

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«КАЛИНИНГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»

М.Б. Лещинский

СПЕЦИАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ СВАРКИ И ПАЙКИ

Методические указания по практическим занятиям для студентов,
обучающихся в магистратуре по направлению подготовки
15.04.01 Машиностроение

Калининград
Издательство ФГБОУ ВО «КГТУ»
2023

УДК 621.791.05(075.32)

Рецензент

кандидат технических наук, доцент кафедры инжиниринга технологического оборудования ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет» И. А. Соколова

Лещинский, М. Б.

Специальные технологии сварки и пайки: метод. указания по практическим занятиям для студентов, обучающихся в магистратуре по направлению подготовки 15.04.01 Машиностроение / М. Б. Лещинский. – Калининград: Изд-во ФГБОУ ВО «КГТУ», 2023. – 55 с.

В методических указания по практическим занятиям дисциплины «Специальные технологии сварки и пайки» представлены задания для практических занятий направления подготовки 15.04.01 Машиностроение, форма обучения очно-заочная.

Табл. 3, рис. 24, список лит. 7 – наименований

Методические указания по практическим занятиям рассмотрены и рекомендованы к опубликованию кафедрой инжиниринга технологического оборудования 18 января 2023 г., протокол № 4

Методические указания по практическим занятиям рекомендованы к изданию в качестве локального электронного методического материала для использования в учебном процессе методической комиссией института агроинженерии и пищевых систем ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет» 30 мая 2023 г., протокол № 5

УДК 621.791.05(075.32)

© Федеральное государственное
бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Калининградский государственный
технический университет», 2023 г.
© Лещинский М. Б., 2023 г.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	4
1 Визуальный и измерительный контроль.....	5
2 Радиографическая дефектоскопия.....	15
3 Ультразвуковая дефектоскопия.....	23
4 Магнитная дефектоскопия.....	29
5 Вихретоковая дефектоскопия.....	32
6 Капиллярная дефектоскопия.....	37
7 Контроль течеисканием.....	44
Список литературы.....	50

ВВЕДЕНИЕ

Современные технологические процессы изготовления продукции машиностроения в большинстве случаев сопровождаются использованием различных способов сварки. Совершенствование существующих или создание новых способов сварки только частично решает проблему повышения качества изготавливаемых конструкций, так как даже при хорошо отработанной технологии выполнения соединения возможно возникновение различного рода дефектов, приводящих к снижению их надежности и долговечности. Следовательно, для повышения качества изготавливаемых конструкций важное значение имеют методы неразрушающего контроля.

Затраты на контроль при изготовлении ряда конструкций превосходят затраты на их сварку, а стоимость контрольных операций может достигать 25...35 % от общей стоимости конструкции. Это объясняется, прежде всего, тем, что уровень механизации и автоматизации сварочных работ достаточно высок (35...40 %), а доля автоматизированного неразрушающего контроля незначительна (1 ...2 %).

Правильная организация процессов контроля и правильный выбор того или иного метода либо сочетания методов контроля позволяют с высокой надежностью оценивать качество сварных соединений.

Повышение требований к качеству выпускаемой продукции обусловили необходимость подготовки специалистов, владеющих совокупностью знаний по технологии сварки, работе аппаратуры контроля и организации контрольных служб.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 1

ВИЗУАЛЬНЫЙ И ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ КОНТРОЛЬ

Цель: получить навыки и умения по визуальному и измерительному контролю материалов, предназначенных для изготовления деталей и элементов сварных узлов.

Методические рекомендации:

Визуальный и измерительный контроль деталей и элементов сварных узлов выполняют в целях установления соответствия качества их изготовления требованиям производственно-технологической и нормативной технической документации, а также техническим условиям.

Визуальный и измерительный контроль материалов, предназначенных для изготовления деталей и элементов сварных узлов, производят в целях выявления поверхностных трещин, расслоений, закатов, забоин, рисок, раковин и других дефектов.

Теоретические аспекты

Визуальный и измерительный контроль материалов, предназначенных для изготовления деталей и элементов сварных узлов, производят в целях выявления поверхностных трещин, расслоений, закатов, забоин, рисок, раковин и других дефектов.

Освещенность контролируемых поверхностей для создания оптимального контраста с фоном в зоне контроля должна быть достаточной для надежного выявления дефектов, но не менее 500 лк. При более низкой освещенности необходимо применять дополнительный переносной источник света, т. е. использовать комбинированное освещение. При визуальном контроле необходимо обеспечить достаточный угол обзора: поверхность следует осматривать под углом более 30° (рис.1.1) с расстояния, не превышающего 600 мм.

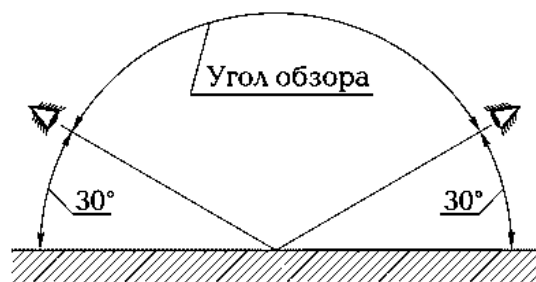


Рис. 1.1. Схема обеспечения визуального контроля

При визуальном и измерительном контроле используют:

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

Если в рабочих чертежах не предусмотрены иные требования, то погрешность измерений при измерительном контроле должна ограничиваться следующими значениями:

Диапазон значений измеряемой величины, мм	Погрешность измерений, мм, не более
Менее 0,5	0,1
0,5 ... 1,0	0,2
1,0 ... 1,5	0,3
1,5 ... 2,5	0,4
2,5 ... 4,0	0,5
4,0 ... 6,0	0,6
6,0 ... 10,0	0,8
Более 10,0	1,0

Параметры шероховатости зачищенных для выполнения контроля поверхностей деталей, сварных соединений, а также кромок деталей и сборочных единиц, подготовленных под сварку, должны составлять $Ra < 12,5$ мкм, а $Rz < 80$ мкм.

Измерительный контроль при подготовке деталей под сборку осуществляется для проверки:

- геометрических параметров разделки кромок – угла их скоса и притупления (при этом скос внутренней кромки, выполняемый для

- улучшения условий выявления непровара в корне шва при радиографическом контроле, измерению не подлежит);
- размеров (диаметра, длины, угла выхода резца) расточки концов труб по внутреннему диаметру;
 - размеров подкладных пластин (колец) и расплавляемых вставок;
 - перпендикулярности торцов цилиндрических деталей их образующим;
 - минимальной толщины стенки цилиндрической детали после расточки по внутреннему диаметру;
 - размеров отверстий под штуцер (патрубок) в трубе;
 - толщины и ширины подкладки в замковом соединении;
 - ширины зоны механической зачистки поверхностей деталей и места разъема остающейся подкладной пластины (кольца).

Геометрические параметры кромок, контролируемые измерением при подготовке деталей под сборку, представлены на рис. 1.2.

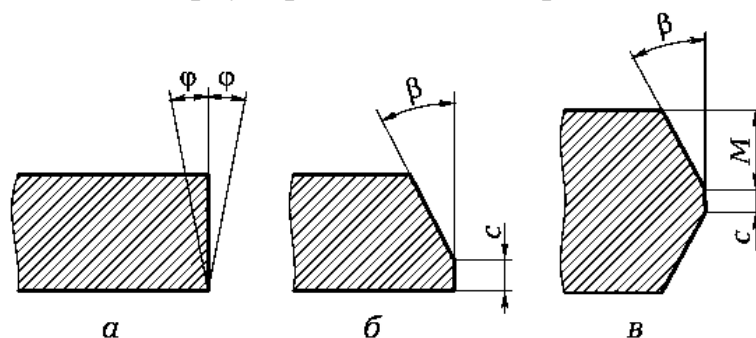


Рис. 1.2. Геометрические параметры кромок, контролируемые измерением при подготовке деталей под сборку:

а – кромки без скоса; б, в – кромок с одно- и двухсторонним скосом; φ – угол отклонения кромки от перпендикулярного положения; β , М – угол и глубина скоса кромки; с – притупление кромки

Измерительный контроль соединений разных типов, собранных под сварку (рис. 1.3), включает в себя проверку:

- размеров прихваточных швов временных технологических креплений;
- расстояний между технологическими креплениями и кромкой детали и между самими креплениями;
- зазоров в стык, в том числе между деталью и подкладной пластиной (кольцом);
- смещений кромок собранных деталей;
- перекрытия деталей в нахлесточном соединении;
- размеров (длина, высота) прихваток и их расположения по длине (периметру) соединения (если размеры заданы в технической документации);

- зазора в замке расплавляемой проволочной вставки;
- несоосности штуцера и отверстия в корпусе (трубе);
- отклонений осей в угловых соединениях труб;
- размеров узла, собранного под сварку.

Визуальному и измерительному контролю на стадиях подготовки и сборки деталей под сварку подлежат не менее 20 % деталей и соединений. При выявлении отклонений от требований рабочих чертежей и (или) производственно-технологической документации, которые могут привести к снижению качества сварных соединений, объем выборочного контроля для группы однотипных деталей (соединений) следует увеличить вдвое. Если при повторном контроле также выявляются отклонения, далее выполняется полный контроль. Забракованные детали подлежат исправлению. Собранные под сварку соединения деталей, забракованные при контроле, подлежат разборке и последующей повторной сборке после устранения причин, вызвавших их первоначальную некачественную сборку.

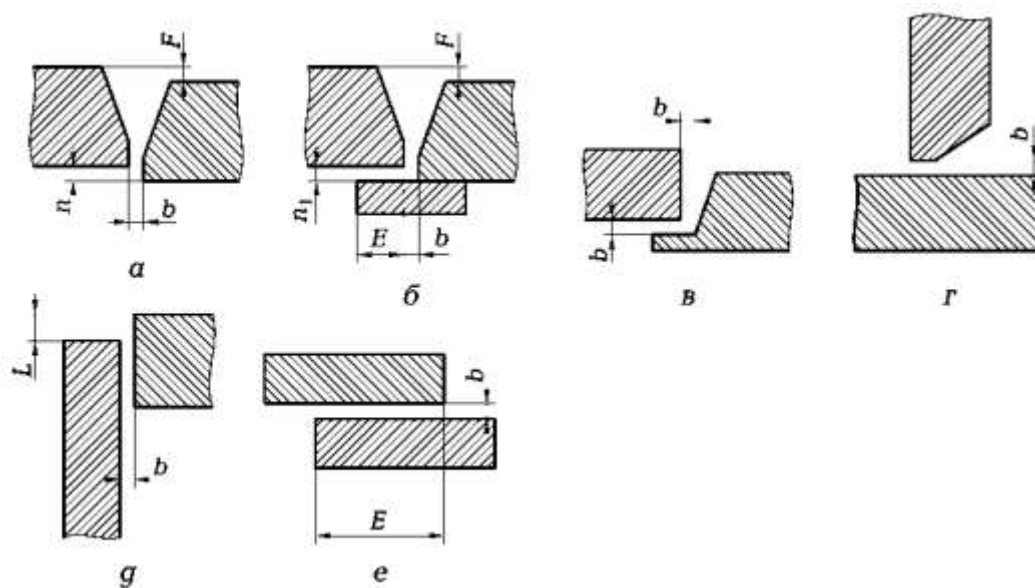


Рис. 1.3. Размеры, контролируемые при сборке под сварку соединений разных типов:

- а – стыкового; б – стыкового с остающейся подкладной пластиной (кольцом);
 в – стыкового замкового; г – таврового; д – углового; е – нахлесточного;
 б – зазор; F, n – смещения кромок деталей соответственно с лицевой и обратной стороны соединения; n₁ – зазор между подкладной пластиной (кольцом) и обратной поверхностью детали; E – ширина области перекрытия деталей в нахлесточном соединении; L – смещение привариваемой детали в угловом соединении

Визуальный контроль удаления металла, подвергнутого тепловому воздействию при раскросе термической резкой (газовой, воздушно-дуговой,

газофлюсовой, плазменной и др.), проводится для каждой детали. На кромках деталей не должно быть следов резки (для деталей из низкоуглеродистых, марганцовистых и кремнемарганцовистых сталей) и следов разметки (кернения), выполненной на лицевой поверхности деталей после резки.

Измерительный контроль зазора и смещения кромок в соединениях следует выполнять в нескольких точках вдоль шва, удаленных друг от друга не более чем на 1 м, но не менее чем в трех равноудаленных точках. Оценку возможного смещения кромок p (см. рис. 1.3, а) с обратной стороны соединения при отсутствии доступа к ней следует проводить по их смещению F с лицевой стороны соединения.

Визуальному контролю подлежат все прихватки в соединении, а измерительному – прихватки, размеры которых вызывают сомнение по результатам визуального контроля.

Смещение осей цилиндрических деталей, собранных под сварку, измеряется в двух-трех плоскостях (в зоне их максимального отклонения, выявленного при визуальном контроле) на расстоянии 200 мм от центра соединения.

Послойный визуальный контроль в процессе сварки многослойных швов выполняется в целях выявления недопустимых поверхностных дефектов (трещин, пор, включений, прожогов, свищей, усадочных раковин, несплавлений, наплывов) в каждом слое (валике) шва. Выявленные при контроле дефекты подлежат исправлению перед началом сварки последующего слоя (валика) шва.

Визуальный и измерительный контроль исправления дефектных участков сварных соединений выполняют для подтверждения полноты удаления дефекта, проверки соответствия формы и размеров выборки дефектного участка и качества шва при заполнении выборки требованиям производственно-технологической и нормативной технической документации.

Визуальный и измерительный контроль сварных соединений, подлежащих термической обработке, производят до и после ее выполнения. Если контролируемый узел подлежит полной термической обработке (нормализации или закалке с последующим отпуском), то контроль выполняют по ее завершении.

Визуальный и измерительный контроль сварных соединений, подлежащих механической обработке с удалением выпуклости сварного шва, производят до и после соответствующих операций.

С поверхности сварных соединений перед измерительным контролем удаляют влагу, шлак, брызги металла, ржавчину и другие загрязнения, препятствующие проведению контроля. Измерения выполняют после визуального контроля.

Измерения деталей, подготовленных под сварку, производят до их сборки.

При визуальном и измерительном контроле сварных соединений контролируемая зона должна включать в себя поверхность металла шва и примыкающие к нему участки основного металла по обе стороны от шва шириной не менее:

- 5 мм – для стыковых соединений, выполненных дуговой и контактной сваркой оплавлением деталей толщиной до 5 мм включительно;
- толщины деталей (5...20 мм) – для стыковых соединений, полученных дуговой и электронно-лучевой сваркой, а также контактной сваркой оплавлением;
- 20 мм – для стыковых соединений, выполненных дуговой и контактной сваркой оплавлением при толщине деталей более 20 мм, а также стыковых и угловых соединений, полученных газовой сваркой, независимо от толщины деталей и при ремонте дефектных участков в сварных соединениях;
- 5 мм – для угловых, тавровых, торцевых и нахлесточных сварных соединений, выполненных дуговой сваркой, независимо от толщины деталей;
- 50 мм – для сварных соединений, выполненных электрошлаковой сваркой, независимо от толщины деталей.

Дефекты, выявленные при визуальном и измерительном контроле, должны устраняться до выполнения следующей технологической операции или приемки объекта. Дефекты необходимо исправлять в соответствии с требованиями производственно-технологической документации. Если обнаруженные дефекты не препятствуют дальнейшему применению других видов (методов) неразрушающего контроля, то их можно устранить по завершении контроля.

У готового сварного соединения визуально контролируют:

- наличие (отсутствие) поверхностных дефектов;
- качество очистки металла после удаления временных технологических креплений;
- качество очистки поверхности сварного шва и прилегающих участков основного металла для обеспечения возможности последующего контроля неразрушающими методами, если таковой предусмотрен;
- наличие маркировки (клейма) шва и правильность ее выполнения.

У готового сварного соединения измерительному контролю подлежат:

- размеры поверхностных дефектов (пор, включений и др.), выявленных при визуальном контроле;

- высота и ширина шва, а также вогнутость и выпуклость обратной стороны шва в случае доступности этой стороны для контроля;
- глубина впадин между валиками шва;
- глубина и длина подрезов зоны сплавления;
- катет углового шва (в тавровом соединении).

Геометрические параметры сварных швов и их дефектов представлены на рис. 1.4.

Измерительный контроль геометрических параметров сварного соединения (размеров элементов сварных швов, взаимного расположения осей или поверхностей деталей, глубины впадин между валиками швов, выпуклостей и вогнутостей корня односторонних швов и т.д.) следует производить на участках, указанных в рабочих чертежах, а также в местах, где соответствие указанных показателей допустимым значениям вызывает сомнение по результатам визуального контроля.

При контроле стыковых сварных соединений труб с наружным диаметром до 89 мм включительно, если число однотипных соединений в конструкции более 50, допускается измерение размеров шва у 10...20 % этих соединений в одной-двух плоскостях при условии, что при визуальном контроле, которому подвергались все соединения, не возникло предположений о возможном отклонении размеров шва (ширины, выпуклости) от допустимых значений.

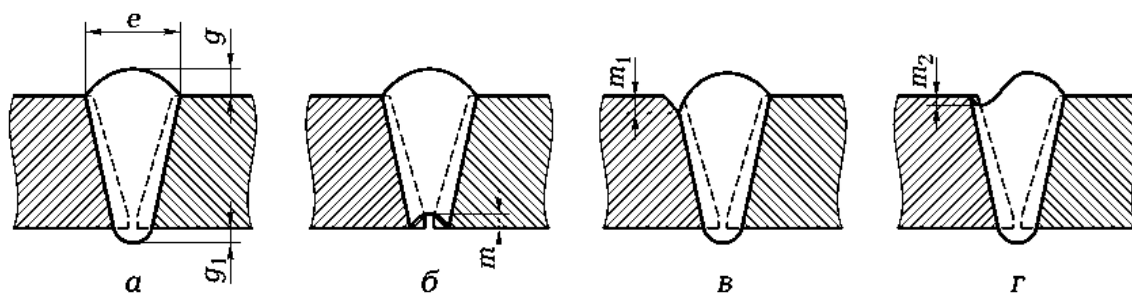


Рис. 1.4. Геометрические параметры (а) сварных швов и их дефектов (б ... г), подлежащие измерительному контролю:

e – ширина шва; g, g_1 – выпуклости соответственно лицевой и обратной стороны шва; m – вогнутость корня шва; m_1 – глубина подреза зоны сплавления; m_2 – глубина впадины

Измерение глубины впадин между валиками шва, если валики отличаются друг от друга по высоте, выполняют относительно того из них, который имеет меньшую высоту.

Выпуклость (вогнутость) стыкового шва оценивается по его максимальной высоте (глубине) по отношению к лицевой поверхности деталей. В случае если

уровни поверхностей деталей одинаковой толщины в сварном соединении не совпадают, измерения производятся относительно той поверхности, которая расположена выше (рис. 1.5, а).

Если несовпадение уровней лицевых поверхностей деталей связано с их разной толщиной, то оценку выпуклости (вогнутости) поверхности шва выполняют относительно линии, соединяющей края этой поверхности в одном сечении (рис. 1.5, б).

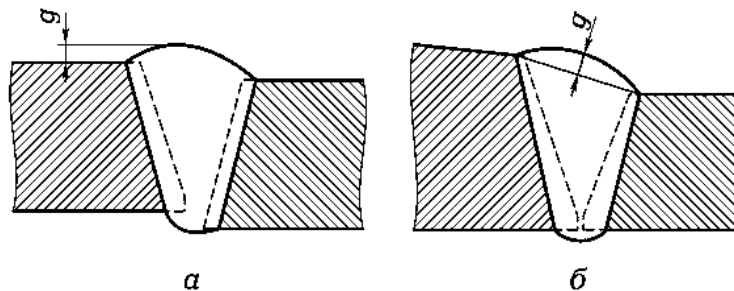


Рис. 1.5. Измерение выпуклости g стыкового шва при разных уровнях лицевых поверхностей деталей, обусловленных их смещением при сборке соединения под сварку (а) и неодинаковой толщиной (б)

Выпуклость (вогнутость) углового и стыкового швов определяется универсальными или специальными шаблонами (рис. 1.6).

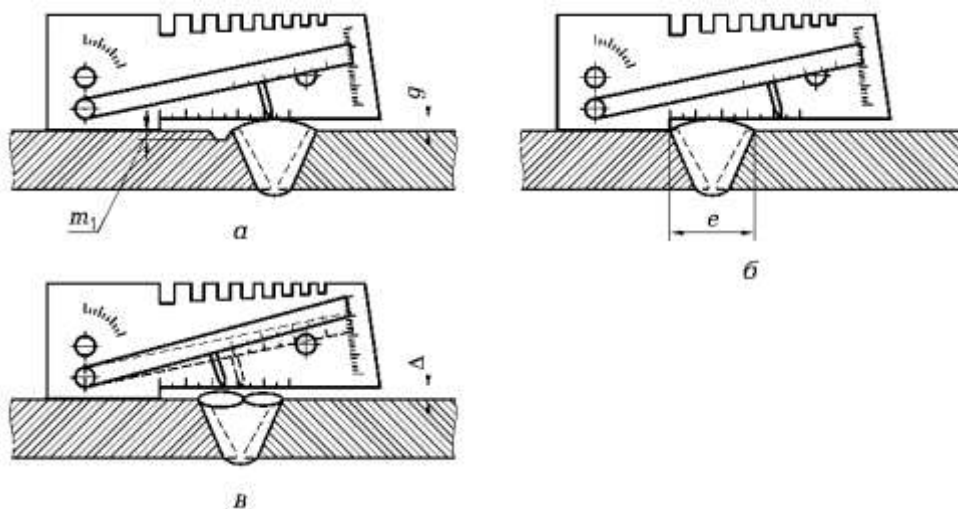


Рис. 1.6. Использование шаблона типа УШС для измерения геометрических параметров сварного шва:

а – выпуклости шва g и глубины подреза m_1 , зоны сплавления; б – ширины шва e ; в – глубины впадины Δ между валиками

Отклонение от перпендикулярности наружной поверхности (оси) штуцера по отношению к корпусу (трубе) определяется в двух взаимно-перпендикулярных сечениях. Измерения следует выполнять на участках, угловые и линейные размеры которых вызывают сомнения по результатам визуального контроля.

При ремонте дефектных участков необходимо контролировать визуально:

- полноту удаления дефекта, выявленного при визуальном контроле и другими методами неразрушающего контроля;
- размеры выборки дефектного участка;
- форму разделки кромок в зоне выборки;
- чистоту поверхности выборки и прилегающих к ней поверхностей (отсутствие визуально наблюдаемых загрязнений, пыли, продуктов коррозии, масла и т.п.);
- ширину зоны очистки (механическим способом) поверхностей металла, прилегающих к кромкам выборки;
- наличие дефектов (трещин, пор, включений, скоплений пор и включений, свищей, прожогов, наплывов, усадочных раковин, подрезов, непроваров, брызг расплавленного металла и др.) на поверхности ремонтного шва и на прилегающих к выборке участках металла.

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

- размеры выборки дефектного участка;
- геометрические параметры разделки кромок выборки (угла скоса, толщины металлической перемычки при исправлении трещин и т. п.);
- ширину зоны очистки (механическим способом) участков металла, прилегающих к кромкам выборки;
- размеры дефектов на поверхности ремонтного шва и прилегающих к нему участках металла, выявленных при визуальном контроле;
- шероховатость поверхностей выборки и прилегающих участков металла в зоне их зачистки (перед выполнением ремонтного шва), а также поверхностей металла перед проведением последующего контроля неразрушающими методами.

Методы предотвращения образования дефектов формы шва

Во многих случаях, как показывает практика, глубину проплавления можно существенно увеличить, не изменяя режим сварки, за счет введения в металл поверхностно-активных компонентов. Особенно просто это осуществить при сварке в окислительной среде или при использовании окислительных флюсов и электродных покрытий. В случае если введение кислорода нежелательно или недопустимо, можно использовать другие дополнительные компоненты (например, редкоземельные элементы Se и Te).

При сварке тонколистового металла в окислительной среде, если возникает опасность образования прожогов, в сварочную ванну вводят компоненты, обладающие повышенным химическим сродством с кислородом. Это приводит к снижению содержания свободного кислорода в металле, а следовательно, влияние кислорода на поверхностное натяжение расплава стали уменьшается.

Снижением поверхностного натяжения расплавленного металла или его межфазного натяжения на границе со шлаком можно добиться уменьшения выпуклости шва и получить плавный переход от основного металла к наплавленному, что исключит образование концентраторов напряжений в сварном соединении.

Заметно снизить межфазное натяжение можно посредством введения в шлак оксидов железа и марганца. Кроме того, если в шлаке содержится мало FeO и MnO, межфазное натяжение на границе расплавленного металла и шлака можно регулировать изменением полярности сварочного тока: при сварочном токе прямой полярности межфазное натяжение будет выше, чем при сварочном токе обратной полярности.

Анализ причин образования подрезов при сварке позволяет сделать вывод о том, что уменьшить вероятность возникновения этих дефектов можно снижением поверхностного натяжения расплавленного металла сварочной ванны или увеличением продолжительности ее существования за счет предварительного подогрева свариваемых деталей или повышения силы тока шунтирования при введении в шлак дополнительного неплавящегося вещества.

Поскольку образование подрезов связано с растеканием расплава по поверхности твердого металла, их появление обуславливают также гидродинамические условия в сварочной ванне. Следовательно, воздействие на дугу магнитных полей различных видов с помощью комбинированного электрода позволит предотвратить возникновение подрезов.

Улучшить условия для растекания расплавленного металла можно удалением оксидных пленок с кромок основного металла или созданием определенного рельефа кромок.

Скорость растекания металла увеличивается при снижении вязкости металла и шлака, а также при повышении их температуры и введении в них компонентов, снижающих вязкость. Этим достигается высокая вероятность исключения подрезов. Однако необходимо учитывать влияние этих компонентов на поверхностное натяжение металла и помнить о том, что чрезмерное снижение вязкости шлака может нарушить его защитную функцию.

Задание по практической работе:

Проанализируйте и изучите операции визуального и измерительного контроля на следующих стадиях изготовления сварных конструкций:

1. Входной контроль деталей.
2. Изготовление деталей и элементов сварных узлов.
3. Подготовка деталей и элементов сварных узлов к сборке и сварке.
4. Сборка деталей и элементов сварных узлов под сварку.
5. Сварка.
6. Контроль швов и готовых сварных соединений.
7. Исправление дефектных сварных соединений.

Контрольные вопросы:

1. Какие структурные зоны формируются в сварном соединении стали при сварке плавлением?
2. Какой фактор определяет ширину структурных зон в сварном соединении?
3. Что такое участок неполного расплавления сварного соединения?
4. Каковы температурные границы участка рекристаллизации сварного соединения стали при сварке плавлением?
5. Назовите наиболее распространенные виды наружных и внутренних дефектов сварных соединений.
6. Каковы причины возникновения напряжений и деформаций при сварке?
7. Какие способы уменьшения сварочных деформаций вы знаете?
8. Каковы основные причины образования наружных и внутренних дефектов сварных соединений?
9. Как дефекты влияют на работоспособность сварных конструкций?

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 2 РАДИОГРАФИЧЕСКАЯ ДЕФЕКТОСКОПИЯ

Цель: получить навыки и умения по выявлению внутренних дефектов изделий основано на способности рентгеновских лучей проникать через различные материалы и поглощаться в них в разной степени в зависимости от толщины и вида материала, а также энергии излучения.

Методические рекомендации

Для обнаружения внутренних дефектов в сварных швах по одну сторону контролируемого сварного соединения устанавливают источник излучения – рентгеновскую трубку или радиоактивный изотоп, а по другую – детектор, регистрирующий излучение, прошедшее через дефект. В качестве детектора

могут использоваться рентгеновская пленка, электроннооптический преобразователь, ксерорадиографическая пластина, фотобумага и т.д. Излучение от источника, проходя через сварное соединение, на дефектном и бездефектном его участках будет поглощаться по-разному и поступать в детектор с неодинаковой интенсивностью. При прохождении через дефектные участки, содержащие газ или неметаллические включения, излучение ослабляется меньше, чем в сплошном металле. Разность интенсивностей излучения регистрируется детектором.

Теоретические аспекты

Выявление внутренних дефектов основано на способности рентгеновских лучей и гамма-излучения проникать через различные материалы и поглощаться в них в разной степени в зависимости от толщины и вида материала, а также энергии излучения.

Применение рентгеновской пленки лежит в основе радиографического метода дефектоскопии – наиболее распространенного из всех известных методов радиационного контроля. Однако не всегда и не при любых условиях с помощью пленки можно обнаружить все возможные дефекты, находящиеся внутри просвечиваемого объекта. Существуют минимальные размеры выявляемых дефектов, характеризующие предельную чувствительность данного метода.

В радиографии различают два вида чувствительности – *абсолютная чувствительность* определяется минимальным размером выявляемого дефекта, или эталона чувствительности в направлении просвечивания. *Относительная чувствительность* характеризуется отношением минимального размера ΔS выявляемого дефекта в направлении просвечивания к толщине S контролируемого соединения и выражается в процентах:

$$W = (\Delta S/S)100.$$

Чувствительность радиографического метода контроля зависит от энергии первичного и рассеянного излучений, плотности и толщины просвечиваемого материала, формы и места расположения дефекта, а также от фокусного расстояния, размера и фокусного пятна рентгеновской трубки и типа рентгеновской пленки.

Ввиду сложности процесса ослабления энергии рентгеновских лучей и γ -излучения при их прохождении через контролируемый металл и многообразия факторов, от которых зависит чувствительность данного метода контроля, учесть одновременное воздействие всех факторов не представляется возможным. Следовательно, целесообразно оценить влияние на

чувствительность радиографического метода выявления дефектов каждого из этих факторов.

Энергия излучения. Влияние энергии рентгеновских лучей и γ -излучения на относительную чувствительность радиографического метода иллюстрируют зависимости, приведенные на рис. 2.1, из которых видно, что чувствительность при контроле стали одинаковой толщины тем выше, чем меньше энергия излучения.

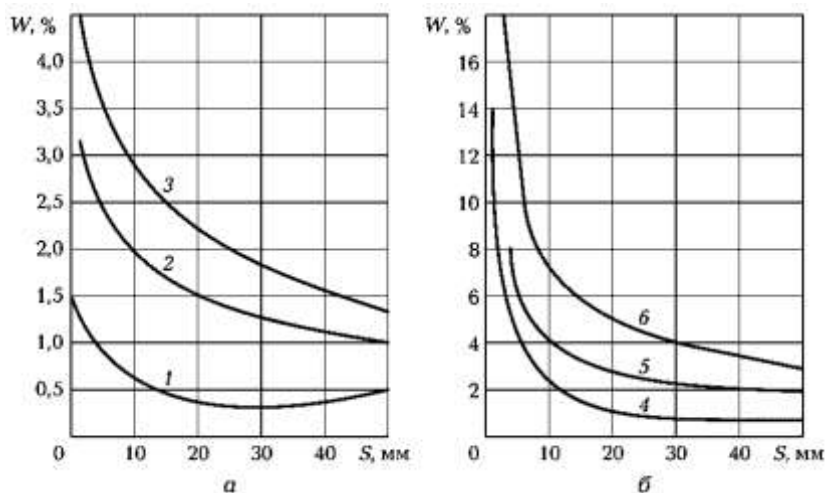


Рис. 2.1. Зависимости относительной чувствительности W радиографического метода контроля от толщины S стали при разных напряжениях U на рентгеновской трубке и толщине регистрирующей пленки $S_{\Pi} = 750$ мм (а) и при разных энергиях E γ -излучения радиоактивных изотопов и толщине пленки $S_{\Pi} = 500$ мм (б):

- 1, 2, 3 – соответственно $U = 80; 120$ и 140 кВ; 4 – $E = 0,3$ МэВ (^{192}Ir);
5 – $E = 0,5$ МэВ (^{137}Cs); 6 – $E = 1,17$ МэВ (^{60}Co)

Рассеянное первичное излучение по сравнению с нерассеянным снижает качество снимка (контрастность, четкость изображения) и чувствительность данного метода дефектоскопии. При отсутствии рассеяния изображение дефекта на пленке имеет четкие границы (рис. 2.2, а). Однако почти всегда имеется рассеяние излучения, размывающее границы изображения (рис. 2.2, б), вследствие чего дефекты малого размера становятся трудноразличимыми и часто не могут быть выявлены вообще. При этом всегда рассеяние излучения в толстом слое материала сильнее, чем в тонком (рис. 2.2, в). Следовательно, чувствительность радиографического метода значительно снижается при увеличении толщины просвечиваемого материала.

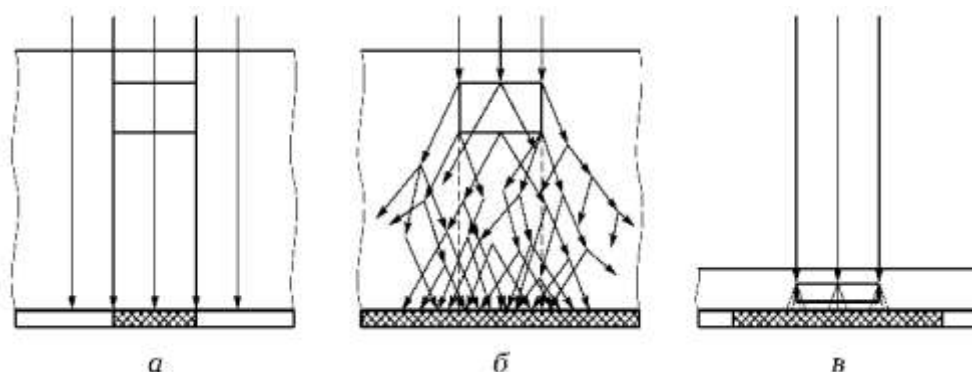


Рис. 2.2. Схемы формирования изображений на пленке дефектов при отсутствии рассеяния излучения в толстых деталях (а) и при наличии рассеяния в толстых (б) и тонких (в) деталях

Полностью устранить рассеяние излучения нельзя, но его можно уменьшить применением специальных фильтров, представляющих собой тонкий слой (0,025 мм) оловянной или свинцовой (0,075...0,150 мм) фольги. Такие фильтры устанавливают либо между источником излучения и контролируемым объектом, либо между пленкой и объектом. Рассеяние также можно уменьшить, сократив площадь облучаемой поверхности, что достигается с помощью диафрагмы, помещаемой у источника излучения, или свинцовой маски с отверстием, устанавливаемой над просвечиваемым объектом. Рассеяние снижается и при увеличении расстояния от контролируемого объекта до пленки.

Толщина материала. Рассмотрим влияние толщины контролируемого материала на чувствительность радиографического метода.

При контроле материалов толщиной до 3 мм «мягкие» составляющие излучения ослабляются незначительно, что способствует снижению четкости изображения дефекта и чувствительности метода.

С увеличением толщины материала убывает эффективный коэффициент ослабления излучения. «Мягкие» составляющие излучения ослабляются сильнее, чем «жесткие», и в последующие слои поступает излучение, частично отфильтрованное в предыдущих слоях. По мере прохождения через вещество излучение становится все более «жестким», и одновременно с этим замедляется убывание эффективного коэффициента ослабления – он приближается к постоянному значению. Снижение чувствительности данного метода при сравнительно большой толщине материала обусловлено рассеянием излучения, и в конечном счете именно этот эффект ограничивает его применимость значениями толщины материалов 100... 150 мм.

Формы дефектов и их ориентация в шве. Дефекты (непровары), имеющие прямолинейные грани, ориентированные параллельно направлению распространения излучения, выявляются более четко вследствие высокой резкости изображения их границ (рис. 2.3, а) в отличие от дефектов шаровой

формы, таких как поры (рис. 2.3, б) цилиндрической (шлаковые включения) или какой-либо другой формы (рис. 2.3, в). Действительно, непровар имеет постоянную высоту в направлении распространения излучения, тогда как высота других дефектов изменяется в этом направлении, а следовательно, оптическая плотность изображения таких дефектов равномерно снижается от максимума, определяемого их поперечными размерами, до оптической плотности всего поля пленки. Вследствие такого эффекта изображение становится нерезким, и контрастность снимка, воспринимаемая глазом, значительно ухудшается.

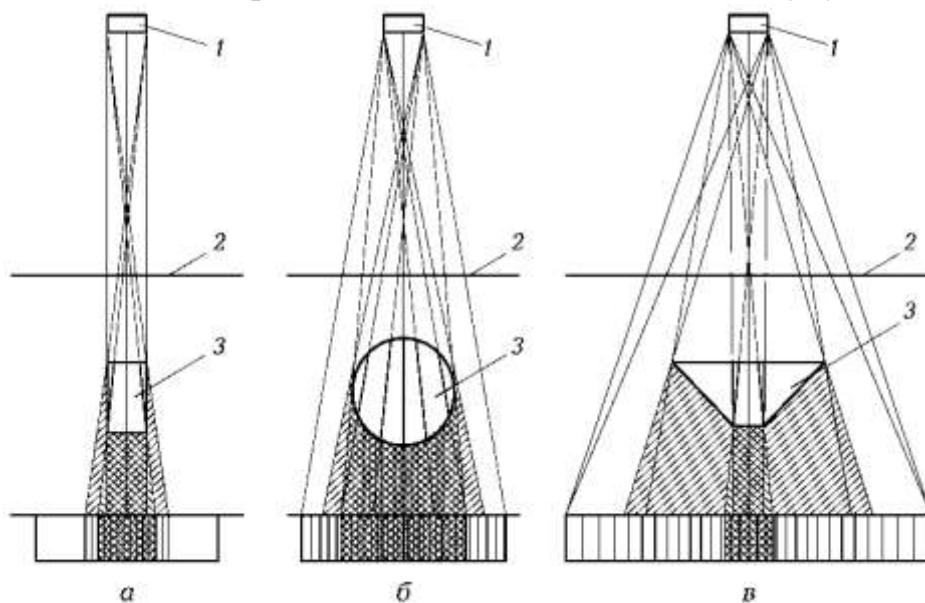


Рис. 2.3. Схемы формирования изображений на пленке дефектов, имеющих сечения прямоугольной (а), круглой (б) и трапециoidalной (в) формы:

1 – источник излучения; 2 – усиливающий экран; 3 – дефект

Наилучшие возможности для выявления дефекта реализуются при прохождении излучения вдоль этого дефекта, т. е. когда угол α (рис. 2.4) равен нулю. Если дефект располагается под некоторым углом к направлению распространения излучения, то оно проходит не всю его высоту, а только определенную ее часть. Чувствительность просвечивания при этом зависит от ширины a дефекта.



Рис. 2.4. Зависимость возможности выявления трещины шириной a и длиной b мм от угла α ее отклонения от направления распространения излучения

На практике часто встречаются дефекты, которые при довольно большой высоте имеют незначительную ширину. В этом случае проекция дефекта не будет видна на пленке из-за малой разницы оптических плотностей изображений дефектного и бездефектного участков. К подобным дефектам относятся, например, трещины, непровары и несплавления кромок. Вероятность их выявления очень мала (35...40 %). Расслоения в прокатанных листах, расположенные параллельно их поверхности, просвечиванием, как правило, не выявляются. Плохо обнаруживаются несплавления по катетам швов в тавровых, угловых и нахлесточных соединениях.

Фокусное расстояние. При уменьшении фокусного расстояния рентгеновской трубки (рис. 2.5) излучение, как и при уменьшении энергии, ставится более «мягким», вследствие чего повышается чувствительность данного метода контроля дефектов. Следует отметить, что продолжительность просвечивания t связана с фокусным расстоянием F следующим соотношением:

$$t/t_0 = (F/F_0)^2,$$

где t_0 – продолжительность просвечивания при фокусном расстоянии F_0 .

Согласно этому соотношению при увеличении фокусного расстояния существенно возрастает продолжительность просвечивания, т. е. чем меньше фокусное расстояние, тем более четкий рельеф дефекта наблюдается на снимке, меньше область полутени и выше чувствительность метода.

Применение металлических усиливающих экранов, уменьшающих воздействие вторичного излучения, источником которого является сам контролируемый материал, также обеспечивает некоторое повышение чувствительности метода. Рассеянное вторичное излучение снижает резкость и контрастность изображения объекта.

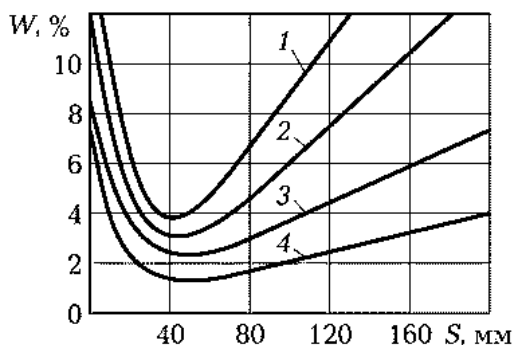


Рис. 2.5. Влияние толщины S просвечиваемой стали и фокусного расстояния F рентгеновской трубки [материал анода – (^{60}Co)] на относительную чувствительность W рентгенографического метода:
 1 – $F = 150$ мм; 2 – $F = 300$ мм; 3 – $F = 600$ мм; 4 – $F = 1\,000$ мм

Тип рентгеновской пленки. В зависимости от типа пленки, определяемого размером зерен ее структуры, чувствительность радиографического метода контроля при прочих равных условиях (энергия излучения, вид и толщина материала) может изменяться от 0,5 до 3 %. Пленки, обеспечивающие повышенную чувствительность этого метода, имеют мелкозернистую структуру и требуют более продолжительного экспонирования.

Радиографический контроль применяется для выявления в сварных соединениях трещин, непроваров, пор, включений шлаковых, вольфрамовых, оксидных и других, прожогов, подрезов, а также для оценки выпуклости и вогнутости корня шва, недоступного для внешнего осмотра.

С помощью радиографического контроля нельзя выявить:

- любые несплошности и включения, имеющие размеры (в направлении просвечивания) менее чувствительности контроля;
- непровары и трещины, плоскость раскрытия которых не совпадает с направлением просвечивания;
- любые несплошности и включения, если их изображения на снимках совпадают с изображениями посторонних деталей, острых углов или резких перепадов толщины просвечиваемого соединения.

Помимо рентгеновского излучения для контроля качества сварных швов используют γ - и β -излучения, причем каждый из видов излучения имеет свою область применения. В частности, рентгенографию, обладающую наибольшей чувствительностью, используют преимущественно в цеховых условиях и реже – в полевых (только когда к чувствительности контроля качества сварных соединений предъявляются наиболее высокие требования). Гаммаграфия доминирует при контроле качества сварных соединений, расположенных в труднодоступных местах, в полевых и монтажных условиях. Бетатронную радиографию применяют преимущественно в цеховых условиях для выявления дефектов сварных соединений большой толщины.

При радиографическом контроле сварных соединений необходимо соблюдать определенную последовательность выполнения основных операций:

- 1) выбрать источник излучения, рентгеновскую пленку, схему и режимы просвечивания;
- 2) подготовить контролируемый объект к просвечиванию;
- 3) просветить объект;
- 4) выполнить фотообработку и расшифровать снимки;
- 5) оформить результаты контроля.

Задание по практической работе:

1. Установите зависимость толщина материала. Рассмотрим влияние толщины контролируемого материала на чувствительность радиографического метода. При контроле материалов толщиной до 3 мм «мягкие» составляющие излучения ослабляются незначительно, что способствует снижению четкости изображения дефекта и чувствительности метода.
2. Изучите форму дефектов и их ориентацию в шве. Дефекты (непровары), имеющие прямолинейные грани, ориентированные параллельно направлению распространения излучения, выявляются более четко вследствие высокой резкости изображения их границ в отличие от дефектов шаровой формы, таких как поры цилиндрической (шлаковые включения) или какой-либо другой формы (рис. 2.3, в).
3. Исследуйте фокусное расстояние. При уменьшении фокусного расстояния рентгеновской трубки излучение, как и при уменьшении энергии, ставится более «мягким», вследствие чего повышается чувствительность данного метода контроля дефектов.
4. Установите зависимость от типа рентгеновской пленки. В зависимости от типа пленки, определяемого размером зерен ее структуры, чувствительность радиографического метода контроля при прочих равных условиях (энергия излучения, вид и толщина материала) может изменяться. Пленки, обеспечивающие повышенную чувствительность этого метода, имеют мелкозернистую структуру и требуют более продолжительного экспонирования.

Контрольные вопросы:

1. Каковы причины рассеяния ионизирующего излучения?
2. На каком физическом эффекте основано выявление дефектов радиографическим методом?
3. Какие факторы влияют на чувствительность радиографического метода контроля?
4. Назовите основные типы рентгеновских пленок.
5. Какие эталоны используются при просвечивании?

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 3

УЛЬТРАЗВУКОВАЯ ДЕФЕКТОСКОПИЯ

Цель: получить навыки и умения по физическим основам и технологией проведения замеров толщин стальных изделий с использованием ультразвукового толщиномера.

Методические рекомендации

Ультразвуковая дефектоскопия основана на свойстве ультразвуковых волн направленно распространяться в средах и отражаться от их границ или нарушений сплошности (дефектов), обладающих другим акустическим сопротивлением. Для ультразвукового контроля применяют колебания частотой 0,5...25 МГц.

В практике контроля качества сварных соединений используют в основном эхо-импульсный метод (или метод эхо-локации), который заключается в «прозвучивании» сварного соединения короткими импульсами ультразвука и регистрации эхо-сигналов и, отраженных соответственно от нижней поверхности детали и дефекта к приемнику. Признаком наличия дефекта в сварном соединении служит появление эхо-сигнала на экране дефектоскопа.

Теоретические аспекты

Ультразвуковые колебания – это механические колебания упругой среды с частотой, находящейся за порогом слышимости человеческого уха, т. е. превышающей 20 кГц.

В качестве излучателей и приемников ультразвука, называемых пьезопреобразователями, используются пластины из пьезоэлектрического материала – керамики или кварца. При подаче на пьезопластину электрического напряжения вследствие возникновения обратного пьезоэлектрического эффекта изменяется ее толщина. Если к пьезопластине приложено знакопеременное напряжение, то она колеблется в такт с этими изменениями, создавая в окружающей среде упругие колебания. При этом пьезопластина действует как излучатель (рис. 3.1, а). И наоборот, если пьезоэлектрическая пластина воспринимает импульс давления (отраженную ультразвуковую волну), то на ее обкладках вследствие возникновения прямого пьезоэлектрического эффекта появляется электрический заряд, который можно измерить. В этом случае пьезопластина действует как приемник (рис. 3.1, б). Для подвода и снятия напряжения на противоположные поверхности пьезопластины нанесены серебряные электроды.

Процесс распространения ультразвука в пространстве является волновым. Граница, отделяющая колеблющиеся частицы среды от частиц, еще не начавших колебаться, называется фронтом волны. Упругие волны характеризуются скоростью распространения c , длиной λ и частотой f . Под длиной волны понимают расстояние между ближайшими частицами среды, которые колеблются одинаковым образом (в одинаковой фазе). Число волн, проходящих через данную точку пространства в каждую секунду, определяет частоту ультразвука. Длина волны связана со скоростью ее распространения и частотой колебаний соотношением $\lambda = c/f$.

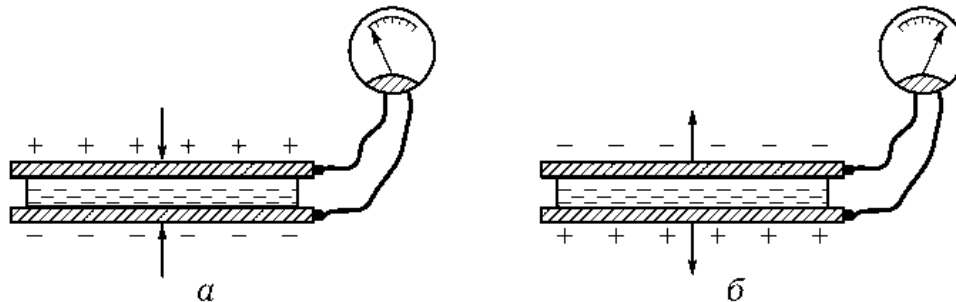


Рис. 3.1. Схемы, поясняющие принцип действия пьезопластины в качестве излучателя (а) и приемника (б) ультразвука (стрелками показаны направления действия возникающей при этом силы)

В зависимости от направления колебаний частиц среды различают несколько типов волн. Когда частицы колеблются вдоль направления распространения волн, волны (рис. 3.2, а) называются продольными (волнами сжатия), а когда перпендикулярно направлению распространения волн (рис. 3.2, б) – поперечными (волнами сдвига).

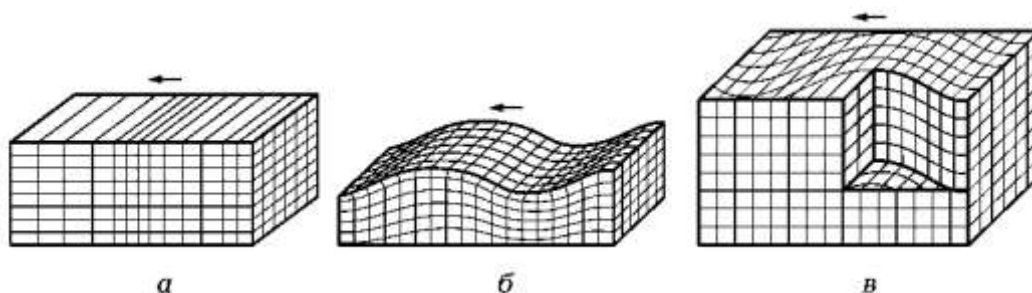


Рис. 3.2. Схематическое изображение продольной (а), поперечной (б) и поверхностной (в) волн (стрелками показаны направления распространения волн)

Поперечные волны могут возникать лишь в среде, обладающей сопротивлением сдвигу. Следовательно, в жидкой и газообразной средах образуются только продольные волны, а в твердой среде могут возникать как продольные, так и поперечные волны. Скорость распространения поперечной волны в металлах составляет примерно 0,55 от скорости продольной волны.

Вдоль свободной поверхности твердого тела могут распространяться поверхностные волны – волны Релея (рис. 3.2, в), которые являются комбинацией поперечных и продольных волн. Плоскость поляризации поверхностных волн, т. е. плоскость, в которой колеблются частицы среды, перпендикулярна поверхности. Глубина распространения поверхностных волн в твердом теле примерно равна их длине, а скорость распространения составляет 0,9 от скорости поперечных волн (табл.).

Таблица. Скорость распространения ультразвуковых волн в различных средах

Среда	Скорость распространения волн, м/с		
	продольных	поперечных	поверхностных
Воздух	335	—	—
Трансформаторное масло	1 400	—	—
Органическое стекло	2 670	1 300	1 050
Вода	1 490	—	—
Низкоуглеродистая сталь	5 850	3 230	3 000
Титан и его сплавы	6 000	3 500	2 790
Алюминий и его сплавы	6 260	3 080	2 800

В плакирующих слоях биметаллов, толщина которых соизмерима с длиной волны, распространяются нормальные волны (волны Лэмба), которые заполняют всю толщину пластины. В плакирующих слоях биметаллических листов могут распространяться поверхностные волны с горизонтальной поляризацией (волны Лява).

Рассмотрим процесс прохождения в среде короткого (зондирующего) импульса ультразвуковых колебаний. Пьезоэлемент в виде круглого диска служит одновременно излучателем и приемником ультразвука. При излучении пьезоэлементом импульса ультразвуковых колебаний в среде возникает ультразвуковое поле, которое имеет пространственные границы и определенное распределение звукового давления внутри пучка.

Вблизи от излучателя, в области, называемой ближней зоной, ультразвуковой пучок почти не расходится и имеет цилиндрическую форму. В дальней зоне начинается постепенное расхождение ультразвуковой волны, и пучок приобретает форму усеченного конуса. Распределение энергии в поперечном сечении этого конуса неравномерное: максимальная интенсивность излучения соответствует оси пучка, а минимальная – периферии конуса.

Распределение интенсивности излучения в дальней зоне, представленное в виде графика в полярных координатах, называется диаграммой направленности ультразвукового поля.

При распространении ультразвуковых волн от источника интенсивность излучения падает. Это обусловлено не только расхождением пучка в объеме конуса, но и затуханием колебаний. По оси пучка ультразвуковые колебания затухают по экспоненциальному закону:

$$A = A_0 e^{-\delta r},$$

где A – амплитуда колебаний на расстоянии r от излучателя; A_0 – амплитуда зондирующего импульса; δ – коэффициент затухания.

В металлах коэффициент затухания зависит в основном от соотношения между средним размером D зерен и длиной волны λ ультразвука. Если $\lambda > 10D$, то затухание малое и можно контролировать сварные соединения деталей толщиной до 10 мм. Если зерна металла соизмеримы с длиной волны или их размеры превосходят λ , то ультразвуковой контроль осуществлять весьма затруднительно или даже невозможно из-за значительного затухания ультразвука. Это относится к сварным соединениям литых деталей, швам, выполненным электрошлаковой сваркой без термообработки, и швам аустенитных (коррозионно-стойких) сталей.

Важной характеристикой среды, в которой распространяются ультразвуковые колебания, является ее акустическое сопротивление

$$z = \rho c,$$

где ρ – плотность среды.

При прохождении ультразвука из одной среды в другую происходит отражение части энергии волны от границы раздела сред. Коэффициенты отражения R и прохождения T ультразвука зависят от соотношения акустических сопротивлений двух сред. Чем существеннее отличаются друг от друга акустические сопротивления z_1 и z_2 , тем больше R , поэтому, чтобы увеличить коэффициент прохождения ультразвука, на поверхность контролируемого сварного соединения наносят контактную жидкость (воду, масло, глицерин и др.), акустическое сопротивление которой значительно больше, чем у металла соединения и у материала призмы пьезопреобразователя. При наличии воздушного зазора между преобразователем и поверхностью соединения ультразвук практически не проходит в металл.

Если размеры дефекта меньше поперечных размеров пучка и соизмеримы с длиной волны, то возникает дифракция (явление огибания волной препятствия) и доля энергии, отраженной дефектом, уменьшается. Наличие дифракции ультразвуковых волн обуславливает плохое выявление округлых дефектов небольших размеров (пор).

Углы падения θ ультразвука, при которых исчезают те или иные типы волн в процессе его преломления и отражения, называются критическими. По мере увеличения угла θ , начиная с некоторого значения $\theta_{кр1}$, называемого первым критическим углом, исчезает преломленная продольная волна. При дальнейшем увеличении угла θ наступает момент, когда исчезает и поперечная волна, что соответствует второму критическому углу $\theta_{кр2}$. При углах падения, меньших, чем второй критический угол, и больших, чем первый, во второй среде возникает лишь поперечная волна.

Для системы оргстекло – сталь первые и вторые расчетные критические углы соответственно составляют 27° и 56° . Отмеченное свойство имеет важное практическое значение. В частности, если разместить излучатель на призме из оргстекла и выбрать угол θ в пределах $30... 55^\circ$, то в сварном соединении из стали будет распространяться только поперечная волна, что существенно упростит дешифровку результатов контроля.

Ультразвуковая дефектоскопия основана на свойстве ультразвуковых волн направленно распространяться в средах и отражаться от их границ или нарушений сплошности (дефектов), обладающих другим акустическим сопротивлением. В практике контроля качества сварных соединений используют в основном эхо-импульсный метод (или метод эхо-локации), который заключается в «прозвучивании» сварного соединения короткими импульсами 1 ультразвука и регистрации эхо-сигналов 2 (рис. 3.3, а, б) и 3 (рис. 3.3, б), отраженных соответственно от нижней поверхности детали и дефекта к приемнику. Признаком наличия дефекта в сварном соединении служит появление эхо-сигнала 3 на экране дефектоскопа.

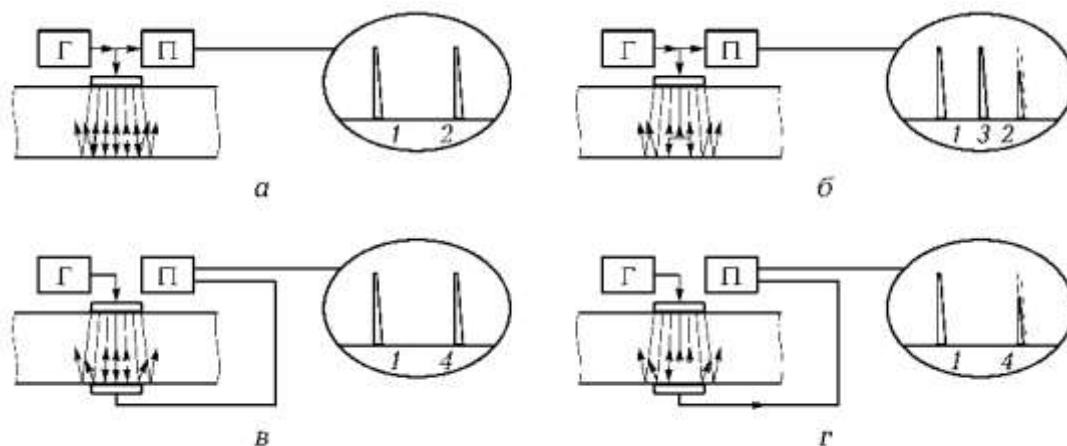


Рис. 3.3. Схемы прохождения коротких ультразвуковых импульсов при эхоимпульсном (а, б) и теновом (в, г) методах контроля сварных соединений: а, в – при отсутствии дефекта; б, г – при наличии дефекта; 1 – короткий импульс ультразвука; 2, 3 – эхо-сигналы; 4 – сигнал с уменьшенной амплитудой; Г – генератор зондирующих импульсов; П – приемник

В некоторых случаях ультразвуковой контроль целесообразно осуществлять теньевым методом (рис. 3.3, в). При его использовании признаком наличия дефекта служит уменьшение амплитуды сигнала 4 (рис. 3.3, г), прошедшего от излучателя к приемнику. Теньевым методом позволяет применять не только импульсное, но и непрерывное излучение.

К основным достоинствам ультразвуковой дефектоскопии относятся высокая чувствительность метода, мобильность аппаратуры, оперативность в получении результатов, низкая стоимость контроля и отсутствие радиационной опасности. Этот метод широко распространен в промышленности для выявления таких дефектов, как трещины, непровары, шлаковые и другие включения в сварных швах толщиной 1...2800 мм. Например, в химическом, энергетическом машиностроении, судостроении и в других отраслях промышленности ультразвуковая дефектоскопия является основным методом неразрушающего контроля ответственных швов как при их изготовлении, так и в процессе эксплуатации сварных конструкций.

Задание по практической работе:

1. Проведите предварительную подготовку поверхности контролируемого изделия в местах установки преобразователя для чего очистите с помощью металлической щетки контактирующую с преобразователем поверхность изделия от отслаивающейся окалины, защитных покрытий и других грубых микронеровностей поверхности.
2. Нанесите слой контактной смазки на поверхность контролируемого изделия в местах установки преобразователя.
3. Установите преобразователь на поверхность изделия, хорошо притерев и прижав контактные поверхности, добейтесь засветки точки на индикаторе справа после значащих цифр и устойчивых минимально возможных показаний цифрового индикатора, считайте показания.
4. Производите проверку юстировки толщиномера не реже, чем через 8 ч работы, а также при замене преобразователей.
5. Засветка точек после двух старших разрядов цифрового индикатора при нажатой кнопке указывает на разряд батареи, при этом, если кнопка отжата, толщиномер автоматически выключается. В этом случае батарею необходимо заменить.

Контрольные вопросы:

1. На каких свойствах основана ультразвуковая толщинометрия.
2. Что такое импульсный эхо-метод?

3. Поясните назначение промежуточной, жидкой среды между преобразователем (искателем) и изделием.
4. Поясните конструкцию раздельно-совмещенного искателя.
5. Назовите основные узлы эхо-импульсного толщиномера.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 4 МАГНИТНАЯ ДЕФЕКТОСКОПИЯ

Цель: получить навыки и умения по физическим основам и практическим применением магнитопорошковой дефектоскопии.

Методические рекомендации

Магнитные методы контроля основаны на обнаружении магнитных потоков рассеяния, возникающих при наличии дефектов в намагниченных сварных соединениях из ферромагнитных материалов.

Магнитный поток, распространяясь по сварному соединению и встречая на своем пути дефект, огибает его, так как магнитная проницаемость дефекта значительно ниже магнитной проницаемости основного металла. Вследствие этого часть силовых линий магнитного поля вытесняется дефектом на поверхность, и образуется местный магнитный поток рассеяния. Дефекты, которые вызывают возмущение в распределении силовых линий магнитного поля без образования местного потока рассеяния, невозможно обнаружить методами магнитной дефектоскопии. Возмущение магнитного потока тем сильнее, чем большее препятствие представляет собой дефект.

Теоретические аспекты

Магнитный поток Φ , проходящий через поверхность, расположенную перпендикулярно силовым линиям однородного магнитного поля, равен произведению магнитной индукции B на площадь этой поверхности.

Способность металла намагничиваться характеризуют абсолютной магнитной проницаемостью. Отношение абсолютной магнитной проницаемости материала к магнитной постоянной называется относительной магнитной проницаемостью и обозначается μ . Эта безразмерная величина показывает, во сколько раз напряженность результирующего поля в намагниченной среде больше напряженности поля, создаваемого током той же силы в вакууме.

В зависимости от значения μ все металлы подразделяются на три группы:

- диамагнитные (медь, цинк, серебро и др.), у которых μ на несколько миллионов или тысячных долей меньше единицы;

- парамагнитные (марганец, платина, алюминий и др.), у которых μ на несколько миллионных или тысячных долей больше единицы;
- ферромагнитные (железо, никель, кобальт и гадолиний, а также некоторые сплавы металлов), у которых μ достигает десятков тысяч.

Магнитные методы контроля могут использоваться только для деталей, выполненных из ферромагнитных материалов. Ферромагнитные свойства металлов обусловлены наличием внутренних молекулярных токов, создаваемых в основном за счет вращения электронов вокруг собственной оси. В пределах малых объемов ($10^{-8} \dots 10^{-3} \text{ см}^3$) элементарных областей (так называемых доменов), магнитные поля молекулярных токов образуют результирующее поле домена.

Если внешнее магнитное поле отсутствует, то магнитные поля доменов, направленные произвольно, компенсируют друг друга. Суммарное поле доменов в этом случае равно нулю, и деталь оказывается размагниченной (рис. 4.1, а). Если на металл действует внешнее магнитное поле, то под его влиянием поля отдельных доменов устанавливаются по направлению внешнего поля одновременно с изменением границ между доменами. В результате образуется общее магнитное поле доменов, и металл оказывается намагниченным (рис. 4.1, б). При намагничивании магнитное поле доменов в контролируемом металле накладывается на внешнее магнитное поле.

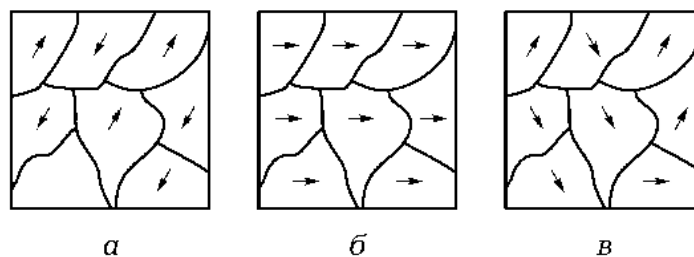


Рис. 4.1. Ориентация доменов в ферромагнитных материалах:
 а – размагниченном; б – намагниченном до индукции насыщения;
 в – с остаточной намагниченностью

Магнитный поток, распространяясь по сварному соединению и встречая на своем пути дефект, огибает его, так как магнитная проницаемость дефекта значительно (примерно в 1 000 раз) ниже магнитной проницаемости основного металла. Вследствие этого часть силовых линий магнитного поля вытесняется дефектом на поверхность, и образуется местный магнитный поток рассеяния (рис. 4.2). Дефекты, которые вызывают возмущение в распределении силовых линий магнитного поля без образования местного потока рассеяния, невозможно обнаружить методами магнитной дефектоскопии.

Возмущение магнитного потока тем сильнее, чем большее препятствие представляет собой дефект. Так, если дефект расположен вдоль направления силовых линий, то возмущение магнитного потока невелико, в то время как аналогичный дефект, расположенный перпендикулярно или наклонно по отношению к направлению магнитного потока, создает значительный поток рассеяния.

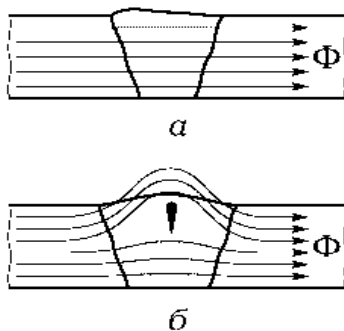


Рис. 4.2. Распределение магнитного потока Φ по сечениям сварных швов без дефектов (а) и с дефектом (б)

В зависимости от способа регистрации магнитного потока рассеяния различают следующие магнитные методы контроля: магнитопорошковый, магнитографический, феррозондовый и магнитополупроводниковый. Для дефектоскопии сварных швов применяются в основном первые три метода, в которых магнитные потоки рассеяния выявляются соответственно с помощью магнитного порошка, регистрируются на магнитную пленку и обнаруживаются феррозондовым преобразователем.

Задание по практической работе:

1. Осмотреть детали (образцы) подлежащие контролю визуально и с использованием лупы.
2. Провести намагничивание изделия способом остаточной намагниченности (СОН) путем помещения его в соленоид.
3. Обработать намагниченное изделие, поливая его слабой струей магнитной суспензии.
4. Сразу после обработки изделия магнитной суспензией провести его визуальный осмотр и если есть необходимость с использованием лупы.
5. Описать выявленные дефекты.
6. Провести размагничивание проконтролированных деталей.

Контрольные вопросы:

1. За счет чего при магнитопорошковой дефектоскопии выявляются дефекты?

2. Можно ли методом магнитопорошковой дефектоскопии обнаруживать подповерхностные дефекты?
3. Что такое способ приложенного поля?
4. Что такое способ остаточной намагниченности?
5. Что такое циркуляционное и полюсное намагничивание?

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 5 ВИХРЕТОКОВАЯ ДЕФЕКТОСКОПИЯ

Цель: получить навыки и умения по использованию электромагнитного метода для измерения толщины покрытий на стали.

Методические рекомендации

Физические основы метода вихретоковой дефектоскопии можно пояснить следующим образом. Если установить рядом две катушки индуктивности $L1$ и $L2$ и по катушке $L1$ пропустить ток (рис. 1), то при изменении силы тока в ней или взаимного расположения катушек в катушке $L2$ будет наводиться электродвижущая сила.

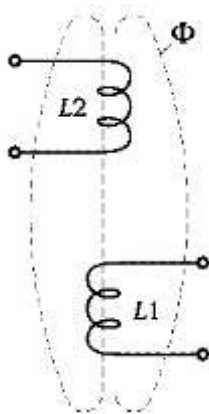


Рис. 5.1. Схема из двух взаимосвязанных катушек индуктивности $L1$ и $L2$:
 Φ – магнитный поток

Этот метод позволяет обнаруживать поверхностные и подповерхностные трещины высотой $0,1 \dots 0,2$ мм и протяженностью более 1 мм, расположенные на глубине до 1 мм.

Вихретоковая дефектоскопия может использоваться для измерения толщины гальванических, лакокрасочных и теплоизоляционных покрытий, стенок труб, пустотелых деталей и тонколистовых конструкций при одностороннем доступе к ним, а также диаметров прутков и проволоки.

Теоретические аспекты

При вихретоковой дефектоскопии функцию одной из катушек индуктивности выполняет металлическая пластина 1, в которой наводятся вихревые токи 2 (рис. 5.2), текущие в поверхностном слое металла со стороны катушки. Плотность и распределение вихревых токов в металле зависят от его геометрических и электрофизических параметров.

Если в схеме, изображенной на рис. 5.2, металлическую пластину заменить сварным соединением, содержащим дефекты, то увеличится сопротивление поверхностного слоя, что приведет к ослаблению вихревых токов, которое регистрируется катушкой-датчиком.

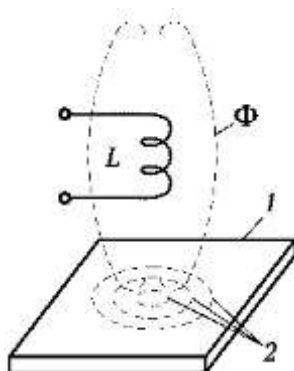


Рис. 5.2. Схема образования вихревых токов в металлической пластине:
1 – металлическая пластина; 2 – вихревые токи; L – катушка индуктивности;
Φ – магнитный поток

Методика контроля. Процесс контроля методом вихретоковой дефектоскопии (рис. 5.3) включает в себя выполнение следующих основных операций:

- внешний осмотр сварного соединения и устранение наружных дефектов, препятствующих проведению контроля;
- установка полезадающей системы 1 на контролируемое сварное соединение 2 и пропускание тока через катушку возбуждения;
- сканирование поверхности сварного соединения датчиком 3 и регистрация сигнала прибором 4;
- расшифровка результатов контроля и оценка качества соединения.

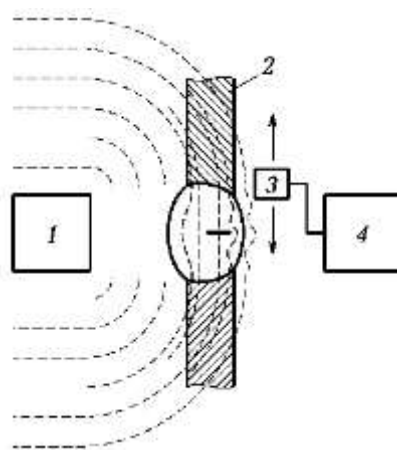


Рис. 5.3. Схема контроля сварного соединения методом вихретоковой дефектоскопии (стрелками показаны направления перемещения датчика):
 1 – полезадающая система; 2 – сварное соединение; 3 – датчик;
 4 – регистрирующий прибор

Вихретоковая дефектоскопия используется для контроля точечной сварки алюминиевых сплавов. При наличии литого ядра электропроводность сплавов марок Д16 и АМг в его зоне уменьшается на 10...15 % по сравнению с электропроводностью основного металла. Электропроводность сплавов В95, Амгб и других может уменьшаться на 15...30 %. При наличии дефектов типа слипания или непровара электропроводности литого ядра и основного металла примерно одинаковые.

Полезадающие системы, или вихретоковые преобразователи (ВТП), подразделяются на наружные проходные – в которых катушка с током охватывает контролируемое сварное соединение (рис. 5.4, а), внутренние проходные – в которых катушку вводят в соединение (рис. 5.4, б), и накладные – в которых катушку устанавливают на соединение торцом (рис. 5.4, в). В ВТП первых двух типов электромагнитная волна от полезадающей системы распространяется в направлении контролируемого соединения, а в ВТП третьего типа – вдоль его поверхности.

Измерительные катушки (датчики) выполняются отдельно от полезадающих (генераторных) и размещаются вблизи от поверхности сварного соединения.

Наружные проходные ВТП используют для контроля линейно-протяженных объектов и мелких деталей.

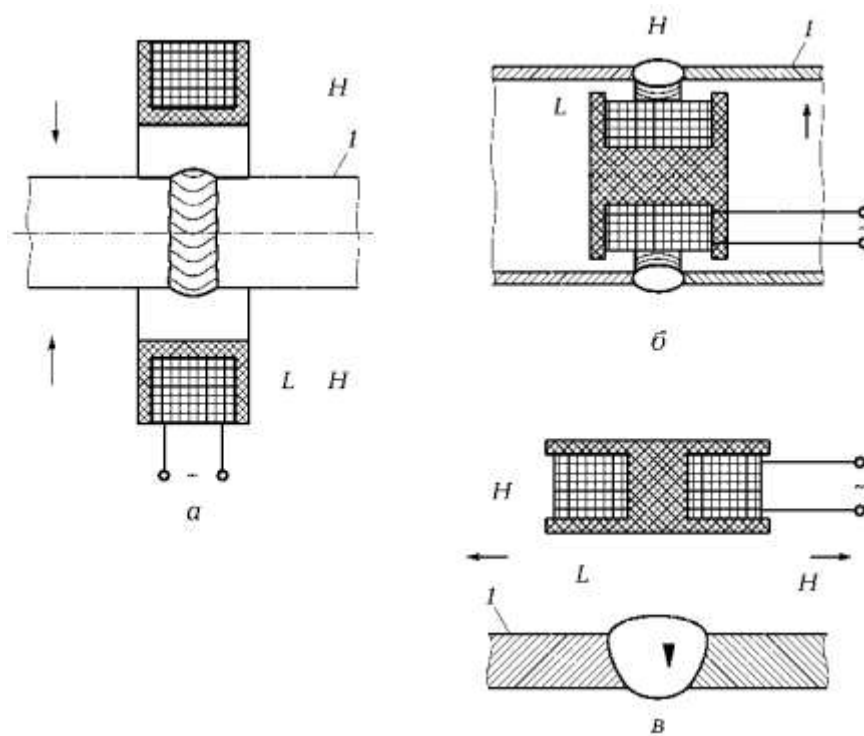


Рис. 5.4. Схемы наружной проходной (а), внутренней проходной (б) и накладной (в) полезадающих систем электромагнитного контроля (стрелками показаны направления распространения электромагнитных волн): 1 – сварное соединение; L – катушка индуктивности; H – вектор напряженности магнитного поля

С помощью внутренних проходных ВТП контролируют внутреннюю поверхность труб и отверстий в различных деталях.

Накладные ВТП применяют в основном для контроля качества объектов с плоскими поверхностями и объектов сложной формы, а также в тех случаях, когда требуется уменьшить зону контроля и обеспечить высокую чувствительность. Накладные преобразователи выполняются с ферромагнитным сердечником или без него. Такой сердечник (обычно ферритовый) повышает абсолютную чувствительность преобразователя и уменьшает зону контроля за счет локализации магнитного потока.

На чувствительность метода вихретоковой дефектоскопии значительное влияние оказывает зазор между датчиком и поверхностью контролируемого объекта, а также их взаимное расположение, форма и размеры. С увеличением зазора чувствительность метода резко снижается. Допустимый максимальный зазор составляет 2 мм. Структурная неоднородность сварного соединения также существенно снижает чувствительность данного метода.

Этот метод позволяет обнаруживать поверхностные и подповерхностные трещины высотой 0,1...0,2 мм и протяженностью более 1 мм, расположенные на глубине до 1 мм.

Вихретоковая дефектоскопия может использоваться для измерения толщины гальванических, лакокрасочных и теплоизоляционных покрытий, стенок труб, пустотелых деталей и тонколистовых конструкций при одностороннем доступе к ним, а также диаметров прутков и проволоки. Однако в ряде случаев практическое применение этого метода затрудняется неоднородностью свойств материалов соединения и отклонением размеров деталей от заданных даже в пределах допусков.

Метод вихревой дефектоскопии пока не нашел широкого применения при контроле сварных швов, так как электропроводность отдельных зон шва и околошовной зоны значительно изменяется, что создает сильные помехи при выявлении дефектов сварки.

Задание по практической работе:

1. Провести процедуру калибровки на материалах без покрытия:

- при включении прибора дисплей показывает CAL 1;
- примерно через три секунды показание дисплея изменится на 0.

В правом верхнем углу окошка дисплея светится указатель " μm ";

- теперь приложите зонд к материалу без покрытия;
- величина CAL 1 считается введенной, как только появляется звуковой сигнал;

- затем на дисплее появляется CAL 2;

- примерно через три секунды Лептоскоп предлагает следующий вид калибровочной пленки – 60 мкм для наложения на базовый материал.

В правом верхнем углу окошка дисплея снова светится указатель " μm ";

- положите соответствующую калибровочную пленку на материал без покрытия и приложите зонд. Величина калибровки введена, как только раздается звуковой сигнал.

2. Теперь прибор работает автоматически в режиме постоянного измерения.

Вывод измеренных значений производится примерно один раз в секунду, когда зонд приложен. При производстве измерения указатель " μm " мигает.

При отведении зонда мигание указателя прекращается и последнее измеренное значение появится на дисплее.

3. После завершения процедуры калибровки провести измерения толщин покрытий (пленок) на контрольных образцах

Контрольные вопросы:

1. Что лежит в основе токовихревого метода неразрушающего контроля?

2. Какие параметры объекта контроля влияют на результаты измерений при токовихревом методе?
3. Какие особенности метода приводят к ограничениям его применения?
4. Для каких целей можно применять метод в дефектоскопии?
5. Обоснуйте применимость метода в структуроскопии.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 6

КАПИЛЛЯРНАЯ ДЕФЕКТОСКОПИЯ

Цель: получить навыки и умения по методическим подходам и технологическим приемам при проведении цветной и люминесцентной дефектоскопии.

Методические рекомендации

Капиллярные методы контроля предназначены для обнаружения нарушений сплошности в поверхностных слоях сварных соединений. В большинстве случаев согласно техническим требованиям выявлению подлежат настолько малые дефекты сварных соединений, которые заметить при визуальном осмотре почти невозможно.

Методы капиллярной дефектоскопии позволяют выявлять разного рода трещины, свищи, микропоры и другие дефекты, выходящие на поверхность, за счет повышения контрастности индикаторного рисунка, образующегося на дефектах на фоне поверхности контролируемого объекта.

Теоретические аспекты

Применение оптических приборов, например лупы или микроскопа, не позволяет обнаруживать поверхностные дефекты вследствие недостаточной контрастности их изображений на фоне металла и малого поля зрения, обеспечиваемого при большом увеличении.

Методы капиллярной дефектоскопии позволяют выявлять разного рода трещины, свищи, микропоры и другие дефекты, выходящие на поверхность, за счет повышения контрастности индикаторного рисунка, образующегося на дефектах на фоне поверхности контролируемого объекта.

Изменить соотношение оптической плотности изображения дефекта и фона можно двумя способами. Первый способ повышения контрастности изображения заключается в полировании поверхности контролируемого сварного соединения с последующим травлением ее в растворах кислот. При такой обработке дефект забивается продуктами коррозии, чернеет и становится

заметным на светлом фоне полированного материала. Этот способ имеет целый ряд ограничений. В частности, в производственных условиях нерентабельно полировать поверхность сварного соединения и особенно шва. К тому же данный способ неприменим при контроле прецизионных полированных деталей и неметаллических материалов. Травление приемлемо только при контроле локальных участков поверхности металла, если имеется подозрение на наличие дефектов.

Второй способ повышения контрастности изображения основан на изменении светоотдачи дефектов заполнением их со стороны поверхности специальными свето- и цветоконтрастными индикаторными проникающими жидкостями – пенетрантами. Если в состав пенетранта входят люминофоры – вещества, испускающие свет под действием ультрафиолетового излучения, то такие жидкости называются люминесцентными, а метод контроля – люминесцентной дефектоскопией (АД). Если же основой пенетранта являются красители, видимые при дневном свете, то метод контроля называется цветной дефектоскопией (ЦД). Красители при ЦД используют ярко-красного цвета.

Контроль, осуществляемый методами капиллярной дефектоскопии, заключается в следующем. Поверхность контролируемой детали очищают от пыли, лакокрасочных покрытий, органических и других загрязнений, обезжиривают и сушат. На подготовленную поверхность наносят слой пенетранта и выдерживают некоторое время, чтобы жидкость проникла в открытую полость дефекта (рис. 6.1, а). Затем жидкость удаляют с поверхности (рис. 6.1, б), но при этом часть ее остается в полости дефекта.

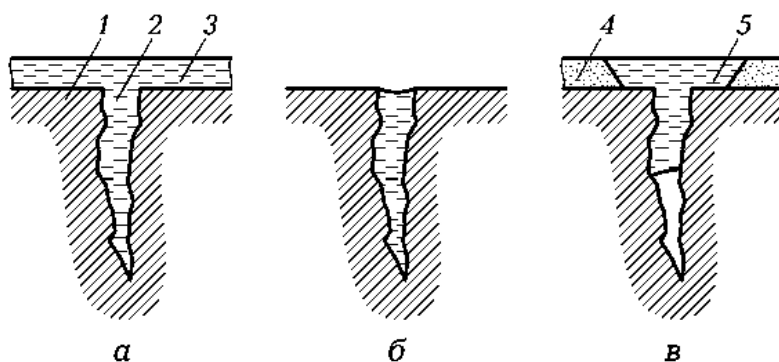


Рис. 6.1. Стадии контроля поверхности детали капиллярным методом с применением проявителя:

- а – полость трещины заполняется проникающей жидкостью – пенетрантом;
- б – жидкость удаляется с поверхности детали; в – наносится проявитель, трещина выявляется; 1 – деталь; 2 – полость трещины; 3 – проникающая жидкость; 4 – проявитель; 5 – индикаторный след трещины

Для повышения выявляемости дефектов на поверхность детали наносится специальный проявитель (рис. 6.1, в) в виде быстросохнущей суспензии

(например, из каолина или коллодия) либо лаковое покрытие. Проявляющий материал (обычно белого цвета) вытягивает пенетрант из полости дефекта, что приводит к образованию на проявителе индикаторного следа, полностью повторяющего конфигурацию дефекта в плане, но имеющего большие размеры. Такие следы легко различимы даже без использования оптических средств. Степень увеличения размеров индикаторного следа зависит от глубины расположения дефекта, т. е. от объема пенетранта, заполнившего дефект, и промежутка времени, прошедшего с момента нанесения проявляющегося слоя.

Физической основой методов капиллярной дефектоскопии служит явление капиллярной активности – способность жидкости втягиваться в мельчайшие сквозные отверстия и открытые с одной стороны каналы.

При попадании жидкости в капиллярный канал ее поверхность искривляется, образуя так называемый мениск. Силы поверхностного натяжения стремятся уменьшить свободную границу мениска, и в капилляре начинает действовать дополнительная сила, приводящая к всасыванию смачивающей жидкости. Глубина, на которую жидкость проникает в капилляр, прямо пропорциональна коэффициенту ее поверхностного натяжения и обратно пропорциональна радиусу капилляра. Иными словами, чем меньше радиус капилляра (дефекта) и лучше смачиваемость материала, тем быстрее и на большую глубину жидкость проникает в капилляр.

Процесс контроля качества сварного соединения капиллярными методами складывается из следующих технологических операций: подготовка объекта к контролю, обработка его дефектоскопическими материалами, выявление дефектов и заключительная очистка объекта по окончании процесса.

Подготовка объекта к контролю. Подготовка заключается в удалении всевозможных загрязнений и лакокрасочных покрытий, обезжиривании и сушке контролируемой поверхности.

Для очистки поверхности применяется комбинация различных способов механической обработки (шлифования, полирования, шабрения и др.) с последующей промывкой и протиркой ее легколетучими жидкими растворителями (скипидаром, ацетоном, бензином, спиртом и др.). Выбранный способ очистки должен обеспечивать удаление загрязнений из полости дефекта без внесения в нее новых загрязнений.

Сварные швы и околошовные зоны обрабатывают абразивным кругом, а затем наждачной бумагой разной зернистости. Такая механическая обработка позволяет удалить все неровности и сгладить выпуклость шва. Однако в процессе очистки абразивная и металлическая пыль заполняет полости дефектов, а тонкий слой пластически деформированного металла закрывает их. Следовательно, после механической обработки для вскрытия полостей дефектов

поверхность шва необходимо протравить раствором кислоты или щелочи (для алюминиевых сплавов).

Следует отметить, что от качества очистки поверхности сварного соединения существенно зависит чувствительность контроля.

В настоящее время помимо традиционных способов очистки используется весьма перспективная ультразвуковая очистка, при которой сварное соединение погружается в ванну с жидким растворителем и обрабатывается мощным потоком ультразвуковым излучением, а также анодно-ультразвуковая очистка, при которой детали, помещенные в ванну с травильным составом, одновременно обрабатываются ультразвуком и электрическим током.

Способы очистки и необходимая чистота контролируемых поверхностей определяются техническими требованиями к качеству сварного соединения.

Обработка сварных соединений дефектоскопическими материалами заключается в заполнении полостей дефектов индикаторной жидкостью, удалении ее избытка и нанесении проявителя.

В состав пенетрантов на водной основе входят люминофоры или красители, а также ингибиторы – вещества, тормозящие окислительные процессы. Такие пенетранты наиболее технологичны, безопасны для здоровья операторов и не воспламеняются, а также легко удаляются с поверхности простым смывом. Однако это последнее свойство пенетрантов обуславливает и их основной недостаток: при смыве удаляется и часть жидкости из полостей дефектов, что снижает чувствительность контроля, поэтому пенетранты на водной основе применяют ограниченно.

Наиболее широко распространены пенетранты на основе различных органических жидкостей (керосина, скипидара, бензола, уайт-спирита и др.), которые требуют осторожности в обращении, но обеспечивают высокую чувствительность метода при выявлении дефектов.

Пенетрант целесообразно наносить с помощью пульверизатора или мягкой кисти, а продолжительность его выдержки независимо от размеров дефектов не должна превышать 5 мин.

Выявление дефектов. Различают пять способов выявления дефектов сварных соединений с использованием капиллярной дефектоскопии.

Порошковый («сухой») способ основан на использовании проявителя в виде сухого белого сорбента (каолина, мела и др.), поглощающего индикаторный пенетрант.

«Мокрый» способ связан с применением проявителя в виде концентрированной суспензии, приготовленной из белого порошка, размешанного (диспергированного) в летучем растворителе (керосине, бензоле и др.), воде или их смесях.

При выявлении дефекта с помощью слоя краски или лака используют проявитель, состоящий из пигментированного или бесцветного быстросохнущего раствора (например, коллодия), поглощающего (сорбирующего) индикаторный пенетрант.

Пленочный проявитель представляет собой бесцветную или белую индикаторную ленту с проявляющим слоем, поглощающим индикаторный пенетрант и легко отделяющимся вместе с индикаторным слоем дефекта от контролируемой поверхности. Такой проявитель технологичен, позволяет получать дефектограмму, анализировать ее отдельно от сварного соединения и сохранять как объективный документ контроля.

Существуют также два варианта самопроявляющего способа. В беспорошковом варианте самопроявляющего способа выявления дефектов сварное соединение погружают в индикаторную жидкость, в состав которой входят органический люминофор и летучий растворитель. После извлечения соединения из этой жидкости растворитель быстро испаряется, а кристаллы люминофора оседают на кромках дефекта. Эти кристаллы люминесцируют под воздействием ультрафиолетового излучения. Для устранения фонового свечения все соединение обрабатывают в специальном растворе ингибитора, гасящем люминесценцию на поверхности, но почти не влияющем на люминофор, проникший в капиллярные полости дефектов.

В другом варианте самопроявляющего способа выявления дефектов контролируемый объект после очистки и пропитки нагревают, исключая тем самым проявление. При нагревании специальная индикаторная жидкость выходит из полости дефекта, затвердевает и образует индикаторный след, люминесцирующий под воздействием ультрафиолетового излучения.

В люминесцентной дефектоскопии применяются все указанные способы выявления дефектов. Широко распространено проявление дефектов с помощью порошка или суспензии в силу простоты процесса и доступности материалов, но при этом оно и наименее эффективно. Однако чаще всего в ЛД используются пленочный и самопроявляющий способы выявления дефектов.

В цветовой дефектоскопии применяют в основном порошкообразные сорбенты в виде суспензий и белые проявляющие лаки, причем лаковые проявители обеспечивают более высокую чувствительность метода.

В зависимости от размеров выявляемых дефектов устанавливаются четыре условных уровня чувствительности капиллярных методов контроля (табл.).

Для оценки условного уровня чувствительности используют тест-образцы с естественными или искусственными дефектами. Обычно тест-образцы содержат трещины, образовавшиеся при неправильном выборе режима шлифования.

Контролируемую поверхность со слоем проявителя сушат в потоке теплого воздуха, а затем дважды (через 5 и 20 мин после нанесения проявителя) производят ее осмотр, причем в случае использования ЛД – при освещении объекта ультрафиолетовым излучением, а в случае использования ЛД – при электрическом освещении или дневном свете. При этом освещенность на рабочем участке должна составлять не менее 500 лк.

Таблица. Условные уровни чувствительности капиллярных методов контроля

Условный уровень чувствительности	Размеры дефектов, мкм		
	Ширина	Глубина	Длина
I	Менее 1	Менее 10	Менее 0,1
II	1 ... 10	10 ... 100	0,1 ... 1
III	10 ... 100	100 ... 1 000	1 ... 10
IV	Более 100	Более 1 000	Более 10

Осмотр выполняют невооруженным глазом, а при необходимости применяют лупы, обеспечивающие малое увеличение (в 1,5–2 раза) и большое поле зрения. Обнаруженный индикаторный след изучают с помощью оптических приборов.

Рисунок индикаторных следов и топография их расположения позволяют довольно уверенно судить о виде дефектов.

Трещины любого происхождения, волосовины, заковы, непровары, неспай и оксидные пленки имеют вид четких (иногда прерывистых), окрашенных или люминесцирующих линий разной конфигурации.

Растрескивание металла и межкристаллитная коррозия на участках поверхности соединения крупнозернистых сплавов проявляются в виде группы отдельных коротких линий или их сетки.

О межкристаллитной коррозии мелкозернистых сплавов свидетельствуют пятна или размытые полосы.

Поры, язвенная коррозия, отдельные очаги межкристаллитной коррозии, выкрашивание материала и эрозионное повреждение поверхности соединения выявляются как отдельные точки или звездочки.

Индикаторный рисунок на поверхности сварного соединения может образовываться также различными допустимыми ее повреждениями или загрязнениями. В процессе выполнения контроля по дополнительным признакам необходимо отличать эти же дефекты от истинных дефектов. Отбраковка сварных соединений производится в тех случаях, когда число и размеры выяв-

ленных при капиллярной дефектоскопии штрихов, линий и то чек больше допустимых значений, установленных техническими условиями.

По завершении контроля поверхности сварного соединения в целях очистки от проявителя протирают растворителями, промывают или очищают другими способами.

Задание по практической работе:

1. На очищенную поверхность из аэрозольного баллона № 1 периодически наносят пенетрант с расстояния примерно 300 мм в несколько слоев с перерывами не менее 2 мин.
2. Изделие промывают теплой водой или протирают мокрой ветошью. Окончательно его обильно обмывают содержимым аэрозольного баллона № 2, выдерживают 30...60 с, после этого очищающий состав быстро удаляют теплой водой.
3. Контролируемый участок поверхности протирают марлевым тампоном, слегка смоченным очищающим составом, после чего тампон рассматривают (в случае применения цветных материалов – при дневном свете, люминесцентных – при ультрафиолетовом облучении).
4. Изделие протирают сухой ветошью или сушат в потоке чистого воздуха, причем для удаления влаги время сушки должно быть минимальным (обычно 3...5 мин).
5. После сушки на поверхность изделия из аэрозольного баллона № 3 наносят проявляющий лак, тщательно взбалтывая его перед этим. Во избежание образования крупных капель лака, ухудшающих качество проявления, струю аэрозоля включают и выключают в стороне от изделия. Проявитель наносят тонким, однородным, блестящим слоем, после чего сушат в течение 15...30 мин. Для получения наивысшей чувствительности контроля через 15 мин после начала сушки изделие подогревают.
6. Осматривают изделие при дневном свете или ультрафиолетовом облучении.

Контрольные вопросы:

1. Каково влияние основных видов загрязнений на технологические характеристики методов капиллярной дефектоскопии?
2. Какие способы подготовки изделий к капиллярной дефектоскопии вы знаете?
3. Назовите основные методы заполнения полостей трещин пенетрантами.
4. Какие способы нанесения проявителей обеспечивают наивысшую чувствительность капиллярной дефектоскопии?
5. Каковы основные характеристические признаки индикаторных следов дефектов?

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 7

КОНТРОЛЬ ТЕЧЕИСКАНИЕМ

Цель: получить навыки и умения по теоретическим основам и практическим подходам к применению акустических ультразвуковых течеискателей для поиска протечек.

Методические рекомендации

Основным эксплуатационным требованием к конструкциям замкнутого типа (сосудам, трубопроводам) является герметичность (непроницаемость) их стенок и сварных соединений.

Испытание конструкций на герметичность, или контроль течеисканием, выполняют с использованием пробных веществ (жидкостей или газов), которые легко проходят через сквозные дефекты и хорошо различаются визуально или с помощью приборов – течеискателей и других средств регистрации.

Контроль течеисканием позволяет обнаруживать в сварных соединениях и основном металле сварных узлов и конструкций следующие виды сквозных дефектов: трещины, непровары, поры, свищи, прожоги и др. Размеры сквозных дефектов ввиду невозможности измерения их линейных размеров условно оцениваются потоком пробного вещества, протекающего через дефект в единицу времени.

Теоретические аспекты

Герметичность – это способность конструкции ограничивать проникновение жидкости или газа сквозь ее элементы и через их соединения. Степень герметичности измеряется утечкой жидкости или газа в единицу времени.

Различают капиллярные, компрессионные и вакуумный методы контроля течеисканием. Все эти методы в зависимости от вида и способа индикации, используемого пробного вещества, применяемой аппаратуры и технологических особенностей имеют свои разновидности.

Выбор метода течеискания определяется степенью необходимой герметичности испытываемых объектов, направлением и значением нагрузки на оболочку и допустимыми к применению пробными веществами.

Желательно, чтобы направление и значение нагрузки при испытаниях герметичности совпадали с аналогичными характеристиками рабочей нагрузки объектов контроля.

Капиллярные методы. Эти методы контроля сварных соединений основаны на явлении капиллярного проникновения жидкости, обладающей высокой смачивающей способностью, в сквозные дефекты. Для проверки на одну

поверхность сварного соединения, предварительно очищенную от загрязнений, обильно наносят проникающую жидкость, например керосин, а на противоположную – адсорбирующее покрытие в виде меловой обмазки, состоящей из 350...480 г молотого мела (или каолина) и 1 л воды.

После определенной выдержки контролируемое соединение осматривают, выявляя сквозные дефекты по желтым пятнам керосина, появившимся на меловой обмазке. Зачастую для лучшего выявления пятен керосина в обмазку добавляют красители яркого цвета или люминофоры. Метод керосиновой пробы позволяет эффективно обнаружить сквозные дефекты с диаметром более 0,1 мм.

Иногда для повышения чувствительности и производительности данного метода контроля поверхность испытуемого объекта после смачивания сварного соединения керосином обдувают сжатым воздухом под давлением 0,3...0,4 МПа, ускоряя проникновение керосина в полости дефектов.

Метод керосиновой пробы применяется для контроля сварных соединений наливных емкостей, нефтяных резервуаров, цистерн и других конструкций, доступ к которым возможен с обеих сторон.

Другие капиллярные методы течеискания основаны на использовании пенетрантов – красок (цветной метод) или люминофоров (люминесцентный метод).

Компрессионные методы. Данные методы контроля основаны на создании в испытуемом объекте (замкнутой системе) избыточного давления пробного вещества (жидкости или газа) и регистрации на лицевой поверхности сварного шва участков течи. В зависимости от типа пробного вещества различают жидкостные (гидравлические) и газовые методы течеискания.

Жидкостные методы течеискания применяют для проверки различных замкнутых систем (например, паровых котлов, нефтехимической аппаратуры и др.), работающих под давлением. Контролируемый объект заполняют рабочей жидкостью или водой, герметизируют, с помощью гидравлического насоса создают в нем избыточное давление и некоторое время выдерживают под этим давлением. Затем производят визуальный осмотр наружной поверхности объекта. Признаком наличия дефекта служит появление капель жидкости на поверхности или ее отпотевание. Жидкостные методы контроля позволяют выявлять течи диаметром около 1 мкм.

Гидравлическим испытаниям должен предшествовать радиационный или ультразвуковой контроль, если он предусмотрен техническими условиями.

К жидкостным относится люминесцентно-гидравлический метод контроля, при проведении которого в состав пробного вещества добавляют люминофор, а

лицевую поверхность сварного соединения осматривают при воздействии на нее ультрафиолетовым излучением.

Иногда при использовании жидкостных методов контроля для лучшей выявляемости дефектов на лицевую поверхность соединения наносят индикаторное покрытие, в состав которого входит люминофор, например динатриевая соль флуоресцеина, люминесцирующая при попадании на нее воды, и сорбент (крахмал), удерживающий воду в течение длительного времени. Местоположение сквозного дефекта определяется по зеленому свечению участка индикаторного покрытия при воздействии на него ультрафиолетовым излучением.

При проведении гидравлических испытаний важно правильно выбрать давление, создаваемое в сварной конструкции. Обычно испытания на герметичность совмещают с гидравлическими испытаниями конструкции на прочность и производят их при давлении, в 1,1–1,5 раза превышающем рабочее. При контроле сварных соединений в условиях серийного производства, например спирально- и продольно-шовных труб для газонефтепроводов, применяются специальные испытательные стенды.

Гидравлический метод иногда используется и для испытания открытых сосудов, например отстойников. В этих случаях их заполняют жидкостью, а затем остукивают и осматривают лицевые поверхности сварных швов.

Газовые методы течеискания обладают большей чувствительностью, чем жидкостные, поскольку газообразные пробные вещества значительно легче проходят через мелкие сквозные дефекты. Газовые методы контроля применяются исключительно для испытания замкнутых сосудов. Самый простой из газовых методов контроля – пузырьковый (рис. 7.1) – заключается в погружении сварной конструкции в емкость с водой, в которой с помощью воздуха создано избыточное давление. Участки течи выявляют по выделяющимся пузырькам воздуха.

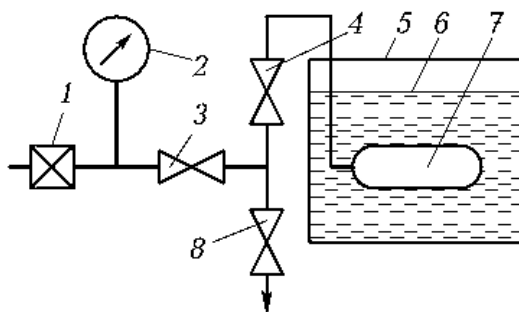


Рис. 7.1. Схема пузырькового метода контроля течеисканием:

- 1 – редукционный клапан; 2 – манометр; 3 – нагнетательный клапан;
4 – предохранительный клапан; 5 – бак; 6 – жидкость; 7 – контролируемый объект; 8 – вентиль сброса давления

Если размеры сварной конструкции не позволяют поместить ее в емкость, то лицевую поверхность сварного шва покрывают пенообразующим веществом (мыльным раствором) и участки течи фиксируют по мыльным пузырькам. Основой пенного индикатора служат поверхностно-активные вещества и также влагоудерживающий компонент – глицерин (до 90 %) с хромпиком (0,01 %). Пузырьковый метод контроля позволяет выявлять мелкие течи диаметром до 1 мкм.

Химические компрессионные методы контроля герметичности основаны на применении для индикации течей химических реакций пробного вещества с индикаторным слоем, нанесенным на лицевую поверхность проверяемого шва.

К компрессионным относится метод контроля герметичности с помощью воздушно-аммиачной смеси, заключающийся в том, что лицевую поверхность шва испытуемого объекта покрывают бумажной лентой, смоченной 5%-ным раствором нитрата ртути или раствором фенолфталеина, а в испытуемый объект подают смесь воздуха с 1...10 % аммиака. Бумажную ленту выдерживают в этом положении в течение 1...15 мин. Аммиак, проникая через сквозные дефекты, оставляет на бумаге в местах течи черные или фиолетовые пятна.

Для покрытия лицевой поверхности шва вместо бумажной ленты можно использовать индикаторную массу следующего состава, выраженного в массовых долях: дистиллят – 40; агар-агар – 1; фенолфталеин – 0,15; безводная сода – 0,01. В этом случае участки течи фиксируются как бесцветные пятна на малиновом фоне массы.

Весьма технологичен газолюминесцентный метод контроля герметичности, заключающийся в следующем. Емкость заполняют обессоленной водой, насыщенной пробным газом (например, CO_2 и аммиаком). На лицевую поверхность проверяемого объекта наносят индикаторную адсорбирующую обмазку, содержащую химические компоненты, которые при контакте с пробным газом образуют новый индикатор, флуоресцирующий при воздействии ультрафиолетового излучения.

Наиболее простым из компрессионных методов контроля является манометрический, который заключается в регистрации изменения давления внутри сосуда, происходящего в случае его негерметичности, с помощью манометров в течение определенного промежутка времени. Данный метод обеспечивает приблизительную оценку герметичности, но зато может применяться для периодической проверки конструкций, работающих под давлением, без каких-либо дополнительных операций.

На практике возможны течи различных сварных конструкций, которые значительно меньше выявляемых указанными ранее методами. Их обнаруживают галогенным методом течеискания. В качестве пробного газа в

этом случае используют фреон-12 (химическое соединение на основе фтора), обладающий высокой проникающей способностью. Индикатором здесь служит электронный прибор с платиновым диодом в качестве чувствительного элемента, анод и коллектор которого, разделенные воздушным или вакуумным промежутком, нагреваются до 800...900 °С. При попадании в этот промежуток молекул фреона электрический ток, протекающий через диод, резко возрастает, что фиксируется электронным стрелочным прибором.

На практике при галогенном методе контроля герметичности (рис. 7.2) обычно используется щуп течеискателя. В контролируемом объекте создают небольшое избыточное давление фреона-12, и щупом течеискателя производят обследование его наружной поверхности вдоль всего шва. Скорость перемещения щупа составляет 10...25 мм/с.

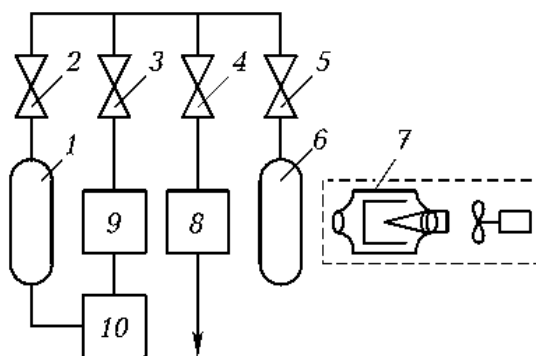


Рис. 7.2. Схема галогенного метода контроля герметичности с применением щупа и заполнением контролируемого объекта чистым фреоном:

1 – баллон с фреоном; 2...5 – вентили; 6 – контролируемый объект; 7 – щуп галогенного течеискателя с атмосферным датчиком; 8 – механический вакуумный насос; 9 – компрессор; 10 – конденсатор

При гелиевом течеискании пробным веществом служит гелий – газ, обладающий малой молекулярной массой и хорошей способностью проникать через мельчайшие каналы. Индикация газа производится масс-спектрометром. Гелий, прошедший через сквозные каналы в испытуемом объекте, попадает в камеру масс-спектрометра, в которой создан высокий вакуум. Камера масс-спектрометра, находящаяся в магнитном поле, имеет катод, ионизатор, диафрагму и коллектор, помещенные в латунный корпус.

Молекулы газа, поступающие в масс-спектрометр, под воздействием потока электронов, эмитируемых раскаленным катодом, ионизируются и превращаются в положительные ионы с зарядом, равным заряду электрона. Ионы, ускоряемые электрическим полем при напряжении 300...400 В, под воздействием магнитного поля приобретают круговые траектории движения, но в зависимости от массы с разными радиусами.

Диафрагмы, расположенные на пути движения ионов, выделяют только ионы гелия, которые попадают на коллектор. При этом происходит усиление ионного тока, что фиксируется миллиамперметром и звуковым индикатором. Масс-спектрометр позволяет регистрировать ничтожно малое число атомов гелия, прошедших через каналы контролируемого объекта.

Весьма перспективны инфракрасные газовые течеискатели, в которых реализован метод индикации газов, основанный на избирательном поглощении инфракрасного излучения анализируемого компонента. Наличие специфических особенностей инфракрасных спектров поглощения разных газов и использование селективных приемников обеспечивает высокие чувствительность и избирательность данного метода. Он также весьма универсален, так как позволяет определять концентрации паров многих веществ и газов. Выполнение измерений этим методом возможно в широких диапазонах концентраций паров.

Вакуумный метод. Данный метод течеискания основан на регистрации падения вакуума в замкнутом объеме контролируемого объекта или на индикации молекул пробного газа, появившихся в этом объеме. На чувствительность вакуумного метода существенно влияет степень очистки полости объекта от загрязнений, масел и т.п. Следовательно, поверхность объекта перед контролем необходимо многократно промыть растворителями и протереть, а в отдельных случаях отшлифовать до блеска.

В зависимости от конструкции и конфигурации сварного узла применяют несколько схем контроля герметичности вакуумным методом. Наибольшее распространение получили две схемы контроля: с использованием гелиевой камеры и с использованием вакуумных присосок.

В первой схеме испытуемый объект помещают в заполненную гелием камеру, вакуумируют до необходимого остаточного давления и фиксируют прибором появление ионов гелия внутри объекта при негерметичности последнего. Во второй схеме на наружную поверхность сварного соединения объекта, заполненного гелием под некоторым избыточным давлением, накладывают вакуумную камеру, в которой создают разрежение (рис. 7.3). Появление в камере ионов гелия, сопровождающееся образованием вздутий в пленке пенообразующего вещества, свидетельствует о наличии течи.

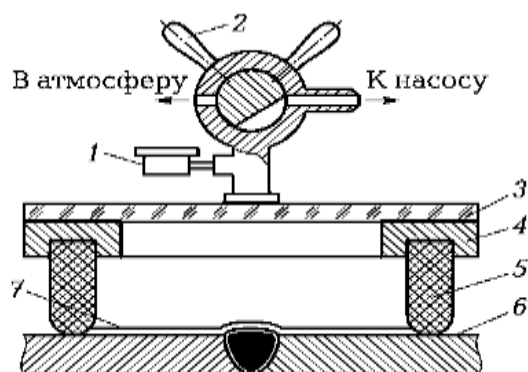


Рис. 7.3. Схема контроля герметичности с помощью вакуумной камеры:
 1 – вакуумметр; 2 – трехходовой кран (в двух положениях); 3 – иллиминатор из оргстекла; 4 – металлическая рамка; 5 – уплотнитель (присоска) из губчатой резины; 6 – контролируемое сварное соединение;
 7 – пленка пенообразующего вещества

Важное значение имеет выявление зарождающихся микротрещин с крайне малой шириной. Такие микродефекты можно обнаружить с помощью газосорбционного метода. В этом случае сварное соединение помещают в вакуумную камеру для того, чтобы освободить полости поверхностных дефектов от молекул воздуха. Затем в камеру вводят радиоактивный газ ^{83}Kr , являющийся источником β -излучения, молекулы которого адсорбируются поверхностными дефектами. Далее сварное соединение извлекают из камеры и на его поверхность накладывают детектор излучения (например, высокочувствительную рентгеновскую или фотографическую пленку). На участках скопления радиоактивного газа, содержащих дефекты, пленка засвечивается, и после ее фотообработки на снимке получается изображение поверхностных дефектов.

В перспективе возможно использование этого метода для контроля протяженных сварных соединений крупногабаритных конструкций с применением локальных вакуумных камер.

Выбор схемы контроля с помощью течеискателя зависит от класса герметичности сварной конструкции, устанавливаемого ее разработчиком. Например, в атомной энергетике в соответствии с условиями эксплуатации и возможностями ремонта все оборудование подразделяют на пять классов герметичности (табл.). Каждому из этих классов соответствуют определенные методы испытаний в зависимости от их чувствительности. К классу I относятся ответственные конструкции, надежность которых должна быть очень высокой в силу специфических особенностей их эксплуатации.

Таблица. Классы герметичности изделий в зависимости от диапазонов выявляемых протечек и методов их выявления

Класс герметичности	Диапазон выявляемых натеканий воздуха		Метод течеискания	Пробное вещество	Проявление дефекта
	см ³ /год	м ³ ·Па/с			
I	0,02... 0,20	$3,75 \cdot 10^{-3} \dots 3,75 \cdot 10^{-2}$	Газовый гелиевый	Гелий	Сигнал масс-спектрометра
II	0,2... 0,4	$3,75 \cdot 10^{-2} \dots 7,50 \cdot 10^{-2}$	То же	»	То же
III	0,4... 0,8	0,075... 0,150	Люминесцентно-гидравлический	Вода, пенетрант	Течь, свечение
IV	0,8... 850	0,15... 160	Галогенный, цветной и люминесцентный капиллярный	Фреоновоздушная смесь, пенетрант	Сигнал прибора, пятна, свечение
V	Более 850	Более 160	Керосиновая проба, пузырьковый, опрессовка воздухом	Керосин, воздух, азот	Пятна на меловом фоне, пузырьки

Задание по практической работе:

1. Расположить устройство на расстоянии 0,1–1,0 м и направить на испытываемый конструкцию (трубопровод), находящийся под давлением воздуха не менее 0,01 МПа.
2. Перемещать устройство вдоль испытываемой конструкции выдерживая расстояние 0,1–1,0 м.
3. При появлении характерного шума (шипения, свиста) в наушниках, изменяя направление оси датчика (преобразователя), добиться максимальной громкости и максимальных показаний индикатора. В случае чрезмерной громкости сигнала уменьшить его уровень вращением диска регулятора.
4. Повторить пункт б в режиме локального поиска.
5. Точка пересечения оси датчике (преобразователя) с наружной поверхностью конструкции укажет место утечки воздуха из системы.
6. Отметить мелом место утечки и продолжить поиск других подобных мест аналогичным образом.
7. По окончании работы отсоединить головные телефоны и датчик (преобразователь) от устройства.

Контрольные вопросы:

1. Какие изделия подвергаются контролю на герметичность?
2. Причины, по которым контроль герметичности может не показать реального состояния конструкции.

3. Что такое манометрический метод контроля герметичности?
4. Что такое акустический метод контроля герметичности?
5. Какова методика поиска дефектов акустическими течеискателями.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Черепяхин, А. А. Технология конструкционных материалов. Сварочное производство: учебник / А. А. Черепяхин, В. М. Виноградов, Н. Ф. Шпунькин. – 2-е изд., испр. и доп. – Москва: Издательство Юрайт, 2022. – 269 с.
2. Дедюх, Р. И. Технология сварочных работ: сварка плавлением: учеб. пособие / Р. И. Дедюх. – Москва: Издательство Юрайт, 2022. – 169 с.
3. Технология сварочных работ: теория и технология контактной сварки: учеб. пособие / Р. Ф. Катаев, В. С. Милютин, М. Г. Близник; под науч. ред. М. П. Шалимова. – Москва: Издательство Юрайт, 2022. – 146 с.
4. Фетисов, Г. И. Сварка и пайка в авиационной промышленности: учеб. пособие / Г. И. Фетисов. – 2-е изд., испр. и доп. – Москва: Издательство Юрайт, 2022. – 229 с.
5. Неразрушающий контроль и диагностика: справочник / под ред. В. В. Клюева. – Москва: Машиностроение, 2005. – 656 с.
6. Овчинников, В. В. Контроль качества сварных соединений: учебник для студ. учреждений сред. проф. образования / В. В. Овчинников. – 2-е изд., стер. – Москва: Изд. центр «Академия», 2012. – 208 с.
7. Овчинников, В. В. Дефектация сварных швов и контроль качества сварных соединений: учебник для студ. учреждений сред. проф. образования / В. В. Овчинников. – 3-е изд., стер. – Москва: Издательский центр «Академия», 2017. – 224 с.

Локальный электронный методический материал

Марк Борисович Лещинский

СПЕЦИАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ СВАРКИ И ПАЙКИ

Редактор Е. Билко

Уч.-изд. л. 4,0. Печ. л. 3,4

Федеральное государственное
бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Калининградский государственный технический университет»,
236022, Калининград, Советский проспект, 1