



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
УПРАВЛЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Кафедра «Эксплуатация транспортных средств и логистика»

Учебно-методическое пособие **«Неразрушающий контроль. Часть 1»** **по дисциплинам**

**«Технический контроль машин и оборудования»,
«Испытания подъемно-транспортных, строитель-
ных, дорожных средств и оборудования», «Осно-
вы эксплуатации и ремонта подъемно-
транспортных, строительных и дорожных машин»,
«Материаловедение», «Технология конструкцион-
ных материалов», «Термическая обработка металлов», «Технические измерения в автосервисе»,
«Технология и организация восстановления деталей и сборочных единиц при сервисном сопровождении», «Автомобильные материалы, их старение и износ».**

Авторы
Короткий А. А., Вернези Н. Л.

Ростов-на-Дону, 2020

Аннотация

Учебно-методическое пособие предназначено для студентов очной формы обучения направлений 23.05.01 «Наземные транспортно-технологические средства»; 23.03.03, 23.04.03 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов», 23.04.02 «Наземные транспортно-технологические комплексы»

Авторы

д.т.н., профессор, зав. кафедрой «ЭТСиЛ»
Короткий А.А.,
к.т.н., доцент кафедры «ЭТСиЛ»
Вернези Н.Л.



Оглавление

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1. ВИЗУАЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ КОНТРОЛЬ	5
2. УЛЬТРАЗВУКОВОЙ КОНТРОЛЬ (УЗК).	24
3. АКУСТИКО-ЭМИССИОННЫЙ КОНТРОЛЬ (АЭК)	48
4. МАГНИТНЫЙ КОНТРОЛЬ	63
5. МЕТОД КОНТРОЛЯ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ИНДЕНТИРОВАНИЕМ.	88
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	102

ВВЕДЕНИЕ

Сегодня в производственной практике широко применяют различные физические методы и средства неразрушающего контроля (НК) металлов, сварных соединений, и металлоизделий в целом, которые позволяют проверять их качество без нарушения потребительских свойств.

В соответствии с Федеральными нормами и правилами (ФНП) «Основные требования к проведению неразрушающего контроля технических устройств, зданий и сооружений на опасных производственных объектах» закреплён перечень методов неразрушающего контроля, включающий:

- визуальный и измерительный (ВИК);
- ультразвуковой (УЗК);
- акустико-эмиссионный (АЭК);
- магнитный (МК);
- радиационный (РК);
- вихретоковый (ВК);
- проникающими веществами: капиллярный (ПВК),
- течеискание (ПВТ);
- вибродиагностический (ВД);
- электрический (ЭК);
- тепловой (ТК);
- оптический (ОК).
- иные виды.

Согласно ФНП, работы по неразрушающему контролю выполняют лаборатории, аттестованные в соответствии с Правилами аттестации и основными требованиями к лабораториям неразрушающего контроля.

Специалисты, которые руководят работами по НК должны проходить подготовку и аттестацию по промышленной безопасности в объеме, соответствующем их должностным обязанностям. Работники, непосредственно выполняющие НК, должны быть аттестованы в соответствии с Правилами аттестации персонала в области неразрушающего контроля.

Настоящие методические указания распространяются на элементы пространственных стальных металлических конструкций, включая сварные соединения, и включают ВИК, УЗК, АЭК, МК и Неразрушающий контроль механических характеристик индентированием.

1. ВИЗУАЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ КОНТРОЛЬ

Визуальный и измерительный контроль (ВИК) — это метод контроля качества, выполняемый с помощью визуального осмотра либо с применением простейших измерительных инструментов. ВИК проводится в соответствии с РД 03-606-03. Инструкция по визуальному и измерительному контролю.

Визуальный и измерительный контроль технических устройств и металлоконструкций в процессе эксплуатации проводят с целью выявления изменений их формы, поверхностных дефектов в материале и сварных соединениях (наплавках), образовавшихся в процессе эксплуатации.

1.1. ОБЪЕКТ КОНТРОЛЯ.

Элементы машин и конструкций, резервуары, трубопроводы.

1.2. МАТЕРИАЛЫ, ПОДЛЕЖАЩИЕ КОНТРОЛЮ.

Металлические, пластмассовые, деревянные элементы машин и конструкций.

1.3. ВЫЯВЛЯЕМЫЕ ОТКЛОНЕНИЯ.

Деформации, поверхностные трещины, расслоения, закаты, забоины, риски, раковины и другие несплошности; геометрические размеры.

1.4. ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА.

Визуальный и измерительный контроль проводят невооруженным глазом и (или) с применением визуально-оптических приборов до 20-кратного увеличения (луп, микроскопов, эндоскопов, зеркал и др.). При контроле материала и сварных соединений (наплавки) при изготовлении (строительстве, монтаже, ремонте и реконструкции) технических устройств и металлоконструкций используют лупы с 2 - 7-кратным увеличением, а при оценке состояния технических устройств и сооружений в процессе их эксплуатации - лупы до 20-кратного увеличения.

1.5. ОБЪЕМ И ПЕРИОДИЧНОСТЬ КОНТРОЛЯ.

Указываются в технологической карте ВИК.

1.6. ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ВИК.

Визуальный и измерительный контроль при изготовлении (монтаже, ремонте и реконструкции) технических устройств и металлоконструкций выполняют в соответствии с требованиями технологической карты контроля, в которых приводятся контролируемые параметры, последовательность контроля, объемы контроля, средства контроля, схемы выполнения замеров контроли-

Неразрушающий контроль

руемых параметров и нормы оценки результатов контроля.

Визуальный и измерительный контроль материалов, сварных соединений (наплавки), подлежащих термической обработке, производят до и после указанной операции. Если контролируемая деталь, конструкция или узел подлежат полной термической обработке (нормализации или закалке с последующим отпуском), контроль проводят после ее выполнения.

При визуальном и измерительном контроле сварных соединений контролируемая зона должна включать в себя поверхность металла шва, а также примыкающие к нему участки материала в обе стороны от шва шириной: не менее 5 мм - для стыковых соединений, выполненных дуговой и электронно-лучевой сваркой, электроконтактной сваркой оплавлением, сваркой встык нагретым элементом при номинальной толщине сваренных деталей до 5 мм включительно; не менее номинальной толщины стенки детали - для стыковых соединений, выполненных дуговой и электронно-лучевой сваркой, электроконтактной сваркой оплавлением, сваркой встык нагретым элементом при номинальной толщине сваренных деталей свыше 5 до 20 мм; не менее 20 мм - для стыковых соединений, выполненных дуговой и электронно-лучевой сваркой, электроконтактной сваркой оплавлением, сваркой встык нагретым элементом при номинальной толщине сваренных деталей свыше 20 мм, а также для стыковых и угловых соединений, выполненных газовой сваркой, независимо от номинальной толщины стенки сваренных деталей и при ремонте дефектных участков в сварных соединениях; не менее 5 мм (независимо от номинальной толщины сваренных деталей) - для угловых, тавровых, торцовых и нахлесточных сварных соединений (Рис.1.1) и соединений вварки труб в трубные доски, выполненных дуговой и электронно-лучевой сваркой; не менее 50 мм (независимо от номинальной толщины сваренных деталей) - для сварных соединений, выполненных электрошлаковой сваркой. При визуальном и измерительном контроле применяют: лупы, в том числе измерительные; линейки измерительные металлические; угольники поверочные 90° лекальные; штангенциркули, штангенрейсмусы и штангенглубиномеры; щупы; угломеры с нониусом; стенкомеры и толщиномеры индикаторные; микрометры; нутромеры микрометрические и индикаторные; калибры; эндоскопы; шаблоны, в том числе специальные и универсальные, например, типа УШС (универсальный шаблон сварщика), радиусные, резьбовые и др.; поверочные плиты; плоскопараллельные концевые меры длины с набором специальных принадлежностей; штриховые меры длины (сталь-

Неразрушающий контроль

ные измерительные линейки, рулетки). Допускается применение других средств визуального и измерительного контроля при условии наличия соответствующих инструкций, методик их применения.

Для измерения формы и размеров кромок, зазоров, собранных под сварку деталей, а также размеров выполненных сварных соединений разрешается применять шаблоны различных типов.

Измерительный контроль осуществляется для проверки соответствия требованиям НД или ПКД:

- диаметра и толщины стенки свариваемой детали; - овальности (измерение проводят с обоих концов сборочного элемента);
- перпендикулярности торцов свариваемого изделия к его образующей;
- размеров разделки кромок (углы скоса кромок, величина притупления кромок разделки);
- радиусов скругления для специальных видов разделки под автоматическую сварку;
- размеров отверстий под врезку и обработки кромок в трубе;
- ширины зоны зачистки наружной и внутренней поверхностей и шероховатости поверхностей кромок.

Порядок выполнения визуального и измерительного контроля сварных конструкций (узлов, элементов)

Возможные дефекты сварных соединений (рис.1.2), основные параметры сварного шва (рис.1.3), контролируемые размеры шва (рис. 1.4), универсальные шаблоны: сварщика УШС-2 (рис.1.5), Ушера-Маршак (рис.1.6 –1.7), Красовского (рис. 1.8), контроля тавровых и сварных швов (рис.1.9); штангенциркуль ШЦ-1 (рис. 1.10) и приспособление для измерения глубины подреза при сварке (1.11) представлены ниже.

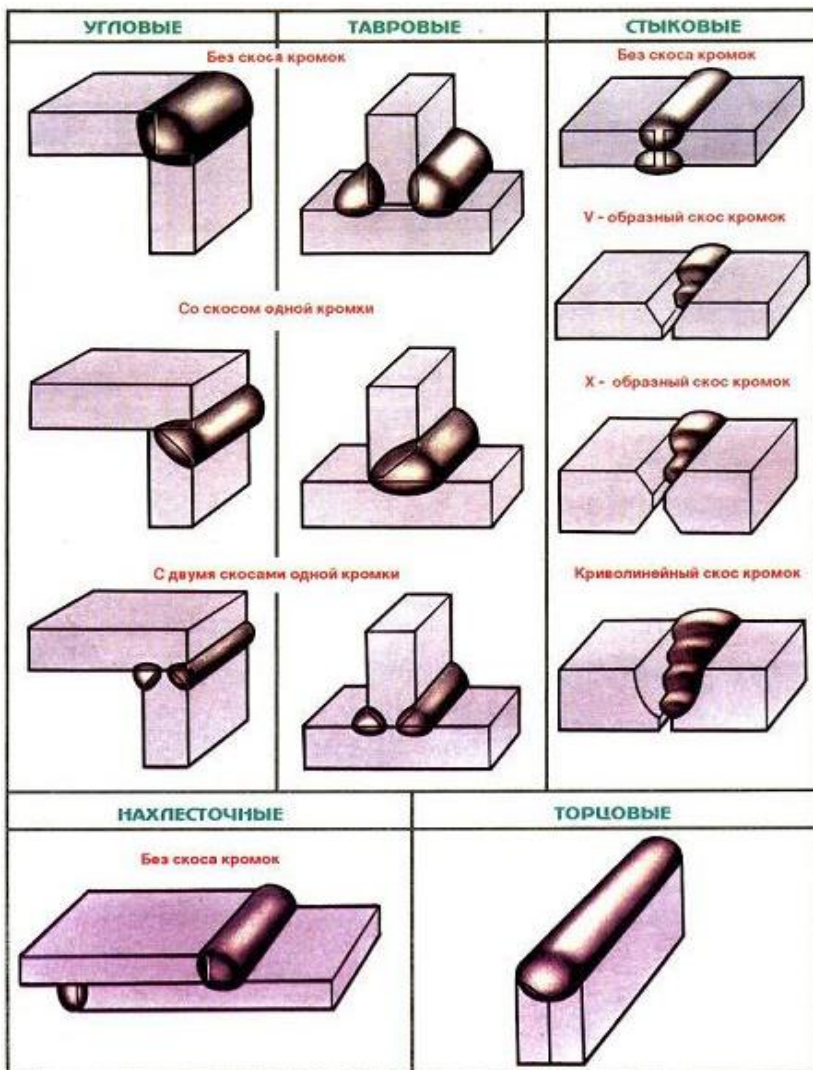


Рисунок 1.1. Основные типы сварных соединений.

Неразрушающий контроль



Рисунок 1.2. Дефекты сварных соединений, выявляемые при визуальном и измерительном контроле.



- s** - толщина свариваемого металла
- e** - ширина шва
- q** - выпуклости шва
- h** - глубина провара
- t** - толщина шва ($t=q+h$)
- b** - зазор
- k** - катет углов шва
- p** - расчетная высота углового шва
- a** - толщина углового шва

КОЭФФИЦИЕНТ ФОРМЫ ШВА

$$K_n = \frac{e}{t}$$

Оптимальный $K_n=1,2-2$
(бывает в пределах 0,5-4)

КОЭФФИЦИЕНТ ВЫПУКЛОСТИ ШВА

$$K_y = \frac{e}{q}$$

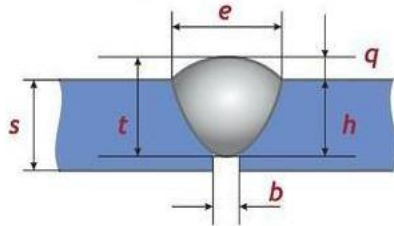
K_y не должен превышать 7-10

- F_0 - площадь сечения расплавленного основного металла
- $F_э$ - площадь сечения наплавленного электродного металла

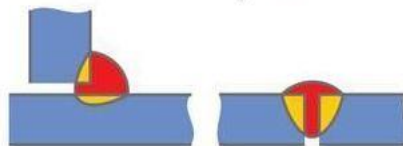
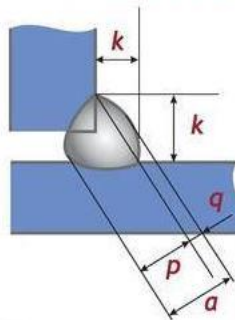
КОЭФФИЦИЕНТ ДОЛЕЙ ОСНОВНОГО МЕТАЛЛА В МЕТАЛЛЕ ШВА

$$K_0 = \frac{F_0}{F_0 + F_э}$$

СТЫКОВОЙ



УГЛОВОЙ



КОРЕНЬ ШВА - часть шва, наиболее удаленная от его лицевой поверхности

ПОДВАРОЧНЫЙ ШОВ - меньшая часть двустороннего шва, выполняемая предварительно для предотвращения прожогов или укладываемая в последнюю очередь в корень шва

Рисунок 1.3. Основные параметры сварного шва.

Неразрушающий контроль

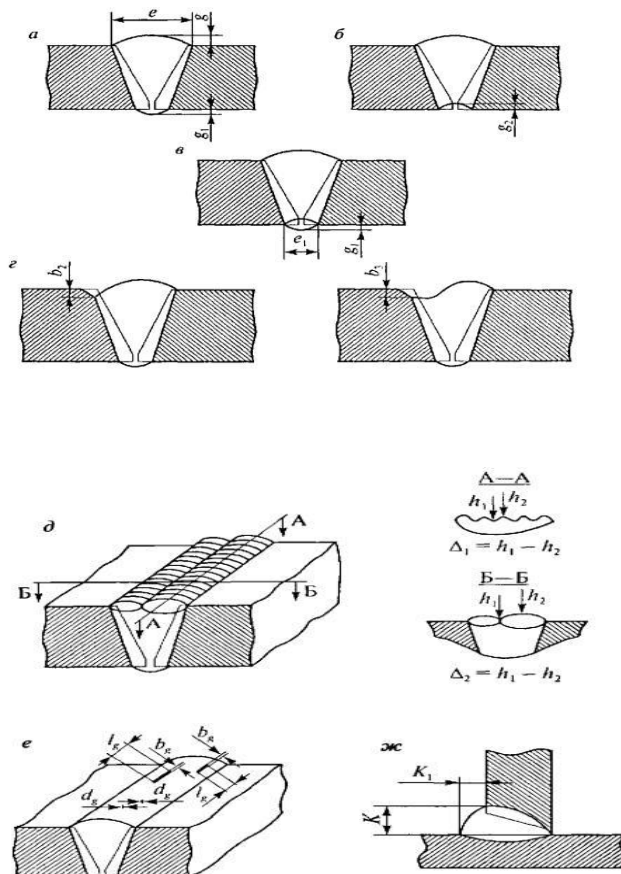


Рисунок 1.4. Размеры шва и дефектов, подлежащих контролю.

a, б - размеры (ширина, высота) стыкового одностороннего шва с наружной и внутренней стороны;

в - то же двухстороннего сварного шва;

г - подрез и неполное заполнение разделки кромок;

д - чешуйчатость (Δ_1) шва и западание между валиками шва (Δ_2);

е - размеры поверхностных включений (диаметр - d_g ; длина - l_g ; ширина - b_g включения);

ж - размеры катета шва углового (таврового, нахлесточно-го) соединения, ширина - b_g включения);

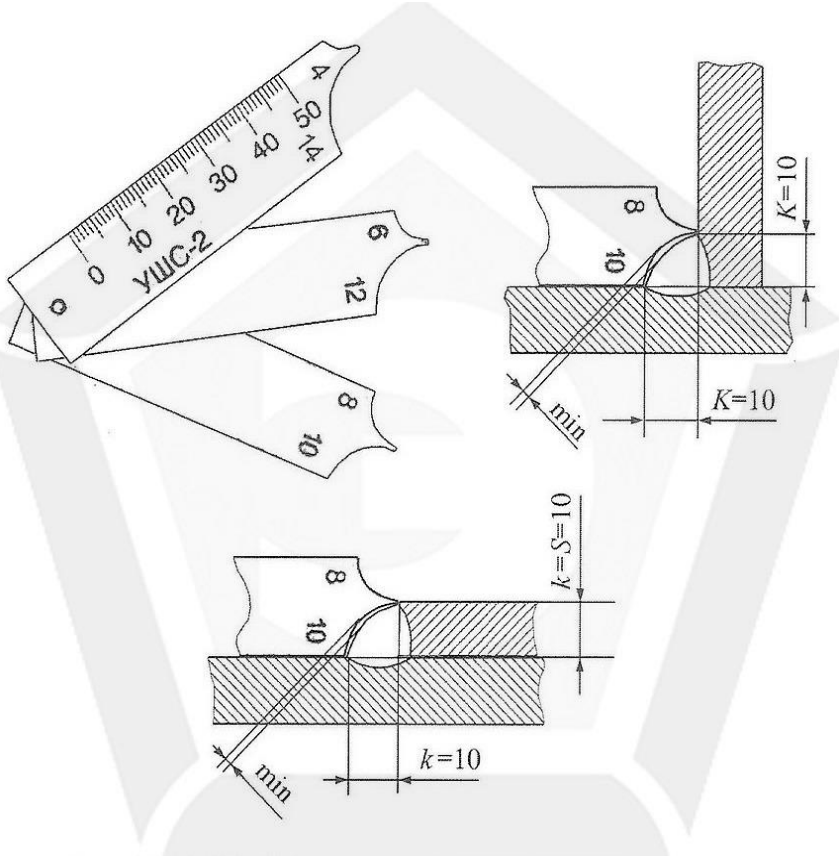


Рисунок 1.5. УШС-2. Общий вид и схемы измерения катетов.

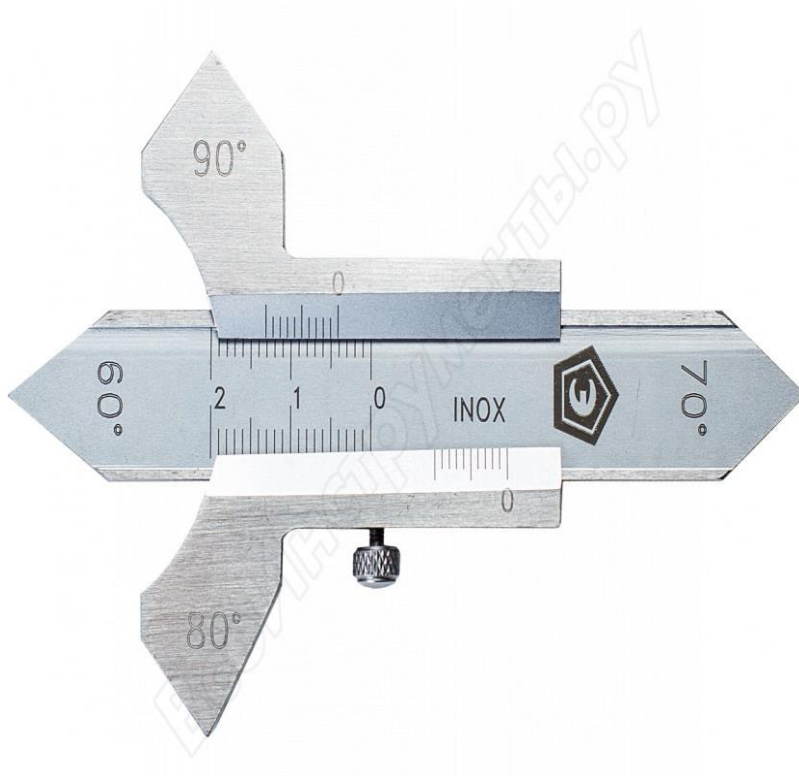


Рисунок 1.6. Универсальный шаблон Ушерева-Маршака.

Неразрушающий контроль

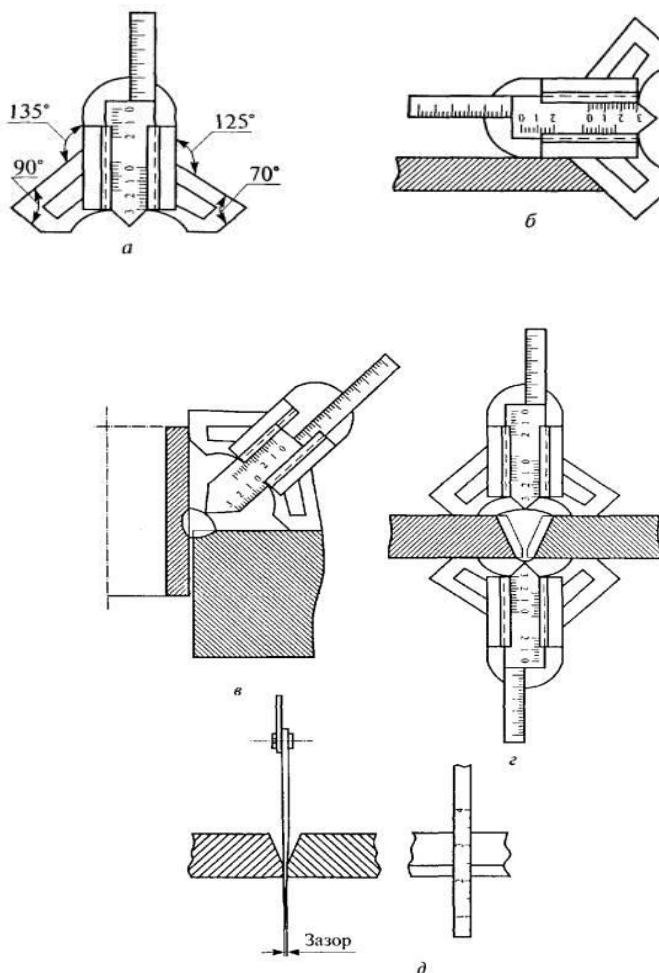


Рисунок 1.7. Контроль шаблоном конструкции В.Э. Ушерава-Маршака:

а - общий вид шаблона; *б* - измерение угла скоса разделки *а*; *в* - измерение высоты катета углового шва *К*; *г* - измерение высоты валика усиления *g* и выпуклости корня шва *g_д* стыкового сварного соединения; *д* - измерение зазора *а* в соединении при подготовке деталей к сварке.

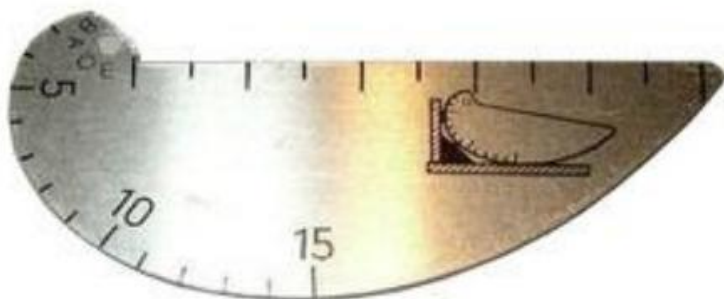


Рисунок 1.8. Универсальный шаблон Красовского для визуального и измерительного контроля тавровых, стыковых и нахлесточных сварных соединений, а также измерения зазора между кромками свариваемых деталей и высоты усиления шва.

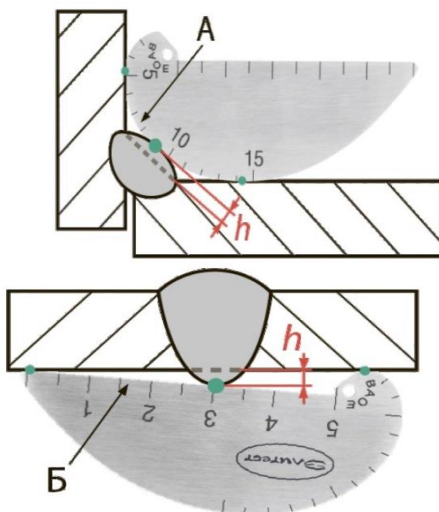


Рисунок 1.9. Контроль тавровых (А) и стыковых (Б) сварных соединений.

Неразрушающий контроль

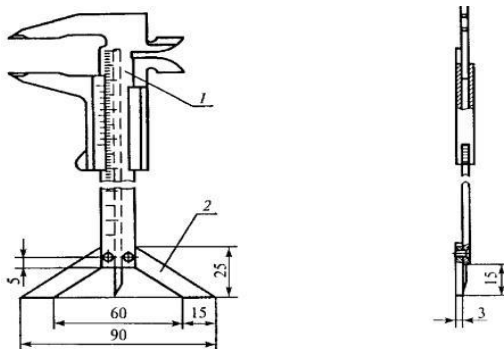


Рис.1.10. Штангенциркуль типа ШЦ-1 с опорой:
1 - штангенциркуль; 2 – опора.

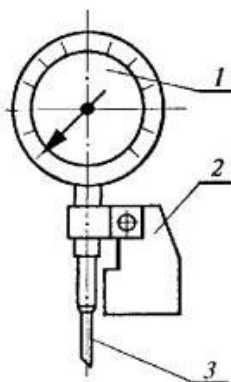


Рисунок 1.11. Приспособление для измерения глубины под-
резов:

1 - индикатор «0-10» с поворотной шкалой; 2 - опорный кронштейн; 3 - измерительная игла.

1.6.1. Визуальный контроль сварных конструкций (узлов, элементов) предусматривает проверку:

отклонений по взаимному расположению элементов сварной конструкции;

наличия маркировки сварных соединений;

наличия маркировки сварных конструкций (узлов);

отсутствия поверхностных повреждений материала, вызванных отклонениями в технологии изготовления, транспортировкой и условиями хранения;

отсутствия не удаленных приварных элементов (технологического крепления, выводных планок, гребенок, бобышек и т.п.).

1.6.2. Измерительный контроль гнутых колен труб преду-

Неразрушающий контроль

сматривает проверку:

- отклонения от круглой формы (овальность) в любом сечении гнутых труб (колен);

- толщины стенки в растянутой части гнутого участка трубы (рекомендуется проводить толщиномерами);

- радиуса гнутого участка трубы (колена);

- высоты волнистости (гофры) на внутреннем обводе гнутой трубы (колена);

- неровностей (плавных) на внешнем обводе (в случаях, установленных НД);

- предельных отклонений габаритных размеров.

1.6.3. Измерительный контроль тройников и коллекторов с вытянутой горловиной предусматривает проверку:

- эксцентриситета оси горловины относительно оси корпуса;

- радиусов перехода наружной и внутренней поверхностей горловины к корпусу;

- размеров местных углублений от инструмента на внутренней поверхности тройника, вызванных применяемым инструментом;

- уменьшения диаметра корпуса вследствие утяжки металла при высадке (вытяжке) горловины;

- угла конуса на наружной поверхности патрубка;

- местного утолщения стенки горловины, овальности прямых участков корпуса тройника по наружному диаметру в месте разъема штампа;

- кольцевого шва присоединения переходного кольца.

1.6.4. Измерительный контроль сварных изделий (деталей) - тройников, фланцевых соединений, секторных отводов, коллекторов, трубных блоков и т.д. предусматривает проверку:

- размеров перекосов осей цилиндрических элементов;

- прямолинейности образующей изделия;

- отклонения штуцера (привариваемой трубы, патрубка) от перпендикулярности относительно корпуса (трубы, листа), в который вваривается штуцер (труба, патрубков);

- отклонения осей концевых участков сварных секторных отводов;

- кривизны (прогиба) корпуса (трубы) сварных угловых соединений труб (вварка трубы, штуцера);

- отклонения размеров, определяющих расположение штуцеров в блоках;

- отклонения оси прямых блоков от проектного положения;

Неразрушающий контроль

отклонения габаритных размеров сварных деталей и блоков.

1.6.5. Контроль геометрических размеров колен и труб гнутых, а также прямых гнутых деталей и блоков должен проводиться методом плазирования (наложением на плаз с контрольным чертежом) с последующим измерением отклонений измерительным инструментом (линейка, щуп, штангенциркуль, шаблон, оптические приборы и др.). Замеры отклонений гнутых труб (колен) проводятся относительно наружной поверхности. Схемы измерений отдельных отклонений приведены на рис. 1.9.

1.6.6. Измерение толщины стенки гнутых деталей (элементов), в том числе вытянутой горловины тройников и коллекторов, а также утолщения стенки на конической части перехода, изготовленного методами прокатки и осадки в торец, рекомендуется проводить ультразвуковыми приборами (толщиномерами).

1.6.7. Определение диаметра труб при измерении рулеткой проводится по формуле

$$D(d) = P/\pi - 2\Delta t - 0,2,$$

где P - длина окружности, измеренная рулеткой, мм;

$$\pi = 3,1416;$$

Δt - толщина ленты рулетки, мм.

1.6.8. Измерения следует выполнять на участках, угловые и линейные размеры которых вызывают сомнение по результатам визуального контроля.

1.6.9. Порядок выполнения визуального и измерительного контроля при устранении дефектов в материале и сварных соединениях (наплавках).

1.6.10. При ремонте дефектных участков визуально необходимо контролировать:

полноту удаления дефекта, выявленного при визуальном контроле и контроле другими методами неразрушающего контроля;

форму выборки дефектного участка; форму обработки кромок выборки; чистоту (отсутствие визуально наблюдаемых загрязнений, пыли, продуктов коррозии, масла и т.п.) поверхности выборки и прилегающих к ней поверхностей;

ширину зоны зачистки механическим путем поверхностей материала, прилегающих к кромкам выборки;

отсутствие (наличие) дефектов (трещин, пор, включений, скоплений пор и включений, свищей, прожогов, наплывов, усачных раковин, подрезов, непроваров, брызг расплавленного

Неразрушающий контроль

металла, западаний между валиками, грубой чешуйчатости и т.п.) на поверхности шва заварки выборки и на прилегающих к выборке участках материала.

1.6.11. При ремонте дефектных участков в материале и сварных соединениях измерением необходимо контролировать:

размеры выборки дефектного участка;

размеры разделки кромок выборки (угол скоса, радиусы начала и окончания выборки, толщину перемычки металла при исправлении трещин и т.п.);

ширину зоны зачистки механическим путем участков материала, прилегающих к кромкам выборки;

размеры дефектов на поверхности шва заварки выборки и прилегающих к нему участках материала, выявленные при визуальном контроле;

шероховатость поверхностей выборки и прилегающих участков материала в зоне их зачистки (перед заваркой выборки), а также поверхностей материала перед проведением последующих методов неразрушающего контроля.

1.6.12. Визуальный контроль материала и сварных соединений при эксплуатации, техническом диагностировании (освидетельствовании) выполняют с целью выявления поверхностных повреждений (трещин, коррозионных повреждений, деформированных участков, наружного износа элементов и т.д.), образовавшихся в процессе эксплуатации изделий.

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

1.6.13. При визуальном контроле материала и сварных соединений проверяют:

отсутствие (наличие) механических повреждений поверхностей;

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

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

отсутствие коррозионного и механического износа поверхностей.

1.6.14. При измерительном контроле состояния материала

Неразрушающий контроль

и сварных соединений определяют:

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

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

1.7. ТРЕБОВАНИЯ К ИЗМЕРЕНИЯМ СВАРНЫХ ШВОВ.

Контролируемый параметр	Условное обозначение (рис. 1.5)	Номер рисунка	Средства измерений. Требования к измерениям
1. Ширина шва	e, e_1	1.5, <i>а, в</i>	Штангенциркуль или шаблон универсальный. См. примечание.
2. Высота шва	q, q_1	1.5, <i>а, в</i>	Штангенциркуль или шаблон универсальный.
3. Выпуклость обратной стороны шва	q_1	1.5, <i>а, в</i>	Штангенциркуль. *См. примечание.
4. Вогнутость обратной стороны шва	q_2	1.5, <i>б</i>	Штангенциркуль, в том числе модернизированный (рис.1.11). Измерения в 2 - 3 местах в зоне максимальной величины.
5. Глубина подреза (неполного заполнения разделки)	b_2, b_3	1.5, <i>г</i>	Штангенциркуль, в том числе модернизированный (рис.1.11). Приспособление для измерения глубины подрезов (рис. 1.12)

Неразрушающий контроль

Контролируемый параметр	Условное обозначение (рис. 1.5)	Номер рисунка	Средства измерений. Требования к измерениям
6. Катет углового шва	K, K_1	1.5, ж	Штангенциркуль. *См. примечание.
7. Чешуйчатость шва	Δ_1	1.5, д	Штангенциркуль, в том числе модернизированный (рис. 1.11). Измерения не менее чем в 4 точках по длине шва
8. Глубина западений между валиками	Δ_2	1.5, д	Штангенциркуль, в том числе модернизированный (рис. 1.11).
9. Размеры (диаметр, длина, ширина) одиночных несплошностей	d_g, l_g, b_g	1.5, е	Лупа измерительная. Измерению подлeжит каждая несплошность.
*Примечание	Проводить в местах, указанных в рабочих чертежах и НТД, а также в местах, где допустимость указанных показателей вызывает сомнения по результатам визуального контроля.		

1.8. ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ КОНТРОЛЯ.

Оценку качества материала изготовленных деталей, подготовки кромок деталей, сборки деталей под сварку, выполненного сварного соединения (наплавки) и конструкций в целом, швов заварки дефектных участков по результатам визуального и измерительного контроля проводят по нормам, согласованным с Госгортехнадзором России. Нормы оценки качества принимают по следующим размерным показателям:

номинальной толщине сваренных деталей - для стыковых соединений деталей одинаковой толщины (при предварительной обработке концов деталей путем расточки, раздачи, калибровки - по номинальной толщине деталей в зоне обработки);

номинальной толщине более тонкой детали (из двух сваренных) - для стыковых сварных соединений деталей различной номинальной толщины (при предварительной обработке конца более тонкой детали - по ее номинальной толщине в зоне обработки);

расчетной высоте углового шва - для угловых, тавровых

Неразрушающий контроль

и нахлесточных сварных соединений (для угловых и тавровых сварных соединений с полным проплавлением за размерный показатель допускается принимать номинальную толщину более тонкой детали);

удвоенной номинальной толщине более тонкой детали (из двух сваренных) - для торцовых сварных соединений (кроме соединений вварки труб в трубные доски);

протяженности (длина, периметр) сварных соединений определяемого по наружной поверхности сваренных деталей у краев шва (для соединений штуцеров, а также для угловых и тавровых соединений по наружной поверхности привариваемой детали у края углового шва);

числу одиночных включений, выявляемых при визуальном контроле, не превышающему значений, указанных в НД на любом участке сварного соединения, длина которого регламентируется в НД. Для сварных соединений меньшей протяженности допустимое число одиночных включений уменьшают пропорционально уменьшению протяженности контролируемого соединения. Если при этом получается

дробная величина, то она округляется до ближайшего целого числа.

Технологическая карта визуального и измерительного контроля				
Зона контроля:				
Условия проведения контроля				
	Требования нормативного документа		Средства контроля	
Освещенность поверхности в зоне контроля				
Расстояние до объекта контроля				
Шероховатость поверхности в зоне контроля				
НТД				
Перечень дефектов, допустимость которых устанавливается после измерительного контроля				
Размеры, которые следует контролировать при измерительном контроле				
Наименование контролируемого размера	Требование нормативного документа или чертежа		Допускаемая погрешность измерения	Средства контроля или измерения
	Размер	Количество*		
Перечень недопустимых дефектов				

Рисунок 1.12. Бланк технологической карты ВИК.

Карту разработал специалист II – уровня
 № удостоверения 0045-4056

2. УЛЬТРАЗВУКОВОЙ КОНТРОЛЬ (УЗК).

Этот вид контроля основан на использовании акустических волн или механических колебаний частичек среды. При движении волны частицы не перемещаются, а совершают колебания около своих положений равновесия. Длина волны λ [м] (расстояние между ближайшими частицами, колеблющимися в одной фазе) связана со скоростью распространения C [м/с] и частотой f [Гц] или периодом T [с] соотношением:

$$C = \lambda * f = \lambda / T;$$

Например для воздуха: $C = 330$ м/с

$$f \approx 20 \text{ Гц} \rightarrow L = 16,5 \text{ м};$$

$$f \approx 20000 \text{ Гц} \rightarrow L = 1,65 \text{ см};$$

$$f \approx 20000000 \text{ Гц} \rightarrow L = 0,165 \text{ мм};$$

В зависимости от направления колебаний частиц по отношению к направлению распространения волны различают: продольные, поперечные, поверхностные и нормальные волны (волны в пластинах). В продольной волне частицы колеблются вдоль направления распространения волны. Поперечные колебания частиц направлены перпендикулярно их распространению и могут распространяться только в среде, которая обладает упругостью формы. Колебания могут распространяться в твердой, жидкой и газообразных средах. Продольные и поперечные волны могут распространяться в чистом виде только в неограниченной среде или в теле, размеры которого в направлениях, не совпадающих с направлением распространения волны, значительно превышают длину последней. Схематично продольные и поперечные волны представлены на рис. 2.1.

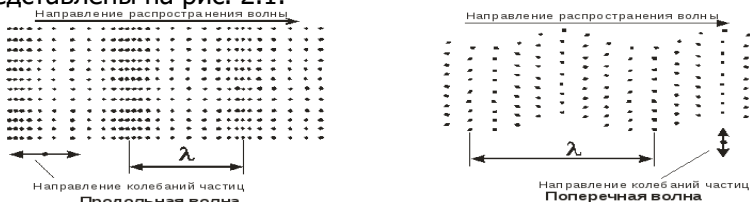


Рисунок 2.1. Распространение продольных и поперечных волн

На свободной поверхности могут распространяться поверхностные волны (волны Рэлея). В поверхностной волне частицы одновременно совершают колебания в направлении распространения и перпендикулярно ему, описывая эллиптические или более сложные траектории. Амплитуда колебания по мере удаления от поверхности вглубь убывает по экспоненте, поэтому волна ло-

Неразрушающий контроль

кализована в тонком поверхностном слое толщиной в одну – полторы длины волны и следует изгибам поверхности рис. 2.2.



Рисунок 2.2. Распространение поверхностных волн.

При распространении волны в плоских телах с постоянной толщиной (листах, тонких пластинках, проволоке) могут возникать нормальные волны или Волны Лэмба. При этом частицы совершают колебания по таким же траекториям, как в поверхностной волне, но на всю толщину листа, пластины оболочки. Обычно возникают и распространяются независимо две нормальные волны: симметричная (волна сжатия или растяжения) и антисимметричная (волна изгиба) рис. 2.3.

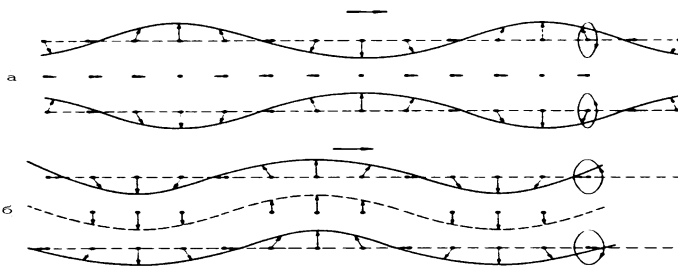


Рисунок 2.3. Волны в пластинах
а – симметричная, б – ассиметричная.

Скорости распространения продольной, поперечной и поверхностной волн определяется упругими свойствами материала (модулями упругости и сдвига, коэффициентами Пуассона) и его плотностью. Скорость распространения нормальных волн в отличие от скорости распространения других типов волн зависит не только от свойств материала, но и от частоты звуковых колебаний и толщины изделия. Фронт или волновая поверхность непрерывно перемещается в среде и при этом деформируется. В неограниченной изотропной среде распространение упругих волн имеет пространственный характер, и, в зависимости от формы фронта, волны могут быть плоскими, сферическими и цилиндрическими рис. 2. 4.

Неразрушающий контроль

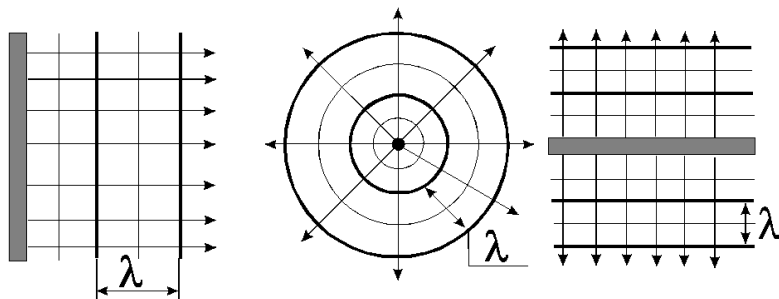


Рисунок 2.4. Плоские, сферические, цилиндрические волны

Плоские волны возбуждаются пластинкой, если ее поперечные размеры намного превосходят длину волны. Волновые поверхности плоской волны имеют вид параллельных плоскостей.

Сферические волны возбуждаются точечным источником или колеблющимся шаровым телом, размеры которого малы. Волновые поверхности сферической волны имеют вид концентрических сфер.

Цилиндрические волны возбуждаются цилиндрическим телом (стержень, цилиндр и т.д.) длина которого значительно его поперечных размеров. Волновые поверхности имеют вид концентрических цилиндров.

В зависимости от частот различают следующие волны:

Инфразвуковые $f =$ до 16-20 Гц;

Звуковые $f =$ 16 – 20000 Гц;

Ультразвуковые $f =$ 20 кГц – 1000 МГц;

Гиперзвуковые $f >$ 1000 МГц.

Для целей дефектоскопии используются волны различных диапазонов:

Звуковой $f =$ 1-8 кГц;

Ультразвуковой $f =$ 20 кГц – 50 МГц;

В настоящее время ведутся работы и удается получать частоты до 1000 МГц.

Длина волны гиперзвуковых колебаний сравнима с длиной волны видимых световых волн. Это делает их похожими по своим свойствам со свойствами световых лучей, поэтому многие задачи рассматриваются с точки зрения геометрической акустики.

Коротковолновые УЗ - колебания распространяются в виде направленных лучей. Как и световые лучи они могут отражаться, преломляться, фокусироваться, интерферировать, при чем не только сами с собой, но и со светом, испытывать дифракцию и затухать по мере распространения.

Длина волны гиперзвуковых волн может стать сравнимой с

Неразрушающий контроль

размерами атомов. В этом случае начинается проявляться квантовый характер такой волны и, по аналогии со световым потоком, такой поток звуковой энергии оказывается возможно рассматривать в виде потока частиц (фононов), которые взаимодействуют уже не с конечными объемами вещества или кристаллами, а уже с электронами атома. При этом возникают различные эффекты такого взаимодействия, которые позволяют изучать более широкий круг физических характеристик материалов.

С другой стороны инфразвуковые волны обладают большими длинами, проходят на большие расстояния, что позволяет контролировать физические свойства больших массивов вещества (в геологоразведке).

Акустические волны ультразвукового диапазона обладают свойствами очень сильно отражаться от границы твердое тело – воздух. Расчеты показывают, что слои воздуха толщиной 10^{-5} мм и более при $f = 5$ МГц происходит 100% отражение посланной энергии, при толщине слоя $<10^{-5}$ мм отражение составляет $\sim 90\%$, а слой толщиной 10^{-6} мм отражает $\sim 80\%$ посланной энергии. Благодаря этому свойству УЗ - колебания эффективно отражаются от трещин, воздушных полостей и т.д., что позволяет их легко обнаружить. Для контроля материалов обычно используют ультразвук в диапазоне от 0,25 до 25 МГц. Верхний предел чаще ограничивается 14 МГц.

Частоту следует выбирать в соответствии с задачей исследования (рис. 2.5). Ультразвук малых частот (0,25—1 МГц) слабо рассеивается даже в материалах с грубой структурой и может успешно применяться для контроля деталей с необработанной поверхностью.

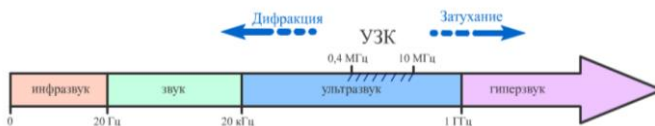


Рисунок 2.5 – Классификация акустических волн по частоте.

Возможные конструктивные решения преобразователей представлены на рис. 2.6.

Неразрушающий контроль

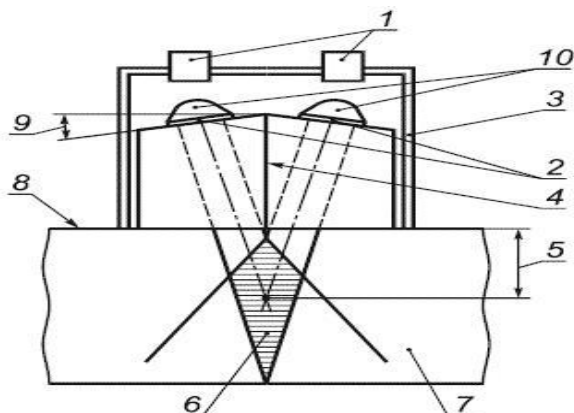


Рисунок 2.6. - Конструкция и ход лучей в раздельно-совмещенном преобразователе.

1 - разъем; 2 - первичный преобразователь; 3 - корпус; 4 - акустический экран; 5 - расстояние схождения; 6 - зона схождения; 7 - объект контроля; 8 - поверхность ввода; 9 - угол наклона призмы; 10 – демпфер.

Схема работы преобразователя представлена на рис. 2.7 - 2.8.

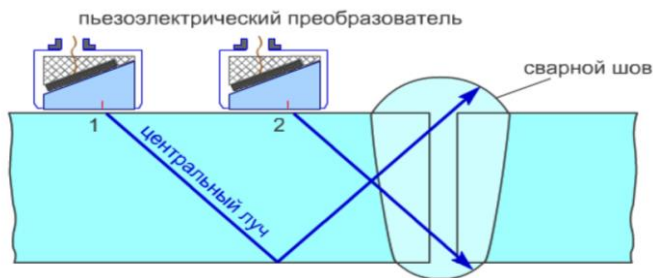


Рисунок 2.7. Контроль сварного шва наклонным пьезоэлектрическим преобразователем.

Неразрушающий контроль

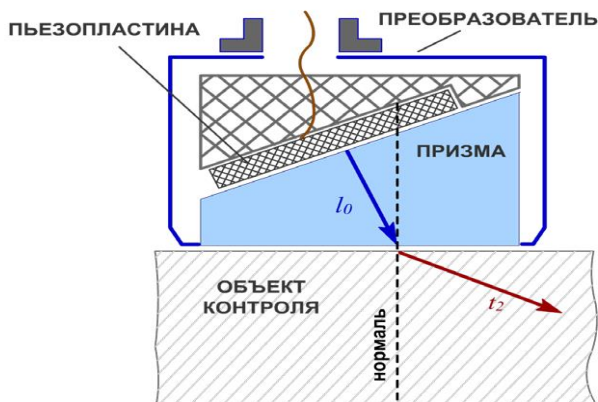


Рисунок 2.8. – Схема прохождения волны из призмы преобразователя в объект контроля.

Основные схемы прозвучивания, применяемые в настоящее время, показаны на рис. 2.9.

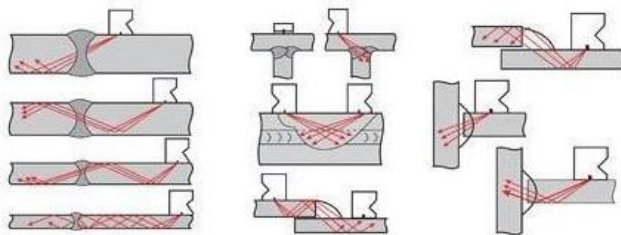


Рисунок 2.9. Основные схемы прозвучивания при УЗК.

Основными параметрами формы и спектра ультразвукового сигнала

являются: частота в мегагерцах (МГц), длительность импульса в микросекундах (мкс) и пиковая амплитуда в децибелах (дБ).

Схема определения длительности импульса показана на рис. 2.9.

Неразрушающий контроль



Рис. 2.10. Схема определения длительности импульса на уровне 14 дБ.

Ультразвуковой преобразователь характеризуется полосой пропускания между нижней и верхней границами по частотам. На рис. 2. 10 показана амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) ультразвукового преобразователя.



Рисунок 2.11. Пример амплитудно-частотной характеристики с отношением амплитуды 6дБ.

Вид сигнала дефекта показан на рис. 2.12.



Рисунок 2.12. Эхо-сигнал дефекта.

2.1. ОБЪЕКТ КОНТРОЛЯ.

Элементы машин и конструкций, резервуары, трубопрово-
ды.

При этом под дефектоскопичностью понимают совокупность свойств изделия, определяющих возможность проведения контроля с заданной достоверностью.

На дефектоскопичность конструкции влияют толщина и кривизна изделия, наличие доступа для проведения контроля, технология изготовления, структура материала, наличие ложных отражателей и др.

Изделие считают полностью пригодным к контролю (дефектоскопичным), если:

1. Центральный луч ультразвукового пучка при оптимальной (обеспечивающей заданную достоверность) схеме прозвучивания хотя бы один раз проходит через все точки контролируемого сечения;

2. Подлежащий фиксации минимальный дефект независимо от его координат в изделии выявляется на фоне шумов с запасом чувствительности не менее 6 дБ и разрешением во времени не менее 1 мкс (под шумами понимаются электрические и структурные помехи, ложные сигналы).

Первый критерий связан только с геометрией изделия, второй - с его акустическими свойствами и наличием конструктивных или технологических особенностей, вызывающих ложные сигналы. При оценке по первому критерию к изделию предъявляют следующие требования.

Геометрическая форма поверхности в зоне прохождения УЗ-колебаний должна быть достаточно простой, по возможности близкой к плоской. В зоне сканирования не должно быть резких изломов поверхности (выступов, проточек), приваренных элементов, отверстий, искажающих путь УЗ-луча и играющих роль мешающих отражателей. Ширина зоны сканирования должна быть достаточной для перемещения преобразователя по заданной схеме контроля траектории.

На практике при оценке контролепригодности на чертеж контролируемого сечения изделия наносят следы УЗ-лучей при различных положениях преобразователя и оценивают степень перекрытия сечения сеткой лучей. Если часть сечения остается недоступной для прозвучивания, изделие считают ограниченно дефектоскопичным.

Степень дефектоскопичности можно повысить изменением конструкции изделия или введением специальных требований при подготовке изделий к контролю. Так, увеличение проектной длины внутренней расточки торцов труб под сварку обеспечивает контроль отраженными лучами ранее недоступной верхней части

Неразрушающий контроль

сварного соединения. С той же целью удаляют выпуклость. Весьма затруднен контроль изделий с неоднородной структурой, когда различные участки изделия отличаются по химическому составу, физическим и механическим свойствам. Структурной неоднородностью по толщине и длине могут отличаться изделия металлургического производства - поковки, листы при нестабильности и нарушениях технологии изготовления. К этой группе можно отнести сварные, паяные, клеевые соединения, а также изделия из композиционных, биметаллических и плакированных материалов. Дефектоскопичность изделия из материалов с заведомо стабильными акустическими свойствами можно оценить на основании имеющегося опыта контроля. Хорошо прозвучиваются изделия из углеродистой и низколегированной стали, титана, алюминия, характеризующихся мелкозернистой структурой и низким коэффициентом затухания. Гораздо хуже контролируются медь, чугун, пластмассы, пористые материалы вследствие крупного зерна и высокого коэффициента затухания.

Под ложными отражателями подразумевают непровары при сварке, центральные зоны поволоки с крупным зерном, различные конструктивные элементы, расположенные вблизи или даже внутри контролируемого объема (отверстия, галтели, подкладки, выпуклость и вогнутость сварных швов).

Подготовка изделия к контролю

Качество поверхности ввода ультразвука должно обеспечить его максимальное прохождение в изделие по всей площади сканирования. Для этого необходимо освободить контролируемый материал от неплотно прилегающих наслоений, под которыми может образоваться прослойка воздуха, не пропускающая ультразвук, а затем сгладить неровности для обеспечения стабильного акустического контакта. С поверхности удаляют отслаивающуюся окалину и краску, сглаживают забоины, задиры, галтельные переходы, переходы от выпуклости сварного шва к основному металлу, брызги металла, сварочный флюс.

Подготовку поверхности проводят вручную (шабером, металлической щеткой, наждачной шкуркой) или механическим способом (шлифовальной машинкой, на станке). Для изделий, хорошее качество поверхности которых регламентируется условиями поставки и требованиями эксплуатации, например вращающихся деталей турбин, вкладышей подшипников, сверленных труб, достаточно ручной подготовки. В большинстве случаев перед контролем сварных соединений, поволоки, отливок, штамповок приходится проводить специальную механическую обработку.

Неразрушающий контроль

Качество подготовленной поверхности оценивают по параметрам шероховатости (ГОСТ 2789-73). Оптимальной считается поверхность с шероховатостью $Rz=20...40\text{мкм}$ и волнистостью (отношение максимальной стрелы прогиба к длине неровности) не более 0,025. Грубообработанная поверхность ($Rz=40\text{ мкм}$) обуславливает снижение чувствительности и ее нестабильность. При $Rz<20\text{ мкм}$ ослабляются фрикционные свойства поверхности и контактная жидкость «выскальзывает» из-под преобразователя.

Применяется также контактная жидкость, которая должна обладать хорошей смачиваемостью по отношению к контролируемому материалу, оптимальной вязкостью и однородностью (образование пузырьков не допускается), не должна вызывать коррозии контролируемой детали, быть пожаробезопасной. При контактном варианте контроля применяют различные минеральные масла. Они наиболее полно соответствуют перечисленным требованиям при нормальной температуре (от 5 до 40 °С). При контроле по поверхностям, близким к плоским, используют жидкие масла (машинное, компрессорное). На изделиях с повышенной кривизной, на вертикальных и наклонных плоскостях, при контроле в потолочном положении рекомендуется применять масла с повышенной вязкостью (солидол, тавот).

Однако масла пожароопасны, поэтому все большее применение находят водные растворы глицерина и крахмала. Однородности растворов и отсутствия в них пузырьков воздуха добиваются тщательным перемешиванием и кипячением.

Технологична и дешева контактная жидкость, для приготовления которой достаточно развести в холодной воде размельченный обойный клей типа КМЦ и выдержать раствор в течение 6...8 ч. Нужная консистенция смазочного материала достигается варьированием объемного соотношения клея и воды в пределах от 1:3 до 1:1. Для обеспечения антикоррозионных свойств водных растворов в них добавляют ингибиторы (соду, нитрит натрия и др.).

В качестве контактной среды применяют и коллоидные растворы ферромагнитного порошка в жидкости - магнитные жидкости (МЖ), например, на основе керосина. Перед контролем МЖ наносят на контактную поверхность преобразователя (смазывания поверхности изделия не требуется).

Удержание МЖ обеспечивается постоянным магнитным полем, которое создается встроенным в корпус преобразователя достаточно сильным магнитом, например самарий-кобальтовым. В зазоре толщиной до 1 мм МЖ удерживается при намагниченности

Неразрушающий контроль

25...35 кА/м. При меньшей намагниченности МЖ вытекает из зазора, при большей - налипает на поверхность изделия. Средний расход МЖ в указанных условиях 0,02 см³ на 1 дм² поверхности сканирования с параметром шероховатости Rz < 40 мкм.

При повышении температуры изделия изменяются акустические свойства контактной жидкости, снижается ее акустическая прозрачность. При закипании смазочный материал переходит в газообразное состояние и связь преобразователя с изделием полностью нарушается. При низких (минусовых) температурах обычные контактные жидкости замерзают и охрупчиваются. Переход жидкости в твердую фазу с пузырьками воздуха неизбежно приводит к разрыву акустического контакта. Наилучший результат дает использование термостабильных паст, которые в сочетании со специальными преобразователями (призма из аэролона) обеспечивают стабильность амплитуды сигнала при температурах -40...+400 °С. Магнитные жидкости стабильны в диапазоне температур -40...+40 °С.

2.2. МАТЕРИАЛЫ, ПОДЛЕЖАЩИЕ КОНТРОЛЮ.

Металлические, пластмассовые, деревянные элементы машин и конструкций.

2.3. ВЫЯВЛЯЕМЫЕ ОТКЛОНЕНИЯ.

Деформации, поверхностные трещины, расслоения, закаты, забоины, риски, раковины и другие несплошности; геометрические размеры.

2.4. ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА,

(на примере ультразвукового дефектоскопа "P E L E N G 307" УДЗ-307ВД).

Состав дефектоскопа

Наименование	Обозначение	Кол-во	Примечание
Блок электронный	ДШЕК.412231.009	1 шт.	
Сетевой адаптер и зарядное устройство	ДШЕК.436611.002	1 шт.	
Комплект принадлежностей	ДШЕК.412924.003	1 шт.	Комплект формируется по желанию Заказчика
Головные телефоны	RH-507	1 шт.	Допускается замена аналогичными по параметрам
Комплект эксплуатационной документации	ДШЕК.410226.003	1 компл.	Руководство по эксплуатации, Паспорт, Методика проверки
Чехол		1 шт.	Для БЭ
Упаковка		1 шт.	Сумка
Кейс		1 шт.	Для переноски всего комплекта

Неразрушающий контроль

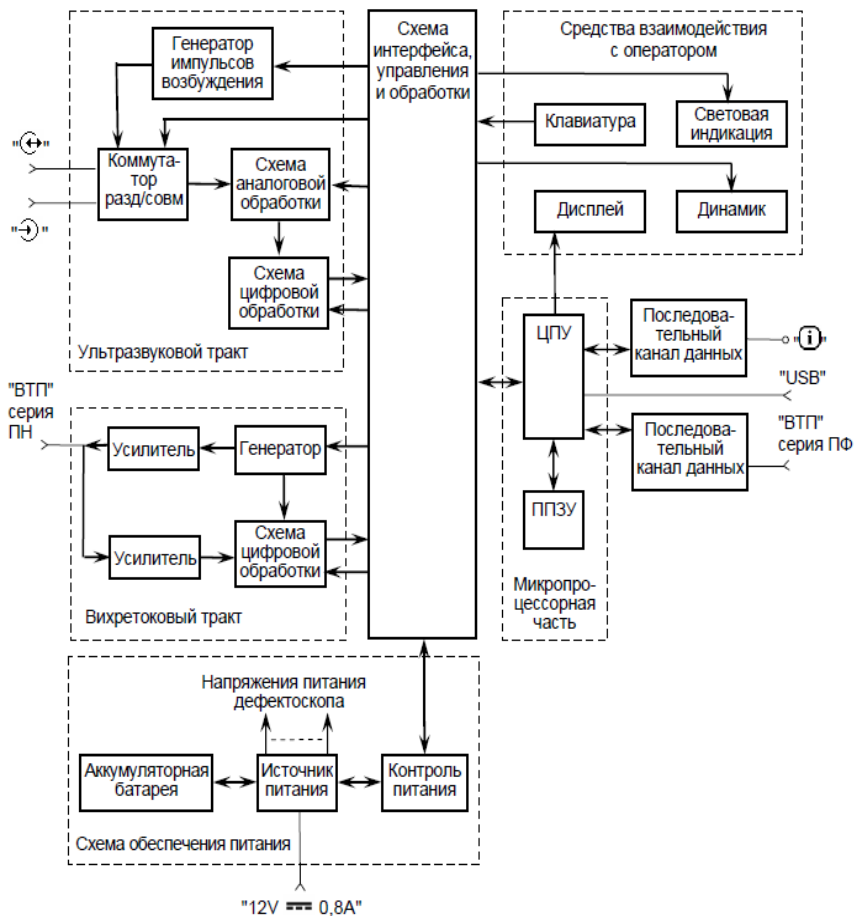


Рисунок 2.13. Принципиальная блок-схема дефектоскопа.

Электронный блок включает следующие узлы:

- схема интерфейса, управления и обработки;
- микропроцессорная часть;
- ультразвуковой тракт;
- вихретоковый тракт;
- схема обеспечения питания;
- схема взаимодействия с оператором.

Неразрушающий контроль



Рисунок 2.14. Органы управления и коммутации электронного блока.

Обозначение	Функция кнопки
	изменение усиления
	работа с записями
	вызов на экран и удаление с экрана списка меню
	вызов на экран справки
	изменение значения
	перемещение по пунктам меню
	включение/отключение режима "стоп-кадр"
	включение/отключение режима "Огибающая"
	1) выход из подменю; 2) удаление меню с экрана
	1) выполнение действия; 2) вход в подменю; 3) вход в цифровой или текстовый режим
	1) выбор параметров дефекта, выводимых на экран; 2) переключение единиц измерений в пунктах меню типа "дальность"
	включение/выключение дефектоскопа

Рисунок 2.15. Функции кнопок постоянного назначения.

При подключении адаптера и зарядного устройства (САЗУ) к сети 220В загорается зеленый светодиод. После подключения разъема САЗУ (рис. 2.16.) к разъему 12V питание дефектоскопа происходит за счет САЗУ с одновременной зарядкой аккумуляторной батареи.

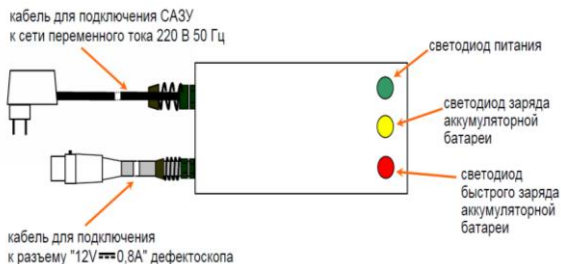


Рисунок 2.16. Сетевой адаптер и зарядное устройство.

2.5. ОБЪЕМ И ПЕРИОДИЧНОСТЬ КОНТРОЛЯ.

Указываются в технологической карте УЗК.

2.6. ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ УЗК.

2.6.1. Включение дефектоскопа.

После включения дефектоскопа загрузка программного обеспечения может занимать 20 с., после чего идентифицируется оператор вводом фамилии и пароля. Если оператор работает впервые, необходимо добавить фамилию, нажав на кнопку «Новая» - В2 (рис. 2.17.).

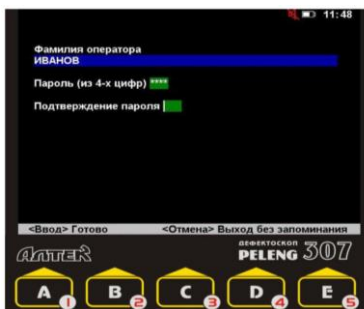


Рисунок 2.17. Регистрация и ввод пароля.

Неразрушающий контроль

2.6.2. Режим ввода.

Режим ввода цифр включается при нажатии кнопки «Ввод» в пунктах меню с числовыми значениями (рис. 2.18).

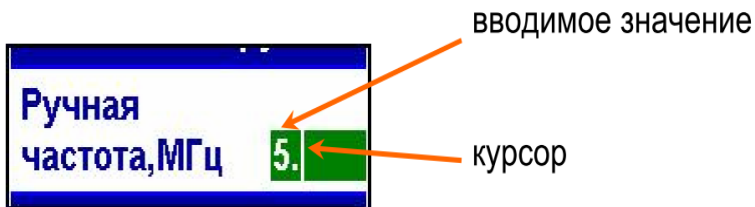


Рисунок 2.18. Ввод цифр на экран дефектоскопа.

Режим ввода текста включается после нажатия кнопки «Ввод» в пунктах меню с текстовыми значениями (рис.2.19).

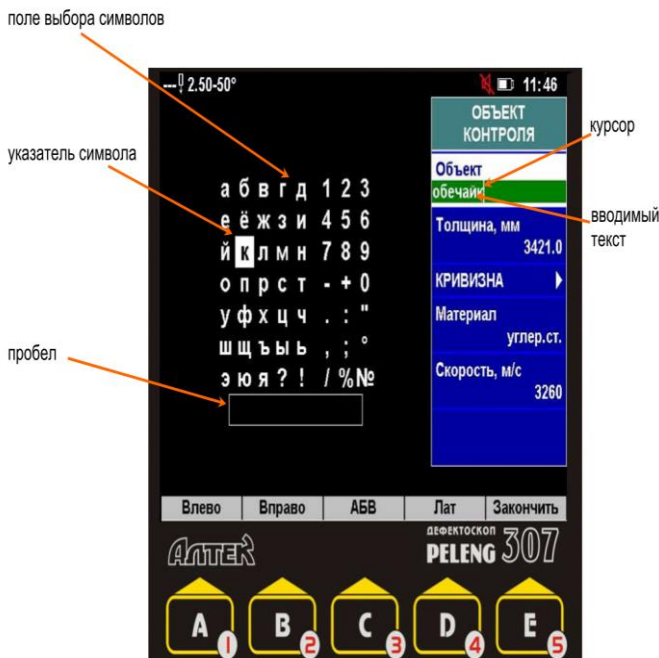


Рисунок 2. 19. Ввод текста на экран дефектоскопа.

Режимы работы дефектоскопа.

- "Ультразвуковой дефектоскоп";
- "Ультразвуковой толщиномер";
- "Вихретоковый дефектоскоп";
- "Поверка";
- "Тестирование"
- "Администратор";
- "О приборе" (просмотр сведений о дефектоскопе).

2.6.3. Создание и удаление записей.

Для работы с дефектоскопом используются следующие типы записей:

- настройки (рис. 2. 20);
- блоки этапов;
- протоколы;
- отчеты толщиномера;
- АРД-диаграммы (системы графиков, связывающих амплитуду эхо-сигнала с расстоянием до дефекта и его эквивалентной площадью);

Типовые варианты.

Типовые варианты – предварительные заготовки настроек для контроля согласно заложенной в дефектоскоп нормативно-технической документации на контроль. Типовые варианты имеются только в дефектоскопах со специализированными версиями программного обеспечения.

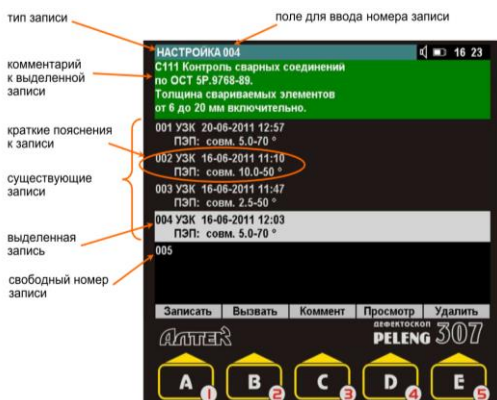


Рисунок 2.20. Вид экрана дефектоскопа при его настройке.

2.6.4. Проведение контроля.

Автоматическая измерительная метка всегда устанавливается:

- напротив вершины наибольшего сигнала, расположенного в зоне ВС1,
- при условии, что зона ВС2 не используется;
- напротив вершины наибольшего сигнала, расположенного в зоне ВС1 или ВС2, при условии, что в обеих зонах установлен эхо-метод контроля;
- напротив вершины наибольшего сигнала, расположенного только в зоне ВС1, при условии, что в зоне ВС2 установлен зеркально-теневой метод контроля (ЗТМ);
- напротив конца зоны ВС1 (ВС2), если отсутствуют любые сигналы на экране дефектоскопа.

В каждой из зон ВС могут находиться от одного до трех порогов: браковочный (верхний, красный), поисковый (нижний, зеленый) и оценочный (средний, желтый). При пересечении нижнего порога сигналом срабатывает система АСД (звуковой сигнал, зеленый светодиод). При пересечении верхнего порога сигналом загорается красный светодиод системы АСД (рис. 2.21).

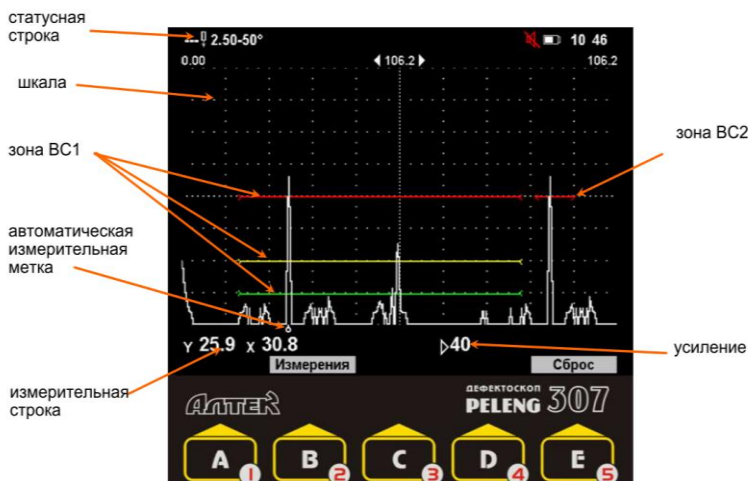


Рис. 2.21. Экран дефектоскопа при проведении контроля.

В измерительной строке отображаются следующие параметры сигнала,

выделенного автоматической меткой:

- γ – глубина залегания дефекта, мм;

Неразрушающий контроль

- X – расстояние от переднего края ПЭП или его точки выхода луча до проекции дефекта на контактную поверхность, мм;
 - R – путь, пройденный УЗК от точки выхода луча ПЭП до дефекта, мм;
 - T – время распространения УЗК до дефекта и обратно, мкс;
 - N – превышение сигнала относительно первого порога, дБ;
 - M – количество переотражений УЗК в объекте контроля;
 - K – коэффициент выявляемости дефекта (разность между значениями амплитуды эхо-сигналов от дефекта и эталонного отражателя), дБ;
 - $S_{\text{ЭКВ}}$ – эквивалентная площадь дефекта, мм²;
 - $\varnothing_{\text{ЭКВ}}$ – эквивалентный диаметр дефекта, мм;
 - N_T – текущая чувствительность (чувствительность, на которую был настроен дефектоскоп), дБ;
 - N_{Φ} – фактическая чувствительность, дБ;
 - \diamond – текущее усиление дефектоскопа, дБ.
- 1 - значение M выводится на экран только при проведении контроля наклонным ПЭП и введенной толщине объекта контроля;
- 2 - значения K, N_T , N_{Φ} выводятся на экран только после полуавтоматической настройки чувствительности;
- 3 - значения $S_{\text{ЭКВ}}$, $\varnothing_{\text{ЭКВ}}$ выводятся на экран только после полуавтоматической настройки чувствительности с включенным режимом АРД.
- В статусной строке отображаются номер вызванной из памяти настройки, частота и угол ввода пьезоэлектрического преобразователя (ПЭП).
- Усиление дефектоскопа изменяется кнопками и в пределах 0...80 дБ по кругу. При нажатии на кнопку "Измерения" – происходит переход к измерениям с помощью ручной измерительной метки.
- При нажатии на кнопку "Сброс" – происходит возврат к исходным параметрам настройки.
- Режим "Стоп-кадр" – остановка или "заморозка" всех

Неразрушающий контроль

сигналов. включается и отключается при нажатии кнопки (Стоп).

Режим "Огибающая" – отображение на развертке всех поступивших сигналов в процессе перемещения ПЭП (рис. 2.22). При этом текущий сигнал отрисовывается тонкой линией поверх выделенной фоном огибающей.



Рис. 2.22. Режим «Огибающая».

Режим "Огибающая" включается и отключается при нажатии кнопки .

При изменении усиления режим "Огибающая" перезапускается.

2.6.5. Установка параметров объекта контроля.

Параметры объекта контроля:

- объект (выбор наименования объекта из имеющегося списка кнопками и или ввод самостоятельно в режиме ввода текста);

- толщина, мм, контролируемого изделия. Данный параметр позволяет учитывать возможные переотражения УЗК от донной и контактной поверхностей, а также получать представление в виде W-развертки.

По умолчанию значение параметра «Толщина» равно 0 мм, т.е. параметр дефектоскопом не используется;

- кривизна поверхности.

Работа в режиме учета кривизны поверхности контролируемого изделия рекомендуется для контроля изделий цилиндрической формы с помощью наклонных ПЭП при направлении прозвучивания поперек

образующей цилиндра (контроль продольных сварных швов труб,

основного металла валов поперек оси и т.п.). Этот режим позволяет определять координаты обнаруженных дефектов с учетом кривизны

поверхности;

- материал (выбор материала объекта из имеющегося спис-

ка кнопками

← и → или «Ввод» самостоятельно в режиме ввода текста).

В память дефектоскопа занесены значения скорости продольных, поперечных и поверхностных волн для наиболее часто используемых в

ультразвуковом контроле материалов. При отсутствии в списке мате-

риалов необходимого можно ввести новый;

- скорость ультразвуковых волн, м/с.

Установленная скорость распространения ультразвуковых волн

должна соответствовать материалу объекта контроля и типу волны. При изменении угла ввода ПЭП или материала объекта контроля в соответствующих пунктах меню дефектоскопа, скорость изменится автоматически. При необходимости значение можно откорректировать вручную.

Если значения скорости распространения ультразвуковых волн установлены неверно, то координаты дефекта будут рассчитаны с ошибкой.

Учет кривизны поверхности объекта контроля.

Режим учета кривизны поверхности контролируемого изделия позволяет измерять координаты обнаруженных дефектов с учетом кривизны поверхности так, как это указано на рисунке 2.23.

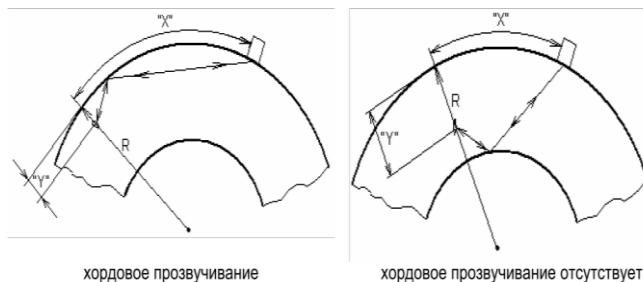


Рисунок 2.23. Схемы прозвучивания с учетом кривизны поверхности.

До начала работы в режиме учета кривизны поверхности должна быть проведена настройка глубиномера по плоским об-

Неразрушающий контроль

разцам. Для включения режима учета кривизны поверхности объекта контроля необходимо установить нижеперечисленные параметры криволинейной поверхности и символ

в пункте «Учет кривизны» подменю "Кривизна" меню "Объект контроля" (рис.2.24).

КРИВИЗНА	
Учет кривизны	<input type="checkbox"/>
Кривизна	выпукл.
Радиус кривизны, мм	150.0
Толщина, мм	0.0
Хордовое прозвучивание	<input type="checkbox"/>
Максимальная глубина	0.0

Рис. 2.24. Вид экрана при прозвучивании в режиме учета кривизны поверхности.

При контроле изделий с плоской поверхностью, а также изделий с цилиндрической поверхностью вдоль образующей цилиндра (например, при контроле кольцевых сварных швов труб) режим учета кривизны поверхности должен быть отключен.

Параметры криволинейной поверхности:

Кривизна (указание типа поверхности, с которой проводится контроль):

- выпуклая (контроль с наружной поверхности цилиндра);
- вогнутая (контроль с внутренней поверхности цилиндра);

Толщина, мм;

Радиус кривизны, мм. Радиус кривизны поверхности, с которой проводится контроль;

Хордовое прозвучивание:

- (имеется хордовое прозвучивание);
- (хордовое прозвучивание отсутствует).

При хордовом прозвучивании ультразвуковая волна не отражается от внутреннего диаметра объекта контроля, а распространяется по его хорде. Пункт Хордовое прозвучивание предназначен для информирования оператора о типе прозвучивания и всегда заблокирован.

Максимальная глубина прозвучивания Y_{\max} , мм.

При отсутствии хордового прозвучивания значение Y_{\max} равно толщине.

1. Если установленная толщина объекта контроля больше радиуса кривизны поверхности контроля, то контроль возможен только с вогнутой поверхности. В этом случае пункт «Кривизна» заблокирован в положении "вогнут";

2. При контроле изделия в форме сплошного цилиндра следует ввести значение толщины, равное радиусу цилиндра;

3. Для включения режима "Учет кривизны" необходимо, чтобы значения толщины и радиуса кривизны объекта контроля не были равны 0. В противном случае «Учет кривизны» заблокирован в состоянии "□".

2.7. ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ УЗК.

Полуавтоматическое измерение условной высоты дефекта производится в подменю "Условная высота".

Условная высота – один из измеряемых параметров дефекта, который

может служить критерием браковки изделия. Режим измерения условной высоты позволяет автоматически измерять условную высоту обнаруженного дефекта абсолютным или относительным способами. Измерение условной высоты может проводиться в том числе и при использовании криволинейных порогов (рис. 2.25).



Рис. 2.25. Измерение условной высоты.

1 – положение ПЭП в момент первого пересечения сигналом от дефекта

- порога измерения условной высоты;
- 2 – положение ПЭП в момент последнего пересечения сигналом от дефекта порога измерения условной высоты;
- 3 – дефект;
- 4 – порог измерения условной высоты;
- ΔУ – измеренная условная высота.
- Условия измерения условной высоты дефекта:
 - включен режим "Огибающая";
 - огибающая сигнала от дефекта не должна выходить за границу зоны ВС1 на том участке, где она выше выбранного уровня;
 - сигнал от дефекта не должен быть ниже выбранного уровня или выше верхней границы экрана.
- Значение условной высоты дефекта появляется после нажатия кнопки «Измерить».

В дефектоскопе используется компенсированная отсечка, то есть отсечка, при которой подавляются шумы, а полезные сигналы (превышающие уровень отсечки) сохраняют свою амплитуду. Уровень отсечки регулируется в процентах высоты развертки от ее нижней горизонтали. Диапазон регулировки уровня отсечки – от 0 (отсечка отключена) до 80 %. По умолчанию устанавливается значение 5 % ("слабая" отсечка). Следует иметь в виду, что при больших значениях отсечки могут возникать следующие нежелательные последствия:

- отсутствие изменения шумов в нижней части развертки при перемещении ПЭП (флуктуация шумов при отключенной или "слабой" отсечке в некоторой степени свидетельствует о наличии акустического контакта);
- отсутствие плавного изменения амплитуды отраженного сигнала при сканировании ПЭП в зоне дефекта (сигнал "резко" появляется и "резко" исчезает, а, следовательно, индицируется более короткое время).

2.8. МЕРЫ БЕЗОПАСНОСТИ.

2.8.1. Все виды работ при подготовке и проведении ультразвукового и вихретокового контроля должны проводиться при строгом соблюдении требований техники безопасности, промышленной санитарии и пожарной безопасности, изложенных в соот-

ветствующих правилах и инструкциях по охране труда, а также в НТД на проведение ультразвукового контроля.

К работе с дефектоскопом допускаются лица:

- прошедшие специальную подготовку;

- прошедшие обучение и инструктаж по безопасности труда в соответствии с ГОСТ 12.0.004-90.

2.8.2. Оборудование участков и рабочих мест ультразвуковыми дефектоскопами, вспомогательными устройствами и механизмами, а также их обслуживание должно осуществляться в соответствии с ГОСТ 12.2.007.0-75, ГОСТ 12.1.019-79, "Правилами устройства электроустановок потребителей" и "Правилами техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей", утвержденными Госэнергонадзором 01.06.85 г. и 21.12.84 г. соответственно.

2.8.3. Размещение, хранение, транспортирование и использование дефектоскопических и вспомогательных материалов и отходов производства должно проводиться с соблюдением требований защиты от пожаров по ГОСТ 12.1.004-85.

2.8.4. Переносные электрические светильники должны иметь напряжение питания не более 36 В.

2.8.5. На участке дефектоскопии должна быть вывешена на видном месте инструкция по технике безопасности и пожарной безопасности, утвержденная главным инженером предприятия.

2.8.6. Дефектоскоп по способу защиты от поражения электрическим током относится к классу 01 по ГОСТ 12.2.007.0-75.

2.8.7. При работе с дефектоскопом от аккумуляторной батареи используется электропитание с параметрами, безопасными для человека согласно ГОСТ 12.2.003-74.

2.8.8. Дефектоскоп безопасен по пиковому значению виброскорости ультразвука в зоне контакта рук оператора с ПЭП согласно ГОСТ 12.1.001-89.

2.8.9. При проведении контроля оператор должен руководствоваться "Правилами технической эксплуатации электроустановок потребителей", "Правилами техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей", а также "Правилами безопасности и производственной санитарии", действующими на предприятии.

2.8.10. При проведении работ следует обеспечить хранение:

- ветоши (для подготовки поверхностей деталей к контролю) – в железном закрываемом ящике. По окончании смены уча-

сток дефектоскопии должен быть очищен от промасленной ветоши;

- контактирующей жидкости (минерального масла) в количестве не более суточной потребности – в закрываемых металлических сосудах.

2.8.11. Использованная ветошь должна собираться в металлический ящик с крышками и отправляться на утилизацию.

ЗАПРЕЩАЕТСЯ:

- производить ремонт дефектоскопа на участке дефектоскопии;

- пользоваться открытым огнем вблизи емкостей с контактирующей жидкостью (минеральным маслом).

3. АКУСТИКО-ЭМИССИОННЫЙ КОНТРОЛЬ (АЭК)

- Процесс деформации твердого тела вызывает в нем упругие колебания, и регистрация и анализ параметров которых положен в основу акустического контроля. Такая регистрация может осуществляться только в случае если исследуемый объект находится в нагруженном состоянии физическим воздействием либо полем низких или высоких температур. Причем такое воздействие может быть вызвано просто условиями эксплуатации объекта и по этой причине нет необходимости в специальных внешних источниках сигнала. С помощью акустико-эмиссионного контроля возможно выявление таких дефектов как трещины, в том числе развивающиеся, расслоение, коррозионные процессы. Акустическая эмиссия представляет собой явление генерации волн напряжений, вызванных внезапной перестройкой в структуре материала. Классическими источниками АЭ является процесс деформирования, связанный с ростом дефектов, например, трещины или зоны пластической деформации.

3.1. ОБЪЕКТ КОНТРОЛЯ.

Элементы машин и конструкций, резервуары, трубопроводы, колонны, сварные соединения.

3.2. МАТЕРИАЛЫ, ПОДЛЕЖАЩИЕ КОНТРОЛЮ.

Металлические, пластмассовые элементы машин и конструкций, каменные, бетонные, железобетонные конструкции.

3.3. ВЫЯВЛЯЕМЫЕ ОТКЛОНЕНИЯ.

Деформации, трещины, расслоения, разломы, коррозионные процессы, опасные дефекты на стадии их развития.

3.4. ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА.

Для проведения акустико-эмиссионного контроля два преобразователя и комплект устройств, для получения информации с датчиков, ее обработки и вывода на периферийное оборудование, каждый из которых регистрирует время улавливания сигнала. Процесс генерации и обнаружения АЭ приведен на рис. 3.1. Внезапное движение источника эмиссии вызывает возникновение волн напряжений, которые распространяются в структуре материала и достигают пьезоэлектрический преобразователь. По мере роста напряжений, активизируются многие из имеющихся в материале объекта источников эмиссии. Электрические сигналы эмиссии, полученные в результате

преобразования датчиком волн напряжений, усиливаются, регистрируются аппаратурой и подвергаются дальнейшей обработке и интерпретации.



Рис.3.1. Принцип акустической эмиссии.

Источником акустико-эмиссионной энергии служит поле упругих напряжений в материале. Без напряжений нет и эмиссии, поэтому АЭ контроль обычно проводится путем нагружения контролируемого объекта. Это может быть проверочный контроль перед запуском объекта, контроль изменений нагрузки во время работы объекта, испытания на усталость. Конструкция может нагружаться произвольным способом. В этом случае использование АЭ контроля позволяет получать информацию о поведении конструкции под действием нагрузки.

Сам контроль осуществляется следующим образом: преобразователи располагаются на разном расстоянии от одного и того же объекта. Фиксируется время обнаружения сигнала первым

(t1) и вторым (t2) приемниками Вычисляется разница во времени (t2 - t1) Определяются точные координаты местонахождения дефекта.

3.5. ОБЪЕМ И ПЕРИОДИЧНОСТЬ КОНТРОЛЯ.

Указываются в технологической карте АЭК.

3.6. ПОДГОТОВКА К АКУСТИКО_ЭМИССИОННОМУ КОНТРОЛЮ (АЭК).

3.6.1.Предварительный этап АЭ-контроля металлоконструкций крана, включает анализ технической, эксплуатационной и ремонтной документации, предварительного изучения объекта контроля и ознакомление с результатами визуального и измерительного контроля, которые проводятся с целью составления плана подготовки и выполнения АЭК. При анализе документов и предварительном изучении объекта контроля устанавливают следующие данные: тип, модификация крана;

3.6.2.срок эксплуатации;

3.6.3.грузоподъёмность, грузовые характеристики;

3.6.4.материал металлоконструкций (механические свойства, химический состав, термообработка стали);

3.6.5.конструктивные особенности (расположение концентраторов напряжения, области элементов металлоконструкций, в которых высока вероятность зарождения и развития дефектов;

3.6.6.режим работы, условия эксплуатации (номинальные и фактические);

3.6.7.проводимые ремонты и реконструкции, характер этих работ;

3.6.8.результаты предыдущих технических освидетельствований, диагностирований и обследований;

3.6.9.другие данные.

3.6.10. Для выполнения работ по АЭК предоставляется кран в

3.6.11. технически исправном состоянии, прошедший техническое обслуживание, очищенный от грязи, продуктов коррозии, отслоений краски. Для управления краном при проведении испытаний из числа обслуживающего персонала выделяются двое наиболее опытных машинистов, один из которых выполняет непосредственно операции, связанные с нагружением элементов, а второй следит за приложенными нагрузками.

3.6.12. При обнаружении во время визуального и измерительного контроля недопустимых дефектов металлоконструкций

Неразрушающий контроль

проведение статических испытаний крана запрещается до их полного исправления.

3.6.13. Подготовка аппаратуры АЭ и объекта к контролю производится в соответствии с технической документацией на конкретный тип аппаратуры и включает:

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

- установку параметров контроля и калибровку АЭ системы.

3.6.14. Подготовка объекта к операциям контроля производится в следующей последовательности:

3.6.15. Поверхности объекта в местах установки преобразователя акустической эмиссии (ПАЭ) зачищаются до металлического блеска с чистотой обработки не хуже Rz 40 и обезжириваются;

3.6.16. На поверхность объекта в месте установки приемника наносится контактная смазка;

3.6.17. Для обеспечения требуемого акустического контакта ПАЭ прижимается к поверхности объекта с помощью специального магнитного прижима или другими средствами, обеспечивающими неподвижность приемника и силу прижима 3-20 Н.

3.6.18. Рекомендуется производить оценку затухания и скорости распространения упругих волн при помощи источника Су-Нильсена. При этом имитируется сигнал АЭ посредством излома графитового стержня, расположенного под углом 30° к поверхности, диаметром 0,5 мм, твердостью 2Н, с длиной выступающей части, подлежащей излому, 3 мм. На продольном элементе металлоконструкции устанавливается преобразователь и через каждые 0,5 метра по направлению от него производится имитация источника АЭ путём слома грифеля карандаша. По данным регистрации сигнала АЭ получают зависимости амплитуды и времени прихода упругих волн от расстояния, по которым оценивают их затухание и скорость распространения.

3.6.19. По результатам оценки затухания и скорости распространения упругих волн разрабатывается схема расположения ПАЭ на поверхности объекта. Расстояния между преобразователями должны быть выбраны в соответствии с ПБ 03-593-03 на основании данных, полученных при исследовании распространения упругих волн в металлоконструкциях крана. Схема установки ПАЭ должна быть выполнена таким образом, чтобы обеспечить контроль всех несущих элементов металлоконструкций крана. Установка преобразователей на верхней секции стрелы является обя-

Неразрушающий контроль

зательной. Количество ПАЭ, устанавливаемых на металлоконструкции крана, определяется зоной чувствительности ПАЭ. Примеры рекомендуемых схем расположения ПАЭ для АЭ-контроля металлоконструкций кранов приведены на рис. 3.2.

3.6.20. Проверка работоспособности аппаратуры производится в соответствии с инструкцией по эксплуатации.

3.6.21. Установка параметров контроля включает в себя:

- выбор рабочей полосы частот (с учетом типа используемого датчика, минимального затухания упругих волн в контролируемой среде, получение максимального отношения сигнал/помеха и точности определения координат);

- становление требуемого режима работы аппаратуры (коэффициентов усиления, уровня дискриминации и т.д.);

- выявление и устранение источников постороннего акустического излучения.

3.6.22. Калибровка АЭ системы проводится для проверки работоспособности системы в целом, определения чувствительности каналов и точности локации.

3.6.23. Для определения чувствительности каналов производят несколько словов грифеля источника Су-Нильсена на близком и одинаковом расстоянии (до 5 см) от каждого приемника. Вычисляют средние значения амплитуд по каждому каналу. Разброс средних значений амплитуд не должен превышать 3 дБ. Затухание ультразвукового сигнала для двух соседних преобразователей не должно превышать 6 дБ.

3.6.24. Калибровка точности локации включает в себя определение таких параметров объекта, как скорость распространения волны, степень затухания амплитуды волны, точность локации АЭ источников, и осуществляется при помощи датчика-имитатора, если таковой входит в состав системы, карандаша Су-Нильсена, или специального калиброванного ударного устройства. Имитатор устанавливается в нескольких заранее выбранных точках контролируемой конструкции и производится его локализация системой. Проводится сравнение полученных координат имитатора с его действительными координатами. Вычисление координат источников АЭ основано на учете времени распространения волны напряжения от АЭ источника до нескольких датчиков, установленных на поверхности конструкции. Причинами ошибок определения координат являются:

- неправильно измеренная скорость распространения упругих волн в материале;

- регистрация разными датчиками разных типов волновых мод;
- погрешность измерения моментов прихода волны на датчики;
- наличие анизотропии скорости распространения упругих волн;
- отличие реальных путей распространения упругих волн от теоретически принятых и используемых в расчетах;
- изменение формы волны напряжения при распространении;
- разброс амплитуд сигналов АЭ;
- сложная конструкция крана.

3.6.25. Ошибка в определении координат источника АЭ по этой причине (рис. 3.2). Точная локация, использующая разность времен прихода на соседние приёмники линейной антенны, возможна только для источников, расположенных на продольных элементах металлоконструкции. Источники, расположенные на раскосах, могут отображаться со значительной ошибкой, в лучшем случае в местах соединения раскоса с основной конструкцией. Поэтому, при калибровке необходимо провести имитацию сигналов АЭ на раскосах и убедиться, что источник АЭ регистрируется хотя бы одним ПАЭ системы и отображается на карте зонной локации.

3.6.26. Полученная локационная карта калибровки сохраняется в долговременной памяти для использования в процессе обработки данных.

3.6.27. При длительной работе на контролируемом объекте и при условии сохранения акустических характеристик материала объекта и системных установочных параметров перед осуществлением контроля допускается проведение только калибровки чувствительности каналов.

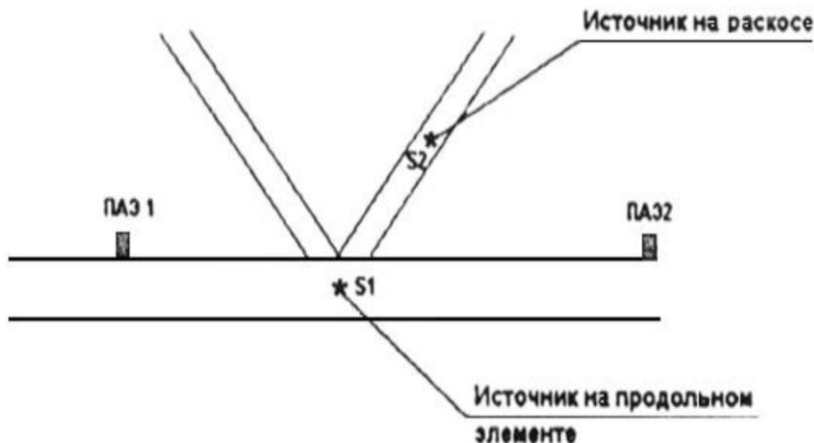


Рисунок 3.2. Иллюстрация ошибки в определении координат источника АЭ.

3.7. ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ АЭК.

АЭ-контроль выполняется в такой последовательности:

3.7.1. Переводится АЭ систему в режим регистрации непосредственно перед началом контроля.

3.7.2. Регистрируются сигналы АЭ в металлоконструкции крана, находящегося в ненагруженном состоянии. По полученным данным производится оценка характеристик фонового значения шумового поля и окончательная настройка и проверка работоспособности оборудования.

3.7.3. Нагружаются металлоконструкции крана (ступенями с выдержками при нагрузках на уровне $0,8 \times QH$; $1 \times QH$; $KI \times QH$, где: QH - номинальная грузоподъемность по грузовой характеристике крана; KI - коэффициент перегрузки, принимаемый равным от 1,1 до 1,25 QH . Количество циклов нагружения (подъем, выдержка, сброс) на каждой ступени должно быть не менее трёх. Окончательно количество циклов нагружения определяется исходя из активности контролируемого узла - при снижении активности на каждом последующем нагружении количество циклов уменьшается. Отсутствие снижения активности или, наоборот, увеличение, может свидетельствовать о снижении прочности конструкции. На данном этапе контроль прекращается и выявляются причины повышения активности элемента конструкции.

3.7.4. Сбрасывается нагрузка при проведении каждого этапа нагружения до $0,5Q_H$.

3.7.5. Время выдержки на промежуточных ступенях должно составлять от 60 до 300 секунд. Время подъёма и сброса нагрузки на каждой ступени принимается не менее 20 секунд.

3.7.6. Для нагружения крана рекомендуется использовать или специальное гидравлическое устройство, оснащённое манометром и прибором для подачи электрического сигнала, соответствующего нагрузке, на параметрический вход АЭ системы или испытательный груз с контролем уровня нагрузок путем тензометрирования. Схема нагружающего устройства, смонтированного из стандартных блоков, приведена на рис. 3.3. Регистрация значений нагрузки ведется непрерывно в течение всего процесса нагружения.

3.7.7. При нагружении в процессе АЭ-контроля необходимо наблюдать за изменением параметров АЭ во времени и уровнем приложенных нагрузок во взаимосвязи с поступающими сигналами АЭ с целью выявления и локализации критически и катастрофически активных дефектов, опасных для эксплуатации крана. Если в период нагружения оператором будет отмечено аномальное увеличение активности АЭ, то испытания необходимо приостановить до выяснения причин обнаруженного явления.

3.7.8. Регистрация АЭ сигналов осуществляется на протяжении всего процесса нагружения и должна составлять не менее 10 минут после окончания нагружения крана. АЭ-контроль прекращается только после того, как уровень регистрируемых сигналов АЭ достигает фонового значения шумового поля. При невозможности проведения контроля из-за высокого уровня шумов, обусловленных работой нагружающих механизмов, допускается регистрация данных в процессе выдержек при постоянных нагрузках.

3.7.9. Окончание регистрации с подтверждением записи полученных данных в долговременную память системы.

3.7.10. Проведение повторной калибровки чувствительности системы, для удостоверения её работоспособности.

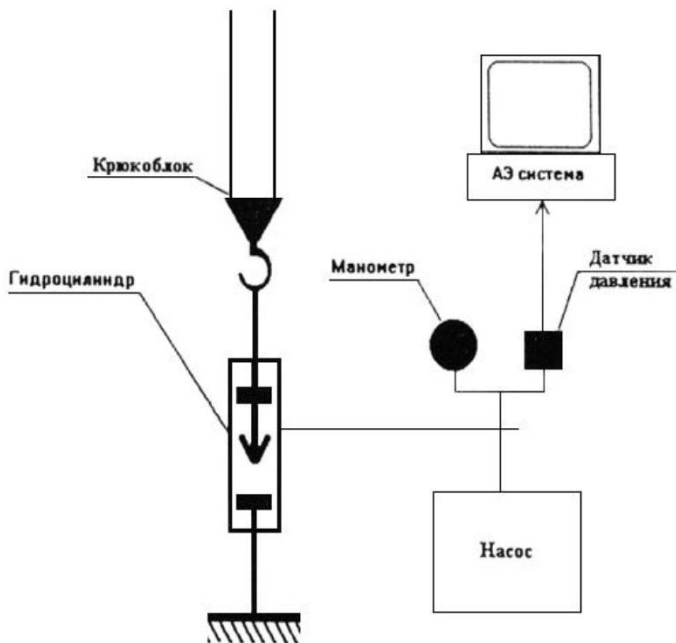


Рисунок 3.3. Схема нагружающего устройства, смонтированного из стандартных блоков.

Повреждения при эксплуатации козлового крана типа ККС-10 чаще всего возникают в металлоконструкциях ферм четырех вертикальных опор, каждая из которых состоит из двух ферм, крепящихся друг к другу посредством болтовых соединений. Соответствующие схемы расстановки ПАЭ показаны на рис. 3.4.

Неразрушающий контроль

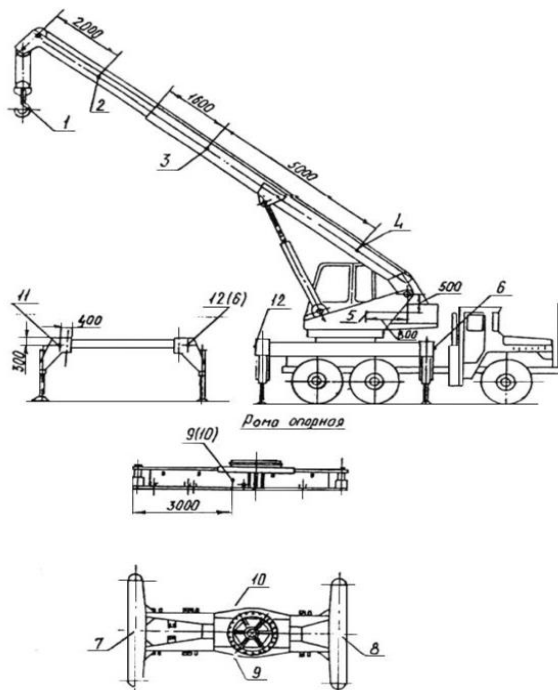


Рисунок 3.4. Рекомендуемая схема расположения ПАЭ для АЭ-контроля металлоконструкций кранов.

3.8. ТРЕБОВАНИЯ К СРЕДСТВАМ АЭК.

3.8.1. Аппаратура для проведения АЭ-контроля должна находиться в соответствии с «Требования к акустико-эмиссионной аппаратуре, используемой для контроля опасных производственных объектов (РД 03-299-99)». Преобразователи для проведения АЭ-контроля должны находиться в соответствии с «Требования к преобразователям акустической эмиссии, применяемым для контроля опасных производственных объектов (РД 03-300-99).

3.8.2. Для проведения АЭ-контроля используются многоканальные АЭ системы. Основными параметрами, которые должны быть измерены АЭ аппаратурой, являются скорость счёта,

активность, амплитуда сигналов АЭ.

3.8.3. Кроме измерения параметров АЭ сигнала, рекоменду-

ется обеспечивать локацию источников АЭ. Под локацией источника АЭ подразумевается вычисление его координат на контролируемом объекте по значениям времени регистрации импульсного сигнала несколькими каналами АЭ аппаратуры. Методика измерения параметров АЭ излагается в инструкции по эксплуатации конкретной АЭ аппаратуры.

3.8.4. Аппаратура АЭ должна обладать полосовыми фильтрами, обеспечивающими работу в диапазоне частот от 100 до 300 кГц с неравномерностью 3 дБ. Допустим большой частотный диапазон.

3.8.5. Рекомендуется использовать в аппаратуре АЭ параметрический вход и возможность измерять электрический сигнал, пропорциональный прилагаемой механической нагрузке.

3.9. ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ АЭК.

3.9.1. Оценку состояния объектов контроля следует проводить по результатам анализа информации, получаемой в процессе АЭ-контроля, о наличии или отсутствии источников АЭ в контролируемом объекте.

3.9.2. Первичную обработку АЭ сигналов необходимо осуществлять непосредственно в ходе проведения АЭ-контроля.

3.9.3. Последующую обработку следует начинать с удаления зарегистрированных шумов и ложных АЭ сигналов. Для этого использовать графики зависимости амплитуды сигналов от количества осцилляций или длительности. Для обнаружения ложных сигналов, вызванных ударами или проскальзыванием элементов конструкции друг относительно друга, рекомендуется использовать зависимости длительности сигналов от времени.

3.9.4. Производить зонную локализацию источников, в результате которой каждый источник представляется АЭ событиями, накопленными каналом, образующим зону. Выявленные и идентифицированные источники АЭ рекомендуется разделять на четыре класса - I, II, III и IV, указанные в табл.3.1.

Таблица 3.1.

№ п/п	Класс источника АЭ	Наименование источника АЭ
1	Источник I класса	пассивный источник
2	Источник II класса	активный источник
3	Источник III класса	критически активный источник
4	Источник IV класса	катастрофически активный источник

3.9.5. При классификации используют следующие параметры АЭ:

3.9.6. Амплитуда (амплитудное распределение);

3.9.7. Суммарный счет (параметры зависимости суммарного счета от времени);

3.9.8. Амплитуду корректируют с учетом затухания АЭ сигналов при их распространении в материале. Все оценки проводят с использованием значений амплитуд импульсов АЭ соответствующих амплитудам вблизи источника АЭ (на расстояниях не превышающих 5 см).

3.9.9. Классификацию источников АЭ производят в соответствии табл.2.

Таблица 3.2.

№ п/п	Класс источника АЭ	Признаки формирования класса источника АЭ
1	Источник I класса	Источник с зарегистрированными менее чем 5 импульсов АЭ амплитудой меньше U^*
2	Источник II класса	Источник с зарегистрированными 5 или более импульсов АЭ амплитудой меньше U^*
3	Источник III класса	Источник с зарегистрированными от 1 до 3 импульсов АЭ амплитудой, превышающей U^*
4	Источник IV класса	Источник с зарегистрированными 4 и более импульсов АЭ амплитудой превышающей U^*

- U^* - уровень амплитуд импульсов АЭ соответствующий

Неразрушающий контроль

границе разделяющей процессы пластической деформации и роста магистральной трещины. Величину U , выбирают при предварительных испытаниях образцов материала, из которого изготовлен контролируемый объект.

3.1.1. При использовании суммарного счета « N » (числа зарегистрированных выбросов электрического сигнала АЭ за время регистрации) АЭ для оценки состояния объекта применяют выражение:

$$N = aP^m;$$

где P - параметр нагружения (время при постоянной нагрузке, увеличивающейся нагрузке и т.д.);

a, m - параметры, характеризующие свойства материала и рост трещины.

3.1.2. Классификацию источников АЭ по показателю степени m осуществляют с использованием табл.3.

Таблица 3.3.

N п/п	Класс источника АЭ	Значение показателя m	Характеристика источника АЭ
1	I	$m < 1$	Пассивный
2	II	$m = 1$	Активный
3	III	$1 < m < 6$	Критически активный
4	IV	$m > 6$	Катастрофически активный

3.1.3. Рекомендуемые действия персонала, выполняющего АЭ-контроль при выявлении источников АЭ того или иного класса во время испытаний, следующие:

- источник I класса:
- регистрировать для анализа динамики его последующего развития.

- источник II класса:

- 1) регистрировать и следить за развитием ситуации в процессе выполнения данного контроля;

- 2) отметить в отчете и записать рекомендации по проведению дополнительного контроля с использованием других методов.

- Источник III класса:

- 1) произвести немедленное уменьшение нагрузки до нуля;

- 2) после сброса нагрузки провести осмотр объекта и, при необходимости, контроль другими методами.

3.1.4. Каждый более высокий класс источника АЭ

Неразрушающий контроль

предполагает выполнение всех действий определенных для всех источников более низких классов.

3.1.5. При положительной оценке технического состояния объекта по результатам АЭ-контроля или отсутствию зарегистрированных источников АЭ применение дополнительных видов неразрушающего контроля не требуется. Если интерпретация результатов АЭ-контроля неопределенна, рекомендуется использовать дополнительные виды неразрушающего контроля.

3.1.6. При выявлении источников второго, третьего и четвертого классов проводится визуальный контроль элементов конструкции, в которых зарегистрированы эти источники и дальнейшую проверку традиционными методами неразрушающего контроля (ультразвуковым контролем, магнитопорошковой дефектоскопией и пр.) для определения количественных характеристик обнаруженных дефектов. Источники первой группы заносятся в базу данных для сравнительного анализа при последующем контроле.

3.1.7. Источники АЭ, обнаруженные с помощью линейной локации, подлежат проверке традиционными методами неразрушающий контроль независимо от присвоенного класса.

3.1.8. Все результаты должны быть представлены в удобном для интерпретации виде. Должно быть показано размещение источника на чертеже конструкции и дана его классификация с соответствующей оценкой и рекомендацией.

3.2. ОФОРМЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ КОНТРОЛЯ.

3.2.1. Результаты контроля объектов должны оформляться в виде заключения, протокола и отчета (по предложению Заказчика). В протоколе рекомендуется указывать:

- наименование и тип контролируемого объекта, его номер и шифр;
- параметры контроля;- основные характеристики выявленных дефектов;
- наименование и тип используемой аппаратуры и преобразователей;- нормативную документацию, по которой выполняется контроль;
- дату и время контроля;
- особые отметки;

3.2.2. К протоколу должны прилагаться в обязательном порядке следующие таблицы и графики:

3.2.3. Таблица калибровки чувствительности каналов;

Неразрушающий контроль

- 3.2.4. График нагружения, регистрируемый АЭ системой;
- 3.2.5. Зависимости, используемые для фильтрации АЭ данных (точечный график зависимости амплитуды сигналов в дБ по каналам от числа осцилляций в логарифмическом масштабе, точечный график зависимости длительности сигналов от времени);
- 3.2.6. График зонной локации;
- 3.2.7. Графики активности - зависимости суммы событий источников от нагрузки или времени;
- 3.2.8. Графики зависимости амплитуды или энергии источников от нагрузки или времени;
- 3.2.9. Графики линейной локации при наличии АЭ источников;
- 3.2.10. Схема контролируемой конструкции с указанием активных зон и/или локализованных по линейной схеме источников.
- 3.2.11. К протоколу могут быть приложены любые графики и материалы, помогающие объяснить принятые решения.

3.3. ТРЕБОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ.

3.3.1. При проведении работ по обследованию крана должны соблюдаться требования по технике безопасности, изложенные в техническом описании и инструкции по эксплуатации грузоподъемных кранов, правилах устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов; требования по электробезопасности, изложенные в правилах устройства электроустановок, правилах техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей, правилах технической эксплуатации электроустановок потребителей, и другие меры, указанные в соответствующих документах по технике безопасности.

3.3.2. В ходе испытаний обеспечивается:

- связь между оператором АЭ системы и машинистом крана (визуальная или телефонная), чтобы в случае обнаружения недопустимого процесса в течение 2-3 с приступить к снижению нагрузки;

- плавное и медленное нагружение со скоростью не выше 200 кг/с, а также плавное снижение достигнутых нагрузок.

3.3.3. Запрещается проведение контроля металлоконструкций в грозу, снегопад, туман, гололед, сильный дождь, в темное время суток, при скорости ветра более 10 м/с

4. МАГНИТНЫЙ КОНТРОЛЬ

Сущность магнитных методов контроля сварных соединений заключается в выявлении рассеянных магнитных потоков (рис. 4.1), которые появляются в намагниченных изделиях в случае присутствия в них различных дефектов. Намагниченными материалами могут служить железо, никель, кобальт и некоторые сплавы на их основе.

Намагничивание изделия можно добиться, если, пропуская ток по нему, создать вокруг изделия магнитное или электромагнитное поле. Частицы порошка, которые проникли в области магнитных полей рассеяния, оседают на изделиях возле мест, где находятся дефекты.

Наиболее простым способом получения магнитного потока является пропускание тока плотностью 15-20 А/мм по виткам сварочной проволоки, намотанной витками на изделие. Количество витков обычно составляет 3-6. Для намагничивания соединения рекомендуется применять постоянный ток.

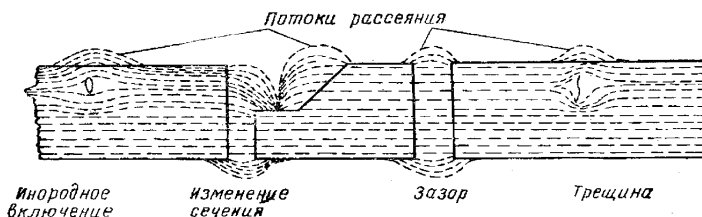


Рис. 4.1. Магнитные поля рассеяния, фиксируемые при магнитной дефектоскопии.

Согласно ГОСТ 24450-80 по способу получения первичной информации различают следующие методы магнитного вида контроля:

- Магнитопорошковый (МП) - метод магнитного неразрушающего контроля, основанный на использовании в качестве индикатора магнитного порошка. Наиболее распространенный и востребованный, отличающийся простотой применения, высокой чувствительностью и универсальностью, используемый для обнаружения поверхностных и расположенных на глубине до 2 мм дефектов (рис.4.2 –4.3).

- Феррозондовый (ФЗ) - метод магнитного неразрушающего контроля, основанный на регистрации магнитных полей

объекта

контроля феррозондовыми преобразователями;
 - Индукционный (И) - метод магнитного неразрушающего контроля,

основанный на регистрации магнитных полей объекта контроля индукционными преобразователями;

- Магнитографический метод (МГ) - метод магнитного неразрушающего контроля, основанный на записи магнитных полей объекта контроля на магнитный носитель с воспроизведением сигналаграммы (по ГОСТ 13699-91);

- Метод эффекта Холла (ЭХ) - метод магнитного неразрушающего контроля, основанный на регистрации магнитных полей объекта контроля преобразователями Холла;

- Магниторезисторный (МР) - метод магнитного неразрушающего контроля, основанный на регистрации магнитного поля объекта контроля магниторезистивными преобразователями;

- Магнитополупроводниковый (МПП) - метод магнитного неразрушающего контроля, основанный на регистрации магнитного поля объекта контроля магнитополупроводниковыми приборами;

- Пондеромоторный (ПМ) - метод магнитного неразрушающего контроля, основанный на пондеромоторном (на основе силы, действующей на электрический заряд в электромагнитном поле) взаимодействии регистрируемого магнитного поля объекта контроля и магнитного поля постоянного магнита, электромагнита или рамки с током;



Рис. 4.2. Магнитопорошковый контроль сварного соединения.



Рис. 4.3. Осадок магнитного порошка (из суспензии) на невидимых глазом закалочных трещинах стальной детали.

4.1. ОБЪЕКТ КОНТРОЛЯ.

Диагностика с помощью магнитопорошкового метода подходит для контроля качества изделий из ферромагнитных материалов (стали, чугуна), то есть материалов с высокой магнитной проницаемостью. Она позволяет выявить как на стадии производства, так и в процессе эксплуатации различные тонкие поверхностные и подповерхностные изъяны металла: закаты, поры, непровары, надрывы, флокены, трещины и др. Магнитные методы находят применение на объектах котлонадзора, в системах газоснабжения (газораспределения), в подъемных машинах (например, для контроля тяговых канатов) и сооружениях (рис. 4.4 – 4.5), объектах горнорудной, угольной, нефтяной, газовой металлургической промышленности, при контроле оборудования металлургической промышленности, а также оборудования взрывопожароопасных и химически опасных производств на объектах транспорта, хранения и переработки зерна, при ремонте и реконструкции и зданий и сооружений.

Сканер контроля днищ резервуаров Floormap3Di, оснащенный монитором для построения чертежа локализации выявляемых дефектов, представлен на рис. 4.6.

Неразрушающий контроль

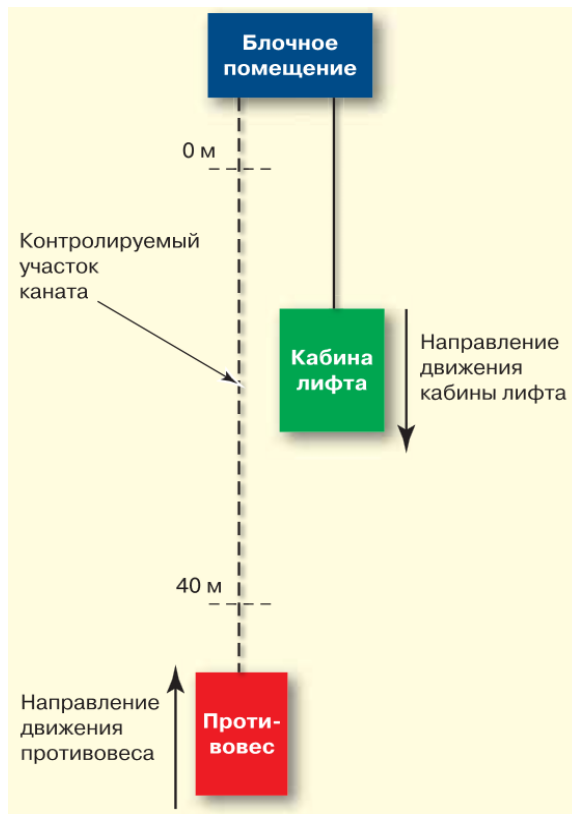


Рисунок 4.4. Схема расположения участков тяговых канатов при проведении их магнитной дефектоскопии.

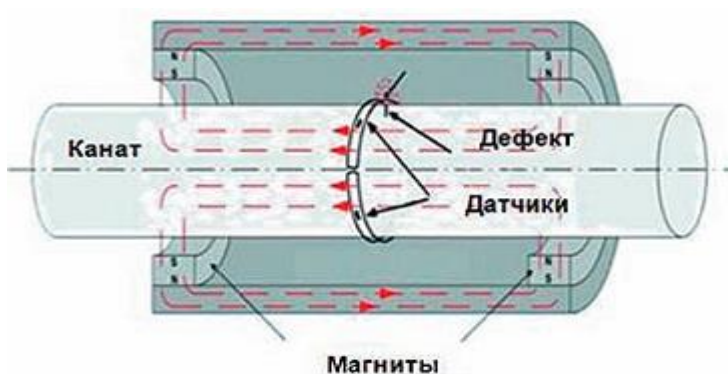


Рисунок 4.5. Принцип действия дефектоскопа при контроле тяговых канатов.



а)



б)

Рисунок 4.6. Внешний вид сканера днищ резервуаров Floormap3Di (а) и

его монитора (б), создающих чертёж исследуемой поверхности с позиционированием дефектов – трещин, раковин, коррозии.

4.2. МАТЕРИАЛЫ, ПОДЛЕЖАЩИЕ КОНТРОЛЮ.

Металлические элементы машин и конструкций с высокой магнитной проницаемостью.

4.3. ВЫЯВЛЯЕМЫЕ ОТКЛОНЕНИЯ.

Поверхностные деформации, трещины (рис.4.7 – 4.8), расслоения, коррозионные процессы.

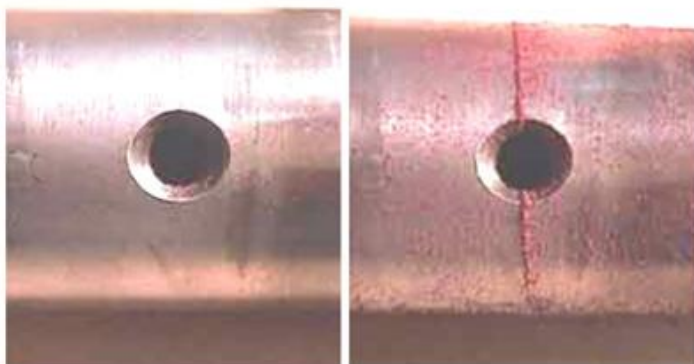


Рисунок 4.7. Поверхность детали с трещиной до и после магнитопорошкового контроля сухим порошком.

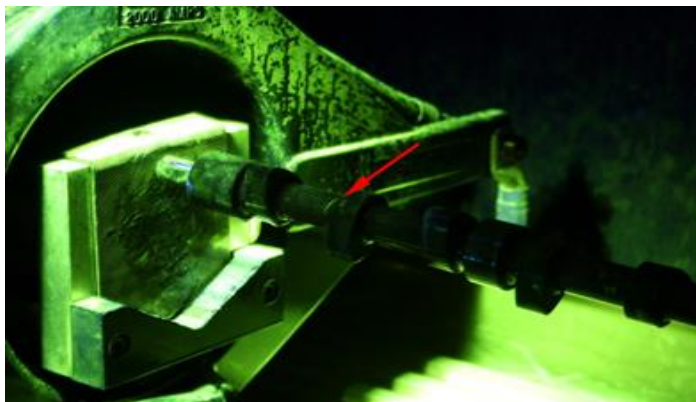


Рисунок 4.8. Трещина на валу, обнаруженная с использованием люминесцентного порошка.

4.4. ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА.

4.4.1. При проведении магнитопорошкового контроля в зависимости от конфигурации, размеров объектов контроля и условий проведения работ (на высоте, в цехе и т.п.) может быть использована следующая аппаратура:

- универсальные (портативные, переносные) и специализированные магнитопорошковые дефектоскопы, разработанные применительно к магнитопорошковому контролю однотипных конструкций (деталей);
- универсальные стационарные дефектоскопы (рис. 4.9);
- переносные (как правило, фиксируемые на конструкции) источники освещения участка контролируемой поверхности;
- приборы для измерения параметров намагничивающего и размагничивающего поля (напряженности или индукции) с погрешностью не более 10 %;
- приборы для определения кинематической или условной вязкости суспензий (индикаторов) при магнитопорошковом контроле;
- приборы для измерения уровня освещенности и ультрафиолетовой облученности участка контролируемой поверхности;
- размагничивающие устройства и приборы для оценки уровня размагничивания (при необходимости размагничивания объектов после контроля).
- контрольные образцы.

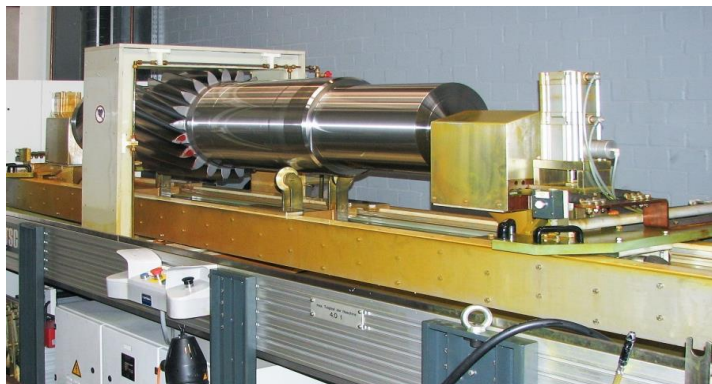


Рисунок 4.9. Система магнитного контроля крупногабаритных валов с переходными диаметрами.

4.4.2. Дефектоскопы с источником намагничивающего тока должны иметь измерители значений намагничивающего тока с погрешностью не более $\pm 10\%$.

4.4.3. Технические средства, относящиеся к средствам измерений, подлежат периодической метрологической поверке.

4.4.4. Магнитопорошковые дефектоскопы-намагничивающие устройства (рис. 4.10 - 4.11), после изготовления подлежат проверке на соответствие техническим условиям, а после ремонта и периодически в процессе эксплуатации подлежат проверке на работоспособность.

4.4.5. Магнитные порошки и суспензии.

4.4.5.1. В качестве магнитных индикаторов при магнитопорошковом контроле применяют черные или цветные и люминесцентные магнитные порошки в сухом виде или в составе суспензий.

4.4.5.2. Цвет порошка выбирают с учетом обеспечения максимального контраста с цветом контролируемой поверхности.

4.4.5.3. Люминесцентные магнитные порошки используют при контроле конструкций и деталей как со светлой, так и с темной поверхностью.

4.4.5.4. Средний размер частиц магнитного порошка, предназначенного для нанесения сухим способом, должен быть

не более



Рисунок 4.10. Процедура проведения магнитопорошковой дефектоскопии.



Рисунок 4.11. Дефектоскоп магнитопорошковый МД12 ПШ.

4.4.5.5. 200 мкм, а при контроле объектов способом воздушной взвеси порошка - не более 10 мкм. Максимальный размер

Неразрушающий контроль

частиц магнитных порошков, предназначенных для использования в суспензиях, должен быть не более 60 мкм.

4.4.5.6. Качество каждой партии магнитных порошков, поступающих с завода-изготовителя, а также по окончании срока годности, указанного в сертификате или ТУ, оценивают на соответствие ТУ. Выявляющую способность магнитных порошков оценивают с помощью специализированных измерительных приборов либо контрольных образцов для магнитопорошкового контроля. У порошков железных ([ГОСТ 9849](#)) контролируют только гранулометрический состав по [ГОСТ 18318](#) на сетках из ряда 0,071 - 0,045 мм. На рабочих местах контроля качество магнитных индикаторов перед применением проверяют с помощью контрольных образцов с естественными или искусственными дефектами.

4.4.5.7. Для контроля должны применяться порошки из неповрежденных упаковок с не истекшим сроком хранения. Порошки, имеющие следы коррозии, посторонние примеси или плотно слежавшиеся комки, независимо от гарантийного срока хранения к применению не допускаются.

4.4.5.8. Рекомендуемая концентрация магнитного порошка в суспензии должна составлять:

(25 ± 5) г/л - для черного или цветного (нелюминесцентного) порошка; (4 ± 1) г/л - для люминесцентного.

- при использовании концентратов магнитных суспензий (магнитных паст и др.) их концентрацию в суспензии устанавливают в соответствии с ТУ на них. В технически обоснованных случаях устанавливают другие значения концентрации магнитного порошка в суспензии.

4.4.5.9. Дисперсионная среда, то есть жидкая основа магнитной суспензии, должна иметь кинематическую вязкость при температуре проведения контроля не более $36 \cdot 10^{-6}$ м²/с (36 сСт) ([ГОСТ 21105](#)). Вязкость дисперсионной среды суспензии на основе масла и маслокеросиновых смесей должна измеряться при ее приготовлении и периодически в процессе использования. При вязкости более $10 \cdot 10^{-6}$ м²/с (10 сСт) время стекания суспензии с контролируемой поверхности до ее осмотра должно быть не менее 20 с. При использовании порошка ПЖВ5 класса крупности 71 вязкость жидкой основы должна быть в пределах 25 - 36 сСт. Для остальных порошков нижний предел вязкости не ограничен. Вязкость дисперсионной среды измеряют капиллярным вискозиметром (например, марки ВПЖ-1, ВПЖ-2, ВПЖ-3, ВПЖ-4, Пинкевича). Вместо кинематической вязкости допускается измерять условную вязкость суспензий с помощью вискозиметров ВЗ-1, ВЗ-4 или ВЗ-

Неразрушающий контроль

246 с последующим переводом в кинематическую вязкость.

4.4.5.10. Дисперсионная среда суспензии должна также удовлетворять следующим требованиям:

- обеспечивать хорошую смачиваемость суспензией контролируемых поверхностей (не собираться в капли);
- не быть коррозионно-активной по отношению к контролируемым металлическим конструкциям и деталям;
- не оказывать токсичного воздействия на организм человека;
- не иметь резкого, неприятного запаха.

4.4.5.11. В качестве дисперсионной среды суспензий рекомендуется применять водопроводную воду (с антикоррозионными, антикоагуляционными, смачивающими и другими добавками) или минеральное масло. Технология применения суспензии, в которой в качестве дисперсионной среды используется керосин, должна быть согласована с противопожарной службой.

Примечание. Для стабилизации суспензии на основе керосина и его смеси с маслом с магнитным порошком в виде окислов железа рекомендуется добавлять в нее присадку Акор-1 ([ГОСТ 15171](#)) из расчета ($1 \pm 0,5$) г на литр.

4.4.5.12. Для приготовления суспензии рекомендуется использовать серийно выпускаемые пасты.

4.4.5.13. Сухой магнитный порошок, паста и магнитная суспензия во избежание загрязнения должны храниться в плотно закрытых емкостях, изготавливаемых из немагнитных материалов (пластмассы, алюминия и т.п.).

4.4.5.14. Водную суспензию необходимо оберегать от органических загрязнений (масла, керосина и т.п.), которые вызывают коагуляцию порошка и приводят к снижению чувствительности суспензии к полям рассеяния дефектов.

4.4.5.15. При многократном использовании концентрация магнитной суспензии перед проведением контроля должна проверяться анализатором концентрации суспензии или путем отстоя.

4.4.5.16. В случае нечеткого отложения порошка суспензии на дефекте контрольного образца либо появления значительного фона на бездефектной поверхности ее необходимо заменить. Если индикаторный след отложения порошка при этом не изменяется, необходимо проверить исправность дефектоскопа и уровень напряженности поля, создаваемого им.

4.4.6. Контрольные образцы.

4.4.6.1. Контрольные образцы предназначены для проверки работоспособности магнитопорошковых дефектоскопов и маг-

нитных индикаторов. Образцы представляют собой элементы конструкций, детали или специальные изделия с искусственными или естественными дефектами типа несплошности материала в виде щелей, цилиндрических отверстий или трещин различного происхождения.

4.4.6.2. Тип образца для проверки работоспособности дефектоскопов выбирают с учетом способов и схем намагничивания, на которые рассчитан дефектоскоп, расположения выявляемых дефектов по глубине (поверхностные или подповерхностные). Работоспособность дефектоскопов оценивают путем выявления дефектов на образцах при всех способах намагничивания, предусмотренных конструкцией данного дефектоскопа.

- контрольные образцы, представляющие собой объекты контроля (детали) с естественными или искусственными дефектами, используют также для определения и проверки режимов намагничивания и в целом технологии контроля.

4.4.6.3. В качестве искусственных дефектов на образцах служат плоские щели различной ширины или цилиндрические отверстия диаметром 2 - 2,5 мм, расположенные параллельно поверхности на различной глубине. Плоскость искусственных дефектов-щелей составляет угол с возможным направлением намагничивающего поля около 80 - 90°. Образцы могут быть покрыты слоем никеля или хрома толщиной 0,002 - 0,005 мм для предотвращения коррозии.

4.4.6.4. Контрольный образец изготавливают из высокохромистых сталей с содержанием хрома 10 - 15 % длиной (110 ± 10) мм, шириной (20 ± 1) мм и толщиной 4 - 5 мм.

4.4.6.5. После предварительной механической обработки заготовку образца шлифуют на глубину 0,2 - 0,3 мм с шероховатостью поверхности Ra не более 1,6 мкм и азотируют.

4.4.6.6. Азотирование образца проводят в атмосфере аммиака в три этапа:

- азотирование при температуре (540 ± 15) °С с выдержкой при этой температуре (20 ± 1) ч при степени диссоциации раствора (30 ± 3) %;

- азотирование при температуре (580 ± 15) °С с выдержкой при этой температуре (20 ± 1) ч при степени диссоциации раствора (60 ± 3) %;

- охлаждение образца в печи в атмосфере аммиака до 200 °С с последующей выдержкой на воздухе.

4.4.6.7. После азотирования рабочие (широкие) поверхности образцов шлифуют на глубину не более 0,05 мм (с обильным

охлаждением).

4.4.6.8. Толщину азотированного слоя измеряют с помощью микроскопа на подготовленном микрошлифе.

4.4.6.9. Для получения искусственных трещин образец устанавливают на две опоры стола винтового пресса и через призму плавно изгибают до появления характерного хруста, свидетельствующего о разрушении азотированного слоя. За глубину образовавшихся трещин принимают толщину азотированного слоя. Ширину (раскрытие) образовавшихся трещин измеряют на микроскопе.

4.4.6.10. Полученные образцы маркируют, подвергают контролю методом магнитопорошковой дефектоскопии и фотографируют либо готовят дефектограмму другим способом.

4.4.6.11. Аттестацию контрольных образцов проводит метрологическая служба или лаборатория неразрушающего контроля.

4.4.6.12. Образцы после контроля размагничивают, очищают от следов магнитного индикатора, сушат и хранят в отдельной коробке в сухом помещении.

Допускается использовать в качестве контрольных образцов детали или элементы конструкций с мелкими дефектами, обнаруженными при магнитопорошковом контроле.

4.4.6.13. При изготовлении образцы аттестуют. По результатам аттестации составляют паспорт, в котором указывают: предприятие-изготовитель образца, номер образца, марку материала образца, назначение, способ и режим намагничивания, требования к индикаторным материалам, типы и размеры имеющихся на образце дефектов. К образцу прилагают дефектограмму: слепок имеющихся дефектов, их фотографию или эскиз.

4.4.6.14. Контрольные образцы не являются средствами измерений и периодической метрологической поверке не подлежат. Они подвергаются периодической проверке на работоспособность.

4.4.6.15. Пример формы паспорта на контрольный образец приведен на рис. 4.12.

Неразрушающий контроль

Форма паспорта на контрольный образец

ПАСПОРТ
на контрольный образец № _

Образец предназначен для оценки работоспособности магнитопорошкового дефектоскопа, магнитного порошка или магнитной суспензии.

Изготовитель образца _____

Образец изготовлен из стали _____

Дата изготовления образца _____

Способ и режим намагничивания образца _____

Магнитный индикатор _____

На образце имеется _____ поверхностных линейных дефектов - трещин.

Номер выявленного дефекта	Место расположения дефекта	Длина выявляемой части дефекта, мм

Образец проверен.

Подлежит проверке на работоспособность через 5 лет.

К образцу прилагается дефектограмма (фотография) поверхности образца с индикаторным рисунком выявленных дефектов.

Рисунок 4.12. Пример формы паспорта на контрольный образец.

4.5. ТЕХНОЛОГИЯ МАГНИТОПОРОШКОВОГО КОНТРОЛЯ.

4.5.1. При магнитопорошковом контроле выполняют следующие технологические операции:

- намагничивание объекта контроля;
- нанесение на него магнитного индикатора;
- осмотр поверхности объекта в целях обнаружения дефектов;

- оценка результатов контроля;
- размагничивание объектов контроля.

4.5.2. Намагничивание объекта контроля.

4.5.2.1. Используют три вида намагничивания: продольное (полюсное); циркулярное; комбинированное. Способы и схемы намагничивания при проведении магнитопорошкового контроля приведены на рис. 4.13.

Неразрушающий контроль

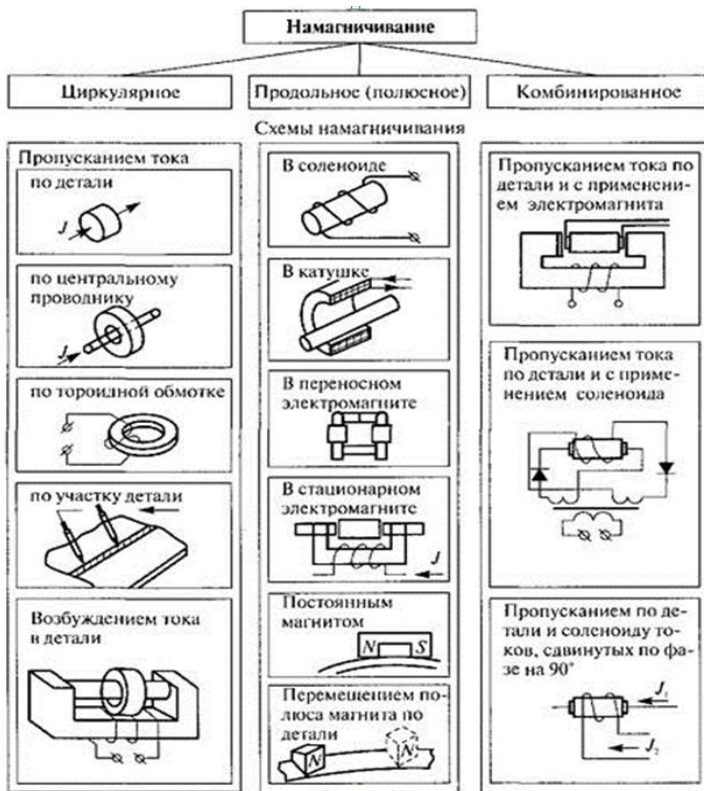


Рисунок 4.13. Виды, способы и схемы намагничивания объектов контроля.

4.5.2.2. Продольное (полюсное) намагничивание осуществляют с помощью соленоидов, электромагнитов или устройств на постоянных магнитах.

- при продольном намагничивании преимущественно обнаруживаются дефекты поперечной ориентации. Выявление продольных дефектов не гарантируется.

4.5.2.3. Циркулярное намагничивание осуществляют путем пропускания тока по контролируемому объекту или по центральному проводнику (медному стержню, кабелю), проходящему через сквозное отверстие в объекте. Рекомендуется размещать стержень по оси этого отверстия. Допускается проводить намагничивание одновременно нескольких деталей, надетых на стержень.

- при циркулярном намагничивании преимущественно обнаруживаются дефекты продольной ориентации и радиально направленные дефекты на торцевых поверхностях объектов. Выявление поперечных дефектов не гарантируется.

Неразрушающий контроль

Примечания:

- при комбинированном намагничивании намагничивающий ток для циркулярного и полюсного намагничивания определяют по приведенным в настоящих Методических указаниях формулам.

- допускается устанавливать режим намагничивания экспериментально на образце с дефектами, представляющем собой объект контроля или его часть.

4.5.2.4. При необходимости выявления дефектов различного направления объекты контролируют, намагничивая в двух или более направлениях, а также применяют комбинированное намагничивание.

4.5.2.5. Циркулярное намагничивание при контроле внутренних поверхностей объектов проводят путем пропускания тока по вставленному в отверстие стержню, покрытому изоляционным материалом.

- продольное намагничивание таких объектов выполняют с применением соленоида, вставляемого во внутреннюю полость объектов.

4.5.2.6. При последовательном намагничивании объекта продольным, а затем циркулярным полем промежуточное размагничивание не проводят, если остаточная намагниченность не оказывает влияния на последующие операции контроля.

4.5.2.7. Намагничивание объектов проводят полем постоянного, выпрямленного, переменного или импульсного тока. При намагничивании переменным или импульсным полем намагничивается только поверхностный слой объекта контроля, что позволяет выявить только поверхностные дефекты. При намагничивании постоянным током намагничиваются поверхностный и подповерхностный слои, что позволяет выявлять как поверхностные, так и подповерхностные дефекты (на глубине до 2 мм).

4.5.2.8. При магнитопорошковом контроле применяют два способа контроля: способ остаточной намагниченности (СОН) и способ приложенного поля (СПП).

4.5.2.9. Способ остаточной намагниченности применяют, если коэрцитивная сила материала объекта составляет более 9,5 А/см (12 Э).

4.5.2.10. При необходимости улучшения выявляемости дефектов способом остаточной намагниченности при намагничивании с применением соленоида рекомендуется использовать источник питания, обеспечивающий при выключении уменьшение намагничивающего тока от максимального значения до нуля за время не более 5 мс.

Неразрушающий контроль

4.5.2.11. При контроле СОН режим намагничивания объектов (значение намагничивающего тока или напряженность магнитного поля) выбирают так, чтобы напряженность поля соответствовала техническому магнитному насыщению материала.

4.5.2.12. При контроле с применением СОН ток циркулярного намагничивания рассчитывают по максимальному диаметру контролируемого объекта или по максимально удаленным зонам от оси контролируемого объекта.

4.5.2.13. При применении СПП для объектов, у которых различные участки резко отличаются друг от друга по сечению, контроль следует проводить в два или более приемов, подбирая в каждом случае ток циркулярного намагничивания соответственно размеру (диаметру) объекта в контролируемых зонах.

4.5.2.14. Для уменьшения вероятности прижогов и локального нагрева намагничивающих устройств и мест ввода тока в проверяемые объекты при контроле СПП рекомендуется применять прерывистый режим намагничивания, при котором ток по проводникам намагничивающего устройства пропускают в течение 0,1 - 3,0 с с перерывами до 5 с.

4.5.2.15. При комбинированном намагничивании обеспечивается возможность одновременного обнаружения различно ориентированных дефектов.

4.5.2.16. Комбинированное намагничивание осуществляют путем наложения на объект контроля двух или более различно направленных магнитных полей.

При комбинированном намагничивании используют:

- переменные синусоидальные, выпрямленные одно- или двухполупериодные магнитные поля, постоянное магнитное поле в сочетании с каким-либо переменным;

- продольное намагничивание с помощью соленоидов или электромагнитов постоянного тока в сочетании с циркулярным намагничиванием переменным током;

- однополупериодные выпрямленные магнитные поля, сдвинутые по фазе на 120° .

4.5.2.17. При невозможности одновременного намагничивания всего объекта (например, при контроле объектов больших размеров или сложной формы) намагничивание с последующим выполнением других операций контроля следует проводить по отдельным участкам. Для этого, как правило, используют выносные намагничивающие средства: выносные электроконтакты, приставные электромагниты, устройства на постоянных магнитах, витки гибкого кабеля, накладываемые на намагничиваемые

участки объекта, разъемные соленоиды и другие средства.

4.5.2.18. При контроле СПП значения тангенциальной H_t и нормальной H_n составляющих вектора напряженности магнитного поля на контролируемой поверхности должны удовлетворять условию $H_n/H_t \leq 3$.

4.5.2.19. При контроле объектов с большим размагничивающим фактором, имеющих отношение длины к корню квадратному из площади поперечного сечения (или максимальному размеру поперечного сечения) менее 5, при полюсном намагничивании в разомкнутой цепи составляют объекты контроля в цепочки, размещая торцевыми поверхностями друг к другу, либо применяют удлинительные наконечники, либо используют переменный намагничивающий ток с частотой 50 Гц и более или импульсный ток.

Площадь соприкосновения деталей, составленных в цепочки, должна быть не менее $1/3$ площади их торцевых поверхностей.

4.5.2.20. Значение тока при циркулярном намагничивании определяют в зависимости от требуемого значения тангенциальной составляющей напряженности магнитного поля на контролируемой поверхности, формы и размеров сечения объектов контроля по формулам, приведенным в п. 6.2.22.

4.5.2.21. Значение намагничивающего тока допускается определять и проверять экспериментально следующими способами:

- по выявлению естественных дефектов на контрольных образцах, которые представляют собой проверяемые объекты (или их участки) с трещинами минимального раскрытия в проверяемых зонах;
- по выявлению искусственных дефектов на контрольных образцах, представляющих собой проверяемые объекты с дефектами;
- по установлению заданного значения тангенциальной составляющей магнитного поля на проверяемых объектах в зонах контроля, определяемой с применением приборов измерения напряженности магнитного поля.

Применение контрольных образцов в виде пластин, стержней, дисков и т.п., в том числе образцов с трещинами минимальных размеров, для определения режимов намагничивания объектов контроля другой формы и размеров не допускается.

4.5.2.22. Расчетное значение тока I в амперах для циркулярного намагничивания деталей относительно просто-

го сечения определяют по формулам:

для объектов в виде цилиндров диаметром D , см: $I = 3ND$.
 Здесь N - заданная напряженность магнитного поля, А/см. Для объектов, сечение которых в зоне контроля отличается от круга, за диаметр D принимают наибольший размер поперечного сечения. При сложной форме сечения объекта в качестве D принимают эквивалентный диаметр, который рассчитывают по соотношениям:

$$D = P/\pi \approx 0,3P,$$

где P - периметр сечения объекта в зоне контроля, мм,
 или

$$D \approx \sqrt{S},$$

где S - площадь поперечного сечения в той же зоне, мм²;
 для бруска прямоугольного сечения шириной b и толщиной h , мм:

при $b/h \geq 10$; $I = 0,2N_b$;

при $b/h < 10$: $I = 0,2N(b + h)$,

где N - заданная напряженность магнитного поля, А/см.

Расчет тока для деталей, имеющих форму, близкую к одной из вышеуказанных, проводится по тем же формулам.

4.5.2.23. Для деталей сложной формы силу тока циркулярного намагничивания на первом этапе определяют по тем же формулам, а затем уточняют экспериментально или путем установки тока, который обеспечивает заданную напряженность поля.

4.5.2.24. Минимальное H_{\min} и максимальное H_{\max} значения напряженности приложенного магнитного поля, А/см, определяют по формулам:

минимальное значение

$$H_{\min} = 15 + 1,1H_c;$$

максимальное

$$H_{\max} = 40 + 1,5H_c,$$

где H_c - коэрцитивная сила материала объекта контроля, А/см.

4.5.3. Нанесение магнитного индикатора (порошка, суспензии) на контролируруемую поверхность.

4.5.3.1. Магнитный индикатор на контролируемый участок поверхности наносят в сухом виде или в виде магнитной суспензии.

4.5.3.2. Сухой порошок наносят на контролируемую поверхность с помощью распылителей (резиновых груш, пульверизи-

Неразрушающий контроль

заторов, качающихся сит и др.). Порошок наносят равномерно, без образования более темных (обогащенных) или светлых (обедненных порошком) участков.

4.5.3.3. Магнитную суспензию наносят на контролируемую поверхность путем полива объекта либо путем погружения небольших деталей в ванну с хорошо перемешанной суспензией.

При поливе объект располагают так, чтобы суспензия стекала с контролируемой поверхности, не застаиваясь в отдельных местах (углублениях, «карманах», между ребрами и др.).

4.5.3.4. При контроле СПП суспензию начинают наносить перед включением намагничивающего тока в намагничивающем устройстве, а заканчивают до того, как будет выключено намагничивающее поле.

Ток в намагничивающем устройстве выключают после стекания основной массы суспензии с поверхности объекта. Осмотр поверхности проводят после выключения тока в намагничивающем устройстве.

4.5.3.5. При контроле СОН магнитный индикатор наносят на

контролируемую поверхность после снятия намагничивающего поля (выключения тока в намагничивающем устройстве), но не позднее, чем через 1 час после намагничивания. Осмотр контролируемой поверхности проводят после стекания излишков суспензии.

4.5.3.6. При контроле с применением переносных электромагнитов, устройств на постоянных магнитах суспензию наносят до включения тока и во время действия магнитного поля на объект. Контроль объектов с применением электромагнитов постоянного тока и устройств на постоянных магнитах проводят только СПП.

4.5.3.7. На вертикальные поверхности и на поверхности, расположенные над головой, суспензию наносят из аэрозольного баллона или с помощью пластмассовой емкости объемом 200 - 500 мл, в пробку которой вставлена трубочка диаметром 5 - 6 мм.

4.5.4. Осмотр контролируемых поверхностей.

4.5.4.1. Осмотр зон контроля объектов, как правило, проводят невооруженным глазом или с помощью лупы с 2 - 4 или 7-кратным увеличением.

4.5.4.2. При использовании магнитной суспензии осмотр выполняют после стекания основной ее массы с контролируемого

Неразрушающий контроль

участка поверхности объекта.

4.5.4.3. При осмотре необходимо принимать меры для предотвращения стирания магнитного порошка с дефектов. В случаях стирания отложений порошка контроль следует повторить. Повторный контроль проводят также в случае образования нечетких индикаторных рисунков.

4.5.4.4. Осмотр внутренних полостей объектов проводят с помощью специальных зондов, эндоскопов, поворотных зеркал и других специальных смотровых устройств, изготовленных из немагнитных материалов.

4.5.4.5. Освещенность осматриваемой поверхности объектов при использовании черных и цветных нелюминесцирующих магнитных порошков должна быть не менее 1000 лк.

4.5.4.6. На стационарных рабочих местах осмотра объектов должно применяться только комбинированное освещение (общее совместно с местным). Как правило, должны использоваться разрядные лампы: для общего освещения - типа ЛБ, ЛХБ, МГЛ, для местного - типа ЛБЦТ, ЛДЦ, ЛДЦ УФ. Для местного освещения допускается применение ламп накаливания, но только в молочной или матированной колбе. Могут использоваться галогенные лампы. Ксеноновые лампы применять не допускается. Для исключения появления бликов на полированных контролируемых поверхностях, смоченных магнитной суспензией, рабочие места осмотра объектов контроля оборудуют светильниками с непрозрачивающими отражателями или рассеивателями так, чтобы их светящиеся элементы не попадали в поле зрения работающих. Местное освещение рабочих мест оборудуют регуляторами освещения.

4.5.4.7. На стационарных рабочих местах осмотра объектов контроля в виде стола материал и цвет покрытия его рабочей поверхности выбирают так, чтобы уменьшить яркостные контрасты в поле зрения выполняющего контроль специалиста, ускорить переадаптацию при чередовании наблюдения деталей и фона, обеспечить устойчивость контрастной чувствительности глаза, а также не допустить слепящего действия света, отраженного от покрытия. Например, при осмотре шлифованных деталей и других объектов со светлой поверхностью рабочую поверхность стола покрывают неблестящим светло-зеленым, светло-голубым или зеленовато-голубым пластиком.

4.5.4.8. Осмотр объектов, обработанных суспензией с люминесцентным магнитным порошком, проводят при ультрафиолетовом облучении, при этом уровень облученности контролируе-

мой поверхности ультрафиолетовым излучением должен быть не ниже 2000 мкВт/см². Длина волны ультрафиолетового излучения должна быть в диапазоне от 315 до 400 нм с максимумом излучения около 365 нм.

4.5.4.9. При отсутствии люминесцентных или цветных магнитных индикаторов допускается контроль элементов конструкций и деталей с темной поверхностью выполнять с помощью суспензий, приготовленных на черных порошках или пастах. Для обеспечения необходимого контраста контролируемые поверхности в этом случае покрывают тонким слоем белой или желтой краски согласно п. 5.10.

4.5.4.10. В отдельных случаях контроля небольших деталей для расшифровки результатов контроля применяют бинокулярный стереоскопический микроскоп, например, типа МБС-2, МБС-10, МСП-1 или другого аналогичного типа.

4.5.4.11. В целях повышения качества контроля целесообразно через каждый час работы по осмотру контролируемой поверхности делать перерыв на 10 - 15 мин.

4.5.5. Оценка результатов контроля.

4.5.5.1. При магнитопорошковом контроле дефекты обнаруживают и оценивают по наличию на контролируемой поверхности индикаторного рисунка в виде осадений магнитного порошка, видимых невооруженным глазом или с использованием луп и воспроизводимых повторно после каждого нового нанесения магнитной суспензии или порошка.

Примечание. При осмотре различают индикаторные рисунки округлой и удлиненной форм. Индикаторным рисунком округлой формы считают рисунок, у которого отношение наибольшего размера к наименьшему не более 3. В противном случае индикаторный рисунок считают удлиненным.

4.5.5.2. Индикаторные рисунки, образующиеся на дефектах типа нарушений сплошности материала, а также в местах резких изменений сечения объектов контроля, магнитных свойств материала и т.п., имеют следующие характерные особенности:

плоскостные дефекты (трещины, расслоения, несплавления) проявляются в виде удлиненных индикаторных рисунков;

объемные дефекты (поры, раковины, включения) образуют округлые индикаторные рисунки;

подповерхностные дефекты обычно дают нечеткое осаждение порошка;

резкие переходы от одного сечения контролируемого изделия к другому образуют размытые, нечеткие осадения;

резкие местные изменения магнитных свойств металла (например, по границе зоны термического влияния или по границе «металл шва - основной металл») и т.п. вызывают размытые, нечеткие осаднения.

4.5.5.3. Для идентификации причин осаждения магнитного порошка на поверхности объектов контроля рекомендуется применять фотографии характерных индикаторных рисунков (включая и характерные для конкретных объектов осаждения по ложным «дефектам»).

4.5.5.4. При многократном повторении сомнительных осадений порошка лаборатория должна провести металлографическое исследование. По результатам исследования принимается решение о годности объектов контроля с аналогичным осаждением порошка.

При массовых случаях осаждения порошка по структурной или магнитной неоднородности материала магнитопорошковый контроль объекта следует заменить другим методом неразрушающего контроля. Если осаднения порошка по структурной неоднородности не носят массового характера, но возникают затруднения с расшифровкой этих осаднений, то магнитопорошковый контроль необходимо продублировать каким-либо другим методом контроля.

4.5.5.5. Результаты контроля оценивают в соответствии с нормами, предусмотренными документацией на изготовление, ремонт, реконструкцию, эксплуатацию, техническое диагностирование (освидетельствование) объектов контроля.

Качество объектов контроля допускается оценивать как по индикаторным рисункам, так и по фактическим показателям (размерам, количеству и распределению) выявленных несплошностей.

4.5.6. Оформление результатов контроля.

4.5.6.1. Результаты контроля каждого объекта должны быть зафиксированы в журналах и заключениях. В журнале и заключении должны быть указаны: наименование и индекс изделия, объект контроля, материал объекта контроля, объем контроля, размеры и расположение контролируемых участков;

нормативная техническая документация, по которой выполнялся контроль;

способ контроля (СОН или СПП);

тип и заводской номер применяемой аппаратуры;

магнитный индикатор (суспензия, порошок и т.п.), использованный при контроле;

Неразрушающий контроль

схема и режим намагничивания;
результаты контроля (обнаруженные дефекты). Дефекты должны быть отмечены как на контролируемых участках поверхности объекта, так и на эскизах (схемах контроля) с указанием координат и протяженности;

дата контроля;
фамилия, инициалы и подпись специалиста, проводившего контроль;

уровень квалификации, номер удостоверения, дата выдачи и наименование организации, выдавшей удостоверение специалисту;

фамилия, инициалы и подпись руководителя лаборатории неразрушающего контроля.

4.5.6.2. Журналы и копии заключений должны храниться не менее нормативного срока эксплуатации технических устройств и сооружений при контроле в процессе их изготовления (строительства) и не менее 5 лет в других случаях.

4.5.7. Размагничивание объектов контроля.

4.5.7.1. Объекты контроля, на которых был проведен магнитопорошковый контроль, должны быть размагничены в случаях, если их намагниченность вызывает погрешности в показаниях приборов, аппаратуры, датчиков, если намагниченность может вызвать накопление продуктов износа в подвижных сочленениях, а также, если остаточная намагниченность оказывает отрицательное влияние на последующие технологические операции. Подлежат размагничиванию и такие детали, как, например, валы, колеса, шестерни редукторов.

4.5.7.2. Размагничивание осуществляют путем воздействия на объект контроля знакопеременного магнитного поля с убывающей до нуля амплитудой. Для этого используют стационарные или переносные соленоиды и электромагниты, а также устройства (например, дефектоскопы), позволяющие пропускать по объекту контроля ток, достаточный для создания необходимого размагничивающего поля.

4.5.7.3. В зависимости от формы и размеров объектов размагничивание может осуществляться следующими способами:

продвижением детали через соленоид, питаемый переменным током, и удалением ее на расстояние не менее 0,7 м;

уменьшением до нуля тока в соленоиде переменного тока со вставленной в него размагничиваемой деталью. Если длина

детали больше длины соленоида, то размагничивание проводят по участкам;

удалением детали от электромагнита (или электромагнита от детали), питаемого переменным током или постоянным током с периодически изменяющимся направлением;

уменьшением до нуля переменного тока в электромагните, в междуполюсном пространстве которого находится размагничиваемая деталь или ее участок;

уменьшением до нуля переменного тока, проходящего либо по самой детали, либо по стержню (кабелю), пропущенному через полое отверстие детали;

перемагничиванием детали полем обратного направления. Напряженность перемагничивающего поля должна подбираться экспериментально так, чтобы после его выключения остаточная индукция детали была близка к нулю (применяется только для деталей простой формы).

При использовании переменного тока размагничивается слой детали, не превышающий глубины проникновения поля данной частоты в материал детали.

Допускается применение других эффективных способов размагничивания.

4.5.7.4. Участок конструкции или деталь можно размагнитить непосредственно после контроля в приложенном поле (СПП), если при этом используется дефектоскоп, снабженный устройством для размагничивания. При выключении дефектоскопа или при специальном переключении его на режим размагничивания происходит плавное уменьшение переменного размагничивающего тока.

4.5.7.5. После размагничивания уровень остаточной намагниченности на проконтролированных участках не должен превышать 5 А/см, если в нормативной технической документации не установлены другие значения поля, вызываемого остаточной намагниченностью.

4.5.7.6. Качество размагничивания контролируют с помощью магнитометра дефектоскопического, например МФ-24ФМ, либо измерителей или градиентометров магнитного поля других типов.

4.6. ТРЕБОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ.

4.6.1. При проведении работ по магнитопорошковому контролю специалист должен руководствоваться [ГОСТ 12.2.003](#), [ГОСТ](#)

[12.3.002](#), [СНиП 12-03-2001](#) «Безопасность труда в промышленности. Часть I. Общие требования», [СНиП 12-04-2002](#) «Безопасность труда в промышленности. Часть II. Строительное производство», Правилами технической эксплуатации электроустановок потребителей и Межотраслевыми правилами по охране труда (правилами безопасности) при эксплуатации электроустановок [ПОТ РМ-016-2001 ([РД 153-34.0-03.150-00](#))].

4.6.2. Уровень шума, создаваемый на рабочем месте дефектоскописта, не должен превышать норм, допустимых по [ГОСТ 12.1.003](#).

4.6.3. При организации работ по контролю должны соблюдаться требования пожарной безопасности по [ГОСТ 12.1.004](#).

4.6.4. Перед допуском к проведению контроля все лица, участвующие в его выполнении, проходят инструктаж по безопасным приемам выполнения работ с регистрацией в журнале по установленной форме. Инструктаж должен проводиться периодически в сроки, установленные приказом по организации (предприятию).

4.6.5. В случае выполнения контроля на высоте, внутри технических устройств (аппаратов) и в стесненных условиях специалисты, выполняющие контроль, должны пройти дополнительный инструктаж по технике безопасности согласно положению, действующему в организации (на предприятии). Работы на высоте, внутри аппаратов должны выполняться бригадой в составе не менее чем 2 или 3 человек в зависимости от степени опасности.

4.6.6. Запрещается работа на неустойчивых конструкциях и в местах, где возможно повреждение проводки электропитания дефектоскопов.

4.6.7. Подключение дефектоскопов к сети переменного тока осуществляют через розетки, оборудованные защитным контактом в соответствии с требованиями [ПУЭ](#) на специально оборудованных постах. При отсутствии на рабочем месте стационарных розеток подключение дефектоскопа к электрической сети проводит электротехнический персонал с соответствующей группой допуска по электробезопасности. Требования к подключению дефектоскопов должны соответствовать [Правилам устройства электроустановок](#).

4.6.8. Дефектоскопы с сетевым питанием, относящиеся к I классу защиты от поражения электрическим током, должны иметь исправную цепь заземления между корпусом прибора и заземляющим контактом штепсельной вилки (шиной заземления). Заземление производится гибким медным проводом сечением не менее

2,5 мм².

4.6.9. Рабочее место выполняющего контроль специалиста должно быть удалено от сварочных постов и защищено от лучистой энергии сварочной дуги.

4.6.10. При осмотре контролируемой поверхности в ультрафиолетовом излучении в случае отсутствия в дефектоскопе встроенных средств, обеспечивающих защиту глаз дефектоскописта от вредного воздействия ультрафиолетового излучения, следует применять защитные очки по [ГОСТ 12.4.013](#) со стеклами ЖС-4 толщиной не менее 3 мм (по [ГОСТ 9411](#)).

Ответственность за соблюдение правил безопасности персоналом при проведении контроля возлагается на руководителя лаборатории неразрушающего контроля.

5. МЕТОД КОНТРОЛЯ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ИНДЕНТИРОВАНИЕМ.

5.1 ОБЪЕКТ КОНТРОЛЯ.

Стальные элементы деталей машин и конструкций.

5.2. МАТЕРИАЛЫ, ПОДЛЕЖАЩИЕ КОНТРОЛЮ.

Черные и цветные металлы.

5.3. ВЫЯВЛЯЕМЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ.

Твердость, предел прочности.

5.4. ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА.

Прессы: Бринелля, Роквелла, Виккерса, прибор Польди, прибор Шора, Переносные портативные твердомеры «Proseq» «NOVOTEST T-УД1»

5.5. ОБЪЕМ И ПЕРИОДИЧНОСТЬ КОНТРОЛЯ.

Указывается в технологической карте контроля.

5.6. ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ КОНТРОЛЯ.

Под твердостью понимают способность материалов сопротивляться упругой деформации, пластической деформации и (или) разрушению в поверхностном слое. Измерение твердости является одним из широко распространенных видов механических испытаний металлов. Широкое применение этого вида испытаний обусловлено следующими его преимуществами:

- измерение твердости проводится без разрушения изделия (образца) и, следовательно, может проводиться непосредственно на готовой детали. Габариты деталей при этом могут колебаться в очень широких пределах – от нескольких десятых и сотых долей

Неразрушающий контроль

миллиметра (часовые пружины) до нескольких метров (станины станков, валки прокатных станов);

- методики измерения твердости и подготовки испытуемых образцов сравнительно просты и оперативны; их легко освоить;

- приборы и оборудование для измерения твердости, как правило, проще, чем при других методах испытаний. Их можно установить в любой лаборатории или в соответствующем участке цеха;

- по полученному значению твердости можно сделать предварительные выводы о других механических свойствах металла (сплава), так как большинство свойств металлов и сплавов определяются одним и тем же показателем – его структурой;

- измерение твердости позволяет судить о наличии (или отсутствии) в деталях упрочненных поверхностей в результате различных видов термической обработки сплавов, связанной с изменением структуры по сечению детали.

Применительно к приведённому выше определению твёрдости существует три способа её измерения, а именно:

- 1) способ упругого отскока.
- 2) способ вдавливания (внедрения).
- 3) способ царапания.

В промышленности используется очень большое количество металлов и их сплавов с самыми разнообразными механическими свойствами.

Это привело к тому, что в настоящее время существует около трех десятков методов испытания твердости, относящихся к перечисленным трём способам, причем каждый имеет вполне определенную область применения. Среди этого большого многообразия можно выделить несколько наиболее распространенных, методов основанных на одних и тех же принципах.

В технической литературе твердость всегда обозначается буквой Н (от англ. hardness – твердость). Следом за буквой Н всегда пишется одна или две буквы, обозначающие метод испытания твердости, например: HB – твердость по Бринеллю; HRA, HRB, HRC – твердость по Роквеллу (по шкалам А, В и С); HV – твердость по Виккерсу; HSD – твердость по Шору; HP – твердость по Польди; H_μ – микро-твердость и т.д.

Сущность некоторых методов испытания твердости металлов приведена ниже.

5.6.1. Измерение твердости по методу Бринелля.

При измерении твердости этим методом в поверхность изделия в течение определенного времени с усилием P вдавливается стальной закаленный или твердосплавной шарик диаметром 10; 5 или 2,5 мм. На поверхности образца получается отпечаток диаметром d (рис. 5.1). Для получения значения твердости необходимо измерить диаметр отпечатка и рассчитать площадь $F_{\text{отп}}$ шарового сегмента по выражению (5.1):

$$F_{\text{отп}} = \frac{\pi \cdot D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}{2} \quad (5.1)$$

Твердость HB ($\text{кгс}/\text{мм}^2$) определяется делением приложенной к шарiku нагрузки на площадь отпечатка, т.е.

$$HB = \frac{P}{F_{\text{отп}}} \quad \text{или} \quad HB = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (5.2)$$

5.6.1.1. Диаметр отпечатка измеряют специальной измерительной лупой с точностью 0,05 мм.

Для получения более точного результата диаметр отпечатка следует измерять в двух взаимно перпендикулярных направлениях.

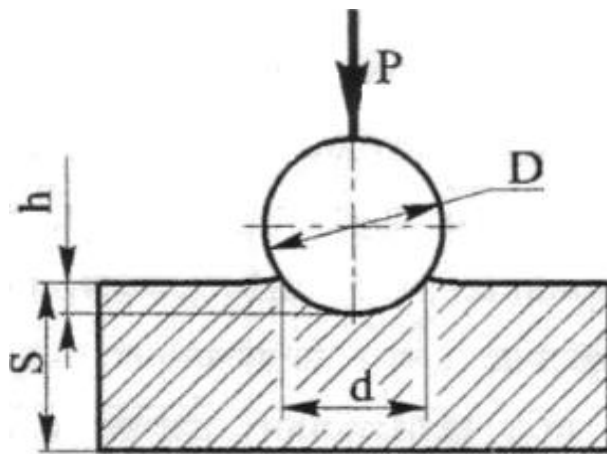


Рис. 5.1. Измерение твердости по Бринеллю.

На рисунке 5.2 показано расположение шкалы лупы относительно кромки отпечатка. Диаметр отпечатка, как видно из рисунка, равен 3,95 мм.

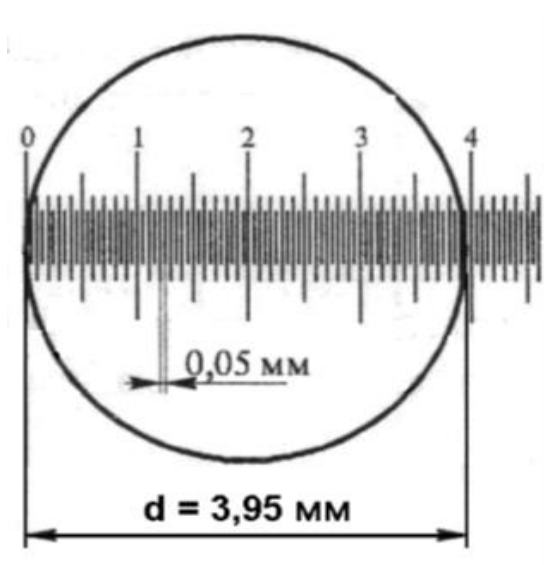


Рис. 5.2. Оценка диаметра отпечатка при определении твердости по Бринеллю.

5.6.1.2. Для устранения влияния наклепа металла и выпучивания краев образца расстояние между центрами двух соседних отпечатков должно быть не менее $4d$, а до края образца - не менее $2,5d$.

5.6.1.3. Время нагружения зависит от материала образца и составляет: 10 с – для черных металлов, 30 или 60 с – для цветных сплавов в зависимости от их твердости (от марки сплава, табл. 5.1).

5.6.1.4. При измерении тонких образцов необходимо соблюдать следующее условие: толщина образца S должна быть не менее 10-кратной глубины отпечатка h .

Глубину отпечатка можно определить по выражениям (5.3):

$$h = \frac{P}{\pi D \cdot HB} \quad \text{или} \quad h = \frac{(D - \sqrt{D^2 - d^2})}{2} \quad (5.3)$$

5.6.1.5. Выбор диаметра шарика и величины прилагаемой

Неразрушающий контроль

нагрузки производится по данным таблицы 5.1.

Таблица 5.1. Выбор параметров испытания по Бринеллю.

Материал	НВ кгс/мм ²	Толщина испытываемого образца S, мм	Диаметр шарика D, мм	Отношение диаметра шарика к нагрузке	Нагрузка P, Кгс	Время под нагрузкой, с
Чёрные металлы	140 – 150	>6	10	$30D^2$	3000	10
		3-6	5	$30D^2$	750	
		<3	2,5	$30D^2$	187,5	
	<140	>6	10	$10D^2$	1000	10
		3-6	5	$10D^2$	250	
		<3	2,5	$10D^2$	62,5	
Цветные металлы на основе меди; дуралю- мины	>130	>6	10	$30D^2$	3000	30
		3-6	5	$30D^2$	750	
		<3	2,5	$30D^2$	187,5	
	35 – 130	>6	10	$10D^2$	1000	30
		3-6	5	$10D^2$	250	
		<3	2,5	$10D^2$	62,5	
Магние- вые сплавы, алюмини- й, олово, свинец, баббит	8 – 35	>6	10	$2,5D^2$	250	60
		3-6	5	$2,5D^2$	62,5	
		<3	2,5	$2,5D^2$	16,5	

5.6.1.6. Значение твердости записывают с учетом принятых при измерении режимов. Запись НВ 5/250/30 – 186 означает значение твердости 186 кгс/мм² получено при испытании шариком 5 мм, под нагрузкой 250 кгс с выдержкой 30 с. Упрощенная запись выглядит НВ 250.

5.6.1.7. Методом Бринелля можно испытывать материалы, твердость которых не превышает 450 единиц по Бринеллю. Измерение твердости по Бринеллю производится на специальном приборе – прессе Бринелля, который позволяет устанавливать необходимые нагрузки на шарик в диапазоне 187,5 ... 3000 кгс и время приложения нагрузки – 10, 30 или 60с.

5.6.2. Измерение твердости по методу Польди.

5.6.2.1. Между испытываемой поверхностью и эталонным об-

Неразрушающий контроль

разцом помещают стальной закаленный шарик диаметром 5... 10 мм.

5.6.2.2. По эталону наносят удар молотком (со стороны противоположной шарик), в результате чего на испытуемом образце и на эталоне твердости получаются отпечатки.

5.6.2.3. Замеряя диаметры отпечатков и зная твердость эталона НВЭ (в единицах Бринелля), вычисляют твердость образца НВ₀ (также в ед. Бринелля) по выражению (5.1):

$$HB_0 = HB_э * \left(\frac{d_э^2}{d_0^2}\right)$$

(5.4)

где $d_{э}$ и d_0 – диаметры отпечатков на эталоне и на образце. Полученное значение будет примерно равно твердости, определенной методом Бринелля в стандартных условиях. Этот метод обычно используют для приближенной оценки твердости и когда невозможно использовать стандартные методы.

5.6.3. Измерение твердости по методу Шора (HSD).

5.6.3.1. На испытуемую поверхность с высоты 19 мм свободно падает боек массой 36 г, боёк имеет алмазный закругленный наконечник. Под действием упругой отдачи материала боек отскакивает на высоту h . Твердость материала пропорциональна высоте отскока. В шкале Шора за 100 единиц твердости принята максимальная твердость закаленной на мартенсит эвтектоидной стали, что соответствует высоте отскока бойка на 13,6 мм.

5.6.3.2. Измеряется твердость деталей, имеющих массу не менее 5 кг, непосредственно на детали, либо при измерении образца устанавливаемого на основании с массой не менее 5 кг, деталь должна обладать массой не менее 0,1 кг и иметь толщину не менее 10 мм.

5.6.3.3. При измерении твердости изделий массой до 100г, они должны иметь толщину не менее 10мм и располагаться на столике прибора.

5.6.3.4. Поверхность изделия (образца), на которой определяется твердость, должна быть отполирована.

5.6.3.5. При криволинейной поверхности детали, на ней необходимо подготовить плоскую площадку, размер которой зависит от метода измерения. Прибор должен располагаться строго вертикально.

5.6.4. Измерение твердости по методу Роквелла.

5.6.4.1. Индентор (алмазный конус с углом при вершине 120° и

радиусом закругления 0,2 мм, или стальной закаленный шарик диаметром 1,588 мм) вдавливаются в испытуемый материал под действием двух последовательно прилагаемых нагрузок.

5.6.4.2. Предварительная P_0 , равная 10 кгс и основная P_1 , таким образом, общая нагрузка P на индентор в момент нагружения равна $P = P_0 + P_1$. Основная нагрузка изменяется в зависимости от индентора и испытуемого материала.

5.6.4.3. Для алмазного конуса, то основная нагрузка P_1 может быть или 50, или 140 кгс (общая нагрузка 60 и 150 кгс); если индентором является шарик, то основная нагрузка всегда равна 90 кгс (общая 100 кгс).

5.6.4.4. При использовании в качестве индентора алмазного конуса твердость материала оценивается по двум шкалам – А и С. На индикаторе прибора обе эти шкалы совмещены в одну, имеющую 100 делений (черная шкала).

5.6.4.5. При нагрузке на индентор 60 кгс эта шкала называется шкалой А и твердость в этом случае обозначается как HRA.

5.6.4.6. При нагрузке на индентор 150 кгс, шкала называется С и твердость в этом случае обозначается как HRC.

5.6.4.7. Если индентором служит шарик (при нагрузке 100 кгс), то отсчет твердости производится по шкале В (красная шкала), имеющей 130 делений и твердость в этом случае обозначается как HRB.

Мерой твердости в методе Роквелла является глубина проникновения индентора в испытуемый материал: одной единице твердости соответствует внедрение индентора на 0,002 мм. Схема измерения твердости конусом показана на рисунке 5.3; схема измерения шариком совершенно аналогична. Из рисунка видно, что вначале испытания индентор под действием предварительной нагрузки $P_0 = 10$ кгс вдавливается в поверхность на глубину h_0 (поз.1). Затем прикладывается основная нагрузка P_1 и под действием этой суммарной нагрузки $P = P_0 + P_1$ индентор внедряется в испытуемую поверхность на максимальную глубину, производя пластическую и упругую деформацию материала (поз.2). После того как нагружение закончилось (примерно в течение 5с), снимают основную нагрузку, оставляя предварительную.

Под действием упругих сил индентор частично поднимается вверх и занимает положение, соответствующее глубине проник-

новения h (поз.3), которая и характеризует твердость металла.

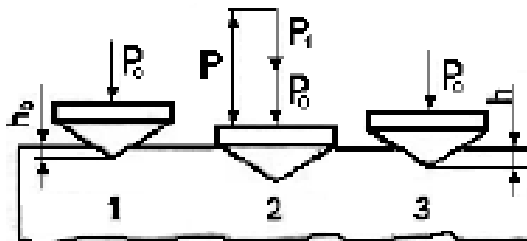


Рис. 5.3. Схема нагружения по методу Роквелла.

Шкалы прибора, с которых снимаются показания твердости, проградуированы в соответствии с глубиной h_0 . Численное значение твердости (безразмерная величина) указывается стрелкой индикатора по соответствующей шкале. Это обстоятельство объясняет удобство, простоту и быстроту определения твердости методом Роквелла.

При выборе режимов испытания твердости необходимо ориентировочно знать примерную твердость сплава (твердый, мягкий) и толщину образца.

- измерение шариком по шкале В применяется для отожженных и нормализованных сталей, меди и ее сплавов, дуралюминов и других сплавов, с твердостью HRB в диапазоне 25...100 ед. (HB65...240). Минимальная толщина образца 0,7 мм.

- измерение твердости конусом по шкале С применяется для закаленных сталей и сталей после отпуска. Пределы измерения в этом случае составляют примерно HRC 20...67 (HB220...710). Минимальная толщина образца 0,7 мм.

- измерение твердости конусом по шкале А применяется в тех случаях, когда нельзя применить измерение по шкале С. Это бывает в двух случаях:

- а). При измерении твердости очень твердых материалов (твердые и минералокерамические сплавы и другие инструментальные материалы). Применение в этом случае шкалы С, т.е. нагрузки на конус 150 кгс, может привести к повреждению алмаза;

- б). При измерении твердости тонких и твердых пластин и слоев, например, цементационного слоя (толщиной 0,4...0,7 мм). Применение в этом случае нагрузки 150 кгс приведет к продавливанию измеряемого слоя (образца).

- пределы измерения твердости по HRA составляют обычно

70...85 ед. (НВ 360...710).

В таблице 5.2 приведены режимы испытания твёрдости по Роквеллу.

Таблица 5.2. Режимы измерения твердости по Роквеллу

Материал	Твердость, НВ	Индентор	Нагрузка, кгс	Шкала	Обозначение твердости	Пределы измерения твердости	Минимальная толщина, мм
Мягкие металлы	<230	Стальной шарик	100	B	HRB	25...100	0,7
Закаленные и отпущенные стали	230-700	Алмазный конус	150	C	HRC	20...67	0,7
Твердые сплавы и тонкие изделия	>700	Алмазный конус	60	A	HRA	70...85	0,4

Измерение твердости производится на твердомере Роквелла, который позволяет устанавливать нужный индентор и прилагать к нему соответствующую нагрузку.

3.9.10. Измерение твердости по методу Виккерса (HV)

Метод заключается во внедрении в испытуемый металл алмазной пирамиды с углом при вершине между противоположными гранями 136° (рис. 5.4 - 5.5).



Рисунок 5.4. Универсальный твердомер HBRV-187.5ST с сенсорным экраном по Бринеллю, Роквеллу и Виккерсу.

3.9.10.1. Усилие вдавливания на прессе Виккерса выбирается в зависимости от толщины и твердости образца и составляет от 1 до 100 кгс.

3.9.10.2. Значение твердости получается делением приложенной к индентору нагрузки на площадь пирамидального отпечатка

(рис. 5.5 - 5.6), которую определяют по диагонали отпечатка по формулам (5.5 - 5.6).

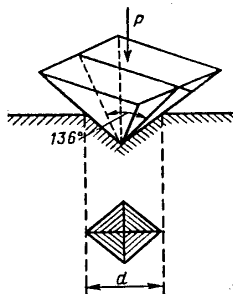


Рисунок 5.5. Схема измерения твердости по методу Виккерса.

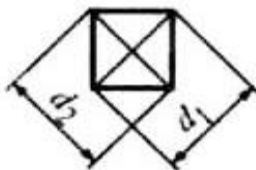


Рисунок 5.6. Отпечаток после измерения твердости по методу Виккерса.

$$HV = 1,8544P/d^2 \quad (5.5)$$

где d – среднее значение диагоналей отпечатка,

$$d = (d_1 + d_2)/2 \quad (5.6)$$

3.9.10.3. Метод является самым совершенным, поскольку обеспечивает наиболее точный результат, не требует смены индентора, применим к материалу любой твердости и толщиной не менее 1 мм (минимальная толщина образца должна быть больше диагонали отпечатка в 1,2 раза для стальных изделий и в 1,5 раза для изделий цветных металлов.). Метод требует очень тщательной подготовки поверхности – тонкого шлифования или полировки. Метод нежелательно применять при измерении твердости крупнозернистых и разнородных структур, так как при малом размере отпечатка (соизмеримом с размерами зерна) можно получить большой разброс данных.

3.9.11. Измерение микротвердости (Н_ц)

3.9.11.1. В отличие с метода Виккерса величина прилагаемой к пирамиде нагрузки – от 5 до 200 кгс.

3.9.11.2. Метод предназначен для измерения твердости очень тонких и однородных по структуре слоев, а так же отдельных зерен металла (сплава).

3.9.11.3. Измерение твердости производится под микроскопом при увеличении от 200 до 400 раз. Метод применяется в лабораторных условиях и, как правило, в исследовательских целях. Для измерения твердости этим методом поверхность образца необходимо полировать.

3.9.12. Измерение прочности по твердости.

Связь между прочностью металла и его твердостью впервые была исследована шведским металлургом Юханом Бринеллем (1849-1925г.г.), при этом высокая корреляция наблюдается при значениях твердости НВ > 175.

Между численным значением твердости НВ и пределом прочности на растяжение σ_B имеется достаточно хорошая связь (табл. 5.3), которая для некоторых материалов имеет следующий вид:

Таблица 5.3. Связь численного значения твердости НВ и предела прочности на растяжение σ_B :

Материал	Предел прочности на растяжение, σ_B , кгс/мм ²
Сталь	0,34 НВ
Медь, латунь, бронза	0,40 НВ
Алюминий	0,26 НВ
Дуралюмин	0,35 НВ
Сплавы цинка	0,09 НВ
Чугун серый	(НВ-40)/6

Переносной портативный твердомер «Proceq» работает на основе динамического метода отскока (рис. 5.5).



Рисунок 5.5 Измерение твердости металла трубы с помощью портативного твердомера фирмы Proceq.

Переносной портативный твердомер «NOVOTEST Т-УД1» представляет собой комбинированный универсальный прибор, в котором используется два способа измерения: ультразвуковой контактный импеданс и динамический, что дает возможность с помощью одного прибора контролировать практически любые изделия из металлов и их сплавов практически без ограничения по массе, структуре, конфигурации, степень термической и механической обработки объекта контроля (рис. 5.6).



Рисунок 5.6. Портативный твердомер NOVOTEST Т-УД1

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Инструкция по визуальному и измерительному контролю (РД 03-606-03). Серия 03. Выпуск 39 / Колл. авт. - М.: Федеральное государственное унитарное предприятие «Научно-технический центр по безопасности в промышленности Госгортехнадзора России», 2004
2. ГОСТ Р 55724-2013. Национальный Стандарт Российской Федерации Контроль Неразрушающий. Соединения Сварные.
3. ГОСТ 1497-84* «Металлы. Методы испытания на растяжение»
4. АЭК - : <https://www.serconsrus.ru/services/akusticheskaya-ehmissiya/>.
5. ПБ-03-593-03 «Правила организации и проведения акустико-эмиссионного контроля сосудов, аппаратов, котлов и технологических трубопроводов.» СПб.: ДЕАН, 2004.64 с.
6. РД-13-05-2006. Методические рекомендации о порядке проведения магнитопорошкового контроля технических устройств и сооружений, применяемых и эксплуатируемых на опасных производственных объектах. Москва: ЗАО НТЦ ПБ, 2010, 39 с.
7. Неразрушающий контроль: Справочник: в 8 т. / Под общ. ред. В.В. Клюева. Т. 6: в 3 кн. Кн. 1: Клюев В.В., Мужичкий В.Ф., Горкунов Э.С., Щербинин В.Е. Магнитные методы контроля. Кн. 2.: Филинов В.Н, Кеткович А.А., Филинов М.В. Оптический контроль. Кн. 3: Матвеев В.И. Радиоволновой контроль. 2-е изд., испр. – М.: Машиностроение, 2006. – 832 с.
8. Котельников В.С., Сухоруков В.В., Короткий А.А. и др. Методические указания по магнитной дефектоскопии стальных канатов. Основные положения.РД-03-348-00. – М.: Гостехнадзор, 2000. – 18 с.
9. Гузенко В.Л., Полупан А.В., Онопченко А.В. Опыт применения магнитной дефектоскопии стальных канатов подъемных сооружений космодрома Байконур // Безопасность труда в промышленности. – 2004. – № 7. – С. 21–23.
10. ГОСТ 20911-89. Техническая диагностика. Термины и определения.
11. ГОСТ 16504-74. Качество продукции. Контроль и испытания. Основные термины и определения.
12. ГОСТ 27655-88. Акустическая эмиссия. Термины, определения и обозначения.
13. ГОСТ 12.1.006-84. Система стандартов безопасности труда. Электромагнитные поля радиочастот. Допустимые уровни

на рабочих местах и требования к проведению контроля.

14. РД 03-299-99. Требования к акустико-эмиссионной аппаратуре, используемой для контроля опасных производственных объектов.

15. СДОС-08-2012 Методические рекомендации о порядке проведения акустико-эмиссионного контроля металлических конструкций грузоподъемных кранов стрелового типа. Выпуск 9. Москва. 2012.

16. РД 03-300-99. Требования к преобразователям акустической эмиссии, применяемым для контроля опасных производственных объектов.

17. ПБ 03-593-03. Правила организации и проведения акустико-эмиссионного контроля сосудов, аппаратов, котлов и технологических трубопроводов.

18. ПБ 10-382-00. Правила устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов.

19. РД 10-112-1-96. Методические указания по обследованию грузоподъемных машин с истекшим сроком службы. Общие положения.

20. РД 10-112-2-97. Методические указания по обследованию грузоподъемных машин с истекшим сроком службы. Краны стреловые самоходные общего назначения.

21. ПБ 03-372-00. Правила аттестации и основные требования к лабораториям неразрушающего контроля.

22. ПБ 03-440-02. Правила аттестации персонала в области неразрушающего контроля.

23. ГОСТ Р 52727-2007. Техническая диагностика. Акустико-эмиссионная диагностика. Общие требования.