите контролируемую поверхность

2.6 Применение проявителя

Правильная методика нанесения Проявителя является обязательной для четкого определения дефектов. Перед нанесением тщательно встряхните флакон с Проявителем, чтобы полностью восстановить взвешенное состояние частиц белого пигмента. Распыление является рекомендуемым и наиболее подходящим методом нанесения Проявителя на поверхность. Целью является напыление тонкого равномерного слоя. Он должен быть слегка влажным, чтобы Проявитель мог "вытянуть" Пенетрант, находящийся в полости дефектов на поверхность для наблюдения. Нанесите тонкий равномерный слой Проявителя. Равномерно нанесенный слой белого Проявителя должен быть достаточным, чтобы обеспечить (1) -хороший капиллярный путь для красящего Пенетранта и (2) - хороший контрастный белый фон для отметок трещин красным красящим Пенетрантом. Но слой не должен быть слишком толстым, иначе он будет скрывать или затемнять красные индикаторные следы дефектов.

Лучше нанести два или три тонких слоя Проявителя, чем один толстый.

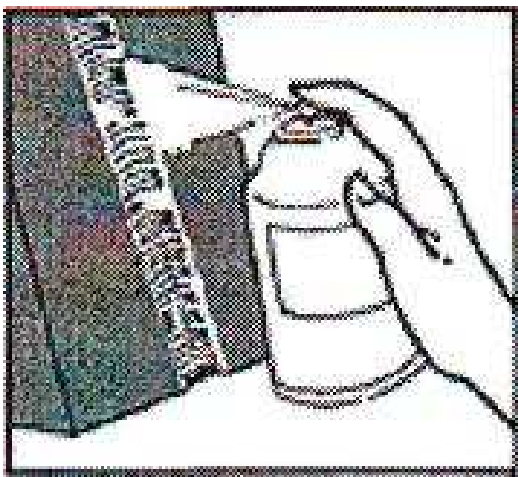


Рис. 9 Проявитель напыляется в 2 или 3 слоя с расстояния от 8 до 12 дюймов

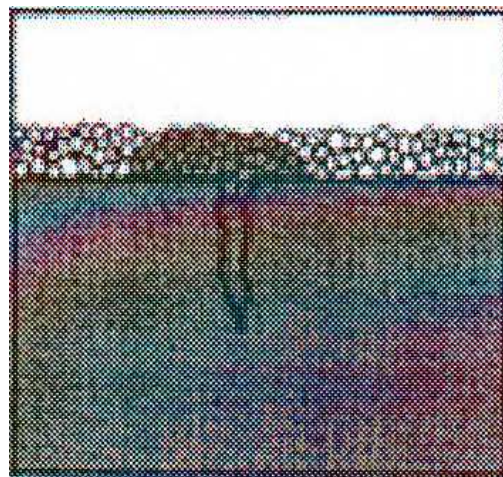


Рис. 10 Равномерный тонкий слой Проявителя вытягивает красный Пенетрант из дефектов посредством адсорбции

2.7 Оценка результатов контроля

Индикаторные следы дефектов (если таковые имеются) проявятся, как только Проявитель высохнет; однако рекомендуем выждать 5 минут дополнительно, чтобы они проявились полностью для более точного визуального обследования и интерпретации результатов. Если Вы предполагаете наличие труднопроницаемых трещин, выждите более продолжительное время. Скорость проявления, глубина цвета, так же как рисунок следа указывает на тип дефекта. Красные линии показывают трещины, складки, отсутствие сплавления. Глубокие дефекты проявляются в виде точек, образующих прямую или кривую линию. Пористость проявляется в виде рассеянных красных точек. Критерии отбраковки детали обычно определяются инженерами-конструкторами. Не все дефекты могут служить поводом для отбраковки. Размер, положение и тип индикаторного следа так же, как дальнейший режим обработки и использования детали и рабочая нагрузка будут влиять на решение инженера-конструктора.

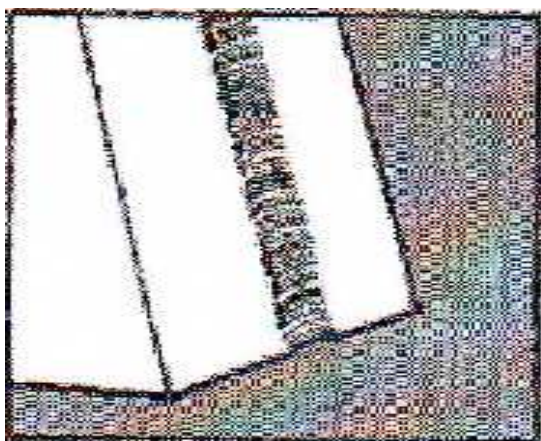


Рис.11 Признаки дефекта в сварном шве

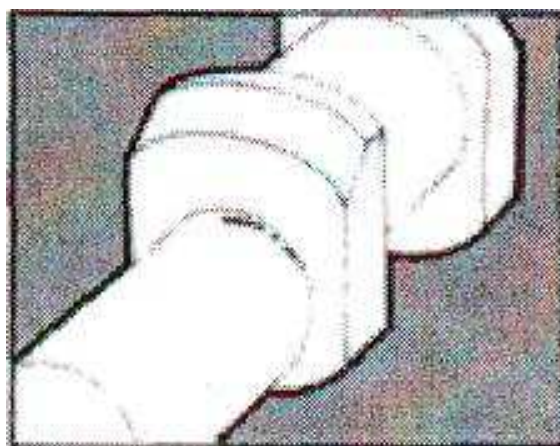


Рис. 12 Признак усталостной трещины коленчатом валу

Красная линия говорит о наличии трещины или отсутствия сплавления.

- Красные точки, образующие прямую или кривую линию, говорят о тонкой трещине.
- Рассеянные красные точки означают пористость.

Обычно Проявитель, остающийся на поверхности, удаляется перед последующей обработкой или использованием детали. Протрите поверхность салфеткой, смоченной водой, а затем сухой салфеткой. Если материал имеет склонность к корродированию, то после этого может быть проведена обработка, предупреждающая коррозию.

2.8 Проведение контроля в специфических условиях

Холодные погодные условия. Некоторые международные и российские стандарты устанавливают уровень минимальных температур для контроля поверхности капиллярным методом (обычно $+7^{\circ}\text{C}$), и технология применения материалов для капиллярной дефектоскопии в условиях низких температур требует специального объяснения. Холодная погода усложняет выполнение технологического процесса капиллярного контроля из-за конденсации воды на холодной поверхности, задерживает проникновение Пенетранта, замедляет скорость высыхания Проявителя и снижает давление в баллонераспылителе. Чтобы устранить эти затруднения, надо предпринять следующие шаги:

- Если присутствует конденсация, протрите поверхность насухо и, если это возможно, нагрейте поверхности каким-либо нагревательным прибором.
- Продлите время выдержки для Пенетранта до 30 мин.
- Разбрызгивайте Проявитель с большего, чем обычно, расстояния, так, чтобы он попадал на поверхность скорее сухим, чем влажным.

- По возможности, держите аэрозольные баллоны в тепле, особенно – Проявитель, например, носите его близко к телу, или используйте какой-либо другой способ.

Контроль методом течеискания. Дефекты, пронизывающие объект металла насквозь, легко регистрируются с применением Пенетрантов. Процедура отличается от стандартной тем, что на одну поверхность объекта контроля наносится Пенетрант, а на противоположную поверхность наносится Проявитель, а стадия удаления Пенетранта отсутствует. Эта технология, называемая "контроль течеисканием", применима для тонкостенных резервуаров, трубопроводов и баков. Одна сторона, например, внутренняя поверхность резервуара, обрабатывается Пенетрантом. Другая сторона покрывается Проявителем. Красящий Пенетрант проходит через дефект и, когда он достигает противоположной стороны, дефект проявляется в виде красного индикаторного следа на белом фоне. Полости дефектов должны быть очищены от посторонних веществ – воды, растворов, масел и т.д. Присутствие таких веществ мешает свободному проникновению Пенетранта. Применяйте метод течеискания прежде других тестов (гидростатических, ультразвуковых и пр.), чтобы минимизировать возможность загрязнения полостей дефектов. Метод течеискания имеет ограничения в применении по толщине стенок, она не должна превышать 62,5 мм. Скорость просачивания сквозь деталь зависит от формы капиллярного прохода. Узкий капилляр обеспечивает наилучшее прохождение. Пористость в детали замедляет движение Пенетранта. Если толщина стенки близка к максимуму и влияние капиллярности оценивается как незначительное, время выдержки должно быть увеличено. Период в 30 мин. является достаточным. Может оказаться полезным повторное нанесение Пенетранта в течение этого периода.

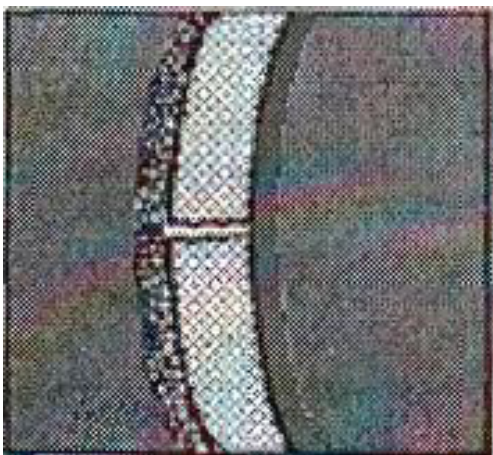


Рис. 13 При применении метода
течеискания Пенетрант наносится на одну
поверхность исследуемого участка
тонкостенного металла, а Проявитель
напыляется на противоположную сторону

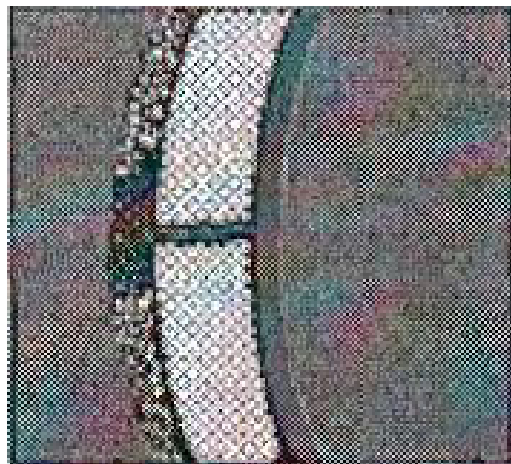


Рис. 14 Проходит сквозь полости дефектов
на противоположную сторону, что можно
наблюдать в виде красного следа на фоне
контрастного белого Проявителя

2.9 Применение флуоресцентных пенетрантов

При применении флуоресцентного Пенетранта стадия удаления Пенетранта и исследование результатов контроля поверхности происходит при ультрафиолетовом освещении в затемненном помещении. В остальном технология контроля флуоресцентным Пенетрантом не отличается от технологии применения красящего Пенетранта, описанного в данном руководстве. При применении флуоресцентного Пенетранта дефекты проявляются в виде ярких светящихся желто-зеленых линий под ультрафиолетовым светом.

Флуоресцентные пенетранты (водосмываемые):

- Водосмываемый пенетрант низкой чувствительности.
- Водосмываемый пенетрант средней чувствительности.
- Водосмываемый пенетрант средне-высокой чувствительности.

Применение: контроль сварных швов, литья,ковки и экструзий (металлических и неметаллических поверхностей) в автомобильной и

аэрокосмической отраслях, а также при производстве аэроконструкций и деталей турбинных двигателей.

Особенности: превосходно смывается водой, низкий уровень расхода пенетранта благодаря низкой вязкости, высокое качество распыляемости, точка вспышки выше 100°C.

- Водосмываемый пенетрант высокой чувствительности
- Водосмываемый пенетрант средне-высокой чувствительности

Применение: контроль компонентов турбинных двигателей, включая турбинные лопасти и ответственные сварные швы, литья,ковки и экструзий.

Особенности: биологически разложимы, не содержат масляных дистиллятов, устойчивы к вымыванию из дефектов, точка вспышки выше 100°C, высокое качество распыляемости.

Флуоресцентные пенетранты (эмульгирующие):

- Эмульгирующий пенетрант низкой чувствительности.
- Эмульгирующий пенетрант средней чувствительности.

Применение: контроль сварных швов, литья,ковки в автомобильной и авиастроительной отраслях и при производстве турбинных двигателей.

Особенности: превосходно смывается водой, низкий уровень расхода пенетранта благодаря низкой вязкости, высокое качество распыляемости, высокая теплоустойчивость, точка вспышки выше 100°C.

- Эмульгирующий пенетрант высокой чувствительности.
- Эмульгирующий пенетрант сверхвысокой чувствительности.

Применение: контроль ответственных узлов турбинных двигателей, в т.ч. турбинных лопаток, вращающиеся части турбинных двигателей, в т.ч. диски и лопатки вентилятора.

Цветные пенетранты: эмульгирующий пенетрант высокой чувствительности

Применение: контроль сварных швов, литья,ковки и экструзий металлических и неметаллических материалов (пластики, керамика, стекло и пр.)

Особенности: точка вспышки выше 100°С; сопротивляется вымыванию из дефектов, главным образом, для неровных поверхностей; хорошо смываемый; не содержит амидов; сопротивляется вымыванию из полости дефекта.

Набор для высоких температур:

- очиститель для высоких температур;
- цветной пенетрант для высоких температур;
- безводный проявитель для высоких температур.

Применение: контроль сварных швов, литья,ковки при высоких температурах исследуемой поверхности в диапазоне от 65°С до 180°С.

Особенности: контроль горячих поверхностей; не требует предварительного охлаждения детали, сокращая время и стоимость контроля.

ЧАСТЬ 3. Магнитопорошковая дефектоскопия

Магнитный вид неразрушающего контроля применяют в основном для контроля изделий из ферромагнитных материалов, т.е. из материалов, которые способны существенно изменять свои магнитные характеристики под воздействием внешнего (намагничивающего) магнитного поля. Операция намагничивания (помещения изделия в магнитное поле) при этом виде контроля является обязательной. Прием информации может быть осуществлен с полного сечения образца (изделия) либо с его поверхности. В зависимости от конкретных задач НК, марки контролируемого материала, требуемой производительности метода могут использоваться те или иные первичные информативные параметры. К числу наиболее распространенных относятся следующие информативные параметры: коэрцитивная сила, намагниченность, индукция (остаточная индукция), магнитная проницаемость, напряженность, эффект Баркгаузена.

По способу получения первичной информации различают следующие методы магнитного вида контроля: магнитопорошковый (МП), магнитографический (МГ), феррозондовый (ФЗ), эффекта Холла (ЭХ), индукционный (И), пондеромоторный (ПМ), магниторезисторный (МР). С их помощью можно осуществить контроль: сплошности (методами дефектоскопии) (МП, МГ, ФЗ, ЭХ, И); размеров (ФЗ ЭХ, И, ПМ); структуры и механических свойств (ФЗ, ЭХ, И).

Из перечисленных методов только магнитопорошковый требует обязательного участия в контрольных операциях человека; остальные методы позволяют получать первичную информацию в виде электрических сигналов, что делает возможным полную автоматизацию процессов контроля. Методы МП и МГ обнаружения несплошностей являются контактными, т.е. требуют соприкосновения преобразователя (магнитный

порошок или магнитная лента) с поверхностью изделия; при остальных методах контроля прием информации осуществляется бесконтактно (хотя и на достаточно близких расстояниях от поверхности).

С помощью магнитных методов могут быть выявлены закалочные и шлифовочные трещины, волосовины, закаты, усталостные трещины и другие поверхностные дефекты шириной раскрытия несколько микрометров. Такие методы, как ФЗ, ЭХ, И, МГ, можно использовать на грубых поверхностях, при этом минимальная глубина выявляемых дефектов составляет трехкратную высоту шероховатостей поверхности. В связи с необходимостью сканировать поверхность изделия методы ФЗ, ЭХ, И особенно удобно применять для контроля цилиндрических изделий. Метод МГ успешно применяют для контроля сварных швов. Из геометрических параметров с помощью магнитных методов наиболее часто определяют толщину немагнитных покрытий на магнитной основе, толщину стенок изделий из магнитных и немагнитных материалов.

Контроль структуры и механических свойств изделий осуществляют путем установления корреляционных связей между контролируемым параметром (температурой закалки и отпуска, твердостью и т.д.) и какой-либо магнитной характеристикой (или несколькими). Успешно контролируется состояние поверхностных слоев (качество поверхностной закалки, азотирования и т.д.), а также наличие α -фазы.

3.1 Виды магнитопорошковых дефектоскопов

Магнитопорошковый дефектоскоп – устройство для выявления нарушений сплошности в изделиях с использованием в качестве индикатора магнитных порошков (магнитолюминесцентных, магниторадиоактивных и др.).

Основные узлы дефектоскопа следующие: источники тока, устройства для подвода тока к детали, устройства для полюсного намагничивания (соленоиды, электромагниты), устройства для нанесения на контролируемую деталь магнитной суспензии (или сухого порошка), осветительные устройства, измерители тока (или напряженности магнитного поля).

В зависимости от назначения в дефектоскопах могут быть не все из перечисленных узлов, но могут быть и дополнительные узлы (например, узлы для автоматического перемещения детали и механической разбраковки, дефектоотметчики и т.п.).

В дефектоскопах наиболее широкое распространение получили циркулярное намагничивание пропусканием переменного тока по детали (или через стержень, помещенный в отверстие детали) и продольное намагничивание постоянным (выпрямленным) током. В дефектоскопах используют также импульсные конденсаторные источники тока. В специализированных дефектоскопах (реже в универсальных) широко применяют индукционный способ намагничивания.

Многие магнитопорошковые дефектоскопы имеют трансформаторный выход. Его недостаток связан с образованием отрицательного выброса тока (при создании в детали остаточной намагниченности), который частично или полностью может размагнитить деталь. Поэтому при контроле способом остаточной намагниченности необходимо принимать меры к исключению отрицательных выбросов тока. Это достигается установкой диодов во вторичной цепи выходного трансформатора, а также применением специальных способов намагничивания, например двумя последовательными импульсами одной полярности и следующим за ними одним импульсом тока противоположной полярности.

Для магнитопорошкового контроля в основном применяют дефектоскопы трех видов:

- стационарные универсальные;
- передвижные и переносные универсальные;
- специализированные (стационарные, передвижные, переносные).

Стационарные универсальные дефектоскопы получили широкое распространение на предприятиях крупносерийного (или мелкосерийного) производства разнотипных деталей. Такими дефектоскопами можно контролировать детали различной конфигурации с производительностью от десятков до многих сотен деталей в час. Скорость контроля значительно возрастает при использовании люминесцентного магнитного способа. С помощью стационарных универсальных дефектоскопов можно производить намагничивание всеми известными способами (циркулярное, полюсное, комбинированное), контроль в приложенном поле и способом остаточной намагниченности.

Такие дефектоскопы отличаются родом намагничивающих токов, мощностью и размерами контролируемых деталей. Длина деталей определяется возможностью раздвижения контактных устройств (**бабок**), поперечные размеры зависят от мощности дефектоскопа и максимальной силы тока.

В первом приближении можно считать, что максимальный диаметр контролируемой детали таков, что при максимальной силе тока дефектоскопа на поверхности детали напряженность магнитного поля достигает 80 А/см. Типичный вид составляющих магнитного поля рассеяния поверхностного дефекта (H_x и H_y) и их производных показан на (рис. 15).

Это не означает, что в отдельных случаях нельзя контролировать детали большего диаметра, например, когда магнитные характеристики

материала детали позволяют достичь наивысшей чувствительности контроля при меньшей напряженности намагничивающего поля. Известны десятки типов универсальных стационарных дефектоскопов.

Широкое распространение получили переносные и передвижные (менее мощные) дефектоскопы. Как правило, они представляют собой источники переменного, постоянного (однополупериодно-выпрямленного) и реже - импульсного тока. Иногда один дефектоскоп позволяет работать с двумя видами тока.

Передвижные и переносные универсальные дефектоскопы предназначены для намагничивания и контроля деталей в условиях, когда невозможно применять стационарные дефектоскопы, например при намагничивании крупногабаритных деталей по частям, в случае работы в полевых условиях и т.п. Как правило, такие дефектоскопы снабжают комплектом деталей для контроля (сухие порошки и устройства для их напыления, сосуды с суспензией и т.п.).

Переносные и передвижные универсальные дефектоскопы позволяют производить циркулярное намагничивание с помощью токовых контактов, помещаемых на участке детали, продольное намагничивание с помощью кабеля, навиваемого на деталь, или иногда с помощью электромагнита. Следует отметить переносные намагничивающие устройства на постоянных магнитах с гибким магнито-проводом (типа УН-5) и комплекты для магнитолюминесцентного контроля, включающие ультрафиолетовый портативный облучатель с автономным питанием, намагничивающее устройство на постоянных магнитах, магнитные порошки в аэрозольных упаковках и контрольный образец-имитатор. Автономность питания позволяет их применять в полевых условиях при обследовании объектов, подведомственных Госгортехнадзору, где запрещено использование сетевого питания правилами безопасной эксплуатации.

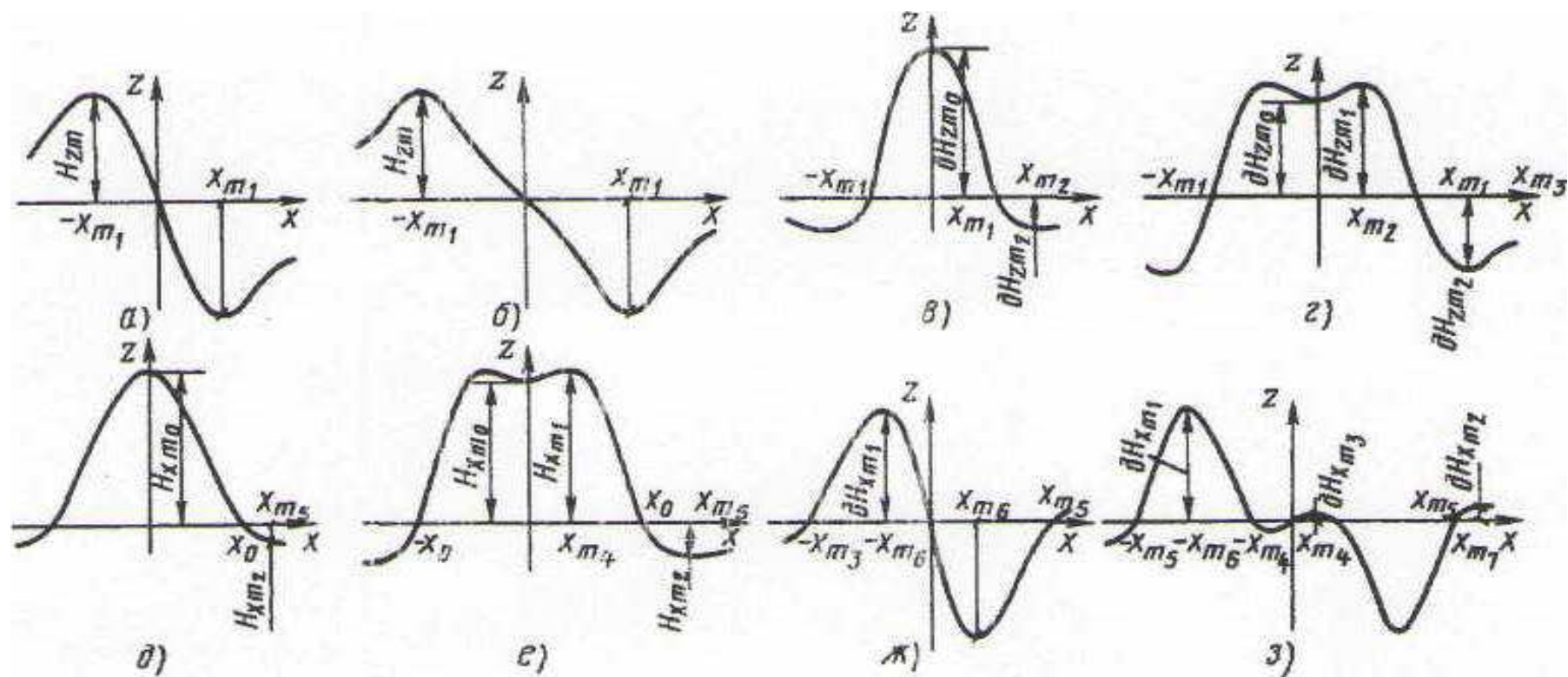


Рис. 15. Составляющие H_x и H_z магнитного поля рассеяния дефекта и их основные производные (кривые сигналов преобразователей для двух значений межполюсного расстояния диполя: а, в, д, ж - докритического; б, г, е, з - сверхкритического)

Известны разнообразные переносные намагничивающие устройства на переменном токе:

- для полюсного намагничивания с помощью двух электромагнитов переменного тока;
- универсальное для полюсного намагничивания с помощью электромагнита переменного тока с настраиваемыми пластинами полюсов;
- универсальное с автономным питанием для полюсного намагничивания с помощью электромагнита переменного тока повышенной частоты (имеется преобразователь) с настраиваемыми пластинами полюсов;
- универсальное для полюсного намагничивания с помощью электромагнита переменного тока с поворотными и съемными полюсами, снабженными настраиваемыми пластинами;
- для полюсного намагничивания с помощью кольцевого электромагнита переменного тока;
- самоходное для полюсного намагничивания с помощью кольцевого электромагнита переменного тока.

Для перемещения используются два электропривода на магнитных колесах. Регистрация порошковых осадений производится миниатюрной телекамерой. Такие намагничивающие устройства применяются для магнитопорошкового контроля толстостенных и крупногабаритных объектов, обеспечивают режим магнитного насыщения в поверхностном слое изделий при контроле по участкам.

Получили значительное распространение специализированные полуавтоматы для намагничивания деталей с последующим их контролем способом остаточной намагниченности.

Дефектоскоп импульсный роликовый является электромагнитным прибором, используется в контрольных операциях в цеховых и лабораторных условиях работы.

Прибор предназначен для импульсного намагничивания в открытой магнитной цепи соленоида относительно коротких массивных изделий с малой проницаемостью формы.

Принцип действия прибора основан на использовании явления «аномальной» намагниченности тел, возникающего в ферромагнитных проводящих изделиях (имеющих малую проницаемость формы) при быстром спаде намагничивающего поля.

Сущность этого явления состоит в том, что вихревые токи каждого изделия при наличии большого размагничивающего поля при спаде намагничивающего поля задерживают не в одинаковой мере процесс убывания индукции в различных местах объема образцов, что, в конечном счете, приводит к образованию внутри изделий макроскопических вихреобразных замкнутых областей индукции, которые способствуют хорошему выявлению поверхностных дефектов.

Прибор обеспечивает одновременное выявление продольных и поперечных дефектов при одноразовом контроле их в ванне с магнитной суспензией. Необходимой принадлежностью магнитопорошковых дефектоскопов являются контрольные образцы с тонкими дефектами. Они помогают установить, что оборудование и материалы для контроля являются качественными, а технология контроля соблюдается достаточно точно.

3.2 Чувствительность магнитопорошкового метода

Контрольные образцы подбирают из числа бракованных деталей. Дефекты в них можно считать достаточно тонкими, если при контроле способом приложенного поля они обнаруживаются при режиме, соответствующем уровню чувствительности **А** и не выявляются при режиме контроля, соответствующем уровню чувствительности **Б**. Если позволяют

магнитные характеристики материала контрольного образца, его можно использовать и при контроле способом остаточной намагниченности.

Чувствительность магнитопорошкового метода, определяемая минимальными размерами обнаруживаемых дефектов, зависит от многих факторов, таких как магнитные характеристики материала контролируемой детали, ее формы и размеров, характера (типа) выявляемых дефектов, чистоты обработки поверхности детали, режима контроля, свойств применяемого магнитного порошка, способа нанесения суспензии, освещенности контролируемого участка детали и т.п.

Магнитное поле дефекта, индикация которого дает возможность его обнаружить, тем больше, чем выше индукция материала и меньше нормальная и дифференциальная магнитные проницаемости. Например, нарушение сплошности в виде щели с раскрытием 2 ... 2,5 мкм и глубиной 25 мкм может быть обнаружено с помощью магнитной суспензии, содержащей высокочувствительный черный магнитный порошок, в детали из стали 30ХГСА (коэрцитивная сила $H_c = 12$ А/см) при индукции $B = 1,5$ Тл, в стали ШХ15 ($H_c = 36$ А/см) при $B = 0,87$ Тл, а в стали 95Х18 ($H_c = 14$ А/см) при индукции $B = 0,53$ Тл.

Максимальные относительные магнитные проницаемости сталей приведены ниже (таблица 1).

Таблица 1

Сталь	$\mu'_{\max}$	$\mu'_{d\max}$
30ХГСА ШХ15	500-520 90-110 30-35	640 -670 200-230 53-
95Х18		56

Наилучшими являются условия выявления дефектов в деталях в форме тел вращения (цилиндрах, трубах и т.п.), намагниченных циркулярно. В

деталей, намагниченных так, что на их концах или выступах образуются полюсы, создающие поле обратного направления по отношению к намагничивающему полю, трудно обнаружить дефекты. При контроле в приложенном продольном магнитном поле его напряженность должна быть больше (иногда значительно), чем при циркулярном намагничивании, для того, чтобы компенсировать саморазмагничивание детали.

При контроле способом остаточной намагниченности индукция в детали, намагниченной продольно, из-за ее саморазмагничивания может быть значительно ниже остаточной индукции, необходимой для обнаружения дефектов. Кроме того, при наличии выступов и резких переходов в детали в ряде случаев создаются локальные магнитные поля, которые притягивают частицы магнитного порошка, что может вводить в заблуждение контролера. Чувствительность метода зависит от типа дефекта. Дефекты обтекаемой формы с округлыми краями выявляются хуже, чем дефекты с острыми краями. Например, волосовины выявляются значительно труднее, чем трещины. Так, в деталях из стали 15Х12Н2ВМФ с коэрцитивной силой $H_c = 10 \text{ А/см}$ в режиме остаточной намагниченности ($B_r = 0,98 \text{ Тл}$) могут быть обнаружены шлифовочные трещины с раскрытием 2 ... 2,5 мкм и глубиной 25 мкм; волосовины таких же размеров не выявляются.

На чувствительность контроля оказывает влияние местоположение дефекта в детали. Подповерхностные дефекты обнаруживаются хуже, чем поверхностные. До глубины залегания примерно 100 мкм чувствительность к обнаружению подповерхностных дефектов практически не уменьшается. На большем расстоянии от поверхности при прочих равных условиях могут быть обнаружены дефекты более грубые, чем поверхностные. В первом приближении можно принять, что на глубине 2 ... 3 мм могут быть обнаружены дефекты, расстояние от поверхности которых примерно равно их глубине. Хуже обнаруживаются дефекты, плоскость

которых составляет угол меньше $40 \dots 50^\circ$ по отношению к поверхности детали.

Существенное влияние на чувствительность метода оказывает чистота обработки поверхности контролируемого объекта. Высокая чувствительность контроля может быть достигнута при шероховатости контролируемой поверхности $Ra = 1,6$ мкм. Если шероховатость контролируемой поверхности $Rz = 40$ мкм, то при прочих равных условиях могут быть обнаружены дефекты, примерно в 2 раза более грубые, т.е. с раскрытием вдвое большим при равном отношении глубины к раскрытию или со значительно большей глубиной. Это связано с тем, что на шероховатой поверхности создаются локальные магнитные поля, вызывающие осаждение порошка в виде вуали, на фоне которой тонкие дефекты становятся невидимыми.

Режим контроля определяет возможность обнаружения дефектов требуемых размеров, характеризуется напряженностью намагничивающего поля, способом контроля (в приложенном поле или на остаточной намагниченности) и способом намагничивания.

Наивысшая чувствительность контроля имеет место в случае, когда направление магнитного потока в детали перпендикулярно к направлению выявляемых дефектов

Для обнаружения дефектов любых направлений применяют намагничивание в двух (или более) взаимно перпендикулярных направлениях или комбинированное. При раздельном намагничивании (в контроле) в двух взаимно перпендикулярных направлениях труднее выявить дефекты, расположенные под углом 45° к общим направлениям. Для обеспечения требуемой чувствительности контроля таких дефектов напряженность одного из намагничивающих полей необходимо увеличить в $\sqrt{2} = 1,41$ раза.

Обычно это проще сделать при циркулярном намагничивании. Свойства применяемых магнитных порошков имеют существенное значение для обеспечения требуемой чувствительности контроля. Интегральным свойством порошков для магнитной дефектоскопии является их выявляемость, т.е. способность обнаруживать тонкие дефекты, размеры которых определяют наивысшую чувствительность метода.

Освещенность места контроля должна быть такой, чтобы валик магнитного или люминесцентного магнитного порошка над дефектом был хорошо различим на поверхности детали. При использовании ламп накаливания и в случае естественного освещения освещенность поверхности детали должна быть не менее 1000 лк. При этом следует применять комбинированное освещение (общее и местное). Освещенность можно проверить с помощью люксметра типа Ю-116 или аналогичного при расположении его преобразователя на поверхности контролируемой детали в зоне осмотра.

При использовании люминесцентных магнитных порошков осмотр контролируемой поверхности следует проводить при ультрафиолетовом облучении облучателем с длиной волны 315 ... 400 нм. При этом ультрафиолетовая облученность контролируемой поверхности должна быть не менее 2000 мкВт/см и 500 мкВт/см при технологическом контроле, который устанавливается в нормативной технической документации предприятия. Ультрафиолетовая облученность измеряется радиометрами типа UV P-365 в мкВт/см² или аналогичными.

На деталях из некоторых материалов с высокими магнитными свойствами могут быть обнаружены поверхностные дефекты с раскрытием не более 1 мкм и глубиной более 10 мкм. Однако такая высокая чувствительность недостижима для большинства ферромагнитных

материалов. Поэтому высшая чувствительность метода ограничена дефектами с раскрытием (шириной) от 12,5 мкм и глубиной от 25 мкм.

В таблице 2 приведены три условных уровня чувствительности. Уровни чувствительности названы условными потому, что они определены для дефектов в форме щели с параллельными стенками, перпендикулярными к поверхности детали.

При необходимости в соответствующих нормативных документах могут быть установлены промежуточные уровни чувствительности.

Уровни чувствительности магнитопорошкового метода

Таблица 2.

Условный уровень чувст- вительности	Ширина дефекта, мкм	Примечание
А	2,5	Минимальная протяженность выявляемой части дефекта равна 0,5 мм; протяженность дефекта определяется по длине валика осаждения
Б	10	
В	25	
Выявляемость дефектов, соответствующих условному уровню чувствительности, определяется при соотношении его глубины к ширине,		

3.3 Магнитопорошковый контроль

Магнитопорошковый контроль состоит из следующих операций: подготовки детали к контролю, намагничивании детали, нанесении на деталь магнитного порошка или суспензии, осмотра детали, разбраковки и размагничивания.

3.3.1 Подготовка детали к контролю

Подготовка детали к контролю заключается в очистке поверхности детали от отслаивающейся ржавчины, грязи, а также от смазочных

материалов и масел, если контроль проводится с помощью водной суспензии или сухого порошка. Если поверхность детали темная и черный магнитный порошок на ней плохо виден, то деталь иногда покрывают тонким просвечивающим слоем белой краски (обычно нитролаком).

Как правило, защитные покрытия на деталях небольшой толщины не ухудшают условий контроля, за исключением электроизоляционных покрытий, которые мешают пропусканию тока через деталь. В этом случае контроль проводят до нанесения покрытия или удалив покрытие с части детали, или не пропуская ток через деталь. Если толщина покрытий от 20 до 150 мкм, то применяют специальные режимы контроля. Детали, покрытые гидрофобной пленкой водной суспензией, не смачиваются, и поэтому при их контроле используют масляную или керосино-масляную суспензию.

3.3.2 Намагничивание детали

Намагничивание детали является одной из основных операций контроля. От правильного выбора способа, направления и вида намагничивания, а также рода тока во многом зависят чувствительность и возможность обнаружения дефектов.

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

Для создания требуемой напряженности поля при намагничивании деталей путем пропускания по ним тока необходим ток большой плотности. В этих случаях для намагничивания целесообразно применять импульсный ток. Это не относится к деталям с малой контактной поверхностью. Импульсный ток обеспечивает отсутствие прижогов, которые опасны как зародыши дефектов.

Увеличение глубины промагничивания при использовании импульсного тока достигается путем повторного (3 ... 5-кратного) намагничивания импульсами одного направления. Это объясняется тем, что проницаемость (дифференциальная) верхнего слоя намагничиваемого изделия уменьшается после каждого намагничивания отдельными импульсами и достигает стабильной величины после трех – пяти импульсов тока.

Как правило, оборудование для магнитопорошкового контроля позволяет осуществлять циркулярное намагничивание тремя способами: пропусканием тока по детали или через стержень, проходящий в отверстие детали; с помощью контактов, прижимаемых к детали (ток при этом проходит между контактами и намагничивает часть поверхности детали в первом приближении в форме эллипса; большая ось равна расстоянию между контактами, а меньшая $1/2 \dots 2/3$ этого расстояния), а также с помощью нескольких витков провода, проходящих в отверстие детали и охватывающих частью витка деталь снаружи.

Продольное намагничивание чаще осуществляют с помощью соленоида и реже с помощью электромагнитов (еще реже применяют постоянные магниты). При работе с соленоидом следует иметь в виду, что напряженность поля резко падает при удалении его от края, что ограничивает рабочую зону.

Комбинированное намагничивание возможно только при контроле способом приложенного поля. При этом необходимо учитывать подвижность порошка в суспензии. Так, если подвижность порошка велика, а время реального воздействия на частицы порошка двух взаимно перпендикулярных магнитных полей значительно различается, то магнитный порошок может не отложиться на дефектах, соответствующих намагничивающему полю, время воздействия которого меньше. Для того чтобы при комбинированном намагничивании выявились дефекты всех направлений, необходимо увеличить напряженность поля, действие которого за равный промежуток времени меньше. Так, при применении водной, керосиновой и масляной (на основе масла РМ) суспензий в комбинированном намагничивании переменным и постоянным или переменным и импульсным полями напряженность переменного поля в первом случае и импульсного во втором должна быть в несколько раз больше напряженности второго поля (соответственно постоянного или переменного). Если кинематическая вязкость дисперсной среды суспензии (например, трансформаторного масла) больше $20 \text{ мм}^2/\text{с}$, то напряженности поля при комбинированном намагничивании могут быть одинаковыми. Напряженности поля при комбинированном намагничивании должны быть одинаковыми, если в нем участвуют токи одного рода.

При полюсном намагничивании деталей и контроле способом остаточной намагниченности величина последней может быть значительно меньше требуемого из-за саморазмагничивающего поля полюсов детали. Поэтому при контроле способом приложенного поля внешнее намагничивающее поле должно быть таким, чтобы оно могло компенсировать магнитное поле полюсов. При намагничивании постоянным магнитным полем при медленном его уменьшении и контроле способом остаточной намагниченности можно проверять детали с

удлинением не менее 25 (под удлинением здесь понимается отношение наибольших размеров детали в направлении намагничивания и в перпендикулярном к нему направлении).

При намагничивании детали переменным и импульсным токами (или при быстром выключении постоянного тока) удлинение может составлять не менее 3 ... 5 за счет того, что намагничивается только поверхностный слой 1 и при выключении намагничивающего поля магнитные линии поверхностной части детали могут замыкаться через внутреннюю часть 2 детали, создавая как бы замкнутую магнитную цепь (рис. 16). Амплитуда намагничивающего поля должна быть такой, чтобы поверхностный слой был намагничен до насыщения, а время уменьшения намагничивающего поля от максимального значения до нуля не должно превышать $5 \cdot 10^{-3}$ с.

Намагничивание с созданием псевдозамкнутой магнитной цепи невозможно, если наименьший размер детали в направлении, перпендикулярном к направлению намагничивания, меньше 5 ... 10 мм (в зависимости от магнитных свойств материала детали). Это связано с тем, что детали намагничиваются переменным или импульсным полем полностью и невозможно замыкание магнитного потока через внутреннюю часть детали.

Напряженность намагничивающего поля, необходимая для контроля при условных уровнях чувствительности, может быть определена по формулам, приведенным в табл. 3 и 4, и по кривым на рис.17.

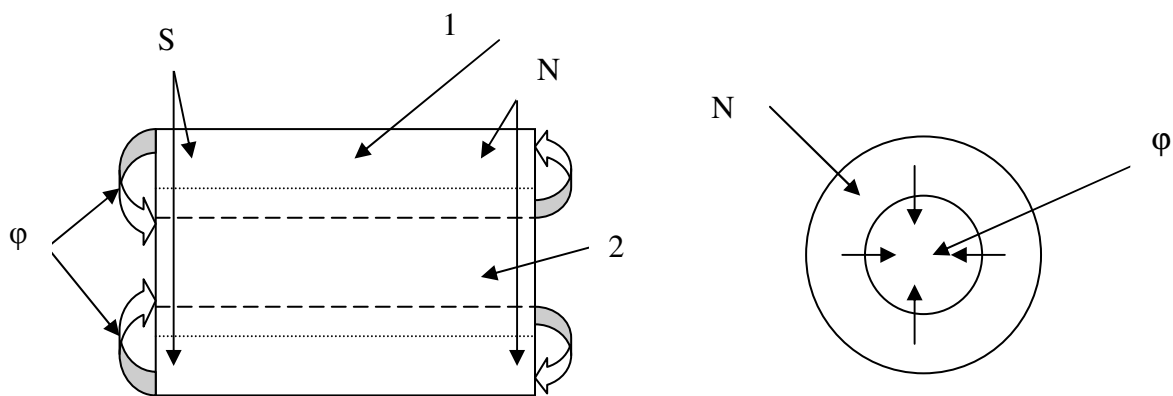


Рис. 16. Намагничивание детали с замыканием магнитного потока через ее внутреннюю часть

Режимы контроля способом приложенного поля, соответствующие условному уровню чувствительности А, вычисляют по формулам в зависимости от магнитных характеристик материала детали (табл. 3).

Формулы для расчета напряженности поля, соответствующий условному уровню чувствительности А

Таблица 3.

Коэрцитивная сила H_c А/см	Остаточная ин-дукция B_r , Тл	Формула для расчета $H_{пр}$, А/см
4 - 16	$\geq 1,2 < 1,2$	$32 + 1,3 H_c$ $52 + 1,3 H_c$
Св. 16 до 24	$\geq 1,0$ $< 1,0$ $\geq 0,7$	$32 + 1,3 H_c$ $52 + 1,3 H_c$ $32 + 1,3 H_c$
Св. 24 до 40	$< 0,7$	$52 + 1,3 H_c$
Св. 40 до 50	$\geq 0,6$	$32 + 1,3 H_c$
Св. 50	$< 0,6$ $\geq 0,5$ $0,45 - 0,5$	$52 + 1,3 H_c$ $32 + 1,3 H_c$ $52 + 1,3 H_c$

Формулы для расчета напряженности поля, соответствующий условному уровню чувствительности Б, В

Таблица 4.

Коэрцитивная сила H_c , А/см	Относительная максимальная проницаемость $\mu_{\max}$	Формула для расчета $H_{\text{пр}}$, А/см	
		Режим Б	Режим В
4-16	≥ 500 < 500	$1,3 + 1,1 H_c$ $2,6 + 1,1 H_c$	$0,96 + 1,1 H_c$ $2,1 + 1,1 H_c$
Св. 16 до 32	≥ 160 < 160	$1,3 + 1,1 H_c$ $2,6 + 1,1 H_c$	$0,96 + 1,1 H_c$ $2,1 + 1,1 H_c$
Св. 32 до 48	≥ 90 < 90	$1,3 + 1,1 H_c$ $2,6 + 1,1 H_c$	$0,96 + 1,1 H_c$ $2,1 + 1,1 H_c$
Св. 48	≥ 50 < 50	$1,3 + 1,1 H_c$ $2,6 + 1,1 H_c$	$0,96 + 1,1 H_c$ $2,1 + 1,1 H_c$

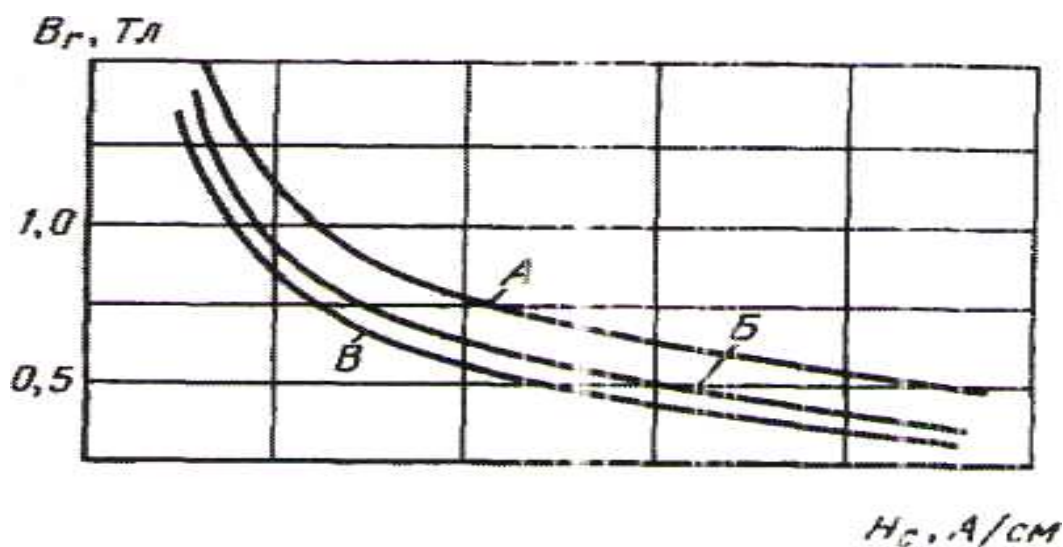


Рис. 17 Кривые для определения возможности контроля способом остаточной намагниченности

Для материалов с остаточной индукцией $B_r < 0,45$ Тл режим контроля необходимо рассчитывать для каждого материала и режима термической обработки или определять экспериментально. Как правило, в деталях из

таких материалов не удается обнаружить **0.....16.....31.....48.....64.....80** дефекты, размеры которых соответствуют уровню А условной чувствительности.

Различные характеристики материала, определяющие критерии применимости формул для режимов А и Б или В, объясняются следующим.

В режиме А нарушения сплошности определяют при высоких намагниченностях, когда магнитное состояние материала изделия соответствует индукциям, близким к предельной петле гистерезиса. Конструкционные стали относятся, как правило, к группе ферромагнитных материалов с нормальными петлями гистерезиса, у которых отношение остаточной индукции B_r , к максимальной $B_{тах}$ на предельной петле гистерезиса приблизительно постоянно и равно 0,5 ... 0,7. Для режима А оказалось возможным за критерий выбора расчетной формулы взять значение остаточной индукции.

В режимах Б и В дефекты выявляют в условиях, когда магнитное состояние материала близко к точке на кривой намагничивания, соответствующей максимальной магнитной проницаемости материала. Для расчета режимов контроля способом остаточной намагниченности применяют кривые, приведенные на рис. 17. Точки кривых показывают возможность контроля этим способом, если материал изделия при данной коэрцитивной силе обладает остаточной индукцией не ниже, чем индукция, определяемая по соответствующей кривой.

Если выяснено, что деталь можно проверить способом остаточной намагниченности, для определения режимов контроля по кривым намагничивания находят напряженность приложенного поля, намагничивающего деталь до уровня, начиная с которого остаточная индукция практически не уменьшается.

Напряженность намагничивающего поля при контроле сварных соединений при заданной чувствительности должна быть установлена на валике усиления. При этом индукция в детали вблизи валика усиления должна быть выше по сравнению с индукцией на валике на столько, насколько толщина детали вместе с валиком усиления сварного шва больше ее толщины вне сварного шва. Высший уровень чувствительности при контроле сварных соединений с неснятым усилением соответствует уровням чувствительности Б и В, а соединений, выполненных ручной сваркой, – только уровню чувствительности В.

Отливки можно контролировать только с более низкой чувствительностью, чем детали, изготовленные из предварительно деформированного металла. При этом более высокую чувствительность (соответствующую условному уровню Б) можно получить при проверке деталей, изготовленных методами точного литья.

3.3.3 Нанесение на деталь магнитного порошка или суспензии

Оптимальный способ занесения суспензии заключается в окунании детали в бак, в котором суспензия хорошо перемешана, и в медленном удалении из него. Однако этот способ не всегда технологичен. Чаще суспензию наносят с помощью шланга или душа. Напор струи должен быть достаточно слабым, чтобы не смывался магнитный порошок с дефектных мест. При сухом методе контроля эти требования относятся к давлению воздушной струи, с помощью которой магнитный порошок наносят на деталь. Время стекания с детали дисперсной среды, имеющей большую вязкость (например, трансформаторного масла), относительно велико; поэтому производительность труда контролера уменьшается.

Действие прибора для контроля магнитных порошков и суспензий основано на создании искусственного, контролируемого по величине локального магнитного поля на магнитной ленте. Разработанная методика индикации этого поля с помощью контролируемых магнитных порошков (суспензий) позволяет с высокой точностью определять их качество (выявляемость). Могут быть разбракованы магнитные и люминесцентные магнитные порошки, выявляемость которых различается на 10... 15%. Для оценки чувствительности магнитных порошков, паст и суспензий предназначена также установка, выполненная в виде переносного ящика с выходным кронштейном, на котором находится ванночка с контрольным образцом. Контрольный образец состоит из двух ферромагнитных призм, между которыми проложена тонкая медная фольга, имитирующая трещину.

О чувствительности контролируемого вещества (порошка, пасты, суспензии) судят по длине валика порошка, накопившегося над дефектом.

3.3.4 Осмотр детали

Контролер должен осмотреть деталь после стекания с нее основной массы суспензии, когда картина отложений порошка становится неизменной. Это положение относится к контролю способами приложенного поля и остаточной намагниченности. Различие заключается в следующем. В первом случае суспензия стекает с детали во время ее намагничивания. Этот способ применяют, когда магнитные характеристики материала детали таковы, что при выключении намагничивания магнитное поле дефекта уменьшается до такой степени, что не может удерживать частицы порошка. В случае, когда при намагничивании деталь сильно нагревается или имеется опасность прижогов мест соприкосновения с токовыми контактами, намагничивание можно периодически прерывать. При этом время действия магнитного поля (время прохождения тока по детали) может составлять 0,1 ... 0,5 с, а

перерывы 1 ... 2 с. Чем меньше вязкость суспензии, тем длительнее должно быть время действия тока и меньше перерывы (для водной суспензии соответственно 0,3 ... 0,5 с и 1 с).

При контроле способом остаточной намагниченности намагничивание, нанесение суспензии и осмотр могут быть разделены во времени промежутком до 1 ч.

Детали проверяют визуально, но в сомнительных случаях и для расшифровки характера дефектов применяют оптические приборы, тип и увеличение которых устанавливают по нормативным документам. Увеличение оптических средств не должно превышать 10х.

3.3.5 Разбраковка и размагничивание детали

Разбраковку деталей по результатам контроля должен производить опытный контролер. На рабочем месте контролера необходимо иметь фотографии дефектов или их дефектограммы (реплики с отложениями порошка, снятые с дефектных мест с помощью клейкой ленты или другими способами), а также контрольные образцы с минимальными размерами недопустимых дефектов. Вид и форма валиков магнитного и люминесцентного магнитного порошка во многих случаях помогают распознать нарушения сплошности. Труднее выявить дефекты в виде тонких волосовин. В большинстве сталей они могут быть обнаружены только способом приложенного поля. Отложения порошка на волосовинах имеют вид прямых или слегка изогнутых тонких линий. Степень четкости валиков порошка зависит от отношения глубины волосовин к их раскрытию и их расположения относительно поверхности контролируемой детали.

Легче обнаруживаются термические, сварочные, шлифовочные и усталостные трещины. Осаждение порошка над трещинами имеет вид

четких ломаных линий с плотным осаждением порошка. Шлифовочные трещины, как правило, обнаруживаются в виде сетки или тонких черточек, направление которых перпендикулярно к направлению шлифования. Закалочные трещины могут быть обнаружены при заниженных режимах контроля (меньшей напряженности поля, чем это требуется для соответствующих уровней чувствительности) или способом остаточной намагниченности на материалах с низкой (по сравнению с кривыми на рис. 17) остаточной индукцией.

Характерную форму имеют валики магнитного порошка, осевшие над флокенами. Обычно это четкие и резкие короткие черточки, иногда искривленные, расположенные группами (реже одиночные). Заковы дают отложения порошка в виде плавно изогнутых линий. Поры и другие точечные дефекты выявляются в виде коротких полосок порошка, направление которых перпендикулярно к направлению намагничивания. При изменении направления намагничивания соответственно меняется направление валика порошка над порой.

Во многих случаях можно примерно оценить глубину дефектов, изменяя режимы и способ контроля. Дефекты с большим отношением глубины к раскрытию могут быть обнаружены при небольших намагничивающих полях, а также способом остаточной намагниченности.

Подповерхностные дефекты дают менее четкое отложение валика порошка и, как правило, могут быть обнаружены (при глубине залегания более 200 ... 300 мкм) только способом приложенного поля.

3.4 Трудности определения дефектов магнитопорошковым методом

Трудности определения дефектов магнитопорошковым методом связаны с возможностью перебраковки из-за отложений порошка на так называемых ложных дефектах. К последним относятся различного вида магнитные неоднородности, например структурная неоднородность (карбидная, аустенитная, ферритная и т.п.). Она не является признаком брака и выявляется в виде четких тонких скоплений валиков порошка, внешне похожих на волосовины. Такая структурная неоднородность проявляется вдоль волокон металла; вид валиков порошка в этом случае достаточно характерен.

Поэтому трудность заключается не в распознавании ложных дефектов, а в том, что среди линий отложения порошка могут быть и нарушения сплошности, которые невозможно обнаружить на фоне структурной полосчатости. В некоторых случаях приходится значительно снижать режимы контроля (уменьшать напряженность намагничивающего поля или переходить на способ остаточной намагниченности) для того, чтобы обнаружить хотя бы грубые дефекты.

Местный наклеп – также один из частых видов ложных дефектов. Он является следствием ударов, надавливаний, клеймения, бросков и т.п. В случаях легких деформаций отложения порошка неустойчивы и при повторном контроле могут пропадать. Сильные деформации дают устойчивое отложение порошка. Такая возможность ложного оседания магнитного порошка в результате местных наклепов должна учитываться при переносе и хранении деталей.

Ложное оседание магнитного порошка может явиться результатом так называемой магнитной записи, т.е. соприкосновения детали с намагниченным телом. В большинстве случаев она пропадает при

перемагничивании детали в направлении, перпендикулярном к направлению первого намагничивания.

В местах резкого изменения сечения контролируемых деталей также возможно ложное оседание магнитного порошка, в частности, когда на небольшом расстоянии от поверхности детали (до 3 мм) имеются углубления, резьба, небольшие отверстия и т.п.

Если контроль магнитопорошковым методом проводят регулярно, то целесообразно время от времени делать шлифы из бракованных деталей (в месте осаждения порошка) и сопоставлять вид валика порошка с дефектом. В некоторых случаях необходимо иметь документ о результатах магнитопорошкового контроля с видом валика порошка над дефектом. Такой документ можно получить в виде фотографий или в форме дефектограмм-реплик. Наиболее простой способ получения дефектограмм-реплик следующий. Место дефекта с валиком порошка покрывают липкой лентой, затем ее удаляют вместе с закрепившимся на ней порошком и наклеивают на бумагу.

Недостаток такой дефектограммы – несколько сплюснутый валик порошка. Применяют жидкую суспензию на основе каучука или пластмассы, которая через некоторое время после контроля высыхает, образуя тонкую пленку с порошковыми фигурами, легко снимаемую с детали.

ЧАСТЬ 4. Ультразвуковая дефектоскопия

Ультразвуковую диагностику в современном мире обычно приводят при помощи ультразвукового дефектоскопа, который предназначен для контроля продукции на наличие дефектов типа нарушения сложности и однородности материалов, готовых изделий, полуфабрикатов и сварных (паяных) соединений, измерения глубины и координат залегания дефектов. Измерения отношений амплитуд сигналов, отраженных от дефектов.

Особенности дефектоскопа:

- простое, контролируемое микропроцессором управление;
- автоматическая компенсация отвода и нуля;
- несколько вариантов индикации сигнала;
- возможна установка калибровочных стандартов;
- всесторонний набор контрольных щупов;
- современные возможности выдачи документации на принтер или ПК через последовательный интерфейс RS 232;
- внешнее управление через ПК или систему автоматического контроля;
- два сигнальных порога;
- полная совместимость с перемешивающими приборами и существующими щупами.

4.1 Особенности ультразвукового дефектоскопа

Дефектоскоп предназначен для обнаружения внутренних дефектов сварных швов (пор, трещин, несплавлений, шлаковых включений и др.) в метлах и некоторых пластмассах. Прибор позволяет определить, на какой глубине находится дефект в пределах $7 \div 50$ мм точностью ± 1 мм.

Рабочая частота дефектоскопа – 2,5 МГц. Время установки рабочего режима после включения питания – 0,5 с. Потребляемый ток – 30 мА. Время непрерывной работы дефектоскопа от девяти аккумуляторов Д–0,06 – 1,5 ч. Габариты – 94X58X18 мм, масса – 205 г.

4.2 Принцип работы дефектоскопа

Принцип работы дефектоскопа основан на свойстве ультразвуковых колебаний (УК) отражаться от внутренних дефектов материала, проводящего эти колебания. Короткий радиоимпульс преобразуется пьезопластинами В1–В3 искателя (рис. 18) в импульс УК, которые через слой контактирующей жидкости распространяются в материале в виде расходящегося пучка поперечных волн. Ультразвуковые колебания, отраженные от дефекта, в свою очередь, воздействуют на пьезопластины В1–В3, возбуждая в них ЭДС, которая усиливается, преобразуется и подается на сигнализатор дефектов. Для устранения ложных сигналов (отражений от валика усиления шва и др.) наличие дефектов сигнализатором определяется только в объеме сплавления шва – «зоне контроля».

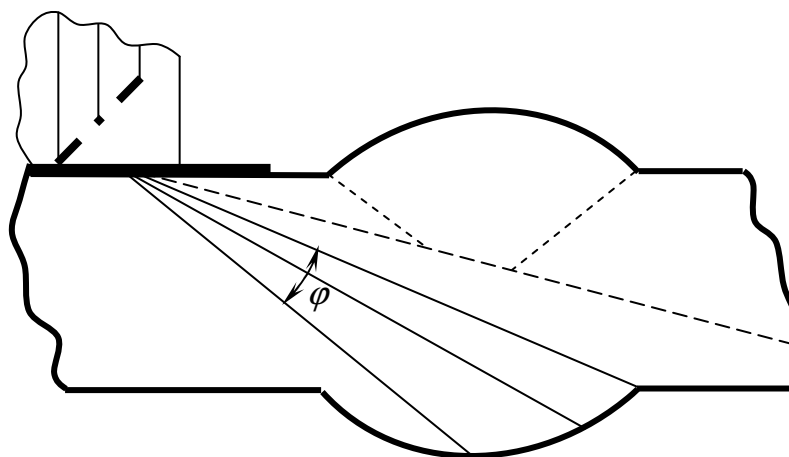


Рис. 18. Схема движения сигнала.

Дефектоскоп имеет два режима работы: «Поиск» и «Оценка». Ширина диаграммы направленности (рис. 18) в вертикальной плоскости в режиме «Поиск» – $\phi_1 = 13^\circ$, а в режиме «Оценка» – $\phi_2 = 8,5^\circ$. Это позволяет сначала определить наличие дефекта, а затем его расположение. Угол ввода (ϕ_0) зависит от сварных материалов, для стали составляет 67° .

Дефектоскоп состоит из генератора радиоимпульсов, сигнализатора дефектов, широкополосного усилителя, устройства временного выравнивания амплитуды, стабилизатора напряжения питания и преобразователя. Генератор радиоимпульсов собран на диносторе V1. Импульс тока, проходящий через диностор V1, возбуждает в контуре L1B3 в режиме «Поиск» или L1B1–B3R1 в режиме «Оценка» радиоимпульс. Его длительность на уровне 0,5 составляет 0,4 мкс. Чувствительность прибора в режиме «Оценка» устанавливают резистором R43. Снятый с части катушки L1 радиоимпульс преобразуется диодом V2 в положительный импульс 1 (рис. 19), который запускает одновибратор задержки сигнализатора дефектов на транзисторах V18, V19. Длительность импульса одновибратора зависит от положения движка резистора R30. Продифференцированный импульс 2 (рис.19) одновибратора, прошедший через инвертор на транзисторе V20, включает одновибратор «зоны контроля» сигнализатора на транзисторах V22, V23. Длительность импульса 3 (рис. 19) этого одновибратора регулируют резистором R35 «Р» (расстояние до дефекта). С коллектора транзистора V22 импульс поступает на базу транзистора V6 устройства совпадения на транзисторах V6, V7 сигнализатора.

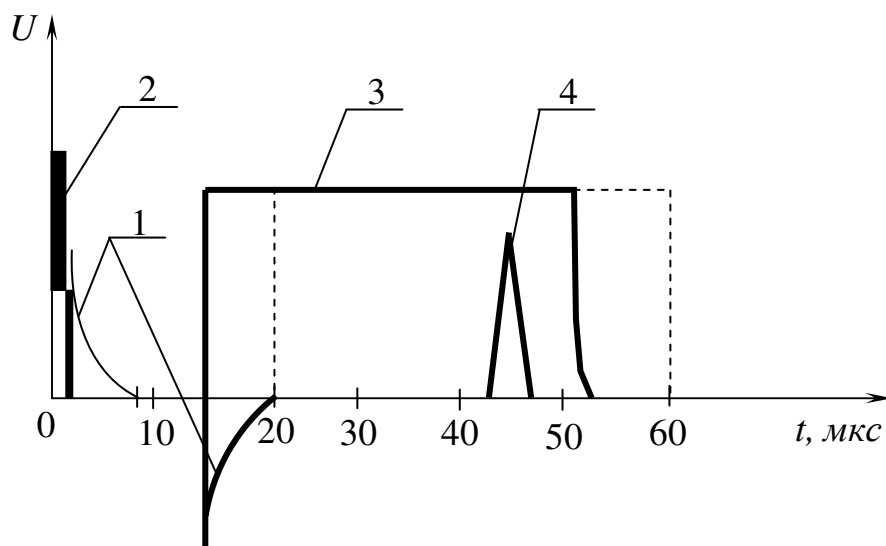


Рис. 20 Сигнализаторы дефектов

Если в «зоне контроля» встречается дефект, то импульс, отраженный от него и преобразованный пьезопластинами В1–В3, усиливается широкополосным усилителем на микросхемах А1, А2. Для защиты усилителя от перенапряжений по входу включен двухсторонний ограничитель на диодах V3, V4. Далее радиоимпульс детектируется и ограничивается в каскаде на транзисторе V5 сигнализатора дефектов и воздействует на базу транзистора V7 устройства совпадения (импульс 4 на рис. 20). Резистором R 12 можно изменить порог ограничения импульсов в детекторе – ограничителе. С коллектора транзистора V8 положительный импульс запускает сначала одновибратор светового (транзисторы V9, V10), а затем одновибратор звукового (V12, V13) индикаторов, сигнализирующих о наличии дефекта в «зоне контроля». Звуковой индикатор, кроме одновибратора – расширителя импульсов, содержит мультивибратор на транзисторах V15, V16. При наличии дефекта кратковременно зажигается светодиод Н1 «Д» (дефект) и звучит сигнал в телефонах В4.

Для выравнивания чувствительности прибора по глубине залегания дефектов в дефектоскоп введено устройство временного выравнивания амплитуды радиоимпульсов на элементах R3R4C3. Оно формирует импульсы

отрицательного экспоненциально возрастающего напряжения, которые поступают на вход микросхемы А1.

Стабилизатор на транзисторе V29 и преобразователь на транзисторе V26 и диодах V24, V25 обеспечивают дефектоскоп необходимыми напряжениями питания.

Разъем X1 служит для подключения внешних искателя и источника питания, а также автоматизированных и полуавтоматизированных установок при работе дефектоскопа в комплекте с ними. В дефектоскопе конденсаторы С22 и С26 должны иметь малый ТКЕ.

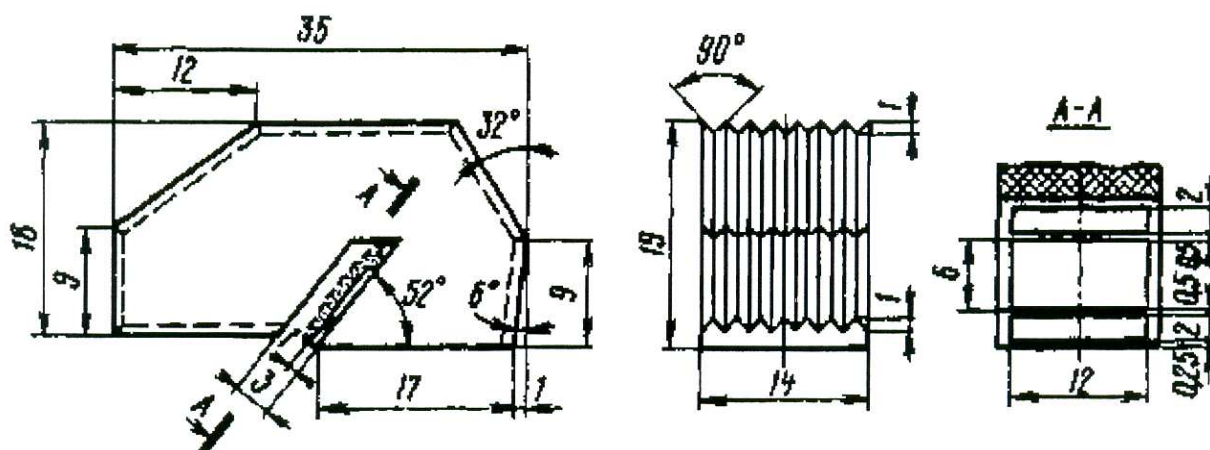


Рис. 21 Искатель дефектоскопа

Трансформатор Т1 намотан на кольцевом сердечнике из феррита М1500НМ типоразмера К16Х8Х6. Обмотка I содержит 14 витков провода ПЭВ-1- 0,6, обмотка II-13 витков провода ПЭВ-1- 0,12, обмотки III и IV – по 350 витков провода ПЭВ-1- 0,08.

Катушка L1 намотана на оправке диаметром 5 и длиной 3 мм и содержит 40 витков провода ПЭЛШО 0,35, отвод сделан от 8-го витка, считая от вывода, соединенного с общим проводом.

Искатель дефектоскопа (рис. 21) изготовлен из органического стекла. Пьезопластины выполнены из титаната бария, их размеры показаны на (рис. 21). Предварительно подогнанные по размерам, а следовательно, и по частоте пластины приклеивают в щели эпоксидным клеем.

Переменный резистор R35 делают из резистора СП5–3. Его верхнюю часть спиливают напильником, регулировочный винт удаляют, а на ползунок эпоксидным клеем прикрепляют диск со шкалой.

4.3 Наладка дефектоскопа

Налаживание дефектоскопа начинают с установки устойчивой генерации в преобразователе напряжения, подбирая резистор R39. Далее получают требуемую частоту повторения ($120...150 \text{ имп/с}$) импульсов генератора радиоимпульсов, подбирая резистор R2. Амплитуды радиоимпульсов в 70...80В добиваются подбором диода V1. После этого подбором конденсаторов C22 и C26 устанавливают пределы изменения при вращении движков резисторов R30 и R35 длительности импульсов одновибраторов задержки (10...25мкс) и «зоны контроля» (7...45мкс).

Затем расположив дефектоскоп на образце из стали или органического стекла с дефектом в виде отверстия диаметром 2,5...3 мм с глубиной 10...50 мм, просверленного перпендикулярно оси ультразвукового пучка, проверяют в контрольной точке КТ1 наличие отраженного от дефекта импульса. Амплитуду 1,8...2В отраженного от дефекта импульса устанавливают поочередно резисторами R43 и R12. Далее вращают движок резистора R4 до тех пор, пока амплитуды отраженных сигналов от одинаковых дефектов (отверстий) на разной глубине в пределах 7...50мм не отличались более чем на 20%.

При работе с дефектоскопом сначала смазывают поверхность около шва контролирующей жидкостью (водой, маслом или глицерином). Затем

устанавливают диск «Р» резистора R35 на максимальное расстояние и, включив кнопкой S2 дефектоскоп в режим «Поиск», перемещают его вдоль шва. Появление звукового сигнала в телефоне свидетельствует о наличии дефекта в «зоне контроля». Для определения местоположения дефекта нажимают одновременно на кнопки S1 «Оценкам S2» и, перемещая дефектоскоп поперечно шву, находят положения, при которых световой индикатор Ш «Д» гаснет. Далее дефектоскоп устанавливают посередине между найденными положениями. И наконец, вращая диск «Р» резистора R35, по шкале определяют глубину залегания дефекта по моменту, когда световой индикатор Н «Д» гаснет.

Микропроцессорный контроль упрощает управление прибором. Оператора ведут через процедуры включения и компенсации, что уменьшает возможность неправильного управления.

Сначала щуп, соответствующий типу контролируемого материала, подсоединяется к прибору. После включения прибора выбирается вид работы (Fust, NFe, Fe) в соответствии с типом материала, и щуп компенсируется в воздухе, (lift-off). Затем щуп устанавливается на соответствующий калибровочный стандарт и выполняется нуль-компенсация.

После этого подбирается усилие, пока щуп двигают по калибровочным меткам и устанавливают сигнальные пороги. После этих простых шагов прибор готов к работе.

Оператор может выбирать между тремя способами индикации сигнала в зависимости от его вкуса. Первый представляет горизонтальнодвигающуюся иглу, как в гальванометре. Второй – показывает сигнал в виде горизонтальнодвигающегося прямоугольника. Третий – показывает амплитуду сигнала как функцию времени, как на осциллографе. Этот тип индикации позволяет оператору проверять участок материала без

необходимости смотреть на экран LCD. Можно сконцентрировать внимание на ведение щупа, а оценить сигнал после.

Сигнал, представленный на экране, может быть передан на Epson совместный принтер для документирования. Эта возможность также как и другие, например, предупреждение о поломке чувствительного элемента в щупе или недостаточности батарейного питания, делают результаты контроля более достоверными.

ЧАСТЬ 5. Рентгенодиагностика

Рентгеновское излучение, невидимое излучение, способное проникать, хотя и в разной степени, во все вещества, представляет собой электромагнитное излучение с длиной волны порядка 10^{-8} см.

Как и видимый свет, рентгеновское излучение вызывает почернение фотопленки. Проходя сквозь исследуемый объект и падая затем на фотопленку, рентгеновское излучение изображает на ней его внутреннюю структуру. Поскольку проникающая способность рентгеновского излучения различна для разных материалов, менее прозрачные для него части объекта дают более светлые участки на фотоснимке, чем те, через которые излучение проникает хорошо.

Рентгеновское излучение используется в химии для анализа соединений и в физике для исследования структуры кристаллов. Пучок рентгеновского излучения, проходя через химическое соединение, вызывает характерное вторичное излучение, спектроскопический анализ которого позволяет химику установить состав соединения. При падении на кристаллическое вещество пучок рентгеновских лучей рассеивается атомами кристалла, дает четкую правильную картину пятен и полос на фотопластинке, позволяющую установить внутреннюю структуру кристалла.

Рентгеновское излучение было открыто немецким физиком В. Рентгеном (1845–1923). Рентген открыл излучение в 1895 году, будучи профессором физики Вюрцбургского университета. Проводя эксперименты с катодными лучами (потоками электронов в разрядных трубках), он заметил, что расположенный вблизи вакуумной трубки экран, покрытый кристаллическим цианоплатинитом бария, ярко светится, хотя сама трубка закрыта черным картоном. Далее Рентген установил, что проникающая способность обнаруженных им неизвестных лучей, которые он назвал X –

лучами, зависит от состава поглощающего материала. За открытием Рентгена последовали эксперименты других исследователей, обнаруживших много новых свойств и возможностей применения этого излучения. Большой вклад внесли М. Лауэ, В. Фридрих и П. Книппинг, продемонстрировавшие в 1912 дифракцию рентгеновского излучения при прохождении его через кристалл; У. Кулидж, который в 1913 изобрел высоковакуумную рентгеновскую трубку с подогретым катодом; Г. Мозли, установивший в 1913 зависимость между длиной волны излучения и атомным номером элемента; Г. и Л. Брэгги, получившие в 1915 Нобелевскую премию за разработку основ рентгеноструктурного анализа.

Зарождение неразрушающего контроля обычно относят ко времени открытия в ноябре 1895 г. рентгеновских лучей, которые позволили обнаружить металлический предмет в закрытой деревянной коробке. Большая роль в развитии методов неразрушающего контроля принадлежит Р.И. Янусу, Л.Г. Меркулову, С.Т. Назарову, А.С. Фалькевичу, Н.С. Акулову, М.Н. Михееву, С.В. Румянцеву, И.Н. Ермолову, В.Г. Герасимову, Ф. Ферстеру, Р. Мак–Мастеру, Н. Крауткремеру, Х. Бергеру, Р. Шарпу и многим другим. Метод ультразвуковой дефектоскопии впервые был предложен в 1928 г. проф. С.Я. Соколовым. В 1952 г. С. Маховером и Ю. Усенко был предложен магнитографический метод.

5.1 Применение средств неразрушающего контроля на различных стадиях производства

Эффективность применения средств неразрушающего контроля (СНК) определяется сокращением суммарных расходов на разработку, производство и эксплуатацию промышленной продукции.

Назначение вновь создаваемого изделия во многом предопределяет конструкцию, технологию изготовления, требования к надежности,

долговечности, стоимости, а также объемы применения методов и средств контроля на всех этапах изготовления и эксплуатации.

На стадии научно–исследовательских и опытно–конструкторских работ по созданию изделий СНК применяют:

- для получения необходимых данных, подтверждающих правильность выбранных решений;
- для сокращения времени и объемов необходимых исследований;
- для отбора материалов, компонентов и оборудования, обеспечивающих получение продукции необходимого качества с минимальными материальными и трудовыми затратами.

На этом этапе выбирают оптимальные методы и средства контроля, разрабатывают основные технические требования к эталонам и критерии приемки деталей.

На этапе производства и испытаний опытной партии деталей СНК используют для отработки технологических процессов и конструкций, а также при испытаниях изделий. По результатам контроля вносят изменения в конструкцию и технологические процессы с целью снижения материалоемкости и трудоемкости производства, повышения надежности и долговечности продукции. На этом этапе устанавливают необходимые технические требования к неразрушающему контролю (НК) качества изделия.

При производстве, испытаниях и гарантийном обслуживании серийной продукции СНК используют:

- для выявления соответствия материалов, полуфабрикатов и готовых изделий заданным техническим требованиям (пассивный контроль);
- для целей управления и регулирования технологическими процессами (активный контроль).

При эксплуатации и ремонте изделий и оборудования с помощью СНК

предотвращаются поломки и аварии, сокращаются простои и эксплуатационные расходы, увеличиваются сроки эксплуатации и межремонтных периодов, а также сокращаются продолжительность и стоимость ремонтов. На основании результатов НК изделие может быть изъято из эксплуатации. Эффективность применения НК определяется его принципиальными преимуществами по сравнению с визуальным осмотром и разрушающими испытаниями изделий.

Методы контроля, основанные на визуальном осмотре поверхности изделий, просты, не требуют высокой квалификации контролеров и применения сложной дорогостоящей аппаратуры.

В то же время они малопроизводительны, не могут быть полностью автоматизированы и являются субъективными, так как достоверность результатов зависит от самочувствия, опыта и добросовестности контролеров. Дефекты многих видов не имеют выхода на поверхность или не видны даже при просмотре с увеличением.

К преимуществам разрушающих испытаний следует отнести то, что в процессе испытаний можно измерить разрушающие нагрузки или другие характеристики, определяющие эксплуатационную надежность изделия.

Принципиальным недостатком разрушающих испытаний является то, что они проводятся выборочно, т.е. только на части изделий партии. Поскольку испытываемые материалы и изделия разрушаются в процессе контроля, достоверность разрушающих методов зависит от однородности исследуемых свойств в образцах и изделиях, а также от сходства условий испытаний с условиями эксплуатации. По сравнению с НК разрушающие испытания, как правило, более трудоемки, менее производительны и труднее поддаются автоматизации.

Одной из современных тенденций в использовании испытательной техники является стремление сочетать разрушающие и неразрушающие

методы контроля.

С помощью НК изделия сортируют по различным группам качества. Разрушающие испытания образцов, взятых из каждой группы, позволяют установить соответствие эксплуатационных характеристик изделия измеренным. Если эти связи установлены достаточно точно, то НК позволяет резко сократить объем и периодичность разрушающих испытаний. В этом случае разрушающие испытания проводятся в основном для периодической проверки результатов НК.

Во многих случаях применения СНК не удастся точно оценить экономический эффект, полученный при эксплуатации проконтролированной продукции, особенно когда контроль направлен на обеспечение необходимой безопасности, надежности и долговечности работы сложных машин и агрегатов. В этих случаях критерии приемки материалов и изделий непосредственно связаны с желаемым уровнем качества, который, в свою очередь, зависит от того, насколько важную роль играет данный компонент или узел в изделии. В зависимости от связи между этими факторами могут быть установлены следующие уровни качества:

первый – для критических компонентов, т.е. для таких конструктивных элементов, отказ которых приводит к отказу всей системы или даже к аварии (например, двигатель или шасси самолета);

второй – для некритических компонентов, т.е. для конструктивных элементов, отказ которых не приводит к аварии, но может нарушить нормальную работу системы или объекта. Такие компоненты требуют планового осмотра и ремонта (например, лонжерон или тяга управления самолета);

третий – для неответственных конструктивных элементов, отказ которых может привести к некоторым неудобствам (например, осветительные приборы, предупредительные надписи установок и т.д.).

СНК применяют во всех отраслях народного хозяйства. С их помощью контролируют качество деталей и конструкций различных размеров, изготовленных из разнообразных материалов. В качестве объектов контроля выбраны наиболее массовые изделия из ферромагнитных и неферромагнитных металлов, а также диэлектриков.

5.2 Общие сведения радиационного контроля

При радиационном контроле используют, как минимум, три основных элемента (рис. 22):

- источник ионизирующего излучения;
- контролируемый объект;
- детектор, регистрирующий дефектоскопическую информацию.

При прохождении через изделие ионизирующее излучение ослабляется – поглощается и рассеивается. Степень ослабления зависит от толщины δ и плотности ρ контролируемого объекта, а также от интенсивности M и энергии E излучения. При наличии в веществе внутренних дефектов размером $\Delta\delta$ изменяются интенсивность и энергия пучка излучения.

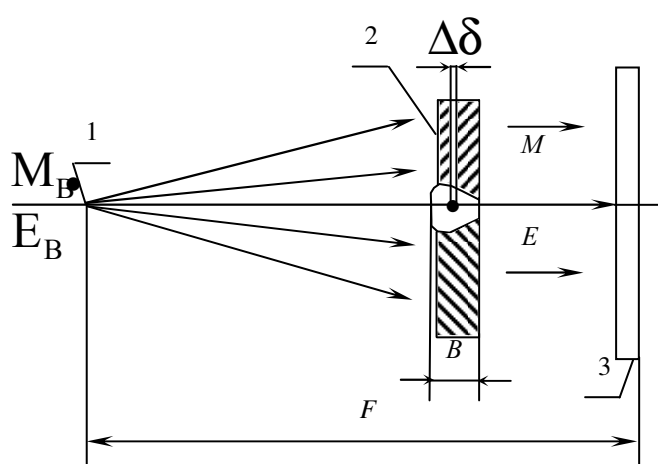


Рис. 22 Схема просвечивания.

1–источник, 2–изделие, 3–детектор

Методы радиационного контроля различаются способами детектирования дефектоскопической информации (рис. 22) и соответственно делятся на радиографические, радиоскопические и радиометрические.

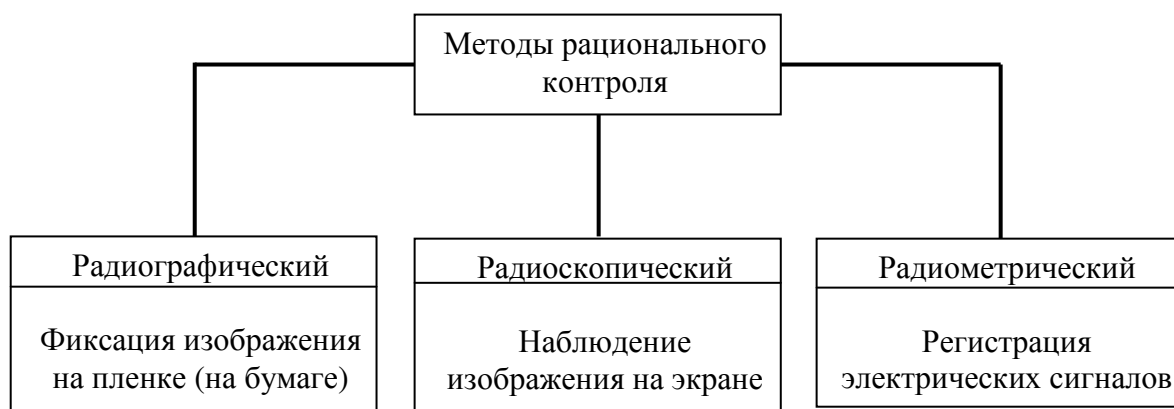


Рис. 23 Классификация методов радиационного контроля

Изделия просвечивают с использованием различных видов ионизирующих излучений, классификация которых приведена на рис.23. Радиографические методы радиационного неразрушающего контроля основаны на преобразовании радиационного изображения контролируемого объекта в радиографический снимок или запись этого изображения на запоминающем устройстве с последующим преобразованием в световое изображение.

На практике этот метод наиболее широко распространен в связи с его простотой и документным подтверждением получаемых результатов. В зависимости от используемых детекторов различают пленочную радиографию и ксерорадиографию (электрорадиографию). В первом случае детектором скрытого изображения и регистратором статического видимого изображения служит фоточувствительная пленка, во втором – полупроводниковая пластина, а в качестве регистратора используют

обычную бумагу.

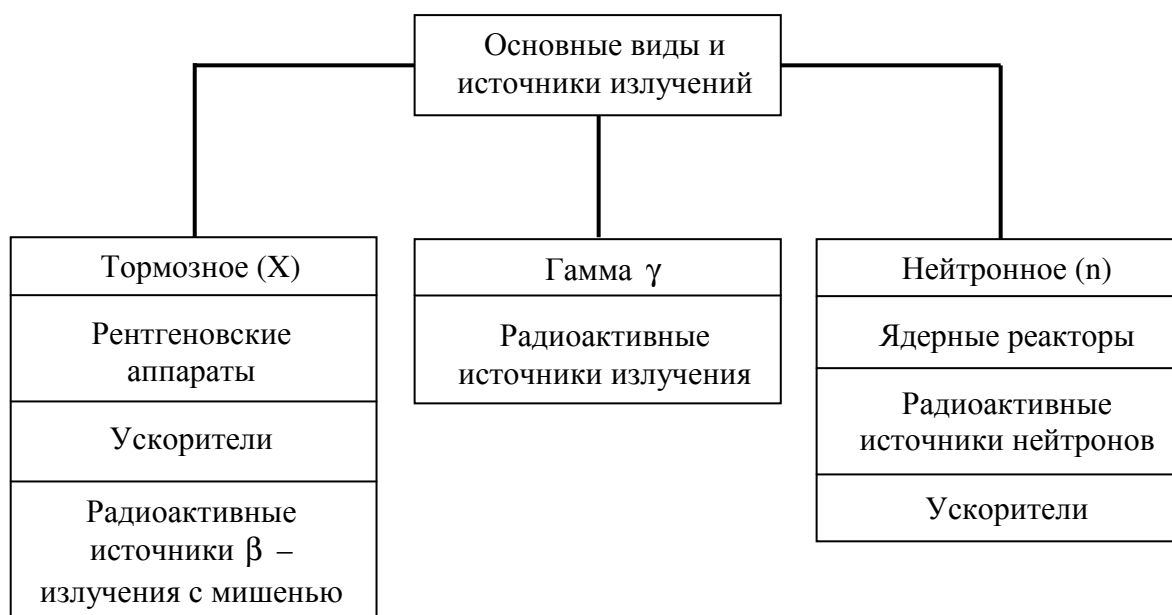


Рис. 24 Классификация источников ионизирующих излучений

В зависимости от используемого излучения различают несколько разновидностей промышленной радиографии: рентгенографию, гаммаграфию, ускорительную и нейтронную радиографии. Каждый из перечисленных методов имеет свою сферу использования. Этими методами можно просвечивать стальные изделия толщиной от 1 до 700 мм.

Радиационная интроскопия – метод радиационного неразрушающего контроля, основанный на преобразовании радиационного изображения контролируемого объекта в световое изображение на выходном экране радиационно-оптического преобразователя, причем анализ полученного изображения проводится в процессе контроля.

Чувствительность этого метода несколько меньше, чем радиографии, но его преимуществами являются повышенная достоверность получаемых результатов благодаря возможности стетереоскопического видения дефектов и рассмотрения изделий под разными углами, «экспрессность» и

непрерывность контроля.

Радиометрическая дефектоскопия – метод получения информации о внутреннем состоянии контролируемого изделия, просвечиваемого ионизирующим излучением, в виде электрических сигналов (различной величины, длительности или количества).

Этот метод обеспечивает наибольшие возможности автоматизации процесса контроля и осуществления автоматической обратной связи контроля и технологического процесса изготовления изделия. Преимуществом метода является возможность проведения непрерывного высокопроизводительного контроля качества изделия, обусловленная высоким быстродействием применения аппаратуры. По чувствительности этот метод не уступает радиографии.

5.3 Рентгеновские аппараты

5.3.1 Аппаратурное оформление

Рентгеновская установка состоит из рентгеновского излучателя, источника высокого напряжения и контрольной аппаратуры (рис. 24).

Высоковольтный генератор преобразует напряжение сети в напряжение питания рентгеновской трубки. Высоковольтный генератор включает: преобразователи переменного тока в постоянный (кенотроны, диоды, конденсаторы) для фильтрации и удваивания напряжения, трансформаторы накала рентгеновской трубки, трансформаторы накала кенотронов, выключатели и защитные устройства.

Контрольно-измерительная часть представляет собой группу приборов, которые служат для изменения и регулирования времени, тока, напряжения и частоты (реле времени, измерительные приборы, прерыватели, селекторы, защитные приборы и т.п.).

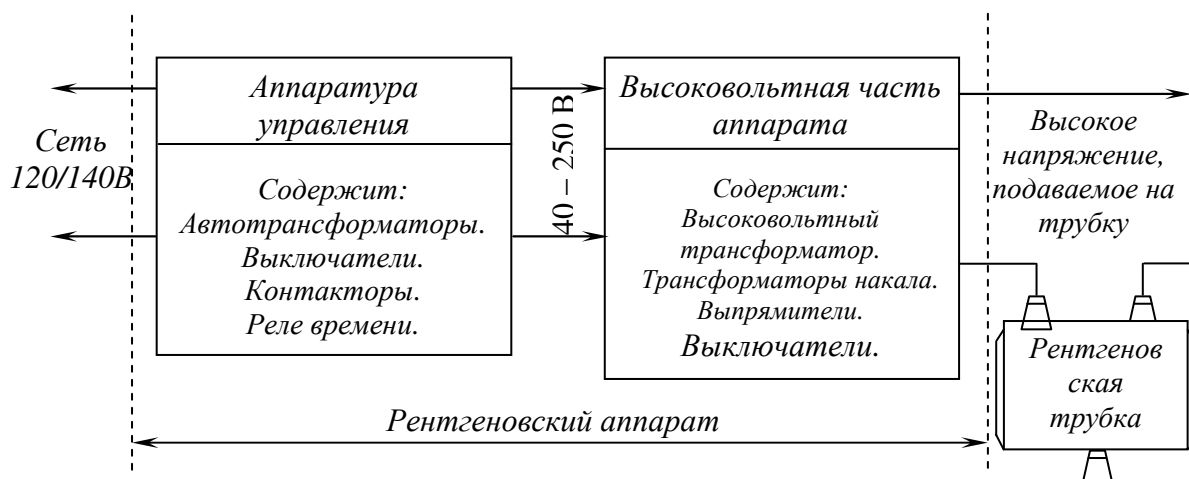


Рис. 25. Структурная схема рентгеновской установки

Рентгеновский излучатель (рис. 25) состоит из рентгеновской трубки и защитного кожуха, заполненного изолирующей средой: трансформаторным маслом, воздухом или газом под давлением.

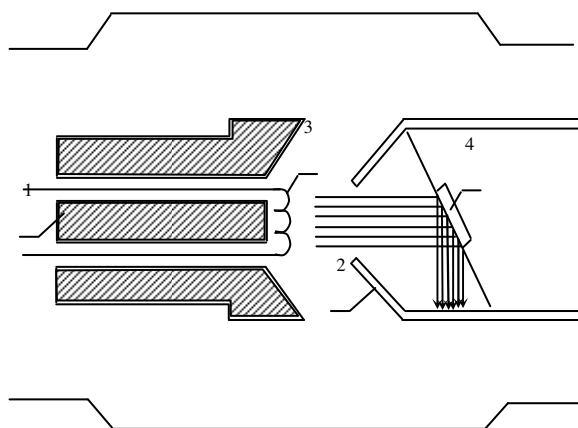


Рис. 26 Схема рентгеновской трубки

1–катод, 2–фокусирующие пластины, 3–нить канала, 4–анод.

Оболочка трубки представляет собой запаянный стеклянный баллон или выполнена по металлокерамической технологии.

В рентгеновских трубках напряжением до 60 кВ только 0,1% энергии электронного пучка преобразуется в энергию рентгеновского излучения. При напряжении 100 кВ КПД трубки увеличивается до 1%. При 2 МэВ он

достигает 10%, а при 15 МэВ – более 50%.

Лучевая отдача трубки зависит в основном от ускоряющего напряжения и предварительной фильтрации излучения.

С увеличением тока трубки при постоянном напряжении увеличивается интенсивность излучения (рис. 27а). Увеличение ускоряющего напряжения при заданном анодном токе изменяет спектр излучения со смещением максимума излучения в сторону коротких волн (рис. 27б).

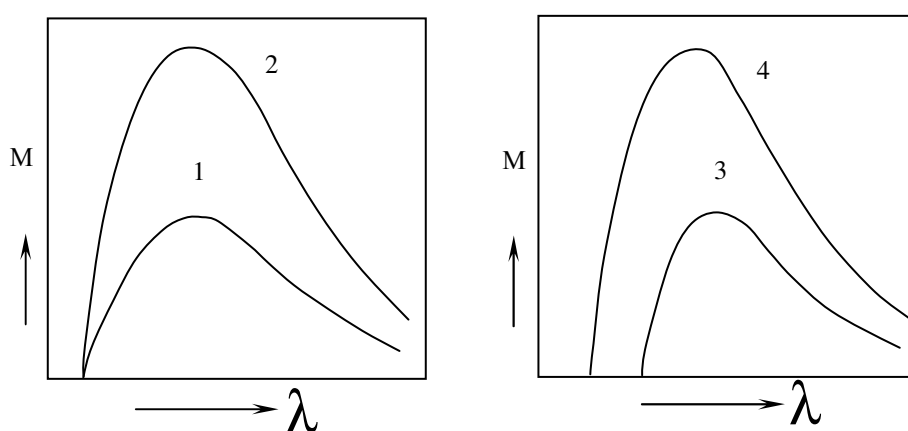


Рис. 27 Зависимость интенсивности рентгеновского излучения от тока (а) и напряжения (б)

1 – малый ток, 2 – большой ток, 3 – низкое напряжение, 4 – высокое ускоренное напряжение.

Электрические свойства рентгеновской трубки характеризуются ускоряющим напряжением U , анодным током i и током накала i_H .

Оптические свойства рентгеновской трубки определяются формой и размерами оптического фокуса трубки. В настоящее время, как правило, применяют трубки с круглым или прямоугольным (линейным) фокусом. В рентгеновских трубках с линейным фокусом размеры зоны, в которой электроны взаимодействуют с мишенью, не соответствуют размерам кажущегося фокусного пятна. Эта зона представляет собой прямоугольник,

тогда как кажущееся фокусное пятно является квадратом (рис. 28).

В радиационной дефектоскопии применяют рентгеновские трубки обычной двухэлектродной конструкции двух- и однополярные (рис. 29 а, б); специализированные конструкции с вынесенным полым анодом (рис. 30); с вращающимся анодом (рис. 31); и высоковольтные (рис. 32).

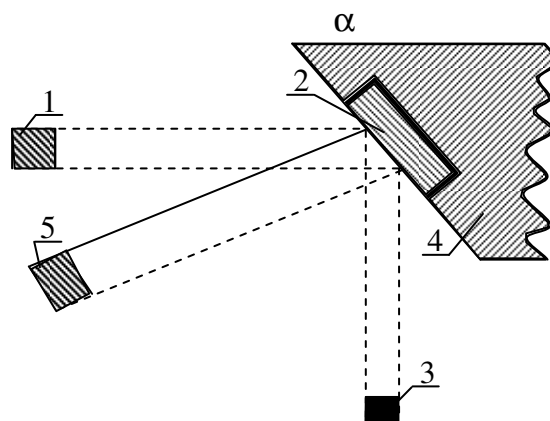
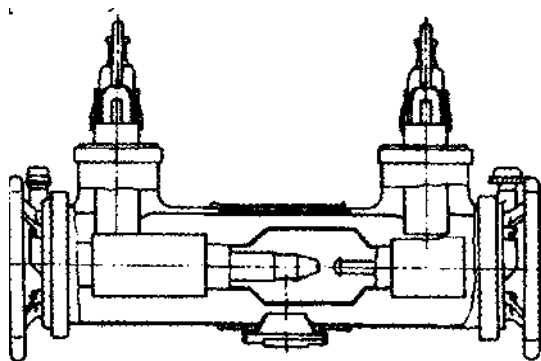
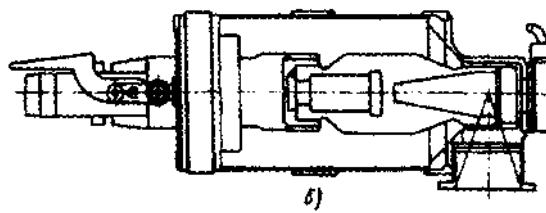


Рис. 28 Схема формирования фокусного пятна рентгеновской трубки
1 – сечение электронного пучка, 2 – фокальное пятно, 3 – оптический фокус,
4 – анод, 5 – сечение фокального пятна



а) – двухполюсная



б) – однополюсная

Рис. 29 Схемы трубок

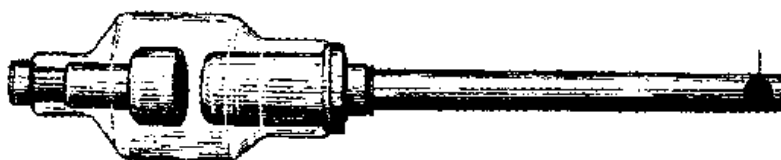


Рис. 30 Трубка с вынесенным анодом

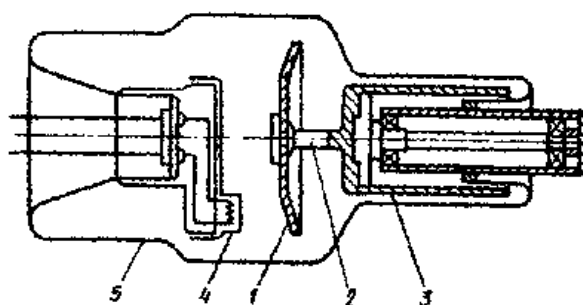


Рис. 31 Рентгеновская трубка с вращающимся анодом

1 – анод, 2 – стержень анода, 3 – ротор, 4 – катод, 5 – баллон

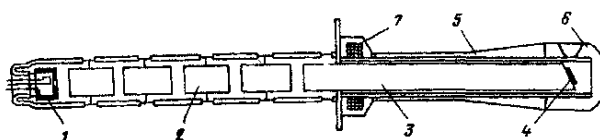


Рис. 32 Секционированная рентгеновская трубка с полым анодом

1 – катод, 2 – промежуточный электрод, 3 – полый анод, 4 – вольфрамовое зеркало, 5 – водяная рубашка, 6 – свинцовый чехол, 7 – фокусирующая катушка

Импульсные рентгеновские трубки предназначены для исследования быстропротекающих процессов. Длительность импульсов ≈ 20 нс. В этих

трубках за короткий промежуток времени создается ток $10^3 - 10^5$ А. Современные отпаянные двух- и трехэлектродные импульсные трубки с холодным катодом работают по принципу вакуумного пробоя, который развивается под действием автоэмиссии электронов, получаемых из острых краев катода под действием сильного электрического поля. Анод в таких трубках выполняется в виде вольфрамовой иглы, а катод – в виде кольца или диска. Трубки работают при разряжении $10^{-5} - 10^{-6}$ мм рт. ст.

Высоковольтные рентгеновские трубки не могут быть двухэлектродными, так как при высоком ускоряющем поле более 400 кВ наблюдаются автоэлектронная эмиссия, электрические пробой, рассеяние и отражение электронов. Поэтому высоковольтные рентгеновские трубки делают секционными, состоящими из катода, промежуточных электродов и полого анода. Полый анод почти полностью улавливает отраженные электроны. Возможность высоковольтного вакуумного пробоя исключена благодаря большому расстоянию между анодом и катодом.

В зависимости от конструкции конечной части полого анода могут использоваться различные пучки излучения (рис. 33).

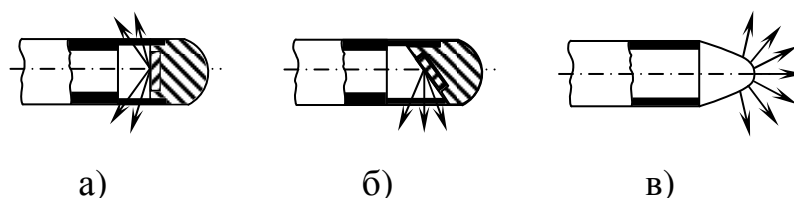


Рис. 33 Различные виды излучающих частей полого анода

Если излучающая часть анода является массивным медным телом со впаянным медным зеркалом, то пучок излучения может быть или панорамным, или направленным. Если эта часть представляет собой тонкую медную стенку, то излучение получается торцевым.

Рентгеновские трубки с вращающимся анодом предназначены для

кратковременной нагрузки большой мощности (до 100 кВт в течение 0,1 с) при малых (до $0,3 \times 0,3$ мм) размерах оптического фокуса. Это достигается интенсивным охлаждением дискового анода при вращении его автономным двигателем ($n = 3000 \div 7000 \text{ об/мин}$). Трубки эффективны при просвечивании в течение 5 с, не более.

Высоковольтный рентгеновский кабель (рис. 34). Диаметр кабеля на напряжения 50 – 100 кВ составляет 20 – 30 мм. В центре находятся две или три концентрические жилы, по которым передаются анодный ток и ток накала рентгеновской трубки. Высоковольтный рентгеновский кабель рассчитан на пульсирующее напряжение не выше 150 – 200 кВ. Длина кабельных выводов обычно равна 5 – 15 м.

Для дефектоскопии материалов и изделий широко используются рентгеновские аппараты с напряжением 10 – 400 кВ. Контроль легких материалов, пластмасс обеспечивается мягким излучением, а толстостенных стальных изделий и материалов – жестким излучением 300 – 400 кВ.

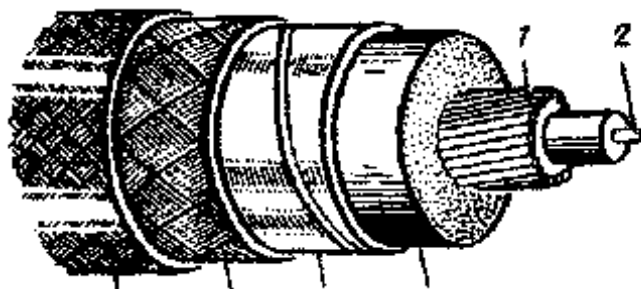


Рис. 34 Высоковольтный рентгеновский кабель

- 1, 2 – токопроводящие жилы, 3 – основная резиновая изоляция,
4 – противокоронный слой, 5 – металлическая защитная оболочка,
6 – внешняя оболочка

5.3.2 Схема проведения испытания

В общем виде рентгеновский аппарат состоит из пульта управления, высоковольтного генератора и рентгеновской трубки в защитном кожухе

(рис. 35).

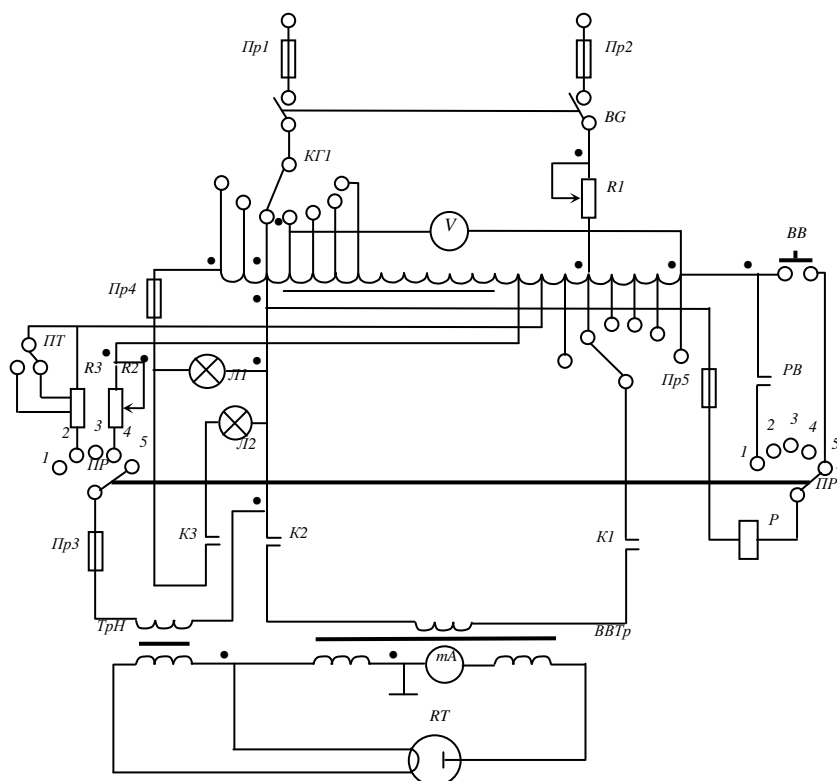


Рис. 35 Принципиальная схема простейшего рентгеновского аппарата

Питающее напряжение (127, 220 или 380 В) через предохранители Пр1, Пр2 и выключатель сети ВС поступает на автотрансформатор АТ. Так как напряжение в сети колеблется, то для его выравнивания в цепь автотрансформатора включен корректор грубой регулировки напряжения КГ1. Плавная регулировка напряжения производится с помощью реостата R1 и измеряется вольтметром V. Корректором КГ2 регулируется напряжение на рентгеновской трубке. Снимаемое с автотрансформатора напряжение через контакты К1 и К2 и реле Р поступает на первичную обмотку высоковольтного трансформатора ВВТр. Вторичная обмотка имеет две секции, последовательно соединенные через миллиамперметр mA. Внешние концы высоковольтной обмотки соединены с анодом и катодом рентгеновской

трубки.

Во вторичной обмотке возникает переменное высокое напряжение. Ток через трубку проходит в течение положительных полупериодов. Генерирование излучения происходит импульсами, частота которых равна частоте напряжения сети.

Нить накала рентгеновской трубки подключена ко вторичной обмотке трансформатора накала ТрН. Первичная обмотка накального трансформатора подключена одним концом непосредственно к сети, а другим через предохранитель ПрЗ к переключателю режимов Пр. Переключатель режимов имеет пять положений. В положении 3 цепь накала разомкнута. В положении 5 в цепь накала включается реостат R2, позволяющий плавно изменять ток накала и соответственно ток через трубку. В положении 1 в цепь накала включается реостат R3, с которого снимаются напряжения двух фиксированных значений, и переключатель тока ПТ подключает одну из них в первичную обмотку трансформатора накала. В положении 2 и 4 цепь накала замкнута. Вследствие этого нить накала рентгеновской трубки разогревается до включения высокого напряжения. Для подготовки к включению высокого напряжения переключатель режимов переводят в положение 5. Высокое напряжение можно включить переключателем режимов, для этого его надо перевести в положение 1. При этом катушка электромагнитного реле подключается к автотрансформатору через контакты реле времени РВ. По истечении установленного времени экспозиции цепь реле размыкается и высокое напряжение выключается. При включении аппарата в сеть загорается зеленая сигнальная лампа Л1, подключенная к автотрансформатору. При включении высокого напряжения загорается красная лампа Л2, которая включается через контакт КЗ.

Рентгеновские аппараты разрабатывают по различным электрическим схемам питания трубки (рис. 36 а – ж). В связи с этим различают:

- аппараты без выпрямителей (рис. 36 а);
- полуволновые кенотронные аппараты, имеющие в схеме один или два кенотрона, включенные последовательно с трубкой (рис. 36 б – в);
- аппараты, работающие по схемам удваивания с двумя кенотронами и двумя конденсаторами (рис. 36 д – е);
- аппараты, работающие по схеме удваивания напряжения с одним кенотроном, где для повышения напряжения используются два конденсатора (рис. 36 г);
- схему генерирования импульсов анодного напряжения импульсом рентгеновского аппарата (рис. 36 ж).

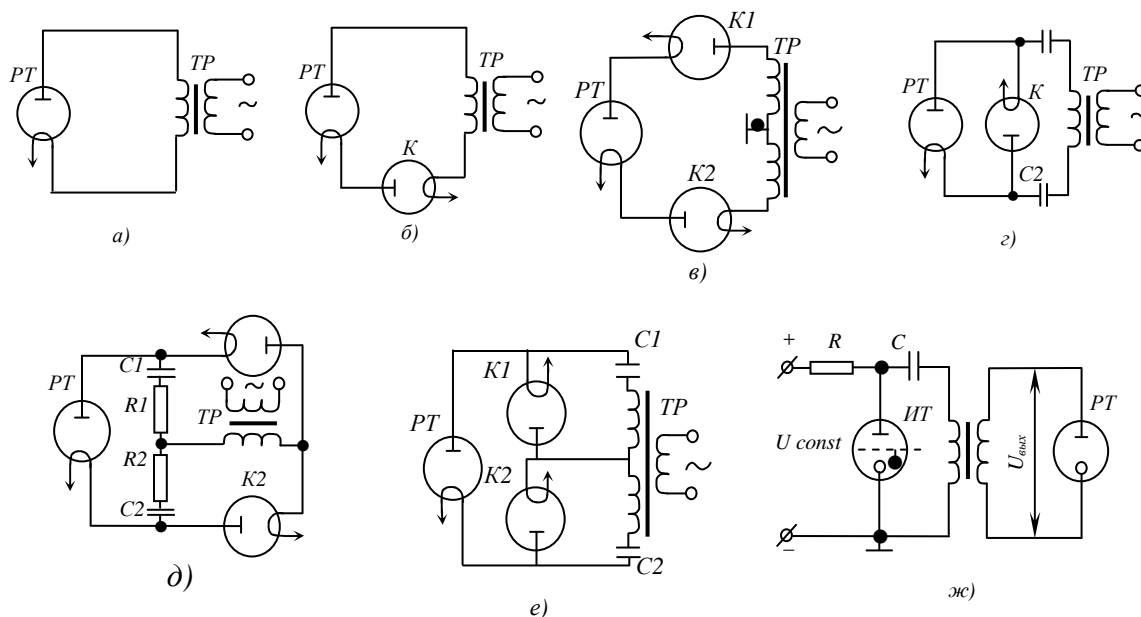


Рис. 36 Типовые схемы рентгеновских аппаратов

РТ– рентгеновская трубка, Тр – трансформатор, К – кенотрон, С – конденсатор,
 R – резистор, ИТ – импульсный трансформатор, Т – тиратрон

По напряжению или энергии излучения, применяемые в промышленности рентгеновские аппараты можно условно разделить на следующие группы:

- с напряжением до 100 кВ (для дефектоскопии изделий малой плотности);
- с напряжением 100 – 400 кВ (для дефектоскопических изделий из стали и тяжелых сплавов средней толщины 5 – 120 мм);
- с напряжением 1 и 2 МэВ (для изделий из стали и тяжелых сплавов толщиной до 150 – 200 мм).

По форме анодного напряжения на трубке различают:

- рентгеновскую аппаратуру с полуволновой (однополупериодной) безвентильной схемой питания рентгеновской трубки (портативные переносные рентгеновские аппараты с блок – трансформаторами);
- с полуволновой (однополупериодной) схемой питания рентгеновской трубки с вентилем во вторичной цепи (передвижная и стационарная рентгеновская аппаратура для промышленного просвечивания);
- с выпрямленным (постоянным) анодным напряжением трубки (передвижные кабельные рентгеновские аппараты);
- с импульсным анодным напряжением рентгеновской трубки (переносные импульсные рентгеновские аппараты для выборочного рентгеновского контроля промышленных изделий в лабораторных или цеховых условиях).

По виду высоковольтной электрической изоляции рентгеновской трубки в защитном кожухе или блок – трансформаторе (моноблоке) рентгеновская промышленная аппаратура подразделяется на рентгеновскую аппаратуру:

- с масляной высоковольтной изоляцией (применяют

трансформаторное масло, обработанное дополнительно на фильтр – прессе и в вакуумной камере, а также специальное синтетическое масло);

- с высоковольтной газовой изоляцией под давлением (применяют фреон или шестифтористую серу под давлением $3 \cdot 10^5$ Па);
- с воздушной высоковольтной изоляцией рентгеновской трубки в защитном кожухе.

Аппараты, в которых в качестве высоковольтной изоляции используется атмосферный воздух, встречаются редко.

По геометрии рабочего пучка рентгеновского излучения блок – трансформаторы и защитные кожухи с рентгеновскими трубками подразделяются на следующие основные типы:

- рентгеновские блок – трансформаторы (защитные кожухи) с направленным выходом рентгеновского излучения, например, в форме конуса с углом при вершине $30 - 60^\circ$ (рис. 37);
- рентгеновские блок – трансформаторы (защитные кожухи) с панорамным (круговым) выходом рентгеновского излучения (рис. 38).

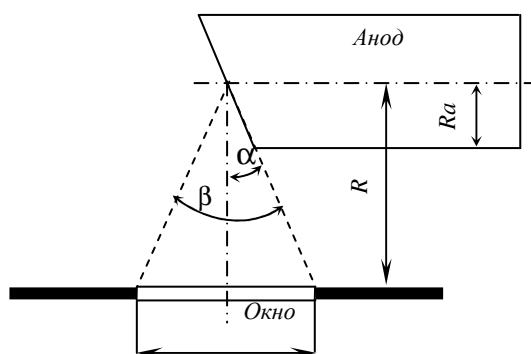


Рис. 37 Схема анода и выходного окна трубки с направленным выходом излучения

В рентгеновской аппаратуре с анодным напряжением в диапазоне 0,4 – 2,0 МВ, когда генерируемое на аноде тормозное излучение «просвечивает»

само зеркало анода, различают отраженный пучок излучения и проходящий.

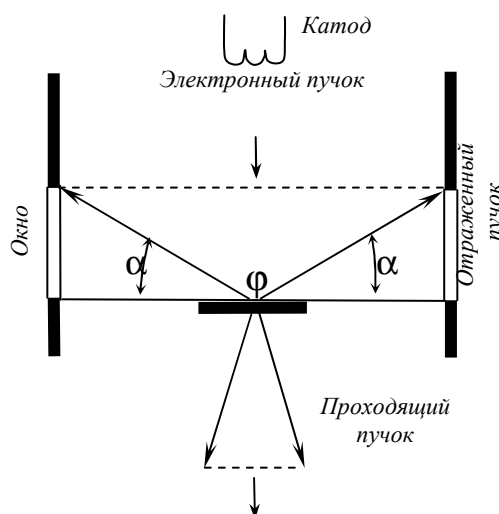


Рис. 38 Схема анода и выходного окна трубки с панорамным выходом излучения

Излучение проходящего пучка обладает значительно большей энергией, чем излучение отраженного пучка (за счет фильтрации мягкой составляющей тормозного излучения в материале анода рентгеновской трубки).

5.4 Рентгеновская аппаратура для промышленного просвечивания

5.4.1 Переносная (портативная) рентгеновская аппаратура

Характерной ее особенностью является наличие следующих основных частей:

- переносного (транспортбельного) блок – трансформатора (моноблок) с рентгеновской трубкой;
- переносного пульта управления чемоданного типа;
- комплекта соединительных низковольтных кабелей (и водопроводных шлангов для охлаждения блок – трансформатора).

Современную переносную (портативную) рентгеновскую аппаратуру разрабатывают и изготавливают едиными сериями с учетом возможности просвечивания материалов в широком диапазоне толщин. За базу построения такой серии аппаратов принимают анодное напряжение рентгеновской трубки.

Большинство ведущих иностранных фирм принимают следующий базовый ряд наибольшего напряжения рентгеновской трубки, кВ: 10 – 80; 50 – 140; 50 – 200 (220); 80 – 300; 35 – 160; 60 – 250; 100 – 400.

Пример: Дефектоскоп передвижной рентгеновский или бетатронный.

Дефектоскоп предназначен для неразрушающего контроля качества сварных соединений трубопроводов, сосудов высокого давления, различных металлических конструкций в полевых условиях.

Принцип действия дефектоскопа основан на использовании излучения малогабаритных бетатронов, переносных рентгеновских аппаратов или изотопных источников для просвечивания объектов контроля и преобразования излучения в рентгенограмму с помощью сцинтилляционных экранов, телевизионной аппаратуры и цифровой электронной техники.

Дефектоскоп представляет собой комплекс аппаратуры с автономным источником питания на базе автомобиля, оборудованного крытым кузовом. Дефектоскоп состоит из двух частей:

- выносного блока – преобразователя, устанавливаемого по месту контроля вместе с рентгеновским аппаратом или бетатроном;
- блока телевизионной и цифровой аппаратуры, включающего монитор и программируемый блок цифровой обработки изображений.

Обе части дефектоскопа соединены кабелем длиной 25 м.

Дефектоскоп работоспособен в стационарных условиях и на базе автомобиля с крытым кузовом в диапазоне температур $(-20...+40)^{\circ}\text{C}$. Дефектоскоп позволяет контролировать качество изделий без применения

рентгеновской пленки. Результаты контроля в виде цифровых рентгенограмм запоминаются на винчестере или гибком диске, а также документируются на бумажном носителе.

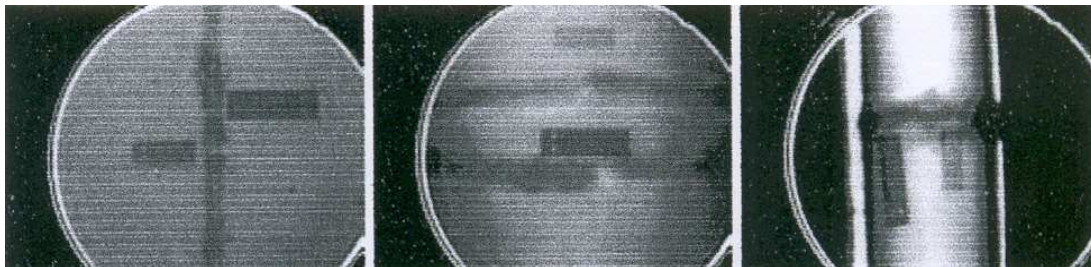


Рис. 39 Запуск дефектоскопической установки из кузова автомобиля

Типичные высококонтрастные изображения, получаемые дефектоскопом

Таблица 5.

Основные технические характеристики	
Диаметр контроля, мм	200**
Толщина контролируемых изделий по стальному эквивалентам, мм	до 60 или 200*
Чувствительность контроля, %	1–2,5
Размер выявляемых дефектов, мм	до 0,2
Потребляемая мощность, Вт	до 100
Вес, кг	20
Габариты, мм	500×800×800
*) для бетатронных интроскопов	
**) параметр может быть согласно требованиям контроля.	

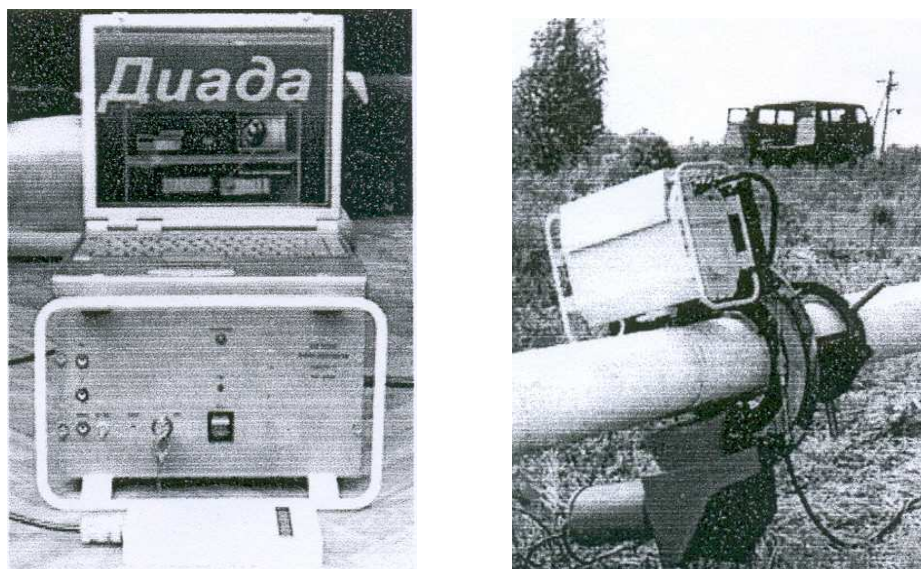


Рис. 40 Виды дефектоскопов

5.4.2 Импульсная рентгеновская аппаратура

К разряду переносной аппаратуры для промышленного просвечивания можно отнести и импульсную рентгеновскую аппаратуру с анодными напряжениями до 0,5 МВ. Принцип действия их основан на явлении возникновения кратковременной (0,1–0,2 мс) вспышки тормозного рентгеновского излучения при электрическом пробое вакуума в двухэлектродной рентгеновской трубке (с холодным катодом) под действием импульса анодного высокого напряжения (220–280 кВ), возникающего на вторичной обмотке высоковольтного трансформатора при разряде накопительной емкости ($U_p = 7,5 \div 10 \text{ кВ}$) через первичную обмотку высоковольтного трансформатора.

Передвижная (разборная) рентгеновская аппаратура для промышленного просвечивания предназначена для работы в лабораторных условиях. Она позволяет оборудовать временные (передвижные) и стационарные рентгенодефектоскопические установки.

Таким образом, рентгеновские лучи представляют собой невидимое

электромагнитное излучение с длиной волны $10^5 - 10^2$ нм. Рентгеновские лучи могут проникать через некоторые непрозрачные для видимого света материалы. Испускаются они при торможении быстрых электронов в веществе (непрерывный спектр) и при переходах электронов с внешних электронных оболочек атома на внутренние (линейчатый спектр). Источниками рентгеновского излучения являются: рентгеновская трубка, некоторые радиоактивные изотопы, ускорители и накопители электронов (синхротронное излучение). Приемники – фотопленка, люминесцентные экраны, детекторы ядерных излучений. Рентгеновские лучи применяют в рентгеноструктурном анализе, дефектоскопии, рентгеновском спектральном анализе и т.п.

Естественно, что достаточно полную объективную информацию о контролируемом объекте нельзя получить, регистрируя только эффекты взаимодействия с объектом контроля физического поля одной природы (частоты). Использование рентгеновского излучения при контроле не гарантирует выявления трещин, несплавлений и т.п. Только комбинированные, разные по принципу взаимодействия с веществом методы контроля, такие как радиационно-оптический, электро-магнито-акустический, магнитно-оптический и др., могут исключить недостатки исследования, взаимно дополнить друг друга и обеспечить получение достаточной информации о качестве промышленной продукции. В этом направлении должна решаться задача совместимости информации, полученной разными методами.

Необходима количественная обработка данных используемых методов НК, выработка оптимальных алгоритмов интегральной количественной оценки качества изделия.

Библиографический список

1. Васильев Д.В., Витель М.Р., Горшенков Ю.Н. и др. Радиотехнические цепи и сигналы / под ред. Самойло К.А.-М.: Радио и связь. – 1982. – С. 48-49.
2. Гольдин А.С. Вибрация роторных машин. М. Машиностроение, 1999.
3. Гордеев Б.А., Новожилов М.В., Образцов Д.И. Применение ультразвукового метода в вибродиагностике легковых автомобилей // Метрология.-1990.-№6.-С. 33-36.
4. Коломойцев Ф.Н., Быстрыков Н.П., Снежко Е.М., Налча Г.И., Харагай А.С. СВЧ установка для измерения вибраций // Измерительная техника.-1971.- N11.-С. 45-46.
5. Коган И.М., Тамарчак Д.Я., Хотунцев Ю.Л. Автодины // Итоги науки и техники. - Радиотехника.-1984.- Т.33.-С.3-175.
6. Шокли В. Теория электронных полупроводников. Пер. с англ. /под ред. Жузе. - М.: Иностранная литература.- 1953.-С.558.
7. Барков А.В.. Диагностика и прогнозирование технического состояния подшипников качения по сигналу вибрации// Судостроение. 1985. № 3.
8. Шелихов Г.С. Магнитопорошковая дефектоскопия деталей и узлов. М.:НТЦ «Эксперт», 1995.
9. Хусанов М.Х. Магнитографический контроль сварных швов. М.: Недра, 1973.216 с.
10. Аркадьев В.К. Электромагнитные процессы в металлах. М.:Госэнергоиздат, 1974. 230 с.
11. Зацепин Н.Н., Коржова Л.В. Магнитная дефектоскопия. Минск: Наука и техника, 1981.208 с.
12. Янус Р.И. Магнитная дефектоскопия. М.: Гостех-издат, 1961.

13. Михайлов СП., Щербинин В.Е. Физические основы магнитографической дефектоскопии. М.: Наука, 1992, 240 с.
14. Блохин М.А. Методы рентгеноспектральных исследований, М., 1959 г.
15. Бокай Г.Б., Порай-Кошиц М.А. Рентгеноструктурный анализ, М., 1964.
16. Неразрушающий контроль и диагностика: Справочник/ В.В. Клюев Ф.Р. Соснин, Филинов В.Н. и др.; под. ред. В.В Клюева – М.: Машиностроение, 1995 год – 448 с.
17. Чумичев А.М. Техника и технология неразрушающих методов контроля деталей горных машин и оборудования: Учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по направлению «Горное дел», 2–е изд. М.: МГГУ, 2003.– 379 с.
18. Шишаков Н.А. Основные понятия структурного анализа, М., 1961.
19. <http://introscopy.try.ru>
20. <http://tomgis@post.tomica.ru>
21. www.nw-technology.ru

Приложение

Сертификаты

Все материалы SHERWIN, указанные в данной таблице, состоят в списке QPL (Список сертифицированных продуктов) в соответствии со стандартами MIL-I-25135E и AMS-2644. Кроме этого, наборы материалов соответствуют требованиям и одобрены следующими компаниями и стандартами:

AECL, Aerospatiale/Matra, Airbus Industrie, Allison, AMS-2644, AMS-3155/-3156/-3157, ASME Code Section V, ASTM E-1417 (MIL-STD-6866), ASTM-E165, Augusta,	Boeing/Douglas, British Aerospace, CFM International, Dassault, EDF-PMUC, EN-571/ISO 3452, FIAT Aviazone, Garrett EMS General Dynamics, General Electric,	Howmet, Lockheed/Northrop, MTU, Navships 250-1500, Pratt & Whitney Aircraft, RDT-F3-6T, Rolls-Royce BP\$702, Sikorsky Aircraft, Snecma, Turbomeca
--	---	--

Наименование продукции	Классификация по AMS-2644	Описание	Примечание	Особенности
Флуоресцентные пенетранты Водосмываемые (метод А)				
НМ-20	Класс 1	Водосмываемый пенетрант низкой чувствительности	контроль сварных швов, литья,ковки и экструзий (металлических и неметаллических поверхностей) в автомобильной и аэрокосмической отраслях, а также при производстве аэроконструкций и деталей турбинных двигателей.	превосходно смывается водой, низкий уровень расхода пенетранта благодаря низкой вязкости, высокое качество распыляемости, точка вспышки выше 100°С
НМ-3А	Класс 2	Водосмываемый пенетрант средней чувствительности		
НМ-406		Водосмываемый пенетрант средне-высокой чувствительности		
НМ-602				
НМ-430	Класс 3	Водосмываемый	контроль компонентов	биологически

HM-604		пенетрант высокой чувствительности	турбинных двигателей, включая турбинные лопасти и ответственные сварные швы, литья,ковки и экструзий.	разложимы, не содержат масляных дистяллятов, устойчивы к вымыванию из дефектов, точка вспышки выше 100'C высокое качество распыляемости.
HM-607				
HM-704	Класс 4	Водосмываемый пенетрант сверх-высокой чувствительности		
Флуоресцентные пенетранты Эмульгирующие (Метод В, С & D)				
RC-29	Класс 1	Эмульгирующий пенетрант низкой чувствительности	контроль сварных швов, литья,ковки в автомобильной и авиастроительной отраслях и при производстве турбинных двигателей	превосходно смывается водой, низкий уровень расхода пенетранта благодаря низкой вязкости, высокое качество распыляемости, высокая теплоустойчивос ть, точка вспышки выше 100'C
RC-50	Класс 3	Эмульгирующий пенетрант средней чувствительности		
RC-65		Эмульгирующий пенетрант высокой чувствительности	контроль ответственных узлов турбинных двигателей, в т. ч. турбинных лопаток, вращающиеся части турбинных двигателей, в т. ч. диски и лопатки вентилятора	
RC-77	Класс 4	Эмульгирующий пенетрант сверх-высокой чувствительности		
RC-88				
Флуоресцентные пенетранты На основе воды (Метод А)				
WB-100	Класс 1	Флуоресцентный пенетрант на основе воды низкой чувствительности	контроль литья,ковки в автомобильной и авиастроительной отраслях и при производстве турбин.	флуоресцентные пенетранты на основе воды, биоразложимы, сопротивляются вымыванию из полостей дефектов
WB-200	Класс 2	Флуоресцентный пенетрант на основе воды средней чувствительности		

Эмульгаторы				
ER-83A	Метод D	гидрофильный эмульгатор	используется с флуоресцентными пенетрантами Sherwin RC	разбавляется до концентрации 30%
ER-85	Метод B	липофильный эмульгатор	используется с пенетрантами Sherwin RC и DP-40	медленная диффузия, с пенетрантом снижает риск пенеэмульгации
Очистили				
DR-60	Класс 1	Очиститель на основе углеводорода	применяется для всех цветных и флуоресцентных пенетрантов Sherwin.	превосходно очищает поверхность и удаляет излишки пенетранта.
DR-62	Класс 2			испаряется быстрее, чем DR-60, т.ч. превосходно очищает поверхность
LA-1 Очиститель	не применимо	Щелочной очиститель	разбавляется водой и применяется для предварительной очистки поверхности	антикоррозийный, не токсичный, не содержит натрия.
Проявители				
D-90G	форма а	сухой порошок проявителя	примени только с флуоресцентными пенетрантами	создает прекрасный фон для яркой индикации дефектов
D-100	форма d & e	безводный проявитель на спиртовой основе	применяется только распылением из аэрозольной упаковки	белые пигментные вещества создают фон для яркой индикации дефектов
D-105				применим с пенетрантом DP-55

D-106		безводный проявитель на основе спирта/ацетона	при необходимости быстрого высыхания, например при низких температурах	быстро высыхает при нанесении тонким слоем
D-110A.1	форма с	водносуспензионный проявитель	обычно используется при нанесении погружением	безопасный, экономичный проявитель для контроля больших площадей
D-113G.1	форма b	водорастворимый проявитель	применяется с эмульгирующими пенетрантами Sherwin	
Цветные пенетранты				
DP-40	тип II, метод B,C&D	Эмульгирующий пенетрант высокой чувствительности	контроль сварных швов, литья,ковки и экструзий металлических и неметаллических материалов (пластики, керамика, стекло и пр.)	точка вспышки выше 100°C
DP-51	тип II, метод A, C			точка вспышки выше 100°C, сопротивляется вымыванию из дефектов
DP-54				главным образом для неровных поверхностей, хорошо смываемый
DP-55				не содержит амидов, сопротивляется вымыванию из полости дефекта
Набор для высоких температур				
K-017 Пенетрант	тип II, метод A, C	цветной пенетрант для высоких температур	контроль сварных швов, литья,ковки при высоких температурах исследуемой поверхности в диапазоне от 65°C до 180°C	контроль горячих поверхностей, не требует предварительного охлаждения детали, сокращая время и стоимость контроля
K-019 Очиститель	класс 2	очиститель для высоких температур		
D-350 Проявитель	Группа I&III, MIL-I-25135C	безводный проявитель для высоких температур		

Электронное учебное издание

Геннадий Михайлович **Бутов**
Светлана Владимировна **Лапшина**

ДИАГНОСТИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ РЕМОНТА

Учебное пособие

Электронное издание сетевого распространения

Редактор Матвеева Н.И.

Темплан 2018 г. Поз. № 28.

Подписано к использованию 18.09.2018. Формат 60x84 1/16.

Гарнитура Times. Усл. печ. л. 6,38.

Волгоградский государственный технический университет.
400005, г. Волгоград, пр. Ленина, 28, корп. 1.

ВПИ (филиал) ВолгГТУ.
404121, г. Волжский, ул. Энгельса, 42а.