

С. Б. МОЦОХИН

КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ И КОНСТРУКЦИЙ

*Допущено Главным управлением кадров и учебных заведений
Министерства монтажных и специальных строительных работ
СССР в качестве учебника для техникумов*



МОСКВА
СТРОИИЗДАТ
1985

ББК 38.634
М 86
УДК 693.514.25 : 658.562(075.32)

Рецензенты: д-р техн. наук В. Н. Волченко, канд. техн. наук
Л. С. Денисов

Научный редактор: канд. техн. наук В. Г. Фирстов

Моисович С. Б.

М 86 Контроль качества сварных соединений в кон-
струкциях: Учеб. для техникумов. — М.: Стройиздат,
1985. — 232 с., ил.

Изложены основные сведения о видах сварки и сварных соедине-
ний, о возможных дефектах и способах их устранения. Рассмотрены
вопросы контроля качества сварных соединений металлических конст-
рукций и трубопроводов неразрушающими (внешним осмотром, тече-
исканием, капиллярным, магнитным, ультразвуковым и радиационным)
и разрушающими (механическими) методами. Даны основы управле-
ния качеством сварки конструкций и организации контроля.

Для учащихся средних специальных учебных заведений, обучаю-
щихся по специальности «Технология сварочного производства».

3204000000—296
М 047(01)—85 98—85

ББК 38.634

6С6.5

Повышение эффективности производства и улучшение качества выпускаемой продукции является одной из важнейших задач, поставленных перед пародным хозяйством XXVI съездом КПСС и последующими Пленумами ЦК КПСС. В промышленном строительстве решение этой задачи неразрывно связано с улучшением качества сварных соединений, с повышением надежности их работы.

Качество сварных соединений зависит от качества исходных основных и сварочных материалов, качества сборки под сварку, соблюдения технологии сварки и других факторов. Возникновение дефектов в значительной степени связано не только с техническими, но и с организационными причинами. Следовательно, специалисты-технологи сварочного производства должны знать не только дефекты сварных соединений, присущие различным способам сварки, методы и оборудование для их выявления, но и владеть вопросами организации управления качеством сварки.

Настоящий учебник написан в соответствии с программой «Контроль качества сварных соединений и конструкций», утвержденной Главным управлением кадров и учебных заведений Минмонтажспецстроя СССР. Содержание учитывает знания, полученные учащимися при изучении курсов физики, сварных конструкций, организации производства сварочно-монтажных работ, технологии и оборудования газопламенной обработки металлов, электрической сварки плавлением, автоматизации сварочного производства.

Книга состоит из пяти разделов, в которых в сжатой форме рассмотрены физико-технические основы методов контроля качества сварных соединений, средства для их реализации, а также основы управления качеством сварочного производства. Значительное внимание уделено практике контроля сварных соединений промышленных сооружений.

В книге рассмотрены методы контроля качества сварных соединений, которые находят наибольшее применение при проведении строительно-монтажных работ на предприятиях Минмонтажспецстроя СССР такие как ультразвуковой, радиационный, магнитный, капиллярный и механические испытания. Более подробную информацию о каждом из этих методов читатели смогут найти в специальной литературе, рекомендованной для более детальной проработки отдельных вопросов дефектоскопии.

Автор стремился отразить научно-технические достижения в области контроля качества сварных соединений (использованы работы Ермолова И. Н., Румянцева К. В., Волченко В. Н., Алещина Н. П., Гурвича А. К., Майорова А. Н., Фирстова В. Г., Хусанова М. Х.), опыт преподавания соответствующей дисциплины в монтажных техникумах, а также практический опыт работы передовых строительно-монтажных лабораторий по контролю качества сварных соединений предприятий Минмонтажспецстроя СССР.

Раздел первый.

ДЕФЕКТЫ И МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Глава I. ВИДЫ СВАРКИ И СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

1. Основные виды сварки при монтажных работах

Правильный выбор метода и аппаратуры для контроля качества сварных соединений связан с особенностями различных видов сварки и сварных соединений со спецификой возникающих при этом дефектов. Название видов сварки и их классификация даются в ГОСТ 2601—74 и 19521—74.19232—73.

По методу выполнения двух главных движений — подачи электрода (электродной проволоки) в зону плавления и его перемещения вдоль шва (включая необходимые манипуляции), применяемые при монтажных работах, виды сварки можно разделить на ручные и механизированные.

Ручная сварка. Ручная дуговая сварка (плавящимся металлическим электродом) — вид сварки, при котором подача электрода и перемещение электрической дуги, горящей между электродом и свариваемым изделием, производится вручную (рис. 1). Газошлаковая защита зоны горения дуги и расплавленного металла обеспечивается расплавляемым и сгораемым покрытием электрода.

Ручная аргонодуговая сварка — вид сварки, при котором электрическая дуга горит между неплавящимся вольфрамовым электродом и свариваемым изделием в среде инертного газа, защищающего также зону плавления основного и присадочного металла (рис. 2).

При ручной сварке можно получать швы во всех пространственных положениях, качество сварных стыков, как правило, высокое. Но возможны наружные и внутренние дефекты сварного соединения, связанные с квалификацией сварщика, условиями выполнения работ, качеством сварочных материалов и подготовкой свариваемых поверхностей.

Механизированная сварка, Сварка под флюсом, автоматическая (механизированы оба главных

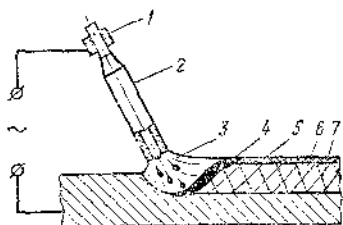


Рис. 1. Схема ручной дуговой сварки

1 — токоподвод; 2 — электрод; 3 — дуга; 4 — сварочная ванна; 5 — шлаковая корка; 6 — наплавленный металл; 7 — основной металл

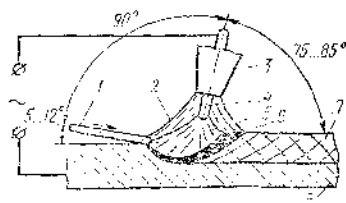


Рис. 2. Схема ручной аргонно-дуговой сварки с присадочным прутом

1 — присадочный пруток; 2 — струя защитного газа аргона; 3 — сопло горелки; 4 — вольфрамовый электрод; 5 — дуга; 6 — сварочная ванна; 7 — наплавленный металл; 8 — основной металл

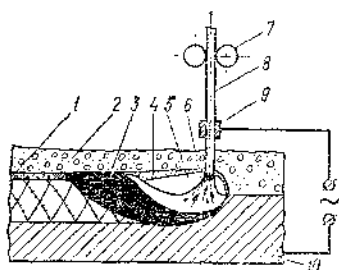


Рис. 3. Схема сварки под флюсом

1 — шлаковая корка; 2 — флюс; 3 — сварочная ванна; 4 — расплавленный шлак; 5 — газовый пузырь; 6 — сварочная дуга; 7 — подающие ролики; 8 — электродная проволока; 9 — токоподвод; 10 — основной металл

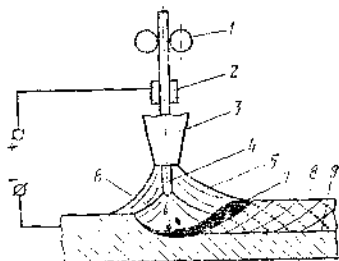


Рис. 4. Схема сварки в углекислом газе

1 — подающие ролики; 2 — токоподвод; 3 — сопло; 4 — электродная проволока; 5 — струя защитного углекислого газа; 6 — сварочная дуга; 7 — сварочная ванна; 8 — наплавленный металл; 9 — основной металл

движения) и *полуавтоматическая* (механизирована только подача электродной проволоки) — вид сварки, при котором дуга горит под флюсом между электродной проволокой и изделием (рис. 3). Расплавляемый при этом флюс образует газшлаковую защиту дуги и металла сварочной ванны. Сварка со свободным формированием шва возможна только в нижнем положении. При нарушении или неправильном выборе режимов сварки, нестабильной разделке или плохой подготовке кромок, а также значительных колебаниях напряжения питающей

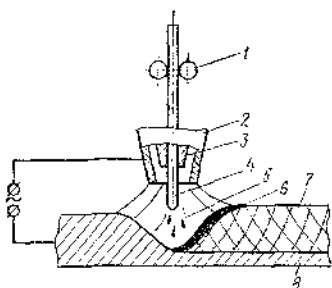


Рис. 5. Схема автоматической и полуавтоматической аргонодуговой сварки плавящимся электродом

1 — подающий механизм; 2 — ролики; 3 — токоподводящий мундштук; 4 — электрическая проволока; 5 — сварочная дуга; 6 — сварочная ванна; 7 — наплавленный металл; 8 — основной металл

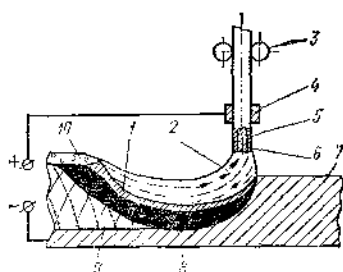


Рис. 6. Схема сварки порошковой проволокой

1 — подающая корка; 2 — дуга; 3 — подающие ролики; 4 — токоподвод; 5 — стальная трубчатая оболочка порошковой проволоки; 6 — порошковая шихта; 7 — основной металл; 8 — сварочная ванна; 9 — наплавленный металл; 10 — шлаковая корка

сети могут образовываться как наружные, так и внутренние дефекты.

Сварка в углекислом газе автоматическая и полуавтоматическая — вид сварки, при котором дуга горит между плавящимся электродом (сварочной проволокой) и изделием (рис. 4). В зону дуги через мундштук электрододержателя подается защитный углекислый газ. Возможно выполнение сварки во всех пространственных положениях. При недостаточной квалификации сварщика, высокой влажности защитного газа, плохой очистке поверхности свариваемых кромок и электродной проволоки возможно появление как внутренних, так и наружных дефектов.

Аргонодуговая автоматическая и полуавтоматическая сварка неплавящимся и плавящимся электродами — вид сварки, при котором дуга горит в защитной среде аргона между вольфрамовым электродом или сварочной проволокой и изделием (рис. 5). В некоторых случаях применяют сварку в аргоне, пульсирующей или синхронизированной дугой. Это позволяет получать швы высокого качества при сварке специальных сталей и алюминия.

Дуговая полуавтоматическая сварка порошковой проволокой — вид сварки, при котором дуга горит меж-

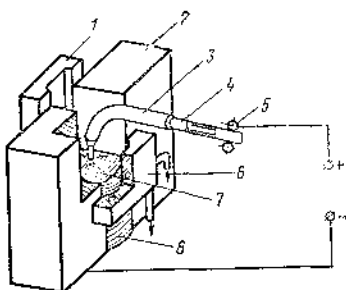


Рис. 7. Схема сварки порошковой проволокой с принудительным формированием сварного шва

1 — формирующая медная пластина; 2 — свариваемые детали; 3 — направляющий и токоподводящий мундштук; 4 — порошковая проволока; 5 — подающие ролики; 6 — формирующий медный водоохлаждаемый ползун; 7 — сварочная дуга; 8 — сваренный шов

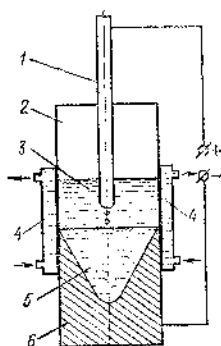


Рис. 8. Схема электрошлаковой сварки

1 — электродная проволока; 2 — свариваемая деталь; 3 — шлаковая ванна; 4 — водоохлаждаемые медные формирующие ползуны; 5 — металлическая ванна; 6 — металл шва

ду электродом (проволокой трубчатого сечения, заполненной порошком) и изделием (рис. 6). Газошлаковая защита металла шва и дуги образуется расплавляемым при этом порошком. Сварка выполняется преимущественно в нижнем положении. Разработаны порошковые проволоки для сварки в различных пространственных положениях. Возможно появление как внутренних, так и наружных дефектов, связанных с нестабильным заполнением сварочной проволоки порошком, плохой очисткой поверхности кромок и проволоки, нарушением режимов сварки.

Дуговая автоматическая сварка порошковой проволокой с принудительным формированием сварного шва — вид сварки, при котором дуга горит между электродом (порошковой проволокой) и изделием, а сварной шов формируется с помощью охлаждаемых медных ползунов (рис. 7). Сварка выполняется преимущественно в вертикальном и наклонном положении. Имеется положительный опыт сварки в горизонтальном положении на вертикальной плоскости. Возможно появление наружных и внутренних дефектов, связанных с недостаточно хорошим качеством порошковой проволоки и нарушении-

ем режимов сварки, а также с колебаниями питающей сети.

Электрошлаковая сварка — вид сварки, при котором расплавление свариваемых кромок и электродной проволоки происходит за счет тепла, выделяемого в электроде (по закону Джоуля Ленца), который подается в шлаковую ванну (рис. 8). Сварка производится преимущественно в вертикальном положении и применяется для соединения элементов толщиной 50...100 мм; шов формируется с помощью охлаждаемых медных ползунов. Возможно появление наружных и внутренних дефектов, связанных с нарушением режима сварки, плохой очисткой сварочной проволоки, недостаточно сухим флюсом. Другие виды сварки применяются при монтажных работах сравнительно редко и рассматриваются в специальных курсах.

2. Виды сварных соединений

Сварные соединения можно классифицировать по расположению в пространстве (рис. 9) и по конструктивным особенностям (рис. 10).

Форма и конструктивные размеры подготовленных под сварку соединений, а также форма и размеры сварных швов зависят от толщины свариваемого материала, его марки, способа сварки и положения шва в пространстве. Обычно они показываются на чертежах и должны соответствовать государственным стандартам (ГОСТам) и техническим условиям (ТУ).

Для стыковых соединений, выполняемых сваркой плавлением, указывают размеры зазора, угол скоса кромок, величину притупления, а для готового шва — ширину шва, высоту усиления и высоту проплава; для угловых соединений указывается высота катета шва. Конструктивные элементы и форма разделок сварных соединений, выполненных различными видами сварки, устанавливаются ГОСТами. Наиболее часто применяются:

ГОСТ 5264—80. Ручная дуговая сварка. Сварные соединения. Основные типы, конструктивные элементы и размеры.

ГОСТ 11534—75 «Ручная дуговая сварка. Соединения сварные под острыми и тупыми углами. Основные типы, конструктивные элементы и размеры;

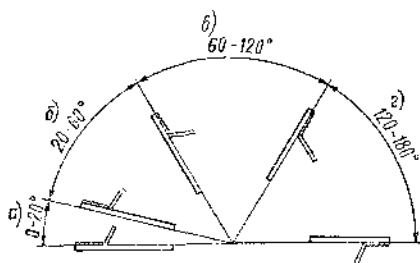
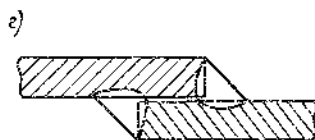
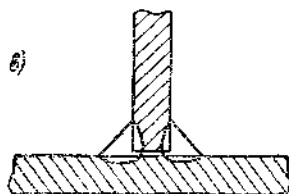


Рис. 9. Схема расположения сварных швов в пространстве

а — лижнее; б — наклонное; в — вертикальное; г — потолочное

Рис. 10. Конструкция сварных швов

а — стыковой односторонний; б — стыковой двусторонний с разделкой кромок; в — тавровый; г — нахлесточный



Сварка под флюсом. Соединения сварные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры.

ГОСТ 11533—75 «Автоматическая и полуавтоматическая дуговая сварка под флюсом. Соединения сварные под острыми и тупыми углами. Основные типы, конструктивные элементы и размеры»;

ГОСТ 16037—80 «Соединения сварные стальных трубопроводов. Основные типы и конструктивные элементы»;

ГОСТ 16038—80. Сварка дуговая. Соединения сварные трубопроводов из меди и медноникелевого сплава. Основные типы, конструктивные элементы и размеры».

ГОСТ 14771—76 «Дуговая сварка в защитном газе. Соединения сварные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры».

ГОСТ 15164—78 «Электрошлаковая сварка. Соединения сварные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры».

В сварных конструкциях, монтируемых при строительстве промышленных зданий и сооружений встречаются практически все виды сварных швов. Например,

сварные швы трубопроводов могут быть стыковыми и угловыми. Они могут свариваться в нижнем положении, когда трубу при сварке поворачивают, а электрод, горелку или шлангодержатель полуавтомата располагают близко к зениту. В тех случаях, когда трубу нельзя поворачивать, например, при сварке монтажных соединений, стыковые швы труб выполняют во всех пространственных положениях.

При проектировании сварных конструкций, а также при разработке технологии их изготовления следует учитывать, что конструктивное совершенство сварных соединений и удобство выполнения сварочных работ в значительной степени влияют на возможность обеспечения качества сварных швов. Например, если конструкция сваривается автоматической сваркой под флюсом, то необходимо, чтобы была возможность выполнять сварку в нижнем положении, то есть должна учитываться возможность перемещения конструкции при сварке. Если толщина стенки конструкции такова, что наиболее эффективно выполнять сварку электрошлаковым методом, то сварные швы должны располагаться вертикально.

Высокое качество сварного соединения достигается, когда технология обеспечивает гарантированный провар корня шва. С этой точки зрения предпочтительнее конструкции, сварные швы которых можно сваривать на остающихся технологических подкладках или с двух сторон. Хорошие результаты достигаются, например, при применении специальных флюс-паст для сварки стыков трубопроводов. Эти флюс-пасты способствуют поддержанию жидкой сварочной ванны и формированию обратного валика в стыковых швах трубопроводов при одностороннем доступе к сварному соединению.

При сварке ответственных трубопроводов малого диаметра (до 40 мм) с небольшой толщиной стенок предпочтительно применение соединений внахлест, поскольку это гарантирует надежный провар корня шва. Наилучшие результаты при этом достигаются при сварке в среде аргона.

3. Классификация дефектов

Надежность эксплуатации сварных соединений зависит от их соответствия нормативной документации, которая регламентирует конструктивные размеры и форму готовых сварных швов, прочность, пластичность, коррозионную стойкость и свойства сварных соединений.

Сварные соединения, выполненные в производственных условиях, могут иметь отступления от заданных размеров, формы и свойств. В процессе монтажа или эксплуатации эти отступления могут привести к разрушению сварного шва и даже всей конструкции. Каждое такое несоответствие требованиям, установленным нормативной документацией, называется «дефектом» (ГОСТ 15467—79).

Задача контроля сварки заключается в выявлении дефектов сварных соединений, определении причин их возникновения и разработке мероприятий, направленных на устранение этих причин.

Все встречающиеся типы дефектов сварных соединений можно подразделить на четыре группы: по расположению, форме, размерам и количеству.

По расположению различают дефекты наружные, внутренние и сквозные. *По форме* — компактные и протяженные, плоские и объемные, острые (с надрезом) и округлые (без надреза); *по размерам* — мелкие, средние и крупные; *по количеству* — единичные и групповые (цепочки, скопления).

На монтаже наибольшее распространение получили различные способы сварки плавлением. Поэтому рассмотрим основные типы наружных и внутренних дефектов, которые могут иметь место при этих способах сварки.

4. Наружные дефекты

К наружным дефектам относятся нарушения формы, размеров и внешнего вида швов: неравномерная ширина шва по его длине, неравномерная высота шва, неравномерные катеты угловых швов, подрезы, наплывы, прожоги, незаваренные кратеры, свищи.

Подрезы — дефекты сварного соединения, представляющие собой местные уменьшения толщины основного

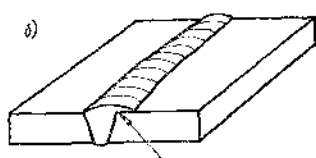
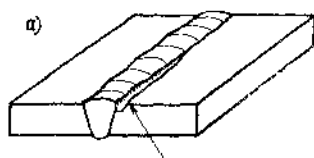


Рис. 11. Дефекты сварных швов
а — подрез; б — наплыв

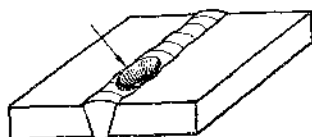
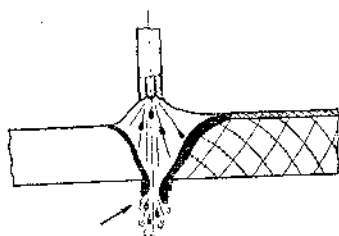
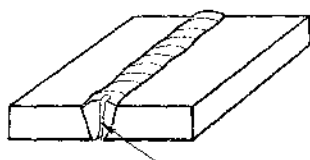


Рис. 12. Прожог

Рис. 13. Незаваренный кратер

Рис. 14. Свист



12	13
14	

металла в виде канавок, располагающихся вдоль границ сварного шва (рис. 11, а). Подрезы относятся к наиболее часто встречающимся наружным дефектам, образующимся, как правило, при сварке угловых швов с излишне высоким напряжением дуги и в случае неточного ведения электрода. Одна из кромок проплавляется более глубоко, металл стекает на горизонтально расположенную деталь и его не хватает для заполнения канавки.

В стыковых швах подрезы образуются реже. Обычно при повышенном напряжении дуги и большой скорости сварки образуются двусторонние подрезы. Такие же подрезы образуются в случае увеличения угла разделки при автоматической сварке.

Односторонние подрезы могут быть вызваны смещением электрода с оси стыка и неправильным ведением электрода, особенно при сварке горизонтальных швов на вертикальной плоскости.

При сварке с принудительным формированием подрезы появляются тогда, когда нарушается охлаждение

ползунов, повышается напряжение процесса, ползуны смещаются с оси стыка.

Подрезы выявляют внешним осмотром и если их глубина и протяженность превышают допустимые, то дефектный участок заваривают и зачищают.

Наплывы — дефекты сварного соединения, получающиеся когда металл шва натекает на основной металл, но с ним не сплавляется (рис. 11, б). Наплывы могут образовываться из-за недостаточного напряжения дуги, наличия на свариваемых кромках толстого слоя окислы, излишнего количества присадочного металла, не уменьшающегося в разделке или зазоре. При сварке с принудительным формированием наплывы возникают при неплотном поджатии ползунов. В кольцевых поворотных стыковых швах появление наплывов вызывается неправильным расположением электрода относительно заплата. Наплывы могут иметь небольшую длину или быть протяженными.

Прожоги — дефекты сварки, заключающиеся в вытекании металла сварочной ванны через отверстие в шве с образованием в нем полости (рис. 12). Причиной возникновения прожога может служить большая сила сварочного тока, увеличение зазора между кромками, недостаточная толщина подкладной полосы или ее неплотное прилегание. При сварке поворотных кольцевых швов появлению прожогов способствует смещение электрода от зенита в сторону вращения изделия, что вызывает стекание жидкого металла из-под конца электрода и более активное прожигающее воздействие дуги. Дефектные места должны быть удалены и заварены заново.

Кратеры — дефекты сварных швов в виде углублений, остающихся в местах обрыва дуги (рис. 13). Усадочные трещины в кратерах часто служат очагом образования трещин. Поэтому дефектные места должны быть зачищены и заварены. В случае механизированных видов сварки применяют выводные планки, на которых заканчивают швы. Затем планки с концами швов и имеющимися кратерами удаляют. В электрических схемах автоматов предусматривают такие элементы, которые обеспечивают возможность автоматической заварки кратера.

Свищи — дефекты в виде полостей в сварных швах, выходящие на их поверхность (рис. 14). Свищи, как правило, развиваются из канальных пор.

5. Внутренние дефекты

Образование внутренних дефектов при сварке связано с металлургическими, термическими и гидродинамическими явлениями, происходящими при формировании сварного шва.

К внутренним дефектам относятся трещины (горячие и холодные), непровары, поры, шлаковые вольфрамовые и окисные включения. Эти шесть основных видов дефектов следует различать в соответствии с ГОСТ 23055—78. Они также совпадают с основными группами дефектов согласно рекомендациям СЭВ по стандартизации РС 2192—82.

Трещины — дефекты сварных швов, представляющие собой макроскопические и микроскопические межкристаллические разрушения, образующие полости с очень малым начальным раскрытием. Под действием остаточных и рабочих напряжений трещины могут распространяться с высокими скоростями. Поэтому вызванные ими хрупкие разрушения происходят почти мгновенно и очень опасны.

В зависимости от температуры, при которой происходит их возникновение, различают горячие и холодные трещины. *Горячие трещины* представляют собой разрушения кристаллизующегося металла, происходящие по жидким прослойкам под действием растягивающих напряжений (рис. 15). Эти напряжения появляются вследствие несвободной усадки металла шва и примыкающих к нему неравномерно нагретых участков основного металла.

Образование горячих трещин связано с совокупным действием двух факторов. По мере кристаллизации сокращается количество жидкой фазы, что приводит к уменьшению деформационной способности сплава. Кроме того, в температурном интервале хрупкости (ТИХ) пластические свойства сплава наиболее низки. Кристаллизационные трещины образуются, если пластическая деформация за время пребывания металла в ТИХ превзойдет пластичность сплава в этом интервале температур.

Характерным для горячих трещин является межкристаллитный вид разрушения, развивающегося по границам зерен при наличии между ними жидкой прослойки

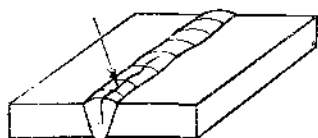


Рис. 15. Продольная горячая трещина

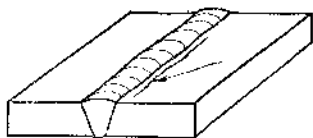


Рис. 17. Холодные трещины в околошовной зоне

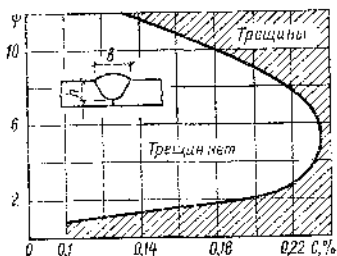


Рис. 16. Влияние коэффициента формы шва $\psi = b/h$ и содержания углерода C на вероятность образования трещин

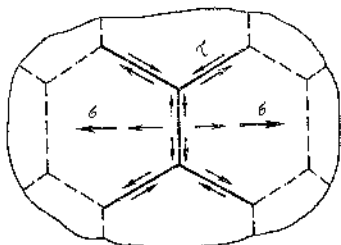


Рис. 18. Схема Зенера

или за счет межзеренного проскальзывания, происходящего при повышенных температурах после окончания процесса кристаллизации.

Горячие трещины могут возникать как в основном металле, так и в металле зоны термического влияния. Они могут быть продольными, поперечными, продольными с поперечными ответвлениями, могут выходить на поверхность или оставаться скрытыми. Вероятность образования горячих трещин зависит от химического состава металла шва, скорости нарастания и величины растягивающих напряжений, формы сварочной ванны и шва, размера первичных кристаллитов. Она увеличивается с повышением содержания в металле шва углерода, кремния, никеля, вредных примесей серы и фосфора. Повышению стойкости сварных швов, образованию горячих трещин способствуют марганец, хром и отчасти кислород, а также снижение величины и скорости нарастания растягивающих напряжений, что достигается уменьшением жесткости узлов, применением способа сварки с оптимальным термическим циклом, например, сварки с

ПЧМ¹, использованием специальных технологических приемов, таких как предварительный подогрев и т. п. Влияние коэффициента формы шва на вероятность образования горячих трещин не однозначно (рис. 16). При значениях коэффициента формы шва менее 1,8 и более 10 сопротивляемость возникновению горячих трещин понижается даже при относительно невысоком содержании углерода.

Холодные трещины образуются чаще всего в зоне термического влияния, реже в металле шва сварных соединений среднелегированных и высоколегированных сталей перлитного и мартенситного классов (рис. 17). Появление холодных трещин объясняют действием комплекса причин. Одна из них — влияние высоких внутренних напряжений, возникающих в связи с объемным эффектом, сопутствующим мартенситному превращению, происходящему в условиях снижения пластичности металла. Поэтому холодные трещины наблюдаются как при температурах распада остаточного аустенита (120 °C и ниже), так и при комнатной температуре через несколько минут, часов, а иногда и через более длительное время после окончания сварки. Высокие внутренние напряжения могут также развиваться вследствие адсорбции растворенного в металле водорода на поверхностях внутренних дефектов и накопления его в микронесплошностях. Возникновение холодных трещин связывают также с замедленным разрушением металла под действием напряжений, которые согласно схеме Зинера (рис. 18) накапливаются по границам зерен, перпендикулярным направлению действия нормальных напряжений.

Непровары — это участки сварного соединения, где отсутствует сплавление между свариваемыми деталями, например, в корне шва, между основным и наплавленным металлом (по кромке) или между смежными слоями наплавленного металла (рис. 19).

Поверхности непроваров обычно покрыты тонкими окисными пленками и другими загрязнениями. Очень часто полости, образованные непроварами, заполняются шлаком. Окончания непроваров в металле шва или на границе сплавления, как правило, имеют очень малое раскрытие. Непровары уменьшают рабочее сечение свар-

¹ ПЧМ — порошкообразный присадочный металл, иногда называемый крупкой.

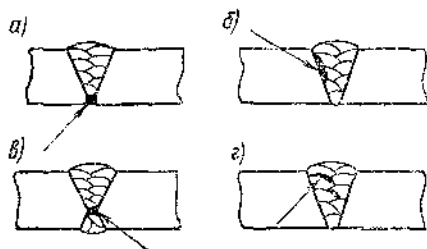


Рис. 19. Непровары

а — в корне одностороннего стыкового шва; б — по кромке между основным и наплавленным металлом; в — в корне двустороннего шва; г — между слоями



Рис. 20. Поры



Рис. 21. Шлаковые включения

ного шва, что может привести к снижению работоспособности сварного соединения. Являясь концентраторами напряжений непровары могут вызвать появление трещин, уменьшить коррозионную стойкость сварного соединения, привести к коррозионному растрескиванию.

Непровары могут быть вызваны многими причинами: малым углом раскрытия кромок, малым зазором, большим притуплением при недостаточной силе тока; большой скоростью сварки; смещением электрода от оси шва, особенно при сварке двухсторонних швов; плохой очисткой шлака перед наложением последующих слоев; излишним количеством ППМ при недостаточной силе тока и большой скорости сварки; низкой квалификацией сварщика.

Непровар является очень опасным дефектом сварки.

Поры — это полости в металле шва, заполненные газами. Обычно они имеют сферическую или близкую к ней форму. В сварных швах углеродистых сталей поры зачастую имеют трубчатую форму. Первоначально, возникнув в жидком металле шва за счет интенсивного газообразования, не все пузырьки газа успевают подняться на поверхность и выйти в атмосферу. Часть из них остается в металле шва. Размеры таких пор колеблются от микроскопических, до 2...3 мм в диаметре, и за счет диффузии газов (в первую очередь, водорода) могут расти. Образуются раковины (полости неправильной формы и больших, чем поры размеров), а также свищи, выходящие на поверхность. Кроме одиночных пор, вызванных действием случайных факторов, в сварных швах

могут появляться поры, равномерно распределенные по всему сечению шва, расположенные в виде цепочек или отдельных скоплений (рис. 20).

К основным причинам, вызывающим появление пор, относятся: плохая очистка свариваемых кромок от ржавчины, масел и различных загрязнений; повышенное содержание углерода в основном или присадочном металле; большая скорость сварки, при которой не успевает пройти газовыделение и поры остаются в металле шва; большая влажность электродных покрытий, флюса, сварка при плохой погоде.

Шлаковые включения — это полости в металле сварного шва, заполненные шлаками, не успевающими всплыть на поверхность шва (рис. 21). Шлаковые включения образуются при больших скоростях сварки, при сильном загрязнении кромок и при многослойной сварке в случаях плохой очистки от шлака поверхности швов между слоями. Размеры шлаковых включений могут достигать нескольких миллиметров в поперечном сечении и десятков и более миллиметров по протяженности. Форма шлаковых включений может быть самой разнообразной, вследствие чего они являются более опасными дефектами, чем округлые поры.

Вольфрамовые включения могут появляться в металле сварного шва при аргодуговой сварке неплавящимся электродом, например, алюминиевых сплавов, в которых вольфрам не растворим. Частишки вольфрама, попадающие вследствие неустойчивости режима в расплавленную сварочную ванну, обычно погружаются в нее из-за большой плотности. На рентгеновских снимках вольфрамовые включения выглядят как ясно видимые светлые пятна неправильной формы, располагающиеся изолированно или группами.

Оксидные включения — могут возникать в металле сварных швов при наличии труднорастворимых оксидов, например Al_2O_3 при больших скоростях кристаллизации шва. Располагаясь в виде пленок, они образуют в металле шва несплошности с малым раскрытием и их неблагоприятное воздействие на механические свойства сварных швов может быть более сильным, чем пор и шлаковых включений.

6. Влияние дефектов на работу сварных конструкций

Наличие дефектов в сварных соединениях может существенно влиять на работу сварных конструкций. Степень этого влияния зависит от свойств свариваемых материалов и видов нагрузок, при которых работает рассматриваемая конструкция, от величины остаточных напряжений и наличия концентраторов напряжений, от агрессивности среды и температуры, от формы и величины самих дефектов, а также места их расположения.

Дефекты округлой или неправильной формы, но с плавными очертаниями, оказывают меньшее воздействие на снижение эксплуатационных свойств сварных соединений, чем при наличии дефектов с острыми очертаниями. Особенно опасны трещины и трещиноподобные дефекты — непровары, подрезы, окисные включения. Такие дефекты даже при статических нагрузках могут стать очагами хрупких разрушений. Существенное значение при этом имеют свойства основного металла и температурный режим, при котором эксплуатируется сварная конструкция. В конструкциях, работающих в условиях естественно низких температур (до минус 60°C), материал сварного соединения углеродистых и значительной части низколегированных сталей обладает относительно большим запасом вязкости. Разрушающие напряжения в этом случае превышают предел текучести материала, а сами разрушения имеют вязкий характер. С дальнейшим понижением температуры вязкость материала уменьшается и хрупкое разрушение может возникнуть даже при низких напряжениях и относительно малых размерах начальных дефектов.

Механизм разрушения при статических нагрузках принято связывать с изменением локальных механических свойств в зонах дефектов. Причиной этих изменений может являться деформационное старение, а также повышение хрупкости металла сварных соединений вследствие обогащения его водородом и повышения содержания углерода. Явления деформационного старения могут наблюдаться в областях пластических деформаций, возникающих в зонах дефектов при остывании или при повторных нагревах металла шва (термопластические деформации), а также при предварительных нагружениях, когда в вершинах концентраторов напряжений развива-

ются пластические деформации, в несколько раз превышающие общие. В зонах повышенных пластических деформаций во много раз возрастает поглощаемость водорода сталью, что вызывает водородную хрупкость. Повышение содержания углерода на поверхностях резов, выполненных воздушно-дуговой резкой угольным электродом, происходит за счет поверхностного науглероживания и вследствие диффузии углерода из глубинных слоев к поверхности реза. Такое явление наблюдалось, например, при выборке корня шва с помощью воздушно-дуговой резки угольным электродом сварных соединений шаровых резервуаров из стали 09Г2С толщиной 34 мм. Образовавшиеся при этом в областях повышенного содержания углерода первичные дефекты в виде поверхностных надрывов (мелких трещин) под влиянием остаточных напряжений развивались впоследствии во внутренние трещины значительной величины, распространявшиеся под углом 45° и выходившие в некоторых случаях на поверхность основного металла.

Итак, наиболее опасными дефектами при статических нагрузках являются трещины и им подобные дефекты — непровары, подрезы. Поры и шлаковые включения с округлыми границами становятся опасны только в случаях, когда они значительно уменьшают рабочее сечение.

При динамических нагрузках безусловную опасность представляют дефекты — концентраторы, которые значительно снижают предел выносливости, — непровары, подрезы и, конечно, трещины. Их влияние усугубляется наличием остаточного водорода в металле шва. Поэтому сварные соединения конструкций, работающих в условиях динамического воздействия, следует выполнять сварочными материалами, обеспечивающими низкое содержание водорода в металле шва.

Столь же отрицательно на пределе выносливости сказывается наличие поля растягивающих остаточных напряжений. Дефекты округлой формы влияют на прочность сварных соединений в меньшей степени, но при определенных условиях поры и шлаковые включения, не опасные при статических нагрузках, могут вызывать преждевременные усталостные разрушения. Так, если поры находятся внутри длинного продольного шва, имеющего остаточные растягивающие напряжения, близкие к предельным, то даже та небольшая концентрация напряжений, которая ими создается, может оказаться крити-

ческой и вызвать преждевременное усталостное разрушение.

Отрицательное влияние на работу сварных соединений оказывают дефекты в виде неметаллических включений, которые снижают пластические свойства металла шва.

Глава III. ВИДЫ И МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

7. Виды контроля

В зависимости от характера воздействия на материал образца или изделия все разнообразные методы контроля качества сварных соединений могут быть разделены на две основные группы: методы контроля без разрушения образцов или изделий — *неразрушающий контроль* и методы контроля с разрушением образцов или производственных стыков — *разрушающий контроль*. Обе группы методов контроля регламентируются соответствующими ГОСТами.

Группа методов контроля, объединенная общими физическими характеристиками, составляет вид контроля.

Все виды неразрушающего контроля классифицируются по следующим пяти основным признакам: 1) по характеру физических полей или излучений, взаимодействующих с контролируемым объектом; 2) по характеру взаимодействия физических полей или веществ с контролируемым объектом; 3) по первичным информативным параметрам, рассматриваемых методов контроля; 4) по способам индикации первичной информации; 5) по способам представления окончательной информации.

Все методы неразрушающего контроля подразделяются согласно стандарту на следующие десять видов: акустический, капиллярный, магнитный, оптический, радиационный, радиоволновый, тепловой, теческанием, электрический, электромагнитный (вихревых токов). Для контроля качества сварных соединений могут быть применены все перечисленные виды, однако наиболее широкое применение на практике нашли методы пяти из них — акустического, капиллярного, магнитного, радиационного и теческанием.

К неразрушающим видам контроля следует отнести и контроль внешним осмотром и обмером, который име-

ет существенное значение для получения качественных сварных конструкций.

Каждый вид контроля имеет свою оптимальную область применения, отличается определенными достоинствами и недостатками. Поэтому наиболее полную информацию о качестве изделия можно получить сочетанием различных видов контроля.

8. Методы контроля

Все методы, применяемые для неразрушающего контроля качества сварных соединений, осуществляются либо передачей энергии, либо передачей вещества.

Наибольшее распространение получил радиационный вид контроля, осуществляемый с помощью передачи энергии рентгеновскими и гамма-излучениями, которые, проходя через контролируемый объект, изменяют интенсивность излучения в местах наличия дефектов. Это изменение регистрируется рентгеновской пленкой или электрорадиографической пластиной — радиографический метод. Реже используется радиоскопический метод, при котором радиационное изображение преобразовывается и передается для визуального анализа на выходной экран, а также радиометрический метод, когда радиационная информация преобразовывается в электрические сигналы, регистрируемые по показаниям приборов. Радиационные методы позволяют выявить внутренние и поверхностные несплошности в стыковых швах любых материалов. Дефекты угловых швов обнаруживаются плохо¹.

Из акустических методов контроля наибольшее распространение получила ультразвуковая дефектоскопия, осуществляемая эхо-методом. Реже применяют теневой метод, а также контроль поверхностными (Рэлея) и нормальными (Лэмба) волнами. Хорошо выявляются дефекты с малым раскрытием, типа трещин, в том числе и те, выявление которых затруднено при радиационной дефектоскопии.

Среди магнитных методов контроля следует указать магнитографический и магнитопорошковый. При магнитографическом методе возмущения, создаваемые при на-

¹ Более подробно о каждом методе контроля изложено в соответствующих главах книги.

магничивании изделия дефектами в виде поверхностных и внутренних несплошностей, расположенных близко к поверхности, регистрируются магнитной пленкой и считываются с нее с помощью специального прибора — магнитографического дефектоскопа. При магнитопорошковым методе эти возмущения наблюдают визуально по интенсивности расположения ферромагнитных частиц порошка на поверхности контролируемого шва. Методы магнитной дефектоскопии пригодны для выявления дефектов только в изделиях из ферромагнитных материалов.

В капиллярном виде контроля используют движение индикаторного вещества. Он применяется для выявления поверхностных дефектов в сварных соединениях из любых материалов. Распространение получили методы люминесцентной, цветной и люминесцентно-цветной дефектоскопии. Эти методы основаны на изменении светотдачи дефектных участков с помощью заполнения их специальными свето- и цветовыми индикаторными составами. При люминесцентном методе используют растворы люминофоров, которые дают яркое свечение в ультрафиолетовом свете. При цветном методе в качестве индикаторов (пенетрантов) используют растворы специальных красителей, проникающих в глубь дефектов, выходящих на поверхность. Люминесцентно-цветной метод является сочетанием двух предыдущих.

При контроле течением также используют движение контрольного вещества для обнаружения течей — сквозных несплошностей в сварных соединениях. С помощью этого вида контроля проверяют герметичность изделия. Он основан на регистрации индикаторных жидкостей и газов, проникающих через сквозные дефекты контролируемых сварных соединений. К основным методам относятся: пневматический, гидравлический, керосиновый, галоидный, химический и люминесцентно-гидравлический. Контроль герметичности течением может быть применен для любых материалов и толщин.

Выбор метода контроля связан с определением возможностей различных методов выявить опасные для работы данного сварного соединения дефекты, их производительностью и стоимостью. Количественно оценить возможности каждого метода дефектоскопии и результаты проведенного контроля можно с помощью характеристики, называемой *чувствительностью*. За показатель чувст-

вительности того или иного метода контроля принимают наименьшие размеры поверхностных дефектов (трещин), выявляемых разными методами (табл. 1).

1. Чувствительность методов контроля

Методы	Размеры трещин, мкм		
	ширина	глубина	длина
Капиллярные:			
цветной (составы «К» и «И»)	1 . . . 2	10 . . . 30	100 . . . 300
люминесцентно-цветной	1 . . . 2	10 . . . 30	100 . . . 300
Магнитный:			
магнитопорошковый	1	10 . . . 50	300
Радиационные:			
рентгенографический	—	0,5 . . . 3% толщины	—
гаммаграфический	—	1 . . . 6% толщины	—

Для дефектов, расположенных внутри сечения, — это линейные размеры дефекта и глубина его залегания.

На чувствительность контроля оказывают влияние многие факторы, связанные с особенностями контрольной аппаратуры и дефектоскопических материалов, состоянием контролируемой поверхности, спецификой материала изделия, условиями проведения контроля и др.

Учитывая это, а также возможности применения различных методов контроля для разных типов конструкций, наиболее исчерпывающую информацию об их качестве можно получить путем применения комплексного контроля с использованием не одного, а нескольких методов дефектоскопии.

Выбор метода контроля или комплекса методов, а также чувствительности контроля зависит от технических возможностей каждого метода, специфических особенностей контролируемой сварной конструкции и требований к выявлению дефектов, устанавливаемых нормативными документами на данный вид продукции.

Раздел второй

КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ НЕРАЗРУШАЮЩИМИ МЕТОДАМИ

Глава IV. КОНТРОЛЬ ВНЕШНИМ ОСМОТРОМ И ОБМЕРОМ

9. Исходные материалы, заготовки и сборка под сварку

Определенная часть дефектов сварных швов появляется в результате применения недостаточно качественных исходных материалов (основных и сварочных), нарушения требований к сборке под сварку, технологии ее выполнения. Предотвратить появление этих дефектов помогает предварительный и пооперационный контроль, выполняемый методами внешнего осмотра и обмеров.

К исходным материалам относятся основной металл (литье и металлопрокат), из которого собирают сварные конструкции, сварочные электроды, проволока, флюс и защитные газы. Все поступающие в производственное подразделение заготовки, идущие на изготовление сварных конструкций, подлежат следующим видам контроля: у литья и металлопроката проверяют наличие сертификатов, заводской маркировки и соответствие их проекту. Внешним осмотром, в особенности кромок и мест, прилегающих к ним, устанавливают наличие раковин, расслоений, трещин; у труб и монтажных заготовок (отводов, переходов, тройников) проверяют наличие и качество скоса кромок, эллипсность, строительную длину и угол (у отводов), вмятины; у труб и заготовок из специальных сталей проверяют соответствие их химического состава и механических свойств ГОСТам и ТУ.

Приемку сварочных материалов начинают с проверки наличия сертификатов, сохранности упаковки и наличия на ней этикеток и бирок, соответствующих сертификатам.

Сварочные электроды выборочно подвергают внешнему осмотру с целью выявления механических повреждений покрытия и отсутствия коррозии стержня под ним, а также обмером с целью определения равномерности нанесения покрытия. Согласно ГОСТ 9466—75 в зависимости от требований, предъявляемых к качеству изготов-

ления, электроды подразделяются на три группы. На поверхности покрытия электродов первой и второй групп допускаются:

поры с максимальным наружным размером не более 1,5 толщины покрытия, но не более 2 мм, и глубиной не более 1/2 толщины покрытия, если на 100 мм длины электрода число пор не превышает трех для электродов первой группы и двух для электродов второй группы;

поверхностные продольные волосные трещины и местные сетчатые растрескивания в суммарном количестве не более двух на электрод при длине каждой волосной трещины или участка растрескивания не более 15 мм для электродов первой группы и не более 10 мм для электродов второй группы;

отдельные продольные риски глубиной не более 1/4 толщины покрытия, а также местные вмятины глубиной не более 1/2 толщины покрытия в количестве не более четырех при суммарной длине до 25 мм на одном электроде. Две местные вмятины, расположенные с двух сторон электрода в одном поперечном сечении, могут быть приняты за одну, если их суммарная глубина не превышает 1/2 толщины покрытия;

местные задиры на поверхности покрытия, если их глубина не превышает 1/4 толщины покрытия, а их число на одном электроде составляет не более трех для электродов первой группы, не более двух для электродов второй группы и не более одного для третьей группы.

Покрытие электродов диаметром до 4 и более мм не должно разрушаться при свободном падении электрода пламени на гладкую стальную плиту с высоты 1 и 0,5 м соответственно. Могут допускаться частичные отколы покрытия до 5 % длины покрытой части электрода (рис. 22). Пригодность электродов устанавливают по результатам технологической пробы. При этом определяют характер плавления электродного стержня и покрытия, качество формирования сварного шва, степень разбрызгивания, образование «козырька», легкость отделения шлака и пр. Осмотром поверхности шва определяют наличие выходящих на поверхность пор, в изломе таврового шва — наличие пор и шлаковых включений.

Сварочную проволоку проверяют на чистоту поверхности от окислов, смазки и загрязнений. При соответствии свойств проволоки сертификату и требованиям стандартов, имеющиеся поверхностные загрязнения (но не

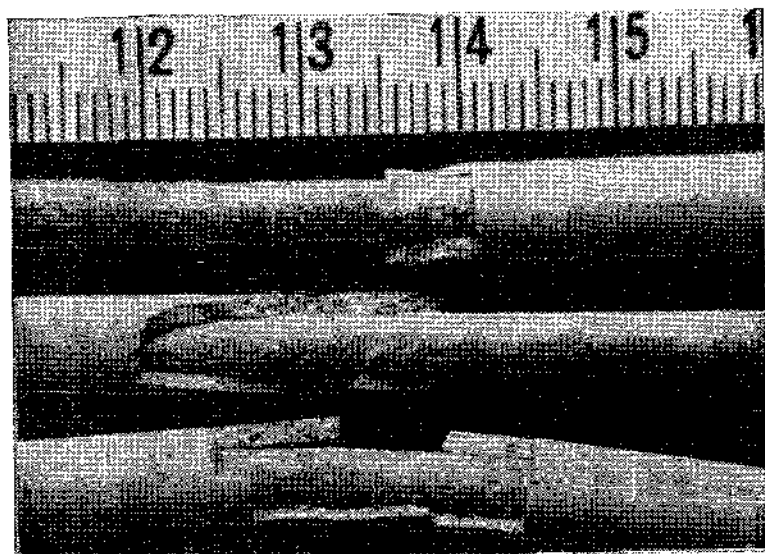


Рис. 22. Бракованные электроды

окислы) могут быть очищены механическим или химическим способами. За последние годы увеличивается поставка проволоки с покрытием из меди. Оно исключает образование ржавчины и способствует получению качественных сварных швов.

При необходимости сварки ответственных конструкций на стадии приемочного контроля выполняют технологическую пробу путем сварки пластин толщиной от 10 мм или труб с толщиной стенки не менее 8...10 мм. При этом применяют соответствующие сварочные материалы — флюс или защитные газы. По технологическим пробам устанавливают качество формирования сварного шва, степень разбрызгивания, легкость отделения шлака, порообразование и т. п., как и в случае проверки электродов.

Сварочный флюс проверяют путем проверки грануляции и сварки технологической пробы, позволяющей, как и в случае проверки электродов и сварочной проволоки, определить по внешнему осмотру шва и его излома качество формирования, склонность к поро- и шлакообразованию, отделимость шлака и т. п.

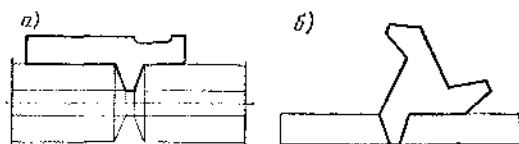


Рис. 23. Шаблоны для проверки размеров разделки стыковых соединений трубопроводов (а) и пластин (б)

Для сварки ответственных конструкций флюс перед пробой проверяют на гранулометрический состав, однородность, насыпную плотность и загрязненность. При влажности, превышающей 0,1 %, флюс просушивают при режимах, указанных в ТУ.

Защитные газы (углекислый газ, аргон) — при наличии сертификатов завода-изготовителя подвергают контролю только в том случае, если в сварных швах, выполненных с их использованием, обнаруживают недопустимые дефекты.

Собранные под сварку детали проверяют на соответствие требованиям технологии и проекту. С помощью специальных шаблонов и линеек (рис. 23) проверяют качество скоса кромок (равномерность и величину угла раскрытия, отсутствие местных вырывов), наличие и величину притупления, превышение кромок, величину и равномерность зазора. Особое внимание уделяют проверке чистоты поверхности кромок и прилегающей зоны, зачистки прихваток. При сварке сталей, в том числе и закаливающихся толщиной более 20 мм, поверхности прихваток тщательно проверяют на наличие трещин. Прихватки с трещинами должны быть тщательно удалены, места основного металла, где они находились, осматривают с помощью лупы и только после этого выполняют новые прихватки с применением особых технологических приемов, например, подогрева.

10. Процесс сварки

Визуальное наблюдение за выполнением сварки позволяет избежать значительной части дефектов сварного шва. Правильность режима сварки контролируют по внешнему виду получаемого сварного шва; проверяют эффективность газовой защиты. После сварки корневых швов и зачистки их от шлака контроль с помощью лупы

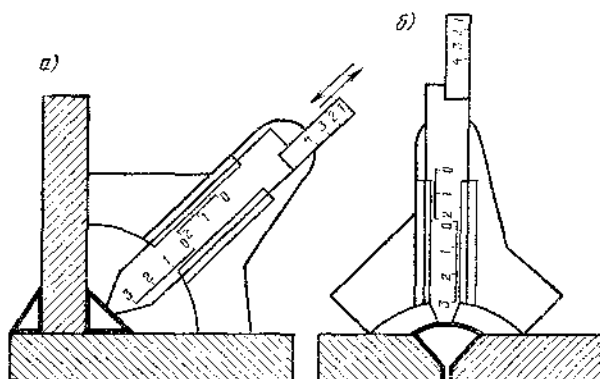


Рис. 24. Контроль угловых (а) и стыковых (б) соединений с помощью шаблона В. Э. Ушерева-Маршака

может позволить своевременно установить появление трещин. С этой целью полезна и послойная проверка при сварке многопроходных швов, особенно в случае сварки спецсталей. На этом этапе очень важен самоконтроль, выполняемый непосредственно сварщиком. Сварщик проверяет стабильность поддержания режима, что особенно важно в случае механизированной сварки. Он осматривает кратеры, образующиеся при окончании горения электрода или вынужденной остановке процесса.

11. Готовые сварные соединения

Осмотр и обмер готового сварного изделия является первым и очень важным этапом приемочного контроля. Прежде всего осматривают все сварные швы и поверхность изделий в зонах термического влияния. Внешний осмотр позволяет обнаружить такие наружные дефекты, как подрезы, поверхностные поры и свищи, наплывы, прожоги, незаваренные кратеры, выходящие на поверхность трещины, непровары (в случае двухстороннего доступа к сварному соединению). При осмотре предварительно очищенной от шлака и брызг поверхности швов и околошовных зон применяют лупы и при необходимости дополнительное местное освещение. Размеры швов: ширину, высоту усиления, плавность перехода от усиления к основному металлу, катет шва проверяют с помощью специальных шаблонов (рис. 24).

12. Физические основы контроля

Сварные соединения многих конструкций, например, резервуаров, газгольдеров, трубопроводов, должны обладать не только прочностью, но и непроницаемостью для жидкостей или газов. Неплотности сварных соединений вызывают потерю продуктов и опасность заражения окружающей среды, если продукты токсичны, снижают коррозионную стойкость сварных швов, создают другие нарушения, отрицательно влияющие на работу сварных конструкций. Для многих из них допуски на утечку продукта через неплотности очень «жесткие». Например, для сосудов с токсичными веществами общая утечка газа через сварные соединения не должна превышать $3 \cdot 10^{-9}$ мм³·МПа/с.

Если к сварным соединениям предъявляют требования непроницаемости для жидкости и газов, то надежность сварной конструкции будет характеризоваться *герметичностью*. Нарушения герметичности происходят через неплотности, которые носят название течей.

Течи — это сквозные дефекты сварных соединений или структуры, размеры которых позволяют продукту выйти наружу. Сквозные дефекты в сварных соединениях могут быть первичными и вторичными. К первичным дефектам, образующимся в период формирования сварного шва, относятся свищи — сквозные удлиненные поры типа каналов, непровары со шлаковыми каналами, горячие трещины. Ко вторичным дефектам относятся те, которые появляются через некоторое время после завершения сварки — холодные и усталостные трещины, свищи, образовавшиеся под действием агрессивных сред, динамической нагрузки и пр.

Методы течеискания основаны на том, что *пробное* или *контрольное* вещество используют в качестве рабочего продукта, с помощью которого выявляют и регистрируют течи.

Пробным называют вещество, избирательно регистрируемое при данном методе контроля, например, фреон и другие газы при галлоидном методе течеискания.

Контрольным называют вещество, которое экономически и технологически целесообразно применять либо в виде пробного, либо в смеси с пробным, например, керосин или гелиево-азотная смесь.

Поскольку контрольное вещество по своим физико-химическим характеристикам отличается от рабочей среды, то для него должна быть установлена герметичность, эквивалентная герметичности для рабочей среды.

Выбор метода контроля связан с его чувствительностью, технологичностью для данной конструкции и экономичностью.

Чувствительность метода — определяется величиной минимального потока контрольного (пробного) вещества, проходящего через течи и надежно регистрируемого при применении данного метода. Она измеряется в $\text{мм}^3 \cdot \text{МПа}/\text{с}$. Чувствительность метода может определяться также минимальным диаметром выявляемых каналов течей в мм.

Прохождение жидкости или газа через течи подчиняется законам гидростатики и гидродинамики. При этом следует учитывать вязкость и молекулярную массу контрольного (пробного) вещества, поскольку средние диаметры каналов течей весьма малы. С точки зрения пропускания газа или жидкости течи по величине эффективных диаметров каналов подразделяют на сверхкапиллярные или обыкновенные ($d > 0,5 \text{ мм}$), макрокапиллярные ($0,5 \geq d \geq 2 \cdot 10^{-4} \text{ мм}$) и микрокапиллярные ($d < 2 \cdot 10^{-4} \text{ мм}$).

13. Гидравлические и пневматические испытания

Гидравлическим испытаниям подвергают трубопроводы, резервуары, технологические аппараты и другие сооружения с целью проверки как плотности, так и прочности сварных швов. Гидравлические испытания регламентируются ГОСТ 3242—79, который предусматривает осуществление их тремя способами: гидравлическим давлением, наливом воды и поливом водой. Выбор способа, основные параметры испытаний (величина давления, выдержка и герметичность) устанавливают соответствующие ТУ.

При испытании гидравлическим давлением изделие заполняют контрольным веществом (рабочей жидкостью или водой), герметизируют и с помощью насоса создают в нем необходимое давление, при котором выдерживают в течение установленного ТУ времени, затем обстукивают молотком с круглым бойком и осматривают все сварные и другие соединения с целью выявления мест утечек.

В качестве индикатора течи часто применяют фильтровальную бумагу, которая под воздействием контрольной жидкости темнеет. Чувствительность метода характеризуется минимальным диаметром пятна контрольной жидкости на фильтровальной бумаге.

При этом способе могут быть выявлены минимальные отверстия диаметром около 1 мкм. Герметичность может определяться не только по появлению на поверхности изделия капель жидкости, но и по падению давления на манометре во время испытаний. Размер допустимого падения давления в течение определенного времени задается ТУ на испытание.

Испытания наливом воды проводят для контроля плотности соединений открытых сооружений — вертикальных цилиндрических резервуаров и газгольдеров, цистерн, отсеков судов и т. п. Сварные швы протирают и сушат, обдувая воздухом. Заполняют сооружения водой (до предусмотренного ТУ уровня) и по истечении определенного времени все соединения подвергают внешнему осмотру. Данный контроль проводят, как правило, при положительных температурах. Порядок и режимы контроля определяются ТУ на данное сооружение.

Испытания поливом водой проводят в тех случаях, когда есть возможность свободного доступа к сварным соединениям с двух сторон. С одной стороны, соединения поливают струей воды из брандспойта (давление 0,1... 1 МПа). Одновременно, с другой стороны, производят осмотр с целью выявления течей. Вертикальные соединения поливают в направлении снизу вверх.

Чувствительность контроля при гидравлических испытаниях несколько ниже, чем при испытании давлением. Эти способы позволяют выявить течи диаметром 0,5 мм. Увеличить чувствительность можно использованием добавок к контрольным жидкостям, повышающим их проникающую способность.

Пневматические методы испытаний применяют для контроля сварных швов замкнутых систем — трубопроводов, сосудов и аппаратов, а также открытых листовых конструкций типа резервуаров.

На практике применяют три основных метода: испытание сжатым воздухом, пневмогидравлический и вакуумированием.

Испытание сжатым воздухом производят двумя способами: наполнением системы воздухом и обдувом стру-

ей сжатого воздуха. В первом случае, после герметизации контролируемой системы (линии трубопровода, сосуда) в ней создают испытательное давление, равное обычно 1,1...1,2 рабочего давления. Выявление течей производят с помощью пенообразующих составов, которыми покрывают снаружи все швы. В местах, где имеются сквозные дефекты, под действием выходящего воздуха образуются пузырьки, по которым и определяют место нахождения дефекта. Пенообразующие вещества наносят на поверхность швов кистью или с помощью пульверизаторов.

Составы пенообразующих смесей, используемых для работы в летнее время, включают в себя следующие компоненты:

Состав	№ 1	№ 2	№ 3
Вода, л	1	1	1
Мыло туалетное, г	50	—	—
Мыло хозяйственное, 65 %, г	—	50	—
Глицерин, г	—	5	—
Лакричный корень, г	—	—	50

Для работы в зимнее время при температуре воздуха до минус 10, 15, 30 °С применяют составы:

Состав	№1	№2	№3
Вода, л	1	1	1
CaCl ₂ , г	562	786	198
Эмульгатор ОП-10 или ОП-7, г	151	198	222

Испытания сжатым воздухом следует производить после гидравлических испытаний на прочность с соблюдением правил техники безопасности.

Испытания обдувом струей сжатого воздуха проводят для контроля герметичности сварных соединений открытых листовых крупногабаритных конструкций (резервуаров, корпусов судов). Поверхность сварных соединений с одной стороны покрывают пенообразующей смесью, а с противоположной стороны обдувают с расстояния не более 50 мм воздухом под давлением 0,04...0,05 МПа. Этот вид контроля позволяет обнаружить дефекты диаметром не менее 0,5 мм и проверить стыковые, угловые и тавровые соединения при толщине основного металла не более 10 мм.

Испытания пневмогидравлическим методом проводят путем погружения сосуда в индикаторную жидкость и подачей в него контрольного газа. Места течей определяют по пузырькам.

Испытание вакуумированием проводят с помощью переносных вакуумных камер (рис. 25). Камера состоит из отрезка листового оргстекла, например, прямоугольной формы, с одной стороны которого по периметру приклеена губчатая резина, служащая уплотнителем. В оргстекле имеется отверстие, через которое с помощью шлангов камера соединяется с вакуум-насосом или эжектором. Величину вакуума контролируют вакуумметром.

Для испытания участка сварного шва на плотность его покрывают пенообразующим составом, затем накладывают вакуумную камеру, прижимают ее к поверхности изделия и включают вакуум-насос, с помощью которого в камере создается разрежение. Перепад давлений может составлять 0,02...0,09 МПа. Если в сварном шве есть неплотности, то воздух, просачиваясь через них в полость камеры, вызывает появление пузырьков. Наблюдая через оргстекло за появлением пузырьков, устанавливают места течей, отмечают их мелом или краской, с помощью трехходового крана впускают атмосферный воздух в полость камеры, снимают и перемещают ее на соседний участок шва. Последовательно повторяя операцию контроля, испытывают швы любой длины. По форме вакуумкамеры бывают плоские, круглые и треугольные в сечении, в зависимости от конфигурации сварных соединений, для контроля которых они предназначены. В Институте электросварки им. Е. О. Патона разработаны установки для вакуумного контроля. Это механизированные тележки-платформы, снабженные вакуум-насосами, наборами вакуум-камер различной конфигурации и другими приспособлениями, позволяющими повысить произво-

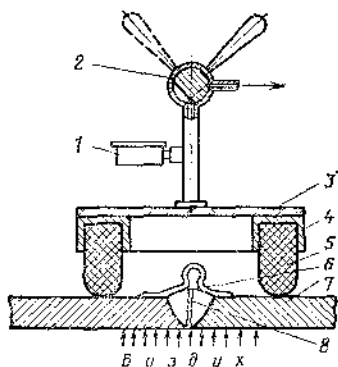


Рис. 25. Схема контроля переносной вакуумкамерой

1 — вакуумметр; 2 — трехходовой кран; 3 — оргстекло; 4 — рамка; 5 — губчатая резина; 6 — мыльный пузырь; 7 — контролируемое изделие; 8 — дефект сварного шва

длительность контроля за счет снижения трудоемкости основных операций. Вакуумный метод контроля позволяет выявить неплотности минимальным диаметром 0,006 мм.

14. Испытания керосином

Среди известных смесей жидких углеводородов, применяемых для контроля непроницаемости, наиболее широко используется керосин. Это объясняется его свойствами (неполярностью, высокой смачивающей способностью, сравнительно малой вязкостью), которые обеспечивают высокую чувствительность контроля. Кроме того, контроль керосином отличается простотой и общедоступностью, не требует сложного оборудования и дефицитных материалов. Различают четыре способа испытания керосином: керосиновый, керосинопневматический, керосиповакуумный и керосиновибрационный.

При керосиновом способе сварное соединение простукивают молотком на расстоянии 30...40 мм от шва и тщательно очищают от шлака, масла и других загрязнений. Для лучшего удаления шлака и развития несквозных дефектов в сквозные целесообразно в течение 10...15 мин подвергнуть сварные соединения вибрации (для этого может быть применен виброуплотнитель бетона). После очистки на поверхность швов наносят тонкий равномерный слой меловой суспензии. Эту операцию лучше выполнять с помощью пульверизатора, так как при использовании кисти суспензия наносится неровно, возможны попадания в неплотности воды и мела, что снижает выявление дефектов. Меловую суспензию готовят из расчета 350...450 г молотого просеянного мела или коалина на 1 л воды (или растворителя, если контроль проводят в зимних условиях). После высыхания суспензии противоположную сторону сварного шва многократно (5...15 раз) и обильно смачивают керосином. В местах течей на меловой суспензии появляются темные пятна. При многократном смачивании шва выявление дефектов происходит в 2,4...3,3 раза быстрее, чем при однократном. При этом наблюдение за сварными соединениями нужно вести с момента начала смачивания их керосином. Для лучшей фиксации мест течей, особенно в жаркую погоду, когда пятна быстро высыхают, рекомендуется в керосин добавлять краску «Судан-III» из рас-

чета 2,5...3 г на 1 л, которая окрашивает его в красно-лиловый цвет.

Для контроля нахлесточных соединений керосин подают в зазор под давлением не менее 0,15 МПа.

Керосинопневматический и керосиновакуумный способы повышают производительность и чувствительность метода испытания керосином. В первом случае смоченные швы обдувают со стороны керосина сжатым воздухом при давлении не менее 0,3...0,4 МПа. Это ускоряет перемещение керосина и повышает выявление течей. Во втором — на покрытое меловой суспензией соединение устанавливают вакуум-камеру и создают разрежение, которое способствует ускорению проникания керосина через течи.

Керосиновибрационный способ отличается тем, что сварные соединения опрыскивают керосином в процессе вибрации.

Испытания керосином можно проводить и тогда, когда к сварным швам имеется односторонний доступ. В этих случаях поверхность сварных швов очищают от грязи, масла, протирают чистой ветошью и обезжиривают бензином или ацетоном. Затем соединение смачивают 3...4 раза подряд окрашенным керосином, который через 15—20 мин удаляют с поверхности швов (протирают или промывают 5 %-ным водным раствором кальцинированной соды). Высушенную поверхность сварного соединения покрывают из пульверизатора тонким слоем меловой суспензии, высушивают ее горячим воздухом, после чего в местах течей появляются пятна керосина, выходящего из дефектных мест.

15. Химический метод

В основе химического метода контроля лежит использование свойства индикаторного вещества изменять свою окраску за счет химического взаимодействия с контролируемым веществом.

Сущность этого метода состоит в том, что в контролируемый сварной сосуд, подвергнутый предварительно гидравлическому или пневматическому испытанию, подается контрольный газ, который под давлением выходит через неплотности и в местах течей окрашивает индикаторное вещество, предварительно нанесенное на поверхность сварных соединений. В качестве контрольного газа

применяют смесь аммиака с воздухом. Испытуемый шов покрывают индикаторной лентой из бумаги или ткани, пропитанной 5 %-ным водным раствором азотно-кислой ртути или раствором фенолфталеина. Испытательное избыточное давление контрольного газа обычно составляет 0,1...0,15 МПа, время выдержки 1...15 мин. В качестве индикаторов применяют также желеобразные массы, которые наносят на поверхность контролируемых сварных соединений. Состав такой массы при использовании в качестве контрольного газа аммиачно-воздушной смеси следующий (%): индикатор креозоловый красный водорастворимый — 0,007; индикатор креозоловый красный спирторастворимый — 0,007; агар — 1, спирт — 1, глицерин — 10, дистиллированная вода — 88.

В качестве контрольного газа используют смесь аммиака (3 %) с азотом (97 %) или углекислый газ.

Контроль химическим методом могут подвергаться открытые смости при двухстороннем доступе к сварным соединениям. В этом случае используют камеры с присосками или магнитными прижимами. В камеры нагнетают контрольный газ, а индикаторные ленты располагают с обратной стороны соединения.

При проведении контроля химическим методом следует соблюдать правила противопожарной безопасности и требования по работе с вредными химическими веществами.

16. Галондный метод

При данном методе наличие течей устанавливают с помощью галондного теческателя. Различают два способа галондного контроля — способ щупа и способ вакуумирования. В соответствии с этим галондные теческатели могут иметь два типа датчиков: атмосферный и вакуумный.

Атмосферный датчик состоит из платинового анода — эмиттера и коллектора. Анод представляет собой керамический стержень с намотанной на него спиралью, помещаемый внутрь трубчатого коллектора. Промежуток между коллектором и эмиттером заполнен атмосферным воздухом. В вакуумном датчике этот промежуток вакуумируется, а сам датчик дополнительно снабжен инжектором.

При контроле способом щупа из контролируемого изделия, которое предварительно проверили радиационны-

2. Технические характеристики галондных тенескателей

Тип тенескателя	Габариты, мм	Масса, кг	Контрольный газ	Индикация темп	Параметры тока		
					U, В	f, Гц	N, В·А
ГТИ-3А							
Измерительный блок	315×230× ×210	10	Фреон-12	Стрелочная зву- ковая	220	50	250
Выносной шуп	—	2					
ГТИ-6							
Регистрирующий блок	360×160× ×200	10	Фреон-12 Фреон-22	Стрелочная, зву- ковая, световая	220	50	75
Вакуумный датчик	—	1,2					
Атмосферный датчик	—	1,3					
БГТИ-5			То же	Стрелочная, зву- ковая	12,5	—	—
Измерительный блок	280×136× ×276	8,5					
Аккумуляторы	—	4					
Выносной шуп	—	0,65					

Примечание. Условия работы для ГТИ-3А и ГТИ-6: температура воздуха 10...35°С, влажность 80 %, для БГТИ-5 с аккумуляторами СЦ-25: температура воздуха 10...40°С.

ми или акустическими методами, гидротиспитанием на прочность, откачивают воздух и заполняют контрольным газом, например, фреоном. Затем давление фреона доводят до испытательного и перемещают шуп — датчик галоидного теченскателя по поверхности сварных соединений. При наличии течей фреон просачивается через них паружу и засасывается в трубку датчика имеющимся в нем вентилятором. При работе теченскателя платиновый эмиттер нагревается до температуры 800...900 °С и испускает положительные ионы, которые под действием приложенного между анодом и коллектором напряжения 200...250 В перемещаются на отрицательно заряженный коллектор. Возникает ионный ток.

Ионы галоидного газа имеют высокий отрицательный потенциал. Попадая в промежуток между эмиттером и коллектором, они усиливают ионный ток, что регистрируется стрелочным прибором и звуковым индикатором-телефоном. Влияние ионов галоидов усиливается, если на эмиттере имеются щелочные элементы, например, К или Na. Такое же действие оказывает кислород, который при работе в вакууме подают в трубку шупа с помощью инжектора.

При вакуумном способе соединение, с одной стороны, обдувают контрольным газом, а с другой — проверяют вакуумным датчиком.

В качестве контрольных газов используют четыреххлористый углерод, фреон и другие галоиды в чистом виде или в смеси с воздухом, азотом. Чаще других используют фреон, поскольку он не ядовит и дешев. В зависимости от давления, которое нужно создать в контролируемом изделии, чтобы обеспечить необходимую чувствительность контроля, применяют три разновидности этого газа при следующих давлениях в МПа:

Фреон-12 < 0,6; Фреон-22 — 0,6...0,93; Фреон-13 — 0,93...3,24.

Применяются отечественные галоидные теченскатели типов ГТИ-3А (атмосферный), ГТИ-6 (вакуумно-атмосферный), БГТИ-5 (атмосферный) (см. табл. 2).

17. Физические основы контроля

Капиллярные методы контроля применяют для выявления поверхностных дефектов сварных соединений, таких как микротрещины и трещины, выходящие на поверхность изделия, мелкие поверхностные поры и узкие непровары, которые трудно обнаружить при внешнем осмотре.

Особенно важен этот метод для контроля ответственных сварных соединений аустенитных нержавеющей, жаропрочных и жаростойких сталей, алюминия, латуни, свойства которых ограничивают возможности использования других методов контроля.

Размеры поверхностных дефектов — микроскопическое раскрытие и макроскопическая протяженность, сообщают им свойства капилляров. Поэтому и методы контроля, с помощью которых эти дефекты удастся обнаружить, называются капиллярными.

Различают три метода капиллярного контроля: люминесцентный, метод красок (цветной) и люминесцентно-цветной.

В основе капиллярной дефектоскопии лежит изменение контрастностей изображения поверхностных дефектов и фона, на котором они выявляются с помощью специальных свето- и цветоконтрастных индикаторных жидкостей — пенетрантов. Их наносят на предварительно очищенную от загрязнений поверхность сварных соединений и некоторое время выдерживают, чтобы дать возможность жидкости заполнить полости дефектов. После этого удаляют избыток жидкости и наносят проявляющий состав. Индикаторная жидкость, оставшаяся в дефектах, образует на фоне проявителя рисунок, по которому судят о наличии дефектов (рис. 26). Таким образом, эффективность контроля зависит от проникающей способности пенетрантов, извлечения этих веществ на поверхность изделия и локализации их у кромок дефектов.

При контроле капиллярными методами должны быть решены три основные задачи: заполнение полостей дефектов свето- и цветоконтрастными жидкими индикаторными веществами, извлечение этих веществ на поверхность изделия и локализация их у кромок дефектов и фиксирование дефектов. Одним из важных свойств инди-

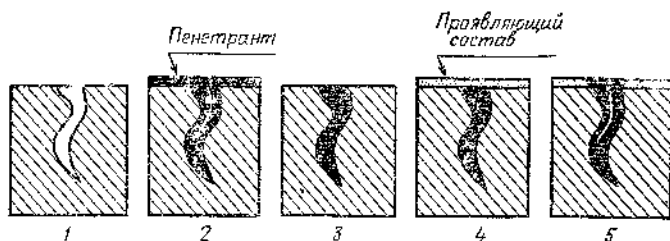


Рис. 26. Основные этапы контроля капиллярными методами

1 — очистка от загрязнений; 2 — нанесение пенетранта; 3 — удаление пенетранта с поверхности; 4 — нанесение проявляющего состава; 5 — выявление дефектов

кационной жидкости, влияющих на ее проникающую способность, является смачивание, определяемое взаимодействием жидкости с твердым телом. Если силы взаимодействия между жидкостью и твердым телом больше, чем силы взаимодействия между молекулами самой жидкости, то жидкость как бы прилипает к твердому телу и образует с ним устойчивую поверхность раздела. Такая картина характерна для жидкости, хорошо смачивающей твердое тело в статических условиях. Мерой статического смачивания является косинус угла, образованного поверхностью твердого тела и плоскостью, касательной к поверхности жидкости в точке границы смачивания. Сам угол носит название краевого угла смачивания; он отсчитывается внутрь жидкости и определяется отношением

$$\cos \theta = \frac{\alpha_{т.в} - \alpha_{т.ж}}{\alpha},$$

где $\alpha_{т.в}$, $\alpha_{т.ж}$ и α — соответственно поверхностное натяжение на границе «твердое тело-воздух», «твердое тело-жидкость» и «жидкость-воздух».

Если краевой угол смачивания приближается к нулю, то наблюдается полное смачивание ($\cos \theta$ стремится к единице). При $\cos \theta = -1$ наблюдается полное смачивание и жидкость не вступает во взаимодействие с твердым телом. Из формулы видно, что чем меньше поверхностное натяжение жидкости α , тем лучше смачивание она обеспечивает. Однако на смачивание оказывает влияние и состояние поверхности твердого тела: при увеличении шероховатости смачивание улучшается. Следовательно, можно ожидать, что в полостях трещин, стенки которых имеют большую шероховатость, у жидкостей будет более высокая смачивающая способность.

В капиллярных трубках и капиллярных щелях взаимодействие смачивающей жидкости со стенками приводит к образованию вогнутого мениска (рис. 27). При этом в объеме жидкости возникает дополнительное давление, стремящееся как бы растянуть жидкость. Это дополнительное давление называют капиллярным. Возникновение капиллярных сил наблюдается в полостях, размеры которых настолько малы, что жидкость может образовывать мениск без плоских участков. Равнодействующая капиллярных сил направлена в глубь трещины и под их влиянием жидкость проникает в полость дефекта и удерживается в ней даже, если избыток жидкости удалить с поверхности материала.

Таким образом, процесс заполнения полостей дефектов индикаторной жидкостью связан с ее свойствами, капиллярными явлениями и геометрическими характеристиками дефектов. В большинстве случаев дефекты сварных соединений тупиковые, то есть заканчиваются в материале изделия или шва. Для таких дефектов установить зависимости между указанными показателями достаточно сложно. Относительно простые приближенные зависимости были получены для сквозных дефектов типа капиллярной трубки и типа капиллярной щели соответственно

$$h = \sqrt{rt \cos \theta \cdot \alpha / 2\eta}; \quad h = \sqrt{ct \cos \theta \cdot \alpha / 3\eta},$$

где h — расстояние, на которое жидкий пенетрант проникает в полость дефекта, мкм; r — радиус капиллярной трубки, мкм; c — раскрытие капиллярной щели на поверхности изделия, мкм; t — время проникновения жидкого пенетранта в полость дефекта, с; θ — краевой угол смачивания для равновесного состояния смачивающей жидкости, град; α — коэффициент поверхностного натяжения смачивающей жидкости; η — коэффициент вязкости смачивающей жидкости.

Извлечение пенетранта из полости дефекта после удаления его избытка с поверхности изделия, связано с диффузионными и сорбционными процессами.

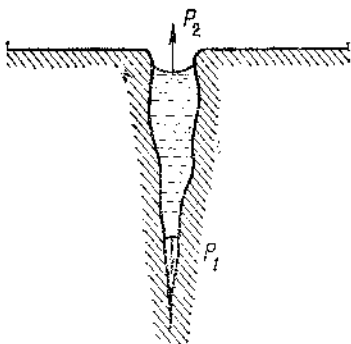


Рис. 27. Схема действия капиллярных сил

$P_1 > P_2$ — заполнение дефекта пенетрантом; $P_2 > P_1$ — извлечение пенетранта

Если на мениск, расположенный у поверхности изделия, воздействовать частицами сухого порошка или суспензии, то он превратится в систему мелких менисков, имеющих различную форму и большую кривизну. При этом возникающие капиллярные силы больше сил, удерживающих жидкость в полости дефекта. Поскольку они направлены в противоположную сторону, то под их воздействием пенетрант будет вытесняться на поверхность изделия. Процесс извлечения индикаторной жидкости из полости дефекта называется проявлением, а порошки и суспензии, используемые для этой цели — проявителями. При проявлении сорбционные процессы носят сложный характер: при физической адсорбции молекулы пенетранта сохраняются и локализуются по краям дефекта, при химической адсорбции — вступают в химическое взаимодействие с веществом проявителя; при использовании в качестве проявителей лаков и красок наблюдаются процессы адсорбции жидкого пенетранта веществом проявителя.

Скорость процессов проявления зависит от скорости диффузии жидкости в слой проявителя.

Кроме сорбционного («сухого» и «мокрого») и диффузионного способов проявления, при которых используются соответственно порошки, суспензии и пигментированные или бесцветные лаки, существуют способы извлечения индикаторной жидкости без применения проявляющих веществ: беспорошковый и путем самопроявления. При беспорошковом способе индикаторную жидкость готовят на летучих растворителях, которые после погружения контролируемой детали в раствор и извлечения из него испаряются, а сам индикатор задерживается в полостях дефектов. Эффект самопроявления получают путем нагрева детали, в результате чего индикаторная жидкость выходит из полости дефекта. Последняя операция контроля, заключающаяся в выявлении и регистрации дефектных мест по следам индикаторной жидкости, осуществляется несколькими способами в зависимости от метода капиллярной дефектоскопии.

18. Люминесцентный метод

При люминесцентном методе контроля в состав индикаторных жидкостей вводят специальные вещества, которые при естественном освещении или облучении

ультрафиолетовыми лучами сами становятся источниками излучения. Эти вещества называются люминофорами.

Технология контроля заключается в очистке поверхности сварных соединений от загрязнений, нанесении на нее индикаторной жидкости, выдержки, удалении избытка жидкости с поверхности изделия, сушке подогретым до 50...60 °С воздухом, нанесении проявляющего состава и выявлении дефектов путем осмотра в ультрафиолетовых лучах или при естественном освещении.

Среди широко распространенных индикаторных жидкостей следует отметить пенетранты, получаемые на основе керосина. Известно, что керосин обладает малым поверхностным натяжением и большой проникающей способностью. Приведем несколько рабочих составов пенетрантов, %:

№ 1 — керосина 64,5, порошка 25, бензина 10 и 0,5 эмульгатора ОП-10 (или ОП-7); № 2 — керосина 84,5, авиационного масла 15 и 0,5 эмульгатора ОП-10 (или ОП-7); № 3 — керосина 50, бензина 25, трансформаторного масла 24,97 и 0,03 зелено-золотистого дефектанта.

Для сварных соединений чаще других применяют состав № 2. В качестве очистителя, с помощью которого с поверхности сварного соединения удаляют индикаторную жидкость, применяют воду под давлением или специальные очищающие жидкости. Остатки люминесцирующих веществ на поверхности изделия нейтрализуют путем обработки так называемыми гасителями. При едком сорбционном способе проявления используют мелкодисперсные порошки талька, углекислого магния, маршалита, силикагеля и др. Чем мельче частицы порошка, тем меньшего размера дефекты могут быть выявлены. Так, частицы порошка окиси магния имеют величину 0,2...0,5 мкм, окиси цинка и титановых белых — 0,2...0,8 мкм. При «мокром» сорбционном способе применяют водные суспензии порошков-проявителей, при диффузионном — используют проявители таких составов, которые растворяют индикаторное вещество, например, состав из пнтроэмали «Экстра», медицинского коллодия и ацетона.

В качестве источников ультрафиолетовых лучей применяют ртутно-кварцевые лампы ПРК-2, ПРК-4, ПРК-7, ДРИШ-250-3, ДРИШ-500 и др. Выпускаются отечественные люминесцентные дефектоскопы стационарный ЛД-4 и КД-21Л, КД-31Л — переносного типа.

19. Метод красок (цветной)

Контроль методом красок производится с помощью индикаторных жидкостей, в которые вводят специальные красители. Технология контроля этим методом не имеет существенного отличия от люминесцентного метода. Контролируемые поверхности также очищают от различных загрязнений, наносят слой жидкого индикаторного состава, затем после выдержки, необходимой для заполнения поверхностных дефектов, избыток состава удаляют и производят проявление. При контроле сварных соединений для заполнения дефектов типа трещин требуется выдержка 3...5 мин, пор и межкристаллитной коррозии — 8...15 мин.

При цветном методе контроля используют индикаторные жидкости различных составов, например, 800 мл осветленного керосина, 200 мл скипидара марки А и 15 г темно-красного жирорастворимого анилинового красителя марки «Судан-IV», 750 мл дистиллированной воды, 250 мл этилового спирта марки А, 25 г химически чистого азотно-кислого натрия, 20 г эмульгатора ОП-10 и 25 г красителя «Радомин-С». В качестве очищающей жидкости используют 5 %-ный водный раствор кальцинированной воды. После удаления избытков индикаторной жидкости поверхность сварного соединения насухо вытирают и с помощью кисти или пульверизатора наносят тонкий слой проявителя белого цвета, состоящего из гидролизного спирта (600 мл), воды (400 мл) и каолина 300 г на 1 л образовавшейся жидкости, поскольку частицы каолина обладают хорошими сорбционными свойствами. Поверхность изделия просушивают теплым воздухом (50...60 °С). За счет диффузионных явлений оставшийся в полостях дефектов краситель выходит на поверхность и его следы ярко выделяются на белом фоне проявителя. Поверхность швов рекомендуется осматривать при хорошем освещении дважды — через 3...5 мин и через 20...30 мин после нанесения проявителя. Выявляемость дефектов ухудшается, если на сварное соединение наносят слишком толстый слой проявляющего состава, при излишнем увеличении длительности промывки и протирки, а также если температура изделия ниже 18...20 °С.

Кроме названных материалов для цветной дефектоскопии могут быть рекомендованы индикаторная краска

«К» и проявитель — белая краска «М», обладающие пониженной токсичностью. Промышленностью выпускается переносной комплект для цветной дефектоскопии — ДМК-4, а также наборы в аэрозольном исполнении ДАК-2Ц, ДАК-3Ц.

20. Люминесцентно-цветной метод

Люминесцентно-цветной метод контроля является сочетанием люминесцентного и цветного методов контроля. Он отличается тем, что индикаторные следы не только люминесцируют в ультрафиолетовых лучах, но и имеют окраску. Используемые при этом методе люминофоры-красители при облучении ультрафиолетовыми лучами дают оранжевое свечение, а при обычном освещении имеют красный цвет.

Для люминесцентно-цветной дефектоскопии используют комплект «Аэро-12А», состоящий из индикаторной жидкости, очистителя и проявителя. В качестве индикаторной жидкости в этом комплекте применен состав на основе люминесцентного красителя «Радомина-С», растворенного в спирте (гидролизном или техническом этиловом) с добавлением эмульгатора ОП-7. Очищающий состав комплекта приготовлен на эмульгаторе ОП-7, содержание которого может доходить до 50 %. Проявитель — лак на основе белой нитроэмали «Экстра», коллодия и ацетона. Этот проявитель на поверхности изделия создает пленку, с которой индикатор образует твердый раствор, сохраняющий способность люминесцировать и имеющий красный цвет. Проявитель наносят распылением и с таким расчетом, чтобы время его высыхания было достаточным для выхода из полостей дефектов оставшейся там индикаторной жидкости. Рисунок выявленных дефектов не теряет своей четкости в течение длительного времени.

В целом люминесцентно-цветной метод отличается высокой чувствительностью и разрешающей способностью, однако для его успешного применения контролируемые поверхности должны иметь чистоту обработки не ниже 5—6 классов и в связи с этим сварные швы не должны иметь грубую чешуйчатость.

21. Способы интенсификации капиллярных методов

Повышение производительности и эффективности капиллярных методов контроля связано с сокращением затрат времени на осуществление основных технологических операций и разработкой новых дефектоскопических материалов, отличающихся повышенной технологичностью, чувствительностью, разрешающей способностью и имеющих низкую токсичность.

Повышение эффективности контроля достигается качественной предварительной очисткой контролируемой поверхности от жировых загрязнений, продуктов коррозии, остатков шлаков и пр., поскольку они препятствуют прониканию дефектоскопических материалов в полости дефектов. Для этой цели применяют: промывку и протирку с применением воды, моющих составов и легколетучих жидких растворителей; паровое обезжиривание в парах органических растворителей; механическую очистку струей абразивного материала и металлической щеткой; химическую очистку; электрохимическую очистку травильными составами с одновременным воздействием электротоком; очистку жидкими растворителями с использованием ультразвукового воздействия.

Заполнение полостей дефектов индикаторными жидкостями (пенетрантами) осуществляется разными способами. Наиболее простой и широко используемый капиллярный способ, заключающийся в самопроизвольном заполнении полостей дефектов пенетрантом, интенсифицируют с помощью предварительного подогрева контролируемого участка изделия (небольшие детали подогревают полностью) или индикаторной жидкости. Подогрев жидкости применяют для вязких малолетучих индикаторов на основе масел. Это уменьшает вязкость и поверхностное натяжение жидкости и увеличивает скорость заполнения полостей дефектов в 4...5, а для некоторых жидкостей — до 50 раз. Маловязкие жидкости подогревать нельзя из-за повышения пожарной опасности и ухудшения их дефектоскопических свойств.

При вакуумном способе заполнения полостей дефектов повышение эффективности операции достигается действием предварительного вакуумирования полости дефектов. Чаще применяют *компрессионный* способ, когда на жидкость воздействуют капиллярным и избыточным внешним давлением.

Ускорение процесса заполнения полостей дефектов загрязненных или сжатых действием остаточных напряжений достигается воздействием на жидкость ультразвуковых колебаний (*ультразвуковой способ*) или колебаний низкой частоты (*деформационный способ*). Достаточно продолжительной (до 60 мин) является операция выдержки при воздействии проявителя. Она может быть ускорена подогревом изделия (или его участка) до температуры 40...50 °С (более высокая температура нагрева уменьшает выявляемость дефектов) в сочетании с предварительной определенной выдержкой при окружающей температуре (*комбинированный способ*).

Эффективность капиллярного контроля повышается применением дефектоскопических материалов в аэрозольной упаковке. Отечественной промышленностью выпускается комплект таких материалов, помещенных в малогабаритные баллончики (типа ДАК-2Ц, ДАК-3Ц), содержащие фреон. Наличие фреона обеспечивает сохранность индикаторных жидкостей, очищающих составов и проявителей, а также дает возможность наносить указанные материалы распылением. Это значительно увеличивает производительность контроля, позволяет более экономно расходовать материалы, улучшает качество контроля. Дальнейшее развитие капиллярных методов контроля направлено на изыскание новых материалов и источников освещения, на механизацию технологических процессов, на применение комбинированных методов дефектоскопии.

Глава VII. КОНТРОЛЬ МАГНИТНЫМИ МЕТОДАМИ

22. Физические основы контроля

Магнитные методы контроля позволяют обнаружить дефекты сварных соединений типа несплошностей — трещины, непровары, шлаковые включения, газовые поры как поверхностные, так и внутренние на глубине до 20...25 мм, а также дефекты основного металла в виде волосовин, закатов, флокенов и пр. Данные методы основаны на регистрации и анализе магнитных полей рассеяния, возникающих в местах расположения дефектов.

Магнитные методы контроля классифицируются по способам регистрации и насчитывают более шести разновидностей. Однако в практике контроля качества

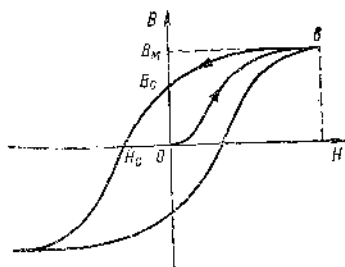


Рис. 28. Петля гистерезиса

Ов — кривая намагничивания;
 B_M — остаточная магнитная индукция насыщения; H_C — коэрцитивная сила

сварных соединений наибольшее применение нашли только два — магнитопорошковый и магнитографический.

Возможность применения магнитных методов контроля ферромагнитных материалов основана на их свойствах. В обычном состоянии изделие из ферромагнитного материала как бы состоит из расположенных различным образом самопроизвольно намагниченных областей — доменов, поля

которых в этом случае компенсируют друг друга и результирующее магнитное поле изделия равно нулю. Под влиянием магнитного поля домены ориентируются в направлении этого поля, суммируются и деталь намагничивается.

Магнитное поле характеризуется напряженностью и магнитной индукцией. С усилением напряженности поля магнитная индукция в ферромагнитном материале растет сначала быстро, затем этот рост замедляется и, наконец, прекращается: наступает насыщение. Если теперь уменьшать напряженность намагничивающего поля до нуля, то будет иметь место остаточная магнитная индукция, характеризующая остаточную намагниченность материала. Магнитная индукция, соответствующая максимальной намагниченности изделия, называется индукцией насыщения. Напряженность магнитного поля при магнитной индукции равной нулю называется коэрцитивной силой. Материалы с коэрцитивной силой $H_C \leq 8 \dots 10$ А/см называются магнитомягкими. Если коэрцитивная сила превышает $10 \dots 15$ А/см, то материалы считают магнитотвердыми. Таким образом, магнитные свойства ферромагнитного материала характеризуются определенной зависимостью (рис. 28). Кривая от начала координат (точка 0) до B_M — носит название кривой намагничивания.

Магнитный поток в ферромагнитном материале распространяется по сечению равномерно, если этот материал сплошной и его магнитная проницаемость имеет



Рис. 29. Распространение магнитного потока в сплошном ферромагнитном материале

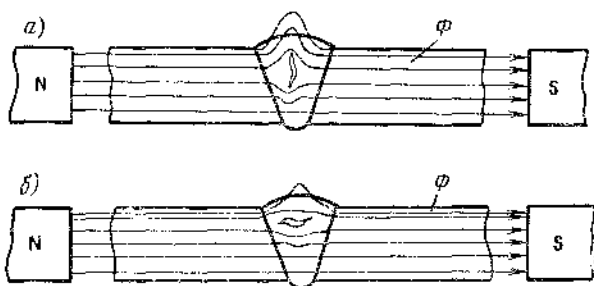


Рис. 30. Поле рассеяния над дефектами, расположенными перпендикулярно (а) и вдоль (б) магнитного потока

постоянное значение (рис. 29). В местах, где имеются дефекты, сплошность материала нарушается. Среда дефектов оказывает во много раз большее сопротивление магнитному потоку, который отклоняется и как бы обтекает дефект. Магнитное поле в этом месте сгущается, частично выходит за границы изделия, распространяется по воздуху и входит в изделие за пределами дефекта. В местах выхода и входа магнитного потока образуются магнитные полюса, которые сохраняются за счет остаточной намагниченности и после снятия намагничивающего поля. Магнитное поле над дефектом называют полем рассеяния (рис. 30, б).

Эффект рассеяния проявляется максимально, если дефект расположен перпендикулярно направлению магнитного потока (рис. 30, а). Поэтому сварные соединения для контроля намагничивают в продольном и поперечном направлениях по отношению к оси шва. Это позволяет выявлять дефекты, ориентированные вдоль и поперек шва, а также расположенные под небольшими углами к этим направлениям.

Таким образом, контроль магнитными методами заключается в обнаружении полей рассеяния, образуемых дефектами, последующей фиксации этих мест и расшиф-

ровке характера и величины выявленных дефектов. Различные методы магнитного контроля отличаются способами выявления и фиксирования полей рассеяния.

23. Магнитопорошковый метод

При магнитопорошковом методе магнитного контроля поля рассеяния, образующиеся над местами расположения дефектов, обнаруживают с помощью магнитных порошков. Ферромагнитные частицы этих порошков, попадая в неоднородное магнитное поле, стремятся под его воздействием сосредоточиться в тех местах, где его силовые линии сгущаются, то есть у кромок дефектов (или над местами, где они расположены, если дефекты поверхностные). Магнитное поле действует на попавшую в него частицу с силой F , определяемой по формуле:

$$F = \chi V_0 H (dH/dx),$$

где χ — магнитная восприимчивость частицы — безразмерная величина, характеризующая способность вещества намагничиваться в магнитном поле. У ферромагнитных веществ $\chi \gg 1$; V_0 — объем частицы, см³; H — напряженность магнитного поля, А/см; dH/dx — градиент поля.

Эта сила является результирующей сил массы частицы, силы трения и выталкивающей силы жидкости (если применяется мокрый метод с использованием суспензии). Кроме этого, действуют магнитные силы, так как частицы в магнитном поле намагничиваются и притягиваются друг к другу, образуя цепочки, ориентированные по магнитным силовым линиям поля рассеяния над дефектом. Цепочки образования и отдельные частицы движутся под действием результирующих сил к месту расположения дефекта и накапливаются над ним. Следовательно, выявляемость дефектов зависит от свойств и размеров частиц магнитных порошков, от напряженности магнитного поля рассеяния и от его градиента.

Для выявления поверхностных и расположенных близко к поверхности (подповерхностных) дефектов более эффективны порошки мелкой грануляции. Глубоко расположенные дефекты лучше определяются с помощью порошков с более крупными зернами. Размер частиц порошков колеблется от 0,1 до 60 мкм.

По составу, физическим свойствам и назначению порошки для магнитной дефектоскопии подразделяют на четыре группы:

1. Порошки, получаемые термическим разложением пентакарбонила железа $\text{Fe}(\text{CO})_5$ или диспергированием железа — электрической дугой в керосине; 2. Порошки, получаемые размельчением окалины в шаровых мельницах; 3. Порошки технического и синтетического магнетита; 4. Порошки ферромагнитной окиси железа, получаемые окислением магнетита. Порошки 2-й и 4-й групп наиболее широко применяются в магнитопорошковой дефектоскопии.

Для лучшего выявления дефектов в зависимости от цвета поверхности контролируемого сварного соединения применяют порошки черного или кирпично-красного цвета. Хороших результатов достигают также используя магнитно-люминесцентные порошки, содержащие флюоресцентные смолы, растворители смолы и ферромагнитный порошок; в этом случае результаты контроля рассматривают в ультрафиолетовых лучах, под действием которых люминофоры, содержащиеся в порошках, начинают ярко светиться.

Контроль магнитопорошковым методом проводится двумя способами — *сухим* и *мокрым* в зависимости от способа нанесения порошка на контролируемую поверхность. При *сухом* способе эту операцию выполняют напылением сухого порошка с помощью специального пультверсизатора или сита. Для улучшения осаждения порошка над дефектом применяют суспензии-взвеси магнитных частиц в жидкости (*мокрый способ*). Приготовление суспензий (табл. 3) производят как из отдельных

3. Магнитные суспензии

Компоненты	Размер частиц, мкм	Цвет	Жидкость
Черный магнитный порошок, ТУ 6-14-1009-74	0,5...10	Черный	Любая
Магнитно-люминесцентные порошки:			
люмагпор 1	10...50	Желто-зеленый	Вода
люмагпор 2	10...50	»	»
люмагпор 3	10...50	»	Любая
Пасты:			
МЛ-1	10...50	»	Вода
МЛ-2	10...50	»	»
МЛ-3	10...50	»	Любая
Паста магнитная МП-70, ТУ 6-09-38-71	0,1...10	Красный	Керосиновая, масляная

составляющих, так и из наст. Магнитные насты содержат смачивающие, антикоррозионные и другие необходимые присадки.

Намагничивание сварной конструкции для магнитопорошкового контроля можно производить с помощью постоянного магнита, электромагнита или путем пропускания электрического тока (постоянного, переменного, импульсного). Применение импульсного тока при длительности импульсов примерно $10^{-3} \dots 10^{-5}$ с позволяет получить большие силы тока при малых размерах аппаратуры.

Для магнитопорошковой дефектоскопии сварных изделий используют три вида намагничивания: циркулярное, продольное и комбинированное.

Циркулярное намагничивание можно получить с помощью проводника с током, помещаемого внутри изделия, пропусканием тока по контролируемому участку конструкции, а также путем индуктирования. *Продольное намагничивание* изделия осуществляют постоянным или электрическим магнитами и с помощью соленоида. *При комбинированном намагничивании* применяют три способа: намагничивание током, проходящим по детали, с одновременным намагничиванием электромагнитом — путем индуктирования тока в изделии и током, проходящим по проводнику, располагаемому внутри детали, наконец, пропусканием по детали двух (или более) сдвинутых по фазе токов во взаимно перпендикулярных направлениях.

Напряженность магнитного поля обычно измеряют. Для некоторых случаев ее можно рассчитать по силе намагничивающего тока. Например, для трубы

$$H_T = I_{\max} / (2\pi r),$$

где I_{\max} — максимальное (амплитудное) значение силы тока намагничивания, А; r — радиус трубы, см.

В том случае, когда намагничивание трубы осуществляется с помощью приложенных контактов, формула справедлива при условии, когда расстояние между контактами: $l \geq 10r$.

Для пластины, когда отношение ширины к толщине не более 10...15, напряженность определяют по формуле:

$$H_{пл} = I_{\max} / (2b),$$

где b — ширина пластины, см.

Контроль магнитопорошковым методом производят в приложенном поле или за счет остаточного намагничивания, то есть путем нанесения порошка или суспензии в момент действия намагничивающего поля, контролируют изделия из магнитомягких материалов, например, из сталей Ст3, 10, 20 и др.; при дефектоскопии деталей, которые не удается намагнитить до требуемого уровня остаточной намагниченности, например, из-за сложной формы или больших размеров, а также когда мощность дефектоскопа недостаточна. Приложенное магнитное поле используют также для обнаружения подповерхностных дефектов, расположенных на глубине более 0,01 мм и при контроле намагничиванием отдельных участков крупногабаритной конструкции.

Контроль за счет остаточной намагниченности проводят путем нанесения порошка или суспензии после снятия намагничивающего поля. Это снижает опасность прижога в местах контакта деталей с контактными головками дефектоскопа, так как для остаточного намагничивания время пропускания тока по детали ограничивают 0,01...1 с. Применение остаточной намагниченности позволяет поворачивать деталь в удобное для осмотра положение, наносить суспензию путем полива или погружать в нее одно или несколько контролируемых изделий. Остаточную намагниченность используют для контроля относительно магнитотвердых материалов. Напряженность остаточного магнитного поля на поверхности проверяемого изделия при обычном режиме составляет 100...160 А/см.

Магнитопорошковый метод контроля осуществляют с помощью стационарных, передвижных и переносных дефектоскопов, серийно выпускаемых нашей промышленностью. Для монтажных условий более приемлемы передвижные и переносные магнитные дефектоскопы (табл. 4).

Осмотр контролируемых деталей и конструкций при магнитопорошковой дефектоскопии производят обычно невооруженным глазом. При магнитно-люминесцентном методе применяют освещение ртутно-кварцевыми лампами ПРК-2М, ПРК-7М, ДРШ-500 и др. Освещенность места контроля при естественном свете или при использовании ламп накаливания должна быть не ниже 1000 лк. При люминесцентном освещении диапазон излучения ультрафиолетовых облучателей должен быть в

4. Технические характеристики магнитных дефектоскопов

Тип	Сила тока, А		Потребляемая мощность, кВт	Назначение
	намагничивания	испытывающего		
ДМП-2 передвижной	1250	350	8	Магнитопорошковый контроль крупногабаритных сварных узлов и деталей в цеховых условиях
МД-50П передвижной	5000	—	2,5	То же
ПМД-70 переносной	1000	—	0,25	Магнитопорошковый контроль в цеховых и полевых условиях

пределах 315...400 мм. Освещенность проверяют с помощью люксметра Ю-16.

После магнитопорошкового контроля производят размагничивание деталей и узлов в переменном магнитном поле, направление которого должно совпадать с направлением намагничивающего поля, а величина — изменяться от заданного уровня до нуля. Контроль степени размагниченности выполняют с помощью феррозондового прибора ФП-1.

Магнитопорошковым методом могут быть обнаружены дефекты с раскрытием на поверхности до 1 мкм и глубиной более 10 мкм, если проверяемая конструкция изготовлена из материалов с высокими магнитными свойствами и контролируемая поверхность достаточно гладкая. Однако на практике и свойства материалов, и поверхность, в особенности сварных соединений, не имеют таких показателей. Поэтому ГОСТ 21105—75 предусматривает три условных уровня чувствительности: А — ширина раскрытия дефекта 2,5 мкм, Б — 10 мкм, В — 25 мкм (при минимальной протяженности выявляемой части дефекта, определяемой по длине валика осадения порошка 0,5 мм). Уровни чувствительности здесь названы условными, поскольку они определены для дефектов с параллельными стенками, перпендикулярными поверхностям изделия. Ширина раскрытия приведена при отношении глубины дефекта к ширине, равном 10.

24. Магнитографический метод

Магнитографический метод контроля заключается в регистрации магнитных полей рассеяния от дефектов зафиксированных на магнитной ленте и считывания этой записи с помощью специальных устройств, преобразующих полученную информацию в сигналы, видимые на экране электронно-лучевой трубки.

Методика выполнения магнитографического контроля предусматривает осуществление следующих операций: производят подготовку изделия к контролю — очищают поверхность сварного соединения от грязи, воды, металлических брызг, остатков шлака; укладывают предварительно размагниченную магнитную ленту (рис. 31) на контролируемое соединение и плотно прижимают ее к поверхности, например, резиновым поясом; производят намагничивание изделия электромагнитом, перемещаемым вдоль шва, при этом магнитные поля рассеяния, появляющиеся в местах расположения дефектов, фиксируются на магнитной ленте; считывают информацию о качестве сварного соединения с помощью дефектоскопа и определяют местонахождение дефектов.

Для магнитографического контроля выпускаются серийно магнитные ленты (табл. 5) аналогичные лентам, применяемым для магнитной звуко- и видеозаписи. Широкое применение ленты МК-1 объясняется ее более низкой стоимостью по сравнению с другими типами лент. Магнитные свойства лент МК-1 и МК-2 примерно одинаковы, а физико-механические лучше у МК-2.

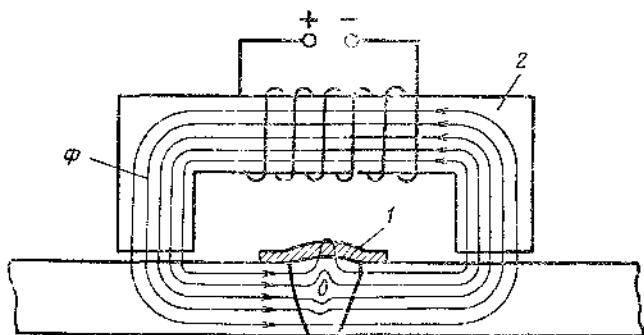


Рис. 31. Схема проведения магнитографического контроля
1 — магнитная лента; 2 — электромагнит

5. Технические характеристики магнитных лент

Тип	Основа		Магнитный слой			
	Материал	Толщина, мм	Толщина, мм	Козре- тивная сила, А/м	Остаточ- ная маг- нитная индукция, 10^{-4} Тл	Остаточ- ный маг- нитный поток 10^{-8} , Вб
МК-1	Триацетат целлюлозы	40	20	7642	500	0,75
МК-2	Лавсан	25... 30	20	7960 12 338 ...	490...500	0,80
МКУ	»	35	—	12 736	630...675	1,40

Возможности магнитографического метода расширяются при применении универсальной комбинированной ленты МКУ. Она имеет два слоя, нанесенные один на другой: в нижнем слое применен порошок с коэрцитивной силой $H_c = 17512$ А/м, а во втором (верхнем) слое — $H_c = 7960$ А/м. При записи слабые поля фиксируются в верхнем слое, а сильные — в нижнем.

Для намагничивания применяют устройства типа ПНУ (табл. 6) (передвижные), УНУ (универсальные),

6. Режимы намагничивания (сила тока А) при контроле сварных соединений

Диаметр трубо- провода, мм	Толщина металла, мм									Тип намагни- чивающего устройства
	2	4	6	8	10	12	14	16	18	
57...89	—	15	20	25	28	—	—	—	—	НВ
100...118	—	15	20	25	28	30	—	—	—	ПНУ-М3
168...377	—	15	20	25	30	32	—	—	—	ПНУ-М2
325...1200	10	15	20	25	30	32	—	—	—	ПНУ-М1
168...1200 (листовые металлоконструкции)	8	12	15	20	24	28	30	32...36	—	УНУ
820...1400 (листовые металлоконструкции)	8	12	15	20	24	28	30	32...36	—	УНУ
820...1400 (листовые металлоконструкции)	—	—	—	—	15	17	19	22	25	МУН-1

МУН (неподвижные), снабженные четырьмя роликами из немагнитного материала и имеющие кривизну торцевой поверхности полюсных пластин, соответствующую кривизне контролируемого изделия.

Намагничивающие устройства питаются от источников постоянного тока напряжением 50...60 В при силе тока 40...50 А, для чего в цеховых условиях используют выпрямители, а в монтажных — переносные автономные станции типов СПП-1 и СПА-1.

Магнитографические дефектоскопы, применяемые для воспроизведения магнитной записи, имеют блок считывания в виде магнитных головок, укрепленных на барабане, который вращается от двигателя. Магнитные головки (рис. 32) состоят из 2-х полуколен, изготовленных из материала с очень высокой магнитной проницаемостью и собранных с определенным рабочим зазором. При перемещении головок относительно ленты (или, что равноценно, ленты относительно головок) часть внешнего магнитного потока, создаваемая намагниченными отпечатками, полученными на ленте под влиянием полей рассеяния от дефектов, отводится через сердечник головки. Электродвижущая сила, возбуждаемая в витках обмотки этой частью магнитного потока, при прочих равных условиях зависит от его величины. Электрический сигнал, получаемый в процессе считывания, усиливается, преобразуется и может воспроизводиться на экране электронно-лучевой трубки в двух вариантах: в виде изображения шва и дефектов, подобного рентгенограмме, или в виде кривой по величине пиков которой судят о наличии дефектов. Исходя из этого в современных магнитографических дефектоскопах может быть три вида индикации: импульсная (в виде кривой), видеоиндикация (телевизион-

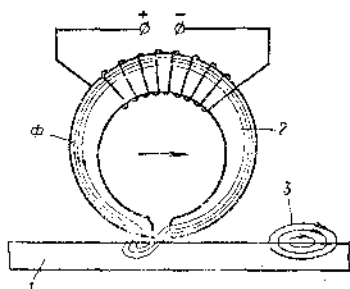


Рис. 32. Схема считывания магнитной записи дефектов

1 — магнитная лента; 2 — магнитная головка; 3 — поле рассеяния над местом записи дефекта

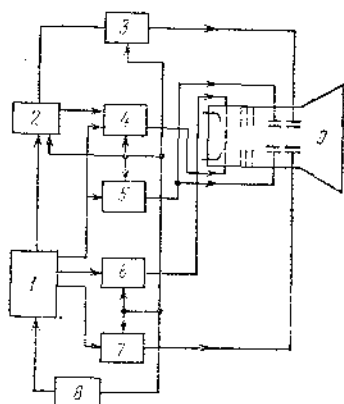


Рис. 33. Блок-схема магнитографического дефектоскопа МДУ-2У

1 — блок считывания; 2 — предварительный усилитель; 3 — усилитель канала импульсной индикации; 4 — усилитель канала видеоиндикации; 5 — усилитель импульсов подсветки; 6 — генератор строчной развертки; 7 — генератор кадровой развертки; 8 — блок питания; 9 — электронно-лучевая трубка

ное изображение шва и дефектов) и универсальная (комбинация импульсной и видеоиндикаций на двух отдельных однолучевых или на одной двухлучевой электронной трубке).

Примером универсального дефектоскопа может служить магнитографический дефектоскоп МДУ-2У (рис. 33), имеющий двухлучевую электронную трубку с длительным послесвечением экрана. Верхняя часть экрана размером 140×35 мм отведена для видеоиндикации, а нижняя размером 120×70 мм — для импульсной индикации.

При воспроизведении магнитной записи сигналы, поступающие с блока считывания, подаются на блок предварительного усиления, после которого разделяются по двум каналам — импульсной индикации и видеоиндикации и подаются на двухлучевую электронную трубку. Коэффициент усиления канала импульсной индикации — не менее $12 \cdot 10^4$, канала видеоиндикации — $8,8 \cdot 10^4$. Линейная скорость воспроизведения составляет 12,5 м/с, время одноразовой развертки кадра — 3 с. Питание дефектоскопа МДУ-2У (масса 25 кг) осуществляется от сети переменного тока 127 или 220 В, частотой 50 Гц; потребляемая мощность не превышает 180 Вт.

Кроме МДУ-2У выпускаются универсальный дефектоскоп МГК-1 и МД-10ИМ. Последний отличается повышенным отношением сигнал-шум, имеет калибровочный узел, что позволяет исключить необходимость иметь эталонные ленты для настройки прибора.

Магнитографический метод был разработан в СССР в 1952 г., а с 1955—1956 гг. нашел широкое применение при контроле сварных стыков трубопроводов.

В настоящее время предложены также способы автоматизированного магнитографического контроля, при которых запись полей дефектов производится на непрерывную магнитную ленту, выполненную в виде замкнутой петли. Индикация контроля как импульсная, так и видео производится сразу же после записи полей дефектов, после чего запись стирается, размагничивается и этот участок ленты вновь поступает в работу. Для фиксации качества шва в момент индикации может производиться запись результатов на бумажную ленту, а места дефектов — обозначаться с помощью различных дефектоотметчиков, срабатывающих по максимальному сигналу.

Магнитографический метод контроля отличается тремя особенностями: частицы порошка на магнитной ленте неподвижны, что определяет локальность их взаимодействия с полем дефекта; взаимодействие это носит магнитный характер — частицы намагничиваются полем рассеяния дефекта; при проведении контроля необходимо одновременное дополнительное подмагничивание, поэтому магнитографический контроль проводится только способом приложенного поля. В качестве индикатора полей рассеяния от дефектов используется магнитная лента, поэтому чувствительность метода определяется не только его упомянутыми особенностями, но и свойствами самой ленты, а также возможностями считывающего устройства дефектоскопа. При использовании магнитной ленты типа 2, МК-1, МК-2 минимальная обнаруживаемая напряженность поля составляет 40 А/см, тогда как при магнитопорошковом контроле она равна 160 А/см. Однако, вследствие относительно больших частиц магнитного порошка на ленте и узкого диапазона частот узла считывания дефектоскопа, при контроле поверхностных дефектов это практически не увеличивает чувствительности магнитографического метода относительно магнитопорошкового. В выявлении внутренних дефектов главную роль играет не раскрытие дефекта, а отношение глубины его расположения к толщине свариваемой стали. При дефектоскопии сварных соединений без валика усиления максимальная чувствительность контроля 5 %, а при проверке сварных соединений с валиком усиления — 8...10 %. Дальнейшее увеличение чувствительности контроля может быть достигнуто за счет увеличения чувствительности магнитных лент.

Глава VIII. КОНТРОЛЬ УЛЬТРАЗВУКОВЫМИ МЕТОДАМИ

25. Физические основы контроля

Ультразвуковая дефектоскопия качества сварных соединений за последние годы получила большое развитие не только на заводах, но и в монтажных организациях. Это связано с определенными преимуществами ультразвукового метода контроля, оперативностью, чувствительностью к наиболее опасным дефектам типа трещин и непроваров, высокими технико-экономическими показателями. Немаловажное значение имеет появление портативной и надежной ультразвуковой аппаратуры.

Толщину пластины выбирают такой, чтобы собственная частота колебаний пьезоэлемента была равна частоте возбуждаемых ультразвуковых колебаний, поскольку в этом случае наступает резонанс и мощность колебаний максимальна. Расчет производят по формуле

$$f_0 = k_0/d,$$

где k_0 — коэффициент, равный 2,5 МГц·мм для титаната бария и 1,88 МГц·мм для цирконата-титаната свинца.

Полученные ультразвуковые колебания могут быть направленно введены в упругую среду, с которой соприкасается пластина-излучатель. Если же к пьезопластине подвести ультразвуковые колебания, то они преобразуются в электрический ток соответствующей частоты, который может быть снят с электродов излучателя, становящегося в этом случае приемником.

Ультразвуковые волны и их распространение. В зависимости от направления колебания частиц по отношению к направлению распространения ультразвуковые волны могут быть продольными, поперечными, поверхностными (рис. 35), нормальными (рис. 36). При продольных волнах направление колебаний частиц совпадает с направлением распространения волны, при поперечных — перпендикулярно ему. В жидкой и газообразной средах распространяются только продольные волны, а в твердых телах — волны обоих типов. На поверхности тела могут распространяться поверхностные волны, а в тонких пластинах и проволоке — нормальные.

Скорости распространения ультразвуковых колебаний в однородных телах зависят от их свойств и размеров, а также от типа волн.

Упругие свойства тел характеризуются модулем нормальной упругости (модулем Юнга) и коэффициентом поперечного сжатия ν (коэффициентом Пуассона). Сопротивляемость среды поперечной (сдвиговой) деформации связана с модулем сдвига, величина которого для большинства металлов составляет 0,38...0,4 величины модуля Юнга. Эти физические константы связаны между собой соотношением

$$\nu = 0,5E/G - 1,$$

где E — модуль нормальной упругости, Па; G — модуль сдвига, Па.

Отсюда значение коэффициента Пуассона для большинства металлов составляет 0,25...0,35.

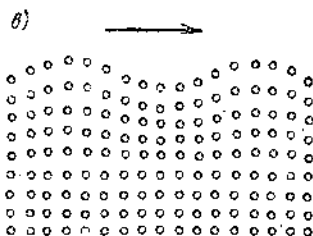
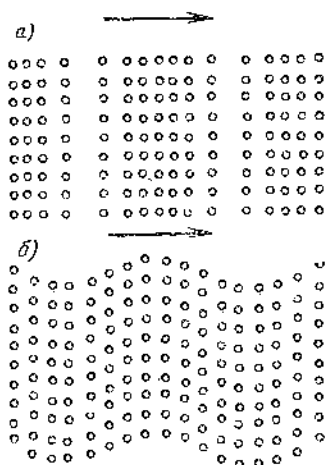
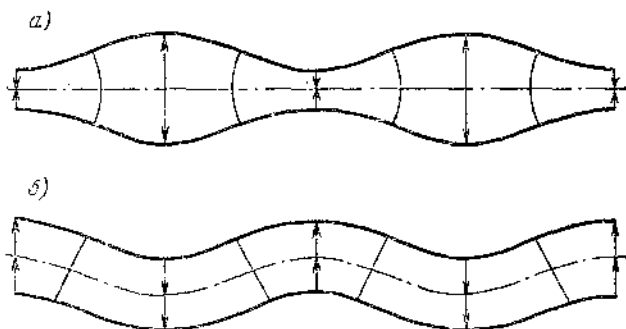


Рис. 35. Схема распространения ультразвуковых волн в твердой среде

a — продольных; b — поперечных;
 a — поверхностных; стрелка показывает направление волны

Рис. 36. Схема распространения нормальных ультразвуковых волн

a — симметричных; b — асимметричных



Если поперечные размеры тела во много раз меньше длины волны, то скорость распространения в нем продольных волн зависит только от нормальной упругости и плотности. Например, для тонкого стержня с указанным соотношением размеров скорость распространения определяется по формуле

$$c_e = \sqrt{E/\rho},$$

где ρ — плотность среды, кг/м³.

Скорость продольных волн в неограниченной среде определяется по формуле

$$c_e = [E - (1 - \nu)] / [\rho (1 + \nu) (1 - \nu)].$$

Скорость распространения поперечных волн зависит от сопротивляемости среды поперечной сдвиговой деформации и ее плотности

$$c_t = \sqrt{G/\rho}, \text{ или } c_t = \sqrt{0,5E/[\rho(1+\nu)]}.$$

В металлах $c_t \approx 0,55c_l$, так как величина коэффициента Пуассона для них в среднем равна 0,3.

Скорость поверхностных волн тоже связана с поперечными деформациями и составляет 0,93 c_t , а глубина распространения их в металлах не превышает $1,5\lambda$.

Важной величиной в ультразвуковой дефектоскопии является волновое или удельное акустическое сопротивление, которое характеризует акустические свойства среды,

$$z_0 = \rho c,$$

где z_0 — удельное волновое сопротивление, Па·с/м; ρ — плотность среды, кг/см³; c — скорость распространения ультразвуковых колебаний, м/с.

Таким образом, на параметры ультразвуковых колебаний влияют свойства среды, определяемые физическими константами E , G , μ , ρ и волновым сопротивлением z_0 (табл. 7).

Сравнение удельных акустических сопротивлений различных сред показывает, что их значения существенно отличаются друг от друга. Например, значения волновых сопротивлений газов, жидкостей и металлов относятся в среднем как $1 : 3 \cdot 10^3 : 10^6$. Поскольку волновые сопротивления газов, заполняющих дефектные места, значительно меньше, чем у металла, поверхность дефекта представляет собой границу двух сред, от которой большая часть ультразвуковой энергии отражается и может быть принята. На этом свойстве и основана возможность выявления дефектов с помощью ультразвука.

Свойства ультразвуковых колебаний. Основными свойствами ультразвуковых колебаний, имеющими значение для дефектоскопии, являются затухание, то есть изменение амплитуды и интенсивности по мере распространения, способность отражаться и преломляться в соответствии с законами лучевой (геометрической) акустики.

Ультразвуковые колебания распространяются в виде направленного пучка, состоящего из двух зон — ближней и дальней. На протяжении ближней зоны поле излу-

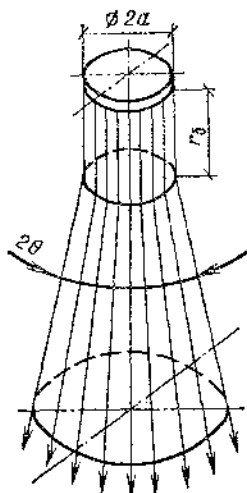


Рис. 37. Схема волнового поля дискового излучателя

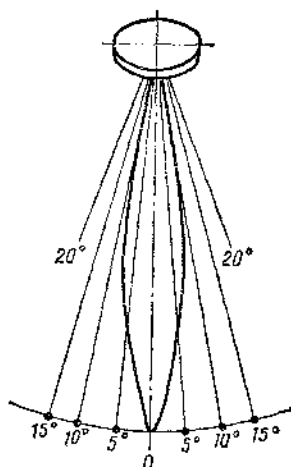


Рис. 38. Диаграмма направленности круглого дискового излучателя в полярных координатах при $f=2,5$ МГц, $a=6$ мм, $\lambda=2,34$ мм

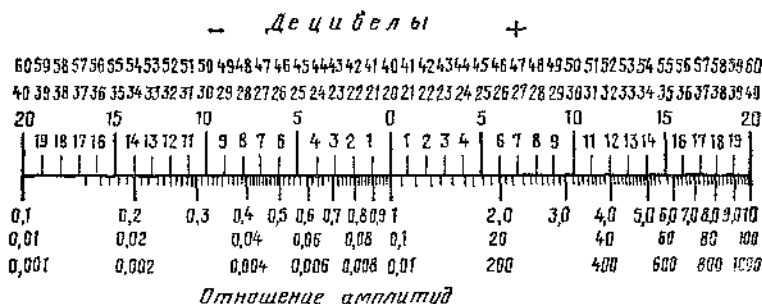


Рис. 39. Номограмма перевода относительных величин в децибелы

чения имеет почти цилиндрическую форму; далее волны начинают расходиться и образуют дальнюю зону в виде усеченного конуса с углом раствора лучей при вершине 2θ (рис. 37). Протяженность ближней зоны определяется соотношением $r_0 = a^2/\lambda = (a^2 f)/c$, а угол θ между осью пучка ультразвуковых лучей и крайним лучом может

быть подсчитан по формуле $\sin \theta = 0,61 \lambda/a$ (a — радиус излучателя). Следовательно, направленность ультразвукового поля излучателя будет тем выше, чем больше произведение радиуса излучателя a на частоту излучаемых им колебаний f . Так в стали при радиусе излучателя 6 мм и частоте продольных колебаний 2,5 МГц, широко применяемых в ультразвуковом контроле, $r_0 = 15$ мм, а половина угла расхождения θ не превышает 14° ; в плексигласе при тех же условиях $r_0 = 35$ мм, $\theta = 6^\circ$.

Ультразвуковое поле обычно представляют в виде графика в полярных координатах (рис. 38), характеризующего изменение амплитуды поля в дальней зоне. Такой график называют диаграммой направленности.

В процессе распространения энергия ультразвуковых колебаний постепенно убывает, часть ее, будучи поглощена средой, переходит в тепловую, часть рассеивается зернами металла.

Процесс затухания колебаний, обусловленный повторными отражениями от границ зерен металла, называется структурной реверберацией. Это явление может быть объяснено неодинаковостью упругих свойств зерен, вследствие чего при переходе из одного зерна в другое ультразвук подвергается изменениям на их границах — отражению, преломлению и постепенному рассеянию. Затухание колебаний зависит от свойств материала, характеризующихся коэффициентом затухания δ , складывающимся из коэффициентов поглощения δ_n и рассеяния δ_p : $\delta = \delta_n + \delta_p$.

Процесс затухания колебаний происходит по экспоненциальному закону

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

где A_r — амплитуда колебаний на расстоянии r от места ввода, м; A_0 — амплитуда колебаний в месте ввода, м; r — расстояние, пройденное волной, м; δ — коэффициент затухания, м^{-1} .

Аналогично происходит и постепенное падение интенсивности ультразвука, т. е. той удельной энергии I_r , которую передает ультразвуковая волна через 1 см^2 площади за 1 с

$$I_r = I_0 e^{-2\delta r}.$$

Сравнение интенсивности I_r и I_0 или амплитуд A_r и A_0 ультразвуковых колебаний удобно характеризовать логарифмической величиной их безразмерного отношения, выражаемой в децибелах (рис. 39).

Отражение продольной ультразвуковой волны при падении ее на плоскую границу двух сред с разными акустическими сопротивлениями, а также преломление ее при переходе из одной среды в другую происходит в соответствии с законами, аналогичными геометрическим законам оптики. При этом доля отраженной энергии, характеризующая коэффициентом отражения R (табл. 8)

8. Коэффициенты отражения продольной волны в % при падении ее перпендикулярно границе между металлом и некоторыми средами, заполняющими несплошности дефектов сварных швов

Контролируемый металл	Воздух	Вода	Масло минеральное	Медь	Кварц	Шлак (флюс АН-348)	Вольфрам	Шлак (флюс 48-АФ-1)
Дюралюминий	100	72	74	18	0,6	0,25	70	7
Сталь	100	88	89	0,18	28	15	—	—

будет тем больше, чем больше разница акустических сопротивлений сред:

$$R = (z_1 - z_2) / (z_1 + z_2).$$

Прохождение волны D будет характеризоваться коэффициентом прохождения

$$D = 1 - R.$$

Если продольная ультразвуковая волна падает на границу раздела под некоторым углом β , то прошедшая и отраженная волны преломляются и трансформируются. Возникают еще четыре волны: две продольные и две поперечные (рис. 40). Углы падения, отражения и преломления связаны со скоростями распространения продольных и поперечных волн известным соотношением, называемым законом Снеллиуса:

$$(\sin \beta) / c_l = (\sin \beta_t) / c_{lt} = (\sin \beta_r) / c_{lr} = (\sin \alpha_l) / c_{l1} = (\sin \alpha) / c_{l2},$$

где α_l , α — углы преломления продольной и поперечной волн, распространяющихся во второй среде, °; β_t , β_r — углы отражения продольной и поперечной волн, распространяющихся в первой среде, °; c_{l1} , c_{t1} , c_{l2} , c_{t2} — скорости распространения продольных и поперечных волн соответственно в первой и второй среде.

Угол преломления α называют углом ввода ультразвуковых колебаний. Он является важным параметром ультразвукового контроля.

С увеличением угла падения ультразвуковых продольных волн углы преломления продольной β_l и попе-

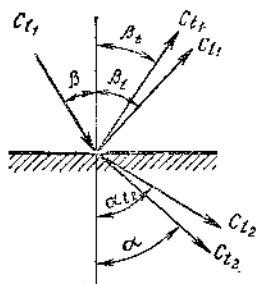


Рис. 40. Схема прохождения ультразвуковых колебаний через границу раздела двух сред

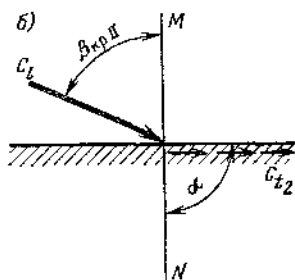
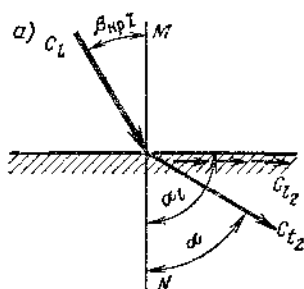
Рис. 41. Схема распространения ультразвуковых колебаний при критических углах падения

Рис. 42. Основные типы искателей

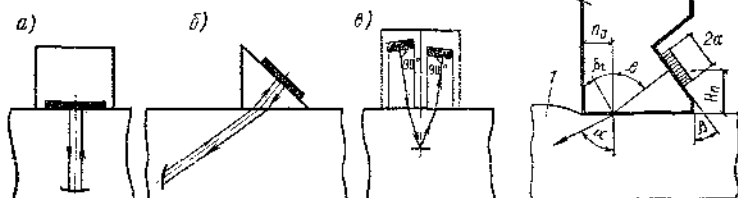
a — прямой (нормальный); b — наклонный (призматический); c — раздельно-совмещенный

Рис. 43. Схема для расчета наклонного искателя

1 — контролируемое изделие; 2 — наклонный искатель



40	40a
41	41b
42	43



рочной β_1 преломленных волн будут также увеличиваться и при некотором значении $\beta = \beta_{кр I}$ (первый критический угол, рис. 41, а) преломленные продольные волны будут распространяться по поверхности, не проникая в глубь второй среды. Если увеличивать угол падения лучей дальше, то при значении $\beta = \beta_{кр II}$ (второй критический угол) и поперечные преломленные волны начинают распространяться по поверхности (рис. 41, б). Если угол падения лежит между I и II критическими, т.е. $\beta_{кр I} < \beta < \beta_{кр II}$, то во второй среде будут распространять-

ся только поперечные волны. Тогда возможен случай, когда поперечная волна падает на границу раздела двух сред, а продольная отраженная волна отсутствует. Наименьший угол падения, при котором отмечается это явление, называется третьим критическим углом $\beta_{крп}$. Для пары плексиглас — сталь $\beta_{кр1} = 27^\circ$, $\beta_{крп} = 55^\circ$; для стали $\beta_{крп} = 33^\circ$. Обычно угол падения β выбирается в пределах $30...55^\circ$, чтобы в контролируемом изделии распространялась только поперечная волна.

Указанные соотношения справедливы, если отражение ультразвука происходит от зеркальной поверхности, высота неровностей которой во много раз меньше длины волны. Поверхности большинства дефектов сварных соединений имеют неровности, размеры которых соизмеримы с длиной ультразвуковой волны. От таких поверхностей отражается множество ультразвуковых лучей в разные стороны и под разными углами (диффузное отражение). Поэтому при падении луча на зеркальную поверхность под прямым углом, амплитуда эхо-сигнала от него будет больше, чем от неровной поверхности. Если же луч ультразвука падает под некоторым углом, то при диффузном отражении энергия волны эхо-сигнала в направлении излучателя будет тем больше, чем больше величина неровностей.

Излучение и прием ультразвука. Излучение ультразвуковых волн и прием отраженных сигналов в ультразвуковой дефектоскопии производятся с помощью специальных устройств, называемых искателями (рис. 42). В прямых и наклонных искателях функции излучения и приема ультразвука выполняет один и тот же пьезоэлектрический преобразователь. В раздельно-совместном РС-искателе имеются два преобразователя, один из которых является излучателем, а другой — приемником. С помощью прямых искателей ультразвуковые колебания вводятся в изделие перпендикулярно, а наклонных и РС-искателей — под углом к поверхности изделия в точке ввода.

При контроле качества сварных соединений монтируемых конструкций наибольшее применение нашли призматические искатели. Упрощенный расчет таких искателей производится с использованием теории мнимого излучателя. На основании расчета должны быть выбраны оптимальные параметры искателя. Последние зависят от размеров, формы и материала призмы (рис. 43).

Основные размеры призмы — стрелу искателя n_0 (расстояние от акустической оси, проходящей перпендикулярно поверхности контролируемой детали через точку выхода ультразвуковых лучей, до передней грани) и минимальную высоту H_n выбирают из условия необходимости гашения шумов от отраженных продольных и поперечных волн:

$$n_0 \geq a / \cos \beta;$$

$$H_n \geq 2a \operatorname{ctg} (\beta + \beta_t) \cos \beta + a \sin \beta,$$

где $2a$ — диаметр пьезоэлемента, мм; β_t — угол отражения поперечной волны, °; β — угол падения ультразвука, °.

Диаметр пьезопластины влияет на абсолютную чувствительность искателя, диаграмму направленности, протяженность ближней зоны и мощность излучения. Для достижения оптимальных размеров пьезоэлемента их выбирают так, чтобы

$$af = 12 \dots 15; a \leq \sqrt{0,8\lambda r},$$

где f — частота, МГц, выбирается в зависимости от толщины контролируемого металла; λ — длина волны, мм; r — расстояние между дефектом и пьезопластиной, мм.

Рекомендуемые оптимальные рабочие частоты, МГц	5,0 . . . 2,5	2,5	1,8 . . . 2,5
Толщина изделия, мм	4 . . . 15	15 . . . 40	40 . . . 100

Угол призмы β обеспечивает требуемый наклон пьезоэлектрического элемента, а, следовательно, и угол падения ультразвуковых волн. Его выбирают таким, чтобы в изделии распространялась только поперечная волна.

Материалом призмы у наиболее распространенных отечественных искателей служит плексиглас. Он обладает достаточно хорошей смачиваемостью и износостойкостью, но имеет малый диапазон рабочих температур. Поэтому для специализированных искателей применяют капролон, имеющий более широкий температурный интервал и повышенную износостойкость.

Поверхность сварного соединения, на которой при контроле располагается искатель, называют *контактной*. К ней прилегает *мертвая зона* — область сварного соединения, в которой данной аппаратурой (дефектоскопом и искателем) и при данной ее настройке дефекты не вы-

являются. Глубину мертвой зоны можно рассчитать по формуле

$$M = 0,5c_t (\tau_n + \tau_p) \cos \alpha,$$

где c_t — скорость распространения поперечных волн, м/с; τ_n — длительность зондирующего импульса, с; τ_p — длительность реверберационных шумов, с; α — угол ввода, °.

Мертвая зона уменьшается с увеличением угла ввода луча в изделие (угла преломления) и увеличением частоты ультразвука, однако изготовить искатель, у которого бы отсутствовала мертвая зона, практически невозможно из-за наличия реверберационных шумов.

В ультразвуковой дефектоскопии принято различать несколько видов чувствительности. *Реальная чувствительность* характеризует минимальные размеры различных дефектов, уверенно выявляемые с помощью данного метода контроля и данной аппаратуры. Ее устанавливают на основе статистического анализа результатов ультразвуковой дефектоскопии (УЗД) и металлографических исследований однотипных сварных соединений.

Предельная чувствительность определяется минимальными размерами искусственного дефекта, уверенно выявляемого при данной настройке дефектоскопа и выполненного на заданной глубине в испытательном образце из того же материала, что и контролируемое изделие. В качестве размера предельной чувствительности принимается минимальная площадь (в мм²) отверстия с плоским дном, ориентированным перпендикулярно акустической оси искателя, а само отверстие называют контрольным отражателем. Поэтому предельную чувствительность называют еще контрольной. Точное изготовление модели дефекта в виде плоскодонного отверстия связано с определенными трудностями, поэтому в качестве контрольных отражателей для работы с наклонными искателями применяют сегментные и угловые отражатели, а также боковые отверстия.

Условная чувствительность определяется глубиной расположения и размерами уверенно выявляемого искусственного эталонного отражателя, сделанного в образце из материала с определенными акустическими свойствами (по стандартным образцам № 1, 2, ГОСТ 14782—76, см. § 26).

В процессе сканирования (перемещения искателя по поверхности изделия) предельная чувствительность дефектоскопа существенно ниже, чем при неподвижном

положении искателя. В связи с этим введено понятие *поисковой чувствительности*, уровень которой на 5...8 дБ выше предельной.

В ТУ на контроль конкретных изделий указывается величина *браковочной (оцепочной) чувствительности*. Она характеризуется максимально допустимой величиной эквивалентной площади дефекта и устанавливается несколько ниже уровня предельной чувствительности.

Проведение дефектоскопии на произвольном уровне чувствительности может привести к пропуску недопустимых дефектов или, наоборот, к перебраковке. Поэтому перед проведением контроля проводится проверка дефектоскопа с искателем по стандартным образцам или по диаграммам (см. § 26).

Методы УЗД. Для выявления дефектов в сварных соединениях используют, в основном, три метода ультразвукового контроля, отличающиеся различными способами обнаружения дефектов: эхо-импульсный метод, теневой и зеркально-теновой.

Эхо-импульсный метод осуществляется путем ввода в изделие импульса ультразвука и приема отраженного от дефекта эхо-сигнала, являющегося признаком наличия несплошности (рис. 44.I). По времени между указанными импульсами судят о глубине залегания дефекта.

При теневом методе искатели располагают на противоположных поверхностях изделия, ультразвук проходит от излучателя к приемнику через контролируемое сечение, а признаком дефекта является уменьшение амплитуды (интенсивности) сигнала (рис. 44.II). Этот метод используется как в импульсном, так и в непрерывном режимах излучения ультразвука.

Зеркально-теновой метод отличается от описанных тем, что в этом случае о наличии дефекта судят по уменьшению амплитуды эхо-сигнала, отраженного от противоположной (дошной) поверхности изделия и ослабленного имеющимися несплошностями (рис. 44.III).

Каждый метод имеет свою область применения, в пределах которой он эффективен. Для сварных соединений наиболее широко применяется эхо-импульсный метод. Он обладает более высокой чувствительностью, чем теневой и зеркально-теновой, позволяет совместить в одном искателе функции излучателя и приемника, имеет ряд других преимуществ. Для теневого метода необходимо наличие подхода к контролируемому изделию с двух

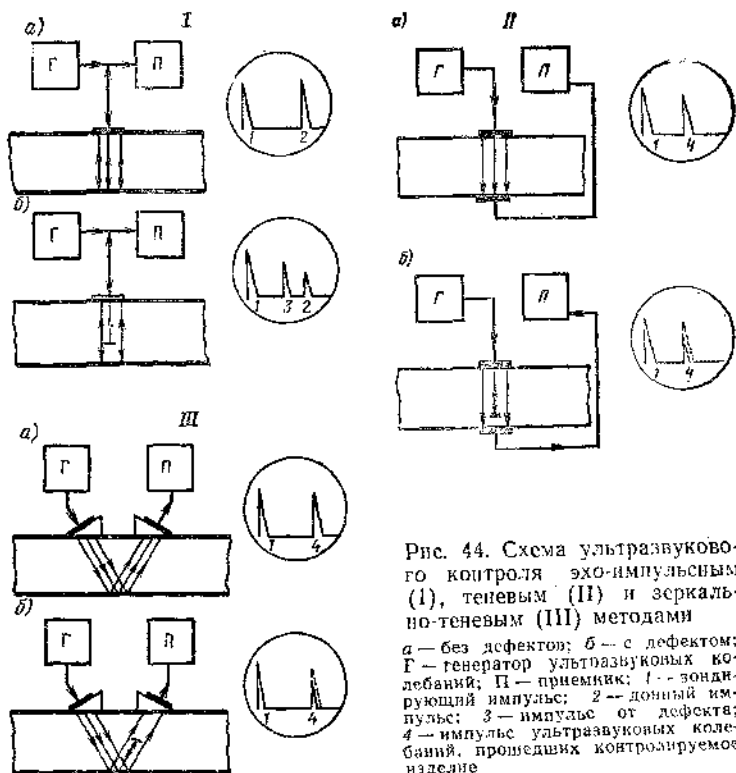


Рис. 44. Схема ультразвукового контроля эхо-импульсным (I), теньвым (II) и зеркально-теньвым (III) методами

а — без дефектов; б — с дефектом; Г — генератор ультразвуковых колебаний; П — приемник; 1 — зондирующий импульс; 2 — донный импульс; 3 — импульс от дефекта; 4 — импульс ультразвуковых колебаний, прошедших контролируемое изделие

сторон; на эффективность контроля оказывает влияние необходимость соблюдения определенного взаимного расположения искателей. В то же время он позволяет уменьшить мертвую зону (неконтролируемую часть сечения) и более эффективен при контроле малых толщин (1...4 мм).

26. Аппаратура

В комплект аппаратуры для ультразвукового контроля входят дефектоскоп, набор искателей, стандартные и тест-образцы для настройки и проверки приборов, а также другие вспомогательные приспособления.

Ультразвуковой дефектоскоп состоит из нескольких функциональных блоков, основные из которых представлены на упрощенной блок-схеме (рис. 45). Генератор

электронного глубиномера можно измерить временной отрезок между зондирующим импульсом и импульсом от дефекта и определить глубину залегания дефекта по формуле

$$l = 0,5ct,$$

где c — скорость ультразвуковых колебаний в материале, м/с; t — время прохождения импульсов до дефекта и обратно, с.

Блок глубиномера управляет также АСД с помощью селекторного импульса, вырабатывает строб-импульс для определения на экране ЭЛТ зоны контроля с использованием АСД и импульс запуска задержанной развертки «электронной лупы», служащей для увеличения масштаба изображения любого участка контролируемого шва.

По данной блок-схеме выпускаются наиболее широко применяемые ультразвуковые дефектоскопы многоцелевого промышленного назначения. Для монтажных условий выпускается малогабаритный переносной дефектоскоп ДУК-66ПМ массой 9 кг. Этот дефектоскоп выпускается серийно. Он собран полностью на полупроводниках, имеет автоматический сигнализатор дефектов, звуковой индикатор и глубиномер с набором сменных координатных шкал под все стандартные искатели, с помощью которого можно непосредственно определить координаты залегания дефекта. Встроенный в дефектоскоп аттенюатор дает возможность измерять амплитуду импульсов на входе усилителя высокой частоты грубо, ступенями через 10 дБ в диапазоне 10...70 дБ и более точно — через 1 дБ до 9 дБ. ДУК-66ПМ имеет рабочие частоты 1,25; 2,5; 5 и 10 МГц и динамический диапазон усилителя 12 дБ. Последняя характеристика показывает, что на экране ЭЛТ дефектоскопа можно одновременно наблюдать сигналы, отличающиеся друг от друга не более чем на 12 дБ. К дефектоскопу ДУК-66ПМ может придаваться приставка АС-3, предназначенная для обеспечения автоматизированной записи результатов контроля при дефектоскопии сварных соединений с плоскопараллельными поверхностями. Кроме этого, он имеет выход для работы с другими измерительными приборами. Питание дефектоскопа может осуществляться как от сети через трансформатор и выпрямитель, так и от батарей аккумуляторов. При этом потребляемая мощность составляет 40 и 10 Вт соответственно.

Для контроля в монтажных условиях разработан ультразвуковой дефектоскоп «Эхо». Он работает на час-

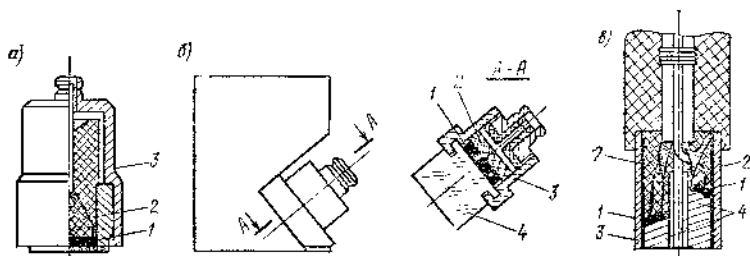


Рис. 46. Конструкции искателей

а — прямого; *б* — наклонного; *в* — раздельно-совмещенного; 1 — пьезоэлемент; 2 — демпфер; 3 — корпус; 4 — призма

тотах 2,5 и 5 МГц, имеет габариты $140 \times 240 \times 397$ мм и массу 6,87 кг (с батареей аккумуляторов). Координаты дефекта определяются непосредственно по экрану. Дефектоскоп оснащен системой АСД и звуковым индикатором.

В МВТУ им. Н. Э. Баумана разработан дефектоскоп ОДП—МВТУ. В качестве индикатора дефектов в нем применен стрелочный указатель, имеется глубиномер, схема АСД, звуковой и световой индикаторы дефектов. Динамический диапазон усилителя 16 дБ. Масса дефектоскопа составляет 2,8 кг с батарейным питанием.

Широкое внедрение ультразвуковых методов контроля в монтажных организациях в определенной степени сдерживается отсутствием дефектограмм — документов, дающих возможность подтвердить действительное качество проконтролированной продукции и проверить работу операторов. Возможность решения этой проблемы связана с необходимостью иметь жесткие механизмы, позволяющие осуществлять перемещение искателя (скапирование) по определенной программе с привязкой к шву. Наиболее перспективны в этом отношении проводимые в настоящее время разработки по контролю ультразвуковым методом сварных швов рулонных конструкций и стыков трубопроводов. Дефектоскопы, предназначенные для контроля сварных соединений, комплектуют наборами искателей основных типов (рис. 46). Конструктивно искатели состоят из корпуса: пьезоэлемента (или двух пьезоэлементов в РС-искателях), электродов, демпфера и разъема, позволяющего соединять искатель с дефектоскопом. Кроме этого, они могут быть дополнительно снабжены устройствами для изменения

угла наклона пьезопластины, подачи контактирующей жидкости, стабилизации давления на головку, а также протекторами разной конструкции, предохраняющими от износа рабочую поверхность призмы. Пьезоэлементы серийных искателей изготавливают из пьезокерамики ЦТС-19 круглой, полукруглой, квадратной или прямоугольной формы. Отношение диаметра пьезопластины к длине волны в стали в этих искателях колеблется от 2,5 до 8, а толщина составляет половину длины волны. Пьезоэлемент наклеивают на демпфер или прижимают к нему. В прямых и РС-искателях демпферы выполняют из эпоксидной смолы с вольфрамовым наполнителем и добавкой пластификатора или из другого материала с высоким значением коэффициента затухания ультразвуковых колебаний. Это позволяет уменьшить мертвую зону и увеличить разрешающую способность в направлении прозвучивания (т. е. способность отдельно регистрировать два импульса, следующих от двух, расположенных в направлении прозвучивания отражателей).

В наклонных искателях (табл. 9) демпфер либо вообще отсутствует, либо имеет малое акустическое сопротивление. Пьезоэлемент прижимают или приклеивают к призме, выполняемой из плексигласа, капролона, поликарбоната дифлок или других материалов с необходимыми акустическими и механическими свойствами.

9. Основные размеры наклонных искателей, мм

Угол призмы $\beta, ^\circ$	Угол ввода $\alpha, ^\circ$	Частота, МГц					
		1,8		2,5		5	
		a	n_0	a	n_0	a	n_0
30	39	9	22	6	13	—	—
40	50	9	24	6	15	4	10
50	65	9	30	6	15	4	12
53	70	—	—	6	14	4	5

Прямые и наклонные искатели могут быть совмещенными, т. е. выполняющими функции излучателя зондирующих импульсов и приемника эхо-сигналов, проходящих в интервалах между этими импульсами. Они могут включаться по совмещенной, раздельной и раздельно-совмещенной схемам (рис. 47). Для контроля тавровых сварных соединений, стыковых соединений со снятым усилением шва толщиной до 40 мм и выявления рассло-

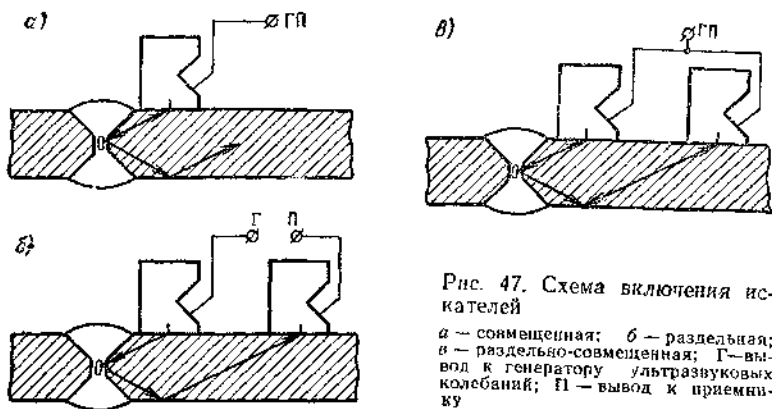


Рис. 47. Схема включения искателей

а — совмещенная; б — раздельная;
 а — раздельно-совмещенная; Г — вы-
 вод к генератору ультразвуковых
 колебаний; П — вывод к приемни-
 ку

ний основного металла ультразвуковые дефектоскопы комплектуются раздельно-совмещенными искателями. РС-искатель состоит из двух наклонных искателей с малым углом β , объединенных в одном корпусе. Функции излучения и приема ультразвука в этом искателе выполняют разные пьезопластины. Мертвая зона РС-искателей благодаря разделению невелика и составляет 0,5...2 мм вместо 5...8 мм, которые имеют наклонные искатели. Промышленностью выпускаются в основном РС-искатели на частоту 5 МГц для контроля соединений толщиной до 15 мм и на частоту 2,5 МГц для соединений толщиной до 40 мм. Для обеспечения акустического контакта между протектором искателя и поверхностью изделия вводят слой контактной жидкости. Толщина этого слоя может быть значительно меньше длины волны, соизмерима с ней или значительно больше в зависимости от применяемого способа контроля, соответственно контактного, щелевого или иммерсионного типа.

В качестве контактной жидкости применяют автол, компрессорное, трансформаторное или другие аналогичные типы масел, а также жидкости специального состава.

В комплект аппаратуры для ультразвукового контроля входят также стандартные и испытательные образцы по ГОСТ 14782—76. Стандартный образец № 1 (рис. 48) выполняется из органического стекла и служит для определения условной чувствительности в миллиметрах,

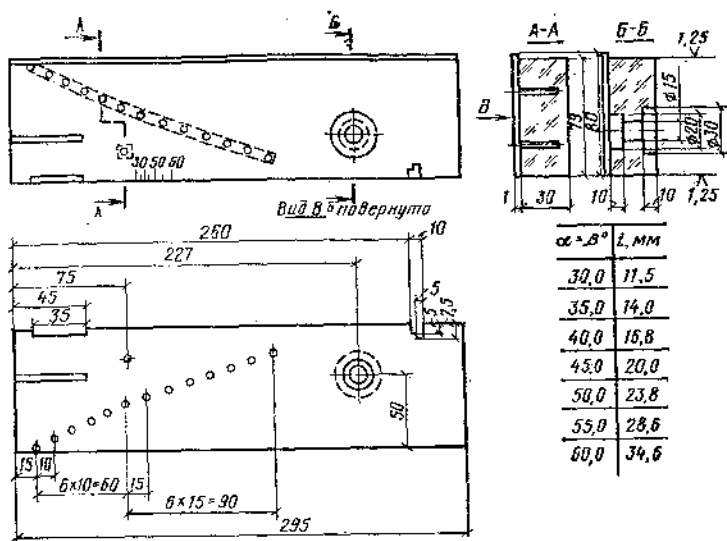


Рис. 48. Стандартный образец № 1

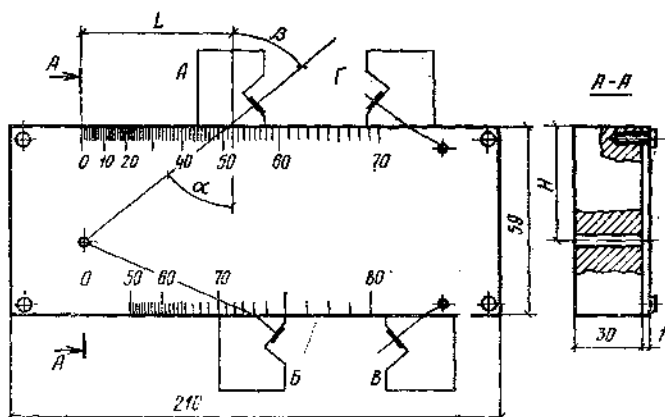


Рис. 49. Стандартный образец № 2

проверки разрешающей способности, погрешности глубиномера дефектоскопа и угла призмы искателя.

Стандартный образец № 2 (рис. 49) изготавливается из стали 20 в нормализованном состоянии и применяется для определения условной чувствительности в децибе-

лах, а также предельной чувствительности, мертвой зоны, погрешности глубиномера и угла ввода луча при контроле сварных соединений из малоуглеродистых и низколегированных сталей. В случае контроля сварных соединений металлов с другими акустическими свойствами применяется образец № 2А, отличающийся тем, что отверстия для проверки мертвой зоны расположены в нем на глубинах, указанных в документации на контроль.

Стандартный образец № 3 (рис. 50) изготавливают из стали 20 и применяют для определения точки «0» выхода ультразвукового луча и стрелы искателя « p_0 ». Также из стали 20 изготавливают стандартные образцы № 4 и № 4А (рис. 51), которые в сочетании со стандартным образцом № 3 служат для проверки частоты ультразвуковых колебаний. Площадь S сегментных отражателей в стандартном образце № 4А должна составлять 6 мм².

Испытательные образцы (рис. 52) изготавливают из металла, по акустическим свойствам соответствующего металлу

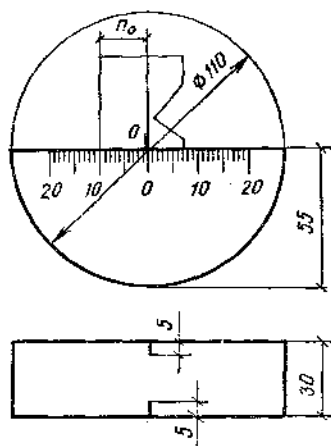
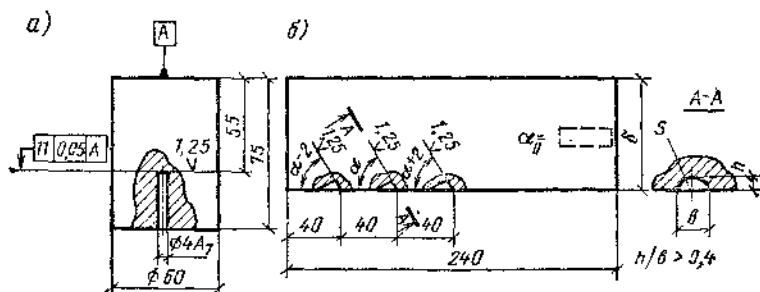


Рис. 50. Стандартный образец № 3

Рис. 51. Стандартные образцы № 4 (а) и № 4А (б)



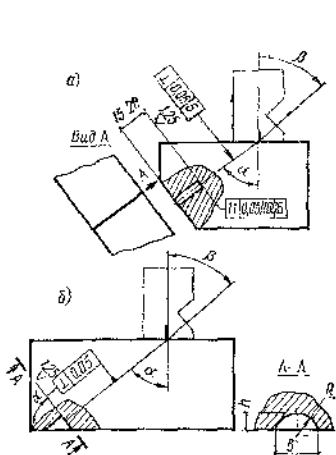


Рис. 52. Испытательные образцы для измерения предельной чувствительности дефектоскопа

а — с плоскостным цилиндрическим отверстием; б — с сегментным отражателем

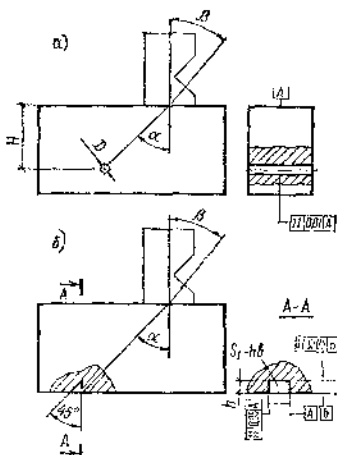


Рис. 53. Испытательные образцы

а — с боковым цилиндрическим отверстием; б — с угловым отражателем

контролируемого сварного шва. Они служат для измерения предельной чувствительности дефектоскопа с искателем по площади в мм^2 плоского дна цилиндрического отверстия, сегментных отражателей, угловых отражателей или, при наличии аттенюатора в дефектоскопе, по цилиндрическому боковому отверстию диаметром $D=6A_7$, выполненному на глубине 44 мм (рис. 53).

27. Технология

Контроль сварных соединений ультразвуковым методом включает три этапа: подготовку изделия и аппаратуры, выявление дефектов и определение их координат и характеристик, классификацию дефектов сварного соединения по результатам проведенного контроля.

При подготовке к контролю изучают нормативно-техническую документацию, проводят внешний осмотр и обмеры сварных швов, определяют ширину зоны зачистки поверхности изделия, устанавливают параметры контроля, производят проверку настройки аппаратуры для контроля швов данного типоразмера.

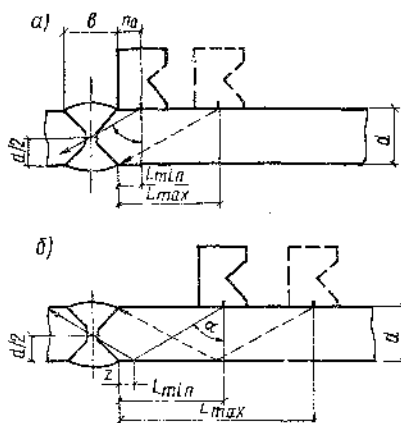


Рис. 54. Схемы контроля стыковых сварных соединений

a — прямым лучом; b — однократно отраженным лучом

Ширина зоны зачистки зависит от принятой схемы контроля и толщины свариваемых элементов. При толщине металла до 60 мм ширина этой зоны составляет: для стыковых соединений от 80 до 280 мм, для нахлесточных соединений от 60 до 190 мм, для тавровых соединений от 100 до 330 мм. Поверхность зоны сканирования не должна иметь вмятин; ее очищают от брызг металла, отслаивающейся окалины и загрязнений.

Выбор схемы прозвучивания и основных параметров контроля производят в зависимости от типа сварного шва и толщины свариваемого металла, исходя из геометрии прохождения луча ультразвука в изделии.

Сварные швы стыковых соединений обычно контролируют эхо-импульсным методом. Ультразвук вводят в сварной шов с помощью наклонных искателей через поверхность основного металла. Как правило, прозвучивание ведется прямым и однократно отраженным лучом (рис. 54) с одной поверхности соединения при перемещении искателя с двух сторон шва. Двукратно и многократно отраженным лучом прозвучивают в случае, когда при оптимальном угле ввода луча размеры усиления шва не позволяют осуществить контроль прямым и однократно отраженным лучом. Например, при толщине металла менее 10 мм контроль стыковых швов может быть осуществлен только многократно отраженным лучом. Прямым лучом такие толщинны можно прозвучивать только специальными искателями с большим углом призмы и малой стрелой.

Оптимальное значение угла ввода ультразвука α (табл. 10) обычно выбирают так, чтобы акустическая ось искателя пересекала ось симметрии шва на глубине, равной половине толщины свариваемого металла. В этом случае обеспечивается прозвучивание всего сечения шва, если выполняются следующие условия для контроля прямым лучом:

$$\operatorname{tg} \alpha \geq (b - 2n_0)/d;$$

а для контроля однократно отраженным лучом

$$\operatorname{tg} \alpha \geq (b + 2z)/d,$$

где α — угол ввода ультразвука, °; b — ширина усиления, мм; n_0 — стрела искателя, мм; d — толщина свариваемого металла, мм; z — расстояние от границы усиления шва до точки отражения, мм.

Чтобы основная часть ультразвуковых лучей отражалась в контролируемую область шва, величина z должна составлять 2...8 мм.

10. Основные параметры контроля стыковых сварных швов

Толщина металла d , мм	Частота ультразвука f , МГц	Угол ввода α , °	Условная чувствительность, мм	
			поисковая	оценочная
3...10	5; 2,5	70...74	20	15
15...25	2,5	65	35...40	30...35
25...50	2,5	50...65	40...45	35...40
50...150	2,5; 1,8	40...65	45...50	40...50
150...200	1,8; 0,8	0...65	—	—

Исходя из выбранной схемы контроля и угла ввода, можно рассчитать пределы поперечного перемещения искателя L . Для контроля прямым лучом $L_{\min} = n_0$; $L_{\max} = d \operatorname{tg} \alpha$; для контроля однократно отраженным лучом $L_{\min} = d \operatorname{tg} \alpha + z$; $L_{\max} = 2d \operatorname{tg} \alpha$.

Вообще для любого числа отражений « m » от однократного и более

$$L_{\min} \approx md \operatorname{tg} \alpha + z; \quad L_{\max} \approx (m + 1) d \operatorname{tg} \alpha.$$

Так же как и стыковые сварные швы, тавровые соединения контролируют эхо-импульсным методом по совмещенной схеме. Тавровые сварные соединения ответственных конструкций, как правило, выполняются с полным проваром. Наиболее эффективной и просто осуществляемой схемой контроля таких швов является ввод ультразвука в шов через основной металл приваривае-

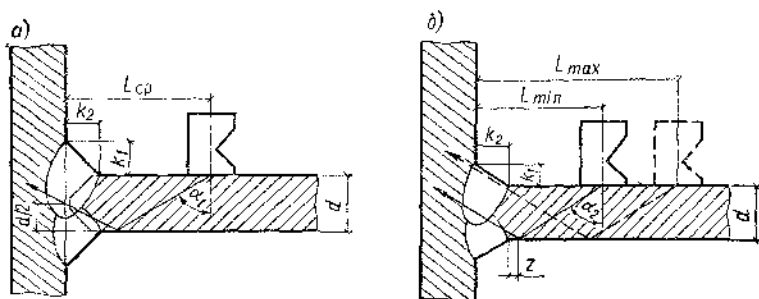


Рис. 55. Схемы контроля тавровых сварных соединений с полным проваром

а, б — первый и второй этапы контроля

мого листа (рис. 55). Контроль проводят в два этапа: сначала искателем с углом ввода 65° , перемещая его в пределах $L_{cp} = 1,5d \operatorname{tg} \alpha_1$, для выявления внутренних дефектов типа непровара в корне шва, а затем искателем с углом ввода 50° прозвучивают остальное сечение швов, перемещая искатель в пределах следующих расстояний от полки соединения:

$$L_{min} = k + z + d \operatorname{tg} \alpha_2; \quad L_{max} = k + 2d \operatorname{tg} \alpha_2,$$

где k — катет шва, мм; z — расстояние от границы шва до точки отражения, мм; d — толщина стенки, мм; α_2 — угол ввода луча, $^\circ$.

Тавровые соединения с конструктивным непроваром регламентированной величины контролируют со стороны полки. В этом случае ширину непровара определяют с помощью испытательного образца (рис. 56) или безэталонным способом по расчетной или экспериментальной зависимости этой ширины от величины амплитуды эхо-сигнала.

Нахлесточные соединения контролируют однократно отраженным лучом со стороны основного листа наклонным искателем по совмещенной схеме или зеркально-теневым способом по раздельной схеме (рис. 57).

Рассмотренные схемы контроля осуществляются при настройке дефектоскопа для работы в режиме «от поверхности». Для облегчения работы оператора на развертке с помощью стробимпульсов выделяют рабочую зону, в пределах которой располагаются эхо-сигналы от дефектов, находящихся в контролируемом участке шва — верхнем или нижнем.

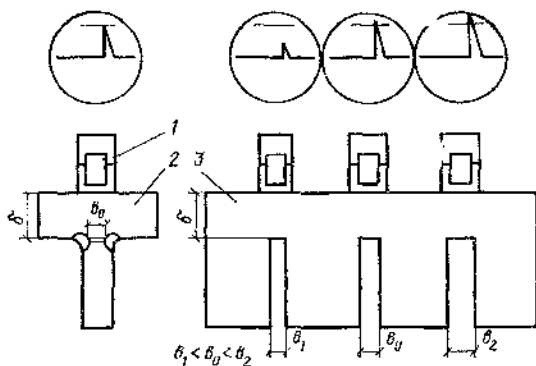


Рис. 56. Схемы определения ширины регламентированного испроара в тавровом сварном соединении с помощью испытательного образца

1 — искатель; 2 — контролируемое изделие; 3 — испытательный образец

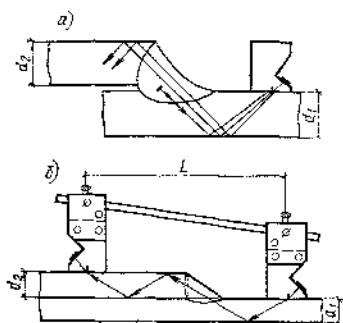


Рис. 57. Контроль нахлесточных сварных соединений по совмещенной схеме (а) и зеркально-тенивым способом по раздельной схеме (б)

Наименьшей производительностью, но наибольшей достоверностью и помехоустойчивостью отличается схема контроля «по слоям». По этой схеме эхо-сигналы прямого, однократно или многократно отраженного луча фиксируются в пределах выделенного с помощью стробирования определенного участка развертки. В этот участок могут попасть эхо-сигналы от дефектов, залегающих только в определенном слое. Схема наиболее эффективна для контроля больших толщин.

Настройка и проверка аппаратуры. Ультразвуковые дефектоскопы для контроля сварных соединений должны иметь регуляторы чувствительности (аттенюаторы) с ценой деления не более 2 дБ и устройства для определения координат расположения отражающих поверхностей. Они должны быть укомплектованы искателями с известными номинальными параметрами. Перед контролем необходимо проверить соответствие требованиям норма-

тивно-технической документации частоты ультразвука, условной и предельной чувствительности, угла ввода, погрешности глубиномера, размера мертвой зоны, разрешающей способности в направлении прозвучивания, стрелы искателя и произвести настройку аппаратуры для контроля конкретных сварных соединений. Эти операции выполняют с использованием стандартных и испытательных образцов, описанных выше, а также косвенным способом по SKH- и APD-диаграммам, если они имеются для выбранных искателей и если дефектоскоп снабжен регулятором чувствительности. Определенные трудности имеются при настройке аппаратуры для контроля цилиндрических конструкций с диаметром менее 200 мм. В этом случае рабочая поверхность искателей должна быть притерта.

Поиск дефектов, т. е. непосредственно операцию контроля, производят путем перемещения искателя по заранее подготовленной поверхности околошовной зоны в соответствии с выбранной схемой контроля и в пределах, определенных предварительным расчетом. Сканирование осуществляют по поперечно-продольной или продольно-поперечной схеме (рис. 58). Шаг поперечного сканирования не должен превышать половины диаметра пьезопластины. При этом искатель постоянно поворачивают на угол $\pm (10...15^\circ)$ от нормали к оси шва. Для повышения надежности выявления дефектов при наличии технической возможности сварной шов прозвучивают с двух сторон.

Оценку дефекта при оценочном уровне чувствительности производят по основным измеряемым характеристикам, к которым относятся амплитуда эхо-сигнала, условная протяженность, условная высота, число дефектов на единицу длины шва, координаты дефектов по сечению и длине шва.

Координаты дефектов — глубина залегания H , расстояние по поверхности изделия от точки ввода ультразвука x и расстояние r от точки ввода до дефекта измеряют с помощью глубиномерного устройства, по интервалу времени между зондирующим и эхом-сигналами, поскольку скорости распространения волн в разных средах и угол ввода известны.

Амплитуда эхо-сигнала в общем случае пропорциональна проекции площади отражающей поверхности дефекта на плоскость, перпендикулярную акустической

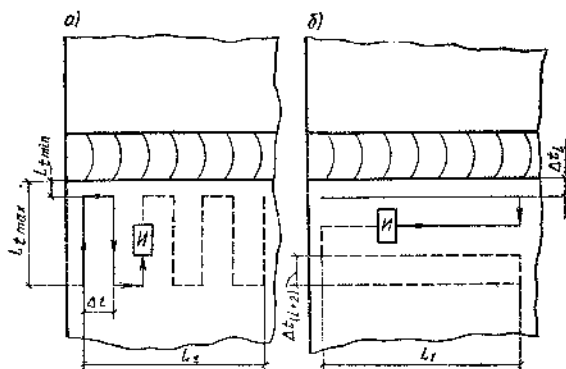
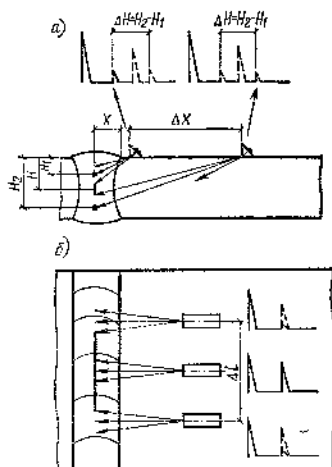


Рис. 58. Схемы сканирования

а — поперечно-продольная; б — продольно-поперечная; И — искатель;
 L_z — зона поперечного сканирования;
 L_l — зона продольного сканирования;
 Δl — шаг поперечного сканирования;
 Δl — шаг продольного сканирования

Рис. 59. Схема определения условных размеров дефектов

а — условной высоты ΔH путем перемещения искателя на расстояние ΔX ;
 б — условной протяженности ΔL



оси. Поскольку отражательные свойства, ориентация и расположение дефектов в сварных швах весьма многообразны, для характеристики размера дефекта введено понятие эквивалентной площади $S_{\text{э}}$. Отношение эквивалентной площади к действительной $S_{\text{э}}/S_{\text{д}} = K_{\text{в}}$ называется коэффициентом выявляемости. Для объемных дефектов сварных швов $K_{\text{в}} = 0,5 \dots 1,2$, а для плоских дефектов — значительно меньше. Эквивалентную площадь следует определять с помощью сравнения эхо-сигнала от дефекта с сигналами от различных по величине плоскодонных отверстий, изготовленных в испытательном образце на той же глубине. Хотя сами операции по измерению $S_{\text{э}}$ таким способом не сложны, недостатком его является необходимость иметь большое число образцов с разными по величине и глубине расположения отвер-

ствиями. Поэтому по ГОСТ 14782—76 эквивалентную площадь определяют по амплитуде эхо-сигнала от дефекта и глубине его расположения с помощью АРД-диаграммы, графически связывающей между собой эти величины и построенной на основе экспериментов, или расчетным путем. Кроме этого, для определения эквивалентной площади рекомендуется применять SKH-диаграмму, графически связывающую предельную чувствительность, эквивалентную площадь, ослабление чувствительности и глубину залегания дефекта (или отражающей поверхности). Аналогично определяют и эквивалентный диаметр дефекта.

Условные размеры дефектов — протяженность ΔL , ширина Δx и высота ΔH измеряют по перемещению искателя вдоль или поперек шва (рис. 59). Кроме этого, определяют соотношение амплитуд эхо-сигнала U_1 , отраженного от выявленного дефекта, и эхо-сигнала U_2 , претерпевшего зеркальное отражение от внутренней поверхности. По результатам ультразвукового контроля выявленные дефекты в зависимости от измеренных характеристик относят к одному из следующих типов: объемные непротяженные, объемные протяженные и плоскостные. В зависимости от типа дефектов, места их расположения по сечению, ступени размера (отношению эквивалентного диаметра к толщине свариваемого металла) и ступени частоты (отношению суммарной протяженности дефектов L_Σ на оценочном участке к длине оценочного участка N) проверенные участки швов относят к одному из пяти классов по ГОСТ 22368—77. Заключение о годности проконтролированного участка делается на основе браковочных уровней, приведенных в нормативно-технической документации на данную конструкцию.

28. Оформление результатов контроля

Результаты контроля записывают в журнал контроля и заключения. На дефектные места ГОСТ 14782—76 рекомендует делать записи на схеме сварного соединения (рис. 60). При записи результатов контроля указываются: тип сварного соединения, его индексы, индексы изделия и длина проконтролированного участка; нормативная документация, по которой выполнялся контроль; тип дефектскопа; частота УЗК; угол ввода (или тип искателя) и условная или предельная чувствительность; ре-

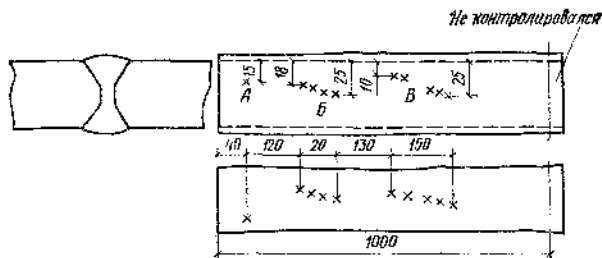


Рис. 60. Схема записи дефектов, обнаруженных при ультразвуковом контроле

зультаты контроля, дата контроля, фамилия дефектоскописта.

Для сокращенной записи применяют буквенные и цифровые обозначения. Например, в шве сварного соединения типа С25 под индексом КУ-2-12 и длиной 1 м обнаружены два дефекта, амплитуды эхо-сигналов, от которых превышают допустимую (Д), относятся как $U_1 < U_2$ (П), а условная протяженность $\Delta L' \approx \Delta L_0$ (Г). Координаты по глубине ~ 15 мм, а условная ширина $\Delta x \approx 8$ мм. Сокращенная запись этой информации 2ДГП—0-15-0-8-0. (Более подробно о порядке сокращенных записей следует смотреть прил. 3 ГОСТ 14782—76. ОСТ 36-75-83.

Необходимость сокращенной записи и применяемые обозначения должны отговариваться в технической документации на контроль.

Глава IX. КОНТРОЛЬ РАДИАЦИОННЫМИ МЕТОДАМИ

29. Физические основы контроля

Возможность неразрушающего контроля радиационными методами основана на способности ионизирующих излучений, испускаемых источником, проникать с той или иной степенью ослабления через сварное соединение и воздействовать на регистрирующее устройство (детектор) (рис. 61).

В зависимости от способа регистрации результатов (способа детектирования) различают три метода радиационного контроля: *радиографический*, *радиоскопический* и *радиометрический*.

На монтаже наибольшее распространение получил

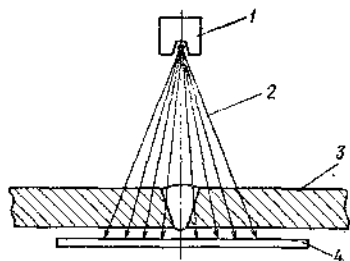


Рис. 61. Схема радиационного метода контроля

1 — источник излучения; 2 — лучи;
3 — контролируемое сварное соединение; 4 — детектор

радиографический метод контроля сварных соединений, поскольку радиографический снимок является документальным подтверждением качества сварного соединения. Аппаратура для его осуществления отличается относительно небольшой массой, компактностью и мобильностью, что позволяет легко транспортировать и применять ее в стесненных условиях и на высоте.

Радиоскопический и радиометрический методы дают возможность автоматизировать процесс контроля, но ввиду громоздкости аппаратуры находят применение преимущественно в заводских условиях. Следует отметить, что при радиационных методах контроля возникает необходимость обеспечения радиационной безопасности обслуживающего персонала и окружающего населения в соответствии с требованиями санитарных правил и другой нормативно-технической документации.

Для осуществления радиационных методов контроля в настоящее время применяют до десяти видов ионизирующих излучений, из которых для контроля сварных соединений в монтажных условиях используют гамма- и рентгеновское (характеристическое и тормозное) излучение.

Рентгеновские и гамма-излучения обладают общим важным свойством: они вызывают ионизацию молекул среды, через которую проходят, и называются ионизирующими. Ионизирующие излучения так же, как и радиоволны, инфракрасные, ультрафиолетовые лучи и видимый свет, являются электромагнитными колебаниями, но с очень малой длиной волны $3 \cdot 10^{-1} \dots 5 \cdot 10^{-5}$ нм. Возникновение ионизирующих излучений связано с изменением энергетического состояния атома. Источниками гамма-излучения, применяемого в радиационной дефектоскопии, являются радиоактивные изотопы (радионуклиды). Искусственные превращения стабильных атомов в радионуклиды могут быть вызваны бомбардировкой их α -частицами, нейтронами и протонами. Наиболее эффек-

тивным методом получения искусственных радионуклидов является бомбардировка ядер стабильных элементов нейтронами. Нейтрону, который не имеет заряда, для проникновения в ядро нет необходимости обладать большой энергией. Нейтроны легко проникают в атомные ядра, вызывая их перегруппировку с образованием искусственного радионуклида того же элемента.

К основным видам радиоактивных распадов следует отнести α - и β -распады, электронный захват и изомерный переход.

В результате α -распада ядро радионуклида испускает α -частицы, которые являются ядрами гелия ${}^4_2\text{He}$. Этот процесс характерен для естественных радионуклидов с большим порядковым номером в периодической системе Рн, Ка, У и др.

При β -распаде один из нейтронов ядра превращается в протон, что сопровождается испусканием электрона или позитрона и антинейтрино. Такой вид распада характерен для большинства искусственных и естественных радиоактивных элементов. Испускаемые при этом электроны и позитроны носят название β -частиц.

При электронном захвате ядро захватывает электрон с одной из внутренних оболочек атома, чаще всего с ближайшей к ядру К-оболочки, поэтому этот процесс еще называют К-захват, в результате чего один из протонов ядра превращается в нейтрон, заряд ядра уменьшается на единицу, а на К-оболочку переходят электроны с более удаленных оболочек. Переход электронов с высоких энергетических уровней на более низкие сопровождается излучением электромагнитной энергии.

Изомерным переходом называют такой вид радиоактивных превращений, при которых возбужденные радиоактивные ядра, образующиеся в результате α - и β -распадов, переходят в основное состояние. При этом возбужденное ядро испускает электромагнитное излучение.

Электромагнитное излучение, возникающее при ядерных распадах, называют гамма-излучением.

Особенностью явления радиоактивного распада является то, что ядра радиоактивных изотопов распадаются с течением времени неравномерно, в то время как доля распада ядер в единицу времени для данного изотопа есть величина постоянная. Она называется постоянной радиоактивного распада ω .

С течением времени число атомов радиоактивного

вещества уменьшается в соответствии со следующим соотношением, называемым *законом радиоактивного распада*:

$$N_t = N_0 e^{-\omega t},$$

где N_0 — число радиоактивных атомов в некоторый начальный момент времени; N_t — число оставшихся радиоактивных атомов к моменту времени t ; e — основание натуральных логарифмов; ω — постоянная распада данного изотопа.

Время, в течение которого число радиоактивных атомов уменьшается вдвое, называется *периодом полураспада*

$$T = 0,693/\omega.$$

Периоды полураспада разных радиоактивных изотопов варьируются в очень широких пределах от миллиардов лет до миллионных долей секунды. Так, период полураспада $^{238}_{92}\text{U}$ равен $4,5 \cdot 10^9$ лет, $^{60}_{22}\text{Co}$ — 5,3 года, ^4_2He — $6 \cdot 10^{-20}$ с.

Количественная характеристика радиоактивного распада определяется *активностью* радиоактивного вещества, которая характеризуется числом распадов ядер атомов в единицу времени. В системе единиц СИ за единицу измерения активности радиоактивного распада принят один распад в секунду (с^{-1}), называемый беккерелем (Бк). Внесистемной, но широко применяемой единицей является Кюри (Ки). Эта величина также служит мерой сравнения изотопов по ионизирующему действию их гамма-излучений. Известно, что 1 г радия, очищенного от продуктов распада, за 1 с дает около $3,7 \cdot 10^{10}$ распавшихся ядер.

Активность радиоактивных источников с течением времени изменяется *по экспоненциальному закону*

$$A_t = A_0 e^{-0,693 T t^{-1}},$$

где A_0 — активность радиоактивного источника в момент времени t и в первоначальный момент времени соответственно.

Рентгеновское излучение может быть двух видов. *Характеристическое рентгеновское излучение* испускается возбужденными атомами при их переходе в основное или менее возбужденное состояние. Например, при К-захвате. *Тормозное рентгеновское излучение* возникает при прохождении электронов через вещество. Под действием кулоновского поля ядер электроны испытывают торможение, их кинетическая энергия уменьшается и преобразуется в тормозное излучение.

Характеристическое излучение имеет дискретный энергетический спектр, состоящий из энергетических линий согласно переходам электронов с наружной оболочки на соответствующие внутренние. Тормозное излучение имеет непрерывный характер, поскольку уменьшение кинетической энергии электрона и преобразование ее в рентгеновское излучение происходит при непрерывном испускании квантов различных энергий.

Основные характеристики ионизирующих излучений. Возможность выявления дефектов сварных соединений с помощью просвечивания ионизирующими излучениями связана с их проникающей способностью. Проникающая способность излучений зависит от плотности энергии, т. е. от количества, приходящегося на единицу поверхности. Эту характеристику принято называть *интенсивностью*.

Интенсивностью ионизирующего излучения I называется количество энергии излучения, проходящее за 1 с через площадку 1 м^2 , расположенную перпендикулярно направлению прохождения лучей. Интенсивность излучения в случае точечного источника изменяется обратно пропорционально квадрату расстояния

$$I_1/I_2 = R_2^2/R_1^2,$$

где I_1 и I_2 — интенсивности излучения источника соответственно на расстояниях R_1 и R_2 .

Ионизирующее излучение можно рассматривать как совокупность незаряженных частиц — фотонов, имеющих нулевую массу покоя, движущихся со скоростью в вакууме ($c = 2,998 \cdot 10^8 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$) и обладающих энергией

$$E = h\nu,$$

где h — постоянная Планка, равная $6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$; ν — частота электромагнитных колебаний, с^{-1} .

Поскольку длина волны любого электромагнитного излучения связана с частотой известным соотношением $\lambda = c/\nu$, то можно записать: $E = hc/\lambda$.

У разных радиоактивных изотопов энергия фотонов различна и колеблется в диапазоне $10^{-3} \dots 1 \text{ пДж}$. Внесистемной, но широко применяемой единицей энергии является электронвольт (эВ): $1 \text{ эВ} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$. Энергия в 1 эВ соответствует той кинетической энергии, которую приобретает электрон, пройдя разность потенциалов в 1 В.

В результате взаимодействия ионизирующего излучения с веществом, через которое оно проходит, происхо-

дит поглощение энергии. Энергия излучения преобразуется в другие виды энергии и в энергию других видов излучения.

Энергия ионизирующего излучения, поглощаемая единицей массы облучаемого вещества, называется *поглощенной дозой излучения*:

$$D = E/m,$$

где E — энергия, поглощаемая всем облучаемым веществом, Дж; m — масса облучаемого вещества, кг.

Единицей поглощенной дозы является грэй (1 Гр = 100 Дж/кг). В практике применяют внесистемную единицу «рад», 1 Гр = 100 рад.

Наряду с поглощенной дозой ионизирующего излучения существует понятие *экспозиционной дозы*, за единицу которой принят кулон на килограмм (Кл/кг). Экспозиционная доза характеризует ионизирующую способность излучения. Кл/кг — это доза рентгеновского или гамма-излучения, создающая в 1 кг сухого атмосферного воздуха ионы обоих знаков, несущие заряд в 1 Кл электричества.

В практике допускается применение внесистемной единицы экспозиционной дозы — рентген (Р). Рентген — экспозиционная доза излучения, создающая в 1 см³ воздуха при нормальных условиях $2,08 \cdot 10^9$ пар ионов с зарядом в 1 электростатистическую единицу электричества каждого знака. Экспозиционной дозе 1 Р соответствует поглощенная воздухом энергия (поглощенная доза), равная $0,88 \cdot 10^{-2}$ Дж/кг.

Кроме указанных характеристик ионизирующего излучения важны параметры, показывающие его мощность. Для этого введены два понятия — *мощность поглощенной дозы* и *мощность экспозиционной дозы*, т. е. величина дозы в единицу времени. За единицу мощности поглощенной дозы излучения принят Гр/с. Мощность экспозиционной дозы (МЭД) измеряется в А/кг.

Взаимодействие ионизирующих излучений с веществом. При взаимодействии с веществом рентгеновского и гамма-излучений наибольшее значение имеют три процесса: *фотоэлектрическое поглощение, комптоновское рассеяние излучения и образование пар электрон-позитрон*. Фотоэлектрическое поглощение происходит при передаче энергии γ -кванта орбитальному электрону атома вещества. В результате этот электрон переходит на обо-

лочку с более высоким уровнем энергии или уходит за пределы атома, если полученная им энергия превышает энергию связи электрона в атоме. Заполнение освободившейся оболочки сопровождается характеристическим излучением, а выбитый электрон, который теперь называют фотоэлектроном, вступает во взаимодействие с атомами и молекулами просвечиваемого вещества. Это в свою очередь вызывает их возбуждение и ионизацию, образует вторичные кванты и фотоэлектроны, затем третичные и т. д. до полного поглощения энергии первичного излучения. При *комптоновском рассеянии* γ -квант отдает часть своей энергии орбитальному электрону и отклоняется от первоначального направления на угол ϕ , а орбитальный электрон покидает свою орбиту под углом, становясь электроном отдачи. Фотоэлектрическое поглощение имеет место при взаимодействии излучений с энергией 0,3...0,5 МэВ, комптоновское рассеяние — с энергией 0,3...1,0 МэВ. При поглощении квантов с энергией более 1,022 МэВ происходит *образование пары электрон-позитрон*, имеющих энергию 0,51 МэВ. При этом позитрон соединяется с одним из электронов среды и образуются два кванта излучения (аннигиляция).

В результате всех перечисленных взаимодействий при прохождении излучения через вещество его интенсивность уменьшается, поскольку часть энергии теряется. Ослабление интенсивности узкого (коллимированного) пучка излучения происходит в соответствии с выражением, называемым *законом ослабления интенсивности*:

$$I_d = I_0 e^{-\mu d},$$

где I_0 — интенсивность излучения при отсутствии контролируемого изделия, $\text{с}^{-1} \cdot \text{м}^{-2}$; I_d — интенсивность излучения после прохождения через изделие толщиной d ; μ — линейный коэффициент ослабления интенсивности излучения, м^{-1} .

Изменение расстояния от источника излучения до детектора вызывает уменьшение интенсивности узкого пучка излучения обратно пропорционально квадрату этого расстояния

$$I_d = I_0 e^{-\mu d/F^2},$$

где F — расстояние от источника до детектора, м.

Линейный коэффициент ослабления μ представляет собой сумму линейных коэффициентов, учитывающих ослабления излучения за счет фотоэлектрического поглощения, комптоновского рассеяния и образования пар электрон-позитрон (соответственно τ , σ и χ) $\mu = \tau + \sigma + \chi$.

Поскольку уменьшение интенсивности излучения связано с плотностью вещества ρ (его атомным номером), то в практике дефектоскопии пользуются массовым коэффициентом ослабления, соответственно определяемым отношением

$$\mu_m = \mu/\rho.$$

В случае рентгеновского излучения массовый коэффициент ослабления связан с материалом и длиной волны следующей зависимостью

$$\mu_m = a\lambda^3 Z^3,$$

где a — коэффициент пропорциональности; Z — атомный номер элемента.

Применяемые в радиографии пучки гамма-излучения имеют значительную долю рассеянного излучения, тогда закон ослабления интенсивности приобретает вид:

$$I_d = I_0 e^{-\mu_d B},$$

где B — дозовый фактор накопления, учитывающий вклад многократно рассеянного излучения.

Дозовый фактор оценивает вклад рассеянного излучения в общую интенсивность излучения, прошедшего через материал:

$$B = (I_{np} + I_p)/I_{np}.$$

где I_{np} и I_p — интенсивности нерассеянного и рассеянного излучений соответственно.

Дозовый фактор зависит от энергии излучения и толщины просвечиваемого изделия и его химического состава. С увеличением энергии излучения дозовый фактор уменьшается, при увеличении толщины материала — растет.

Ионизирующее излучение, пройдя материал контролируемого изделия, взаимодействует с объектами, расположенными за ним. Возникающее при этом рассеянное излучение может воздействовать на детектор и окружающий персонал. В частности, эти явления проявляются наиболее интенсивно, если контролируемые сварные соединения расположены у бетонных или алюминиевых стен, оснований и т. п. В этом случае должны приниматься дополнительные меры для защиты от обратного рассеянного излучения, например, устанавливаться дополнительные свинцовые экраны.

30. Источники ионизирующих излучений

Для получения ионизирующих излучений, применяемых в дефектоскопии сварных соединений, используют

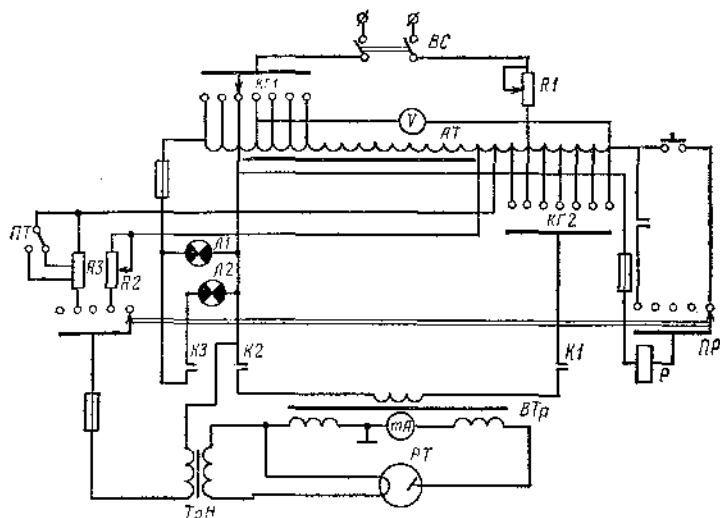


Рис. 62. Принципиальная схема рентгеновского аппарата

BC — выключатель; AT — автотрансформатор; КГ-1 — корректор грубой регулировки; КГ-2 — корректор плавной регулировки; К1, К2, К3 — нормально разомкнутые контакты реле Р; BTr — высоковольтный трансформатор; TrH — трансформатор накала; ПР, ПТ — переключатели; РТ — рентгеновская трубка; R1, R2, R3 — сопротивления; Л1, Л2 — сигнальные лампы (индикаторы); mA — миллиамперметр; V — вольтметр

рентгеновские аппараты, гамма-дефектоскопы с радиоактивными изотопами, а также различного типа ускорители электронов.

Рентгеновские аппараты. Для получения рентгеновского излучения в дефектоскопии сварных соединений монтируемых конструкций используют в основном портативные рентгеновские аппараты непрерывного и импульсного действия.

Рентгеновский аппарат состоит из излучателя (рентгеновской трубки и защитного кожуха, заполненного изолирующей средой), источника высокого напряжения и контрольно-измерительной аппаратуры (рис. 62).

При включении сети выключателем питающее напряжение поступает на автотрансформатор. С помощью корректоров грубой и плавной регулировок по вольтметру устанавливается требуемое напряжение, которое через нормально разомкнутые контакты реле поступает на первичную обмотку высоковольтного трансформатора. Во вторичную обмотку через миллиамперметр включена

рентгеновская трубка, нить накала которой питается через трансформатор накала. Генерирование излучения происходит импульсами в положительные полупериоды с частотой переменного напряжения в питающей сети.

Рентгеновская трубка представляет собой запаянный стеклянный баллон, в котором имеются катод, нить накала и анод (рис. 78). Катод обычно выполнен в виде фокусирующей вольфрамовой проволоки, а анод представляет собой вольфрамовую пластину, расположенную под углом 35—50° к оси трубки. Нить накала, подогреваемая током низкого напряжения (5...12 В) за счет термоэлектронной эмиссии, создает облачко электронов, которые под действием приложенного к электродам трубки высокого (до сотен кВ) напряжения направляются к аноду. Бомбардируя вещество анода, электроны тормозят, испуская кванты рентгеновского излучения. При этом интенсивность излучения характеризуется лучевой отдачей трубки, которая зависит от ускоряющего напряжения и предварительной фильтрации излучения. Увеличение ускоряющего напряжения при неизменном анодном токе изменяет спектр излучения от мягкого до жесткого, а увеличение анодного тока при заданном напряжении увеличивает интенсивность излучения без изменения энергетического спектра.

11. Технические характеристики рентгеновских аппаратов

Тип рентгенаппарата	Максимальная толщина просвечиваемой стали, мм	Параметры трубки			Масса, кг	
		напряжение, кВ	ток номинальный, мА	размеры фокусного пятна, мм	пульта управления	блок-трансформатора
РУП-60-20	60	60	20	3×3	—	15
РУП-120-5-1	25	50...120	5	3×2	30	45
РАП-160-6П	40	80...160	6	2×1,6	29	46
РАП-160-10Н	40	80...160	10	2×1,6	29	46
РУП-200-5-2	60	До 200	5	2×1,6	35	88
SL-141	40	50...140	2...5	1,5×1,5 0,8×0,8	20	35
ВХ-150	45	10...150	2...5	1,5×1,5	20	48
КХ-160	45	60...160	2...5	3,5×3,5	20	55
МХ-150	40	30...150	1...5	—	16	16
МХ-200	60	70...200	1...8	—	16	20
РИНА-2Д	20	До 200	—	3	5	10
МИРА-2Д	20	80...150	—	3	7	6,5

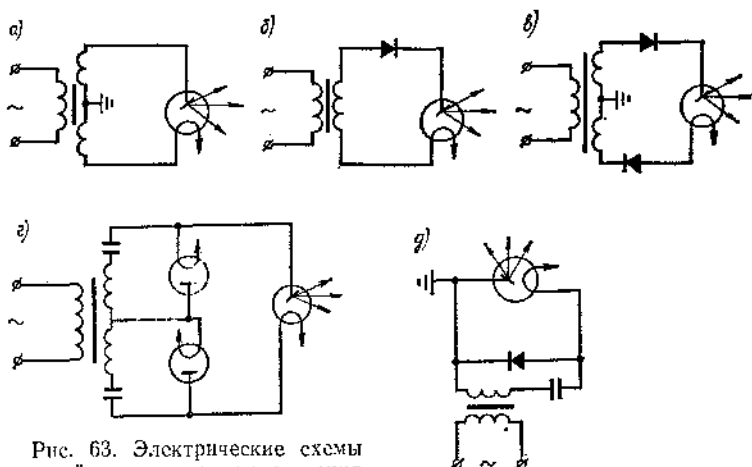


Рис. 63. Электрические схемы цепей высокого напряжения рентгеновских аппаратов

a — однополупериодная безвентильная; *б* — однополупериодная одновентильная; *в* — однополупериодная двухвентильная; *г* — схема удваивания напряжения с двумя кенотронами и двумя конденсаторами; *д* — схема удваивания напряжения с одним вентилем и конденсатором; *е* — схема с разрядником и импульсным трансформатором

Трубки рентгеновских аппаратов питаются по различным схемам (рис. 63).

Импульсная рентгеновская аппаратура отличается сравнительно малой массой и габаритными размерами (табл. 11), в связи с чем она находит широкое применение для контроля сварных соединений при монтаже технологических трубопроводов, резервуаров и других конструкций. Выпускаются аппараты типа МИРА-2Д, состоящие из рентгеновского блока и пульта управления, соединяемых высоковольтным кабелем. В рентгеновском блоке расположены импульсная рентгеновская трубка, импульсный трансформатор, разрядник-обостритель и накопительные конденсаторы. В пульте управления находятся зарядный трансформатор, схема удваивания напряжения, реле времени и цепи управления. Под действием короткого импульса высокого напряжения, формируемого с помощью разрядника-обострителя, в рентгеновской двухэлектродной трубке с холодным катодом

возникает вспышка рентгеновского излучения, импульс которой длится 2...3 мкс. Экспозиционная доза рентгеновского излучения импульсного аппарата за время 5 с на расстоянии 50 см составляет не менее 20 мР.

Ускорители электронов. Для контроля больших толщин применяют источники высокоэнергетического тормозного излучения с энергией до нескольких десятков МэВ — ускорители электронов линейные и циклические. Принцип действия их заключается в том, что электроны разгоняются в электрическом поле до больших энергий, мишень из вольфрама или платины тормозит их движение, в результате чего возникает жесткое тормозное излучение.

В линейных ускорителях движение электронов ускоряется в электрическом поле, создаваемом в ускоряющей трубке большим числом электродов, на которые подается последовательно от секции к секции удваивающееся переменное или постоянное напряжение. Энергия тормозного излучения линейных ускорителей 1,5...30 МэВ, диаметр фокусного пятна составляет 1 мм, а максимальная толщина просвечиваемой стали — 125...250 мм. Созданы отечественные линейные ускорители (характеристики которых отличаются широким диапазоном энергий), которые применяются для контроля толстостенных сварных соединений в заводских условиях.

В бетатронах — циклических ускорителях электроны движутся по замкнутой орбите постоянного радиуса под действием вихревого электрического поля, которое создается меняющимся во времени магнитным потоком. В конце цикла ускорения электроны смещаются со своей орбиты и попадают на мишень, вследствие чего возникает тормозное излучение. Фокусировкой пучка электронов в процессе ускорения получают фокусное пятно очень малого диаметра, порядка нескольких десятых долей миллиметра, что позволяет получать радиографические снимки высокого качества. Бетатроны нашли наибольшее применение в радиационной дефектоскопии благодаря своей наибольшей технологической маневренности, высоким экономическим и эксплуатационным характеристикам среди установок подобного типа (табл. 12).

Большую интенсивность излучения имеют другие циклические ускорители — *микротроны*, энергия которых составляет 10, 20 и 30 МэВ. В них электроны разгоняются по круговым орбитам разных радиусов, но имею-

щим общую точку касания в ускоряющем резонаторе. Однако значительные массы и габариты этих ускорителей ограничивают возможности их применения для контроля сварных соединений в монтажных условиях.

Радиоизотопные источники. Источники гамма-излучения, предназначенные для неразрушающего контроля, изготавливают из радионуклидов, которые помещают в герметичные ампулы из нержавеющей стали или других материалов, исключающих попадание радиоактивных веществ в окружающую среду. (рис. 64). Изотопы получают в ядерных реакторах облучением неактивных заготовок потоком нейтронов (например, ^{60}Co , ^{192}Ir) или разделением остаточных продуктов ядерного горючего (^{137}Cs , ^{90}Sr), а также облучением неактивных заготовок на циклотронах (^{55}Fe , ^{54}Mn).

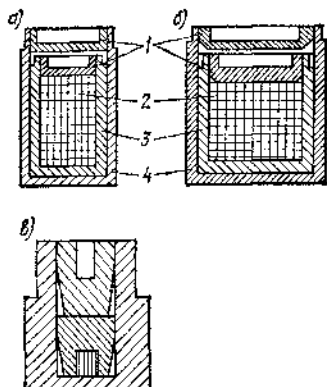


Рис. 64. Конструкция ампул источников гамма-излучения

а — с изотопом ^{60}Co ; *б* — с изотопом ^{137}Cs ; *в* — с изотопом ^{192}Ir ; 1 — крышка; 2 — активная часть; 3 — внутренняя ампула; 4 — наружная ампула

12. Технические характеристики бетатронов

Тип бетатрона	Энергия излучения, МэВ	МЭД на расстоянии 1 м, р/мин	Частота циклов, Гц	Потребляемая мощность, кВт	Габариты, мм	
					электромагнита	
ПНБ-5	$8 \cdot 10^{-13}$	0,2	50	1,0	280×280× ×190	26
ПНБ-6	6	0,6	50	2,0	400×520× ×400	100
ПНБ-6-200	6	1,3	200	4,0	550×400× ×400	100

Радиоизотопные источники характеризуются энергией излучения, мощностью экспозиционной дозы, активностью, величиной фокусного пятна (проекцией внутренней части источника в направлении излучения) и периодом полураспада.

По энергетическим характеристикам можно выделить три группы источников: высокоэнергетические с жестким

излучением при энергии $E \geq 1$ МэВ (^{54}Mn , ^{60}Co) средне-энергетические с $E = 0,3 \dots 0,7$ МэВ (^{192}Ir , ^{137}Cs) и низко-энергетические с мягким излучением при $E < 0,3$ МэВ (^{170}Tm , ^{75}Se и др.).

МЭД излучения определяет величину экспонирования, т. е. производительность контроля, требования к конструкции защитных устройств и технике безопасности. В процессе радиоактивного распада МЭД источника непрерывно убывает.

Для сравнения γ -источников по их ионизирующему действию служит ионизационная постоянная K_γ , численно равная МЭД γ -излучения, создаваемого точечным источником активностью в 1 мКи на расстоянии 1 см за 1 ч.

Для гамма-дефектоскопии широко применяют источники с изотопами ^{60}Co , ^{137}Cs , ^{192}Ir , ^{75}Se . Реже применяют ^{241}Am , ^{155}Eu и др. в связи с их высокой стоимостью и сложностью изготовления. Находят применение радиоизотопные источники тормозного излучения, представляющие собой ампулы, заполненные гомогенной смесью материалов, например, β -активного изотопа и мишени. В качестве мишени используют графит, алюминий, магний, бериллий и другие элементы. Примером таких источников могут служить ($^{90}\text{Sr} + \text{Be}$), ($^{147}\text{Po} + \text{Al}$) и др.

Гамма-дефектоскопы. Для промышленного применения источников излучения в целях контроля сварных соединений просвечиванием применяют специальные устройства, которые позволяют манипулировать источниками при дефектоскопии и защищают операторов от вредного воздействия излучений. Эти устройства называют гамма-дефектоскопами (табл. 13). Современные гамма-дефектоскопы могут обеспечивать как направленное (фронтальное), так и панорамное излучение, а также быть универсальными. Для формирования направленного пучка служат коллиматоры. Основной частью гамма-дефектоскопа является защитная радиационная головка, в которой размещается радиоизотопный источник. В универсальных шланговых гамма-дефектоскопах серии «Гаммарид» ампула с радиоактивным изотопом подается по ампулопроводу из радиационной в коллимирующую головку дистанционно с использованием ручного или электромеханического привода (рис. 65). В комплект дефектоскопа входит специальный трехканальный магазин-контейнер, в котором находятся источники разной мощности

∞ 13. Технические характеристики гамма-дефектоскопов

С. В. Моцухин

Тип гамма-дефектоскопа	Толщина контролируе- мой стали, мм	Тип источника	Угол пучка излучения, °		Длина импульсно- провода, м	Размеры ради- альной голо- вки, мм	Масса радиаци- онной го- ловки, кг	Рассея- ние от пучка до ради- альной головки, м
			фронтального	панора- много				
Гаммарид:								
60/40	30...200	ГИД-К-6	—	—	12	600×450×500	145	35; 12
192/4	5...40	ГИД-И-2	53	28×360	5	230×170×110	12	5
182/40	5...60	ГИД-И-5	28×53	28×360	8	230×170×110	12	8
192/120	5...80	ГИД-Ц-2 ГИД-И-6	53; 28×53	28×360	12	230×170×110	16	13
192/120Э	5...80	ГИД-Ц-3 или	53	28×360	12	230×170×110	16	13
192/120К	5...80	ГИД-И-6	28×53	53×360	0,1	230×170×110	16	—
170/400	1...40	ГИД-И-2, Се-5, Ту-3	—	Панорама	—	200×100×180	8	5
Сталь 5М	5...40	ГИД-И-3	28×53 53×53	—	—	200×110×110	8	3,5

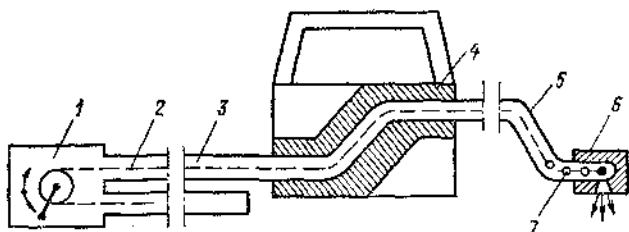


Рис. 65. Конструктивная схема гамма-дефектоскопа шлангового типа
1 — привод; 2 — подающий канал; 3 — соединительный шланг; 4 — радиационная головка; 5 — ампулопровод; 6 — калдмирующая головка; 7 — держатель источника излучения

для перезарядки их в условиях эксплуатации, а также различные штативы, которые существенно расширяют его технологические возможности. Широкое применение этих дефектоскопов объясняется их универсальностью, возможностью использования в труднодоступных местах, относительно малой массой радиационных головок, защита которых выполнена из обедненного урана.

31. Радиографический метод

В основе радиографического метода контроля лежат законы неодинакового ослабления интенсивности ионизирующих излучений при их прохождении через материалы сварного соединения и дефекта, а также способность этих излучений воздействовать на детектор, которым при этом методе является рентгеновская пленка или электро-радиографическая пластина.

Рентгеновская пленка представляет собой нитроцеллюлозную или ацетатцеллюлозную прозрачную основу-подложку, на которую с двух сторон или с одной наносится светочувствительная эмульсия, состоящая из кристаллов галоидного серебра (обычно бромистого с небольшой примесью иодистого), равномерно распределенных в желатине. В зависимости от сорта пленки толщина эмульсионных слоев 0,01...0,03 мм. Под действием излучения происходит ионизация зерен бромистого серебра с образованием частиц металлического серебра. При проявлении эти частицы являются центрами, вокруг которых идет интенсивный процесс кристаллизации (восстановления) серебра из эмульсии пленки. Это металли-

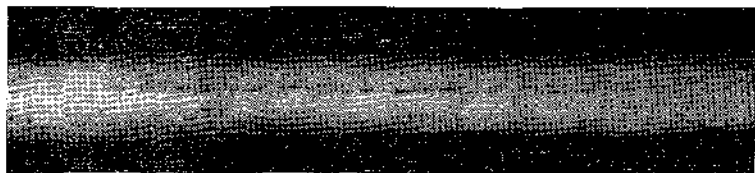


Рис. 66. Радиографический снимок сварного соединения

ческое серебро, имеющее в измельченном состоянии черный цвет, и образует изображение на рентгеновском снимке (негативе).

При этом, если дефектами являются несплошности — поры, шлаковые включения, непровары и т.п., полости которых заполнены газами или материалами с меньшей плотностью, чем металл сварного соединения, то на рентгеновском снимке в местах дефектов образуются потемнения (рис. 66). Степень почернения пленки пропорциональна глубине дефекта, поскольку в этом месте на пленку попадает излучение большей интенсивности. В случае дефектов в виде включений материалов большей плотности, чем основной металл, например, вольфрама, на пленке образуются светлые пятна.

Степень почернения пленки определяется величиной, называемой *оптической плотностью почернения* S . Она измеряется специальным прибором — микрофотометром и подсчитывается по формуле

$$S = \lg \Phi_0 / \Phi,$$

где Φ_0 — идеально рассеянный световой поток, падающий на пленку, лм; Φ — световой поток, прошедший через почернение пленки на прозрачной основе, лм.

Следовательно, оптической плотностью, равной единице, обладает негатив, ослабляющий световой поток в 10 раз ($\lg 10 = 1$); $S = 2$, если негатив ослабляет интенсивность освещенности в 100 раз ($\lg 100 = 2$), и т.д. Согласно ГОСТ 7512—75, нормальная плотность рентгеновских снимков при дефектоскопии сварных соединений должна составлять 1,5...3 ед. Для совершенно прозрачной пленки $S = 0$, абсолютно непрозрачной — $S = \infty$. Подложка рентгеновской пленки имеет определенную непрозрачность, которая вместе с некоторым числом зерен бромистого серебра, проявляющихся без воздействия излучения, определяет наличие вуали, плотностью 0,1...

...0,3 ед. На величину вуали влияют условия и длительность хранения пленки.

В общем случае на плотность негатива влияют экспозиционная доза, зависящая от продолжительности и интенсивности облучения, фотографические свойства пленки и режимы фотообработки. К основным фотографическим свойствам пленки относятся *чувствительность* и *контрастность*. Чувствительность рентгеновской пленки характеризуется размером экспозиции, необходимым для достижения после проявления определенной плотности потемнения. Для экранных пленок типа РМ такой плотностью принято считать величину, большую на 0,85 ед. оптической плотности вуали. Поскольку для пленок экранного типа для достижения такой плотности снимка требуется экспозиционная доза от $1/100$ до $1/600$ Р, то условились для удобства чувствительность пленки выражать числом, ей обратным, т. е. $S_{0,85} = (100 \dots 600) P^{-1}$.

Зависимость оптической плотности пленки от логарифма относительной экспозиции называется характеристической кривой данной пленки. Последняя имеет четыре характерных участка: участок недодержек (очень малое приращение плотности с увеличением экспозиции), участок нормальных экспозиций (приращение плотности пропорционально приросту экспозиции), участок передержек и участок соляризации, на котором увеличение экспозиции приводит к уменьшению оптической плотности снимка. Отрезок характеристической кривой, параллельный оси абсцисс, соответствует плотности вуали.

Чувствительность безэкранных пленок типа РТ характеризуется размером экспозиции, необходимым для получения такой плотности, при которой касательная к характеристической кривой образует с осью x угол в 45° . Такая чувствительность обозначается $S_{d=1}$, и для безэкранных пленок она составляет от 5 до $120 P^{-1}$.

Контрастность — это разница в почернении наиболее темного и светлого соседних участков снимка. Наименьшая контрастность, воспринимаемая глазом, составляет 0,02...0,006 ед. оптической плотности. Контрастность пленки γ характеризуется тангенсом угла, составленного касательной к прямолинейному участку характеристической кривой в области нормальных экспозиций и осью x . Эта величина называется *коэффициентом контрастности*. Чем больше контрастность пленки, тем резче на ней выявляются изображения дефектов сварных соединений.

У безэкранных пленок контрастность увеличивается с увеличением плотности. Пленки экранного типа имеют оптимальный диапазон плотности почернения, равный 1,8...2,2 ед., при котором величина контрастности максимальная и пленка обладает наибольшей радиографической чувствительностью.

Кроме указанных параметров рентгеновская пленка характеризуется *разрешающей способностью*, т.е. способностью фиксировать раздельно различные штриховые линии одинаковой толщины на длине 1 мм.

Рентгеновские пленки (табл. 14), применяемые для контроля радиографическим методом, можно разбить на две группы — употребляемые с флюоресцирующими экранами — *экранные пленки* и используемые без флюоресцирующих экранов — *безэкранные пленки*. Все выпускаемые пленки делятся на четыре класса. К первому классу относятся особо мелкозернистая и высококонтрастная безэкранный рентгеновская пленка РТ-5; она обладает наибольшей разрешающей способностью, наименьшей чувствительностью и применяется без флюоресцирующих экранов; для получения снимков наивысшего качества эта пленка используется с металлическими усиливающими экранами. Ко второму классу относятся безэкранные пленки РТ-4М и РНТМ-1, имеющие несколько больший размер зерен, но также высококонтрастные и мелкозернистые; средняя чувствительность позволяет примерно в 3 раза сократить экспозицию по сравнению с пленкой РТ-5; используются как с металлическими экранами, так и без них. Пленки третьего класса РТ-1 и РТ-3 также безэкранные, но они обладают наибольшей чувствительностью и могут применяться с металлическими экранами или без них. К четвертому классу относятся экранная пленка РТ-2 и медицинские пленки РМ-1, РМ-2 и РМ-3, обладающие высокой чувствительностью и достаточно большой контрастностью при использовании флюоресцирующих усиливающих экранов; с металлическими экранами они имеют среднюю чувствительность и малую контрастность. В комплект принадлежностей и материалов для промышленной радиографии входят усиливающие экраны (металлические и флюоресцирующие), гибкие и жесткие кассеты, маркировочные знаки, эталоны чувствительности, магнитные держатели, негатоскопы и набор оборудования и материалов для фотохимической обработки пленок.

14. Технические характеристики рентгеновских пленок

Группа	Класс	Тип	Фототехнические свойства				Разрешающая способность, линий/мм	Максимальная плотность потемнения, S_{max}
			с экранами		без экранов			
			$S_{0,85} + S_0 \cdot \frac{1}{P-1}$	γ	$S_{0,85} + S_0 \cdot \frac{1}{P-1}$	γ		
Безэкранные	I	РТ-5, РТ-5Д	13	4,0	3	4,0	178	10,2...11,5
	II	РТ-4М	—	—	5	3,5	134	9,0...10,2
		РНТМ-1	—	—	13	3,5	100	
	III	РТ-3	35...45	3,0	20...30	3,9	111	7,7...9,0
		РТ-1; РТ-1Д	100	3,0	25	3,0	68...73	6,5...7,5
		РТ-2	450	3,0	15	2,5	73...78	4,5...5,8
Экраниые	IV	РМ-1	400	2,8	18	2,5	73...78	—
		РМ-2	20	2,8	20	2,8	73...78	—
		РМ-В	650	3,0	—	—	—	—
		РМ-6	1400	3,5	—	—	—	—

Примечание. Величины максимальной плотности потемнения приведены для случая полного проявления, когда все микрокристаллы бромистого серебра переходят в металлическое серебро. Плотность потемнения зависит от типа пленки, времени проявления и пропорциональна плотности серебра на единице площади пленки.

Металлические экраны применяют для повышения четкости и контрастности радиографических снимков, а также для сокращения времени просвечивания. Экраны изготовляют из фольги тяжелых металлов — свинца, вольфрама, олова и др., поскольку в этом случае обеспечиваются высокие значения коэффициента усиления K (табл. 15). (Коэффициент усиления K равен отноше-

15. Технические характеристики свинцовых экранов

Толщина экрана, мм		Тип источника излучения		Коэффициент усиления K
переднего	заднего	радионуклид	напряжение рентгенотратора, кВ	
0,02...0,05	0,05...0,1	^{176}Lu	120...200	1,8...2,5
0,05...0,1	0,1...0,16	^{75}Se	150...300	2,0...3,0
0,1...0,16	0,16...0,2	^{192}Ir	200...400	2,0...3,0
0,16...0,2	0,2...0,5	^{137}Cs	300...1000	1,8...2,5
0,2...0,5	0,5...0,1	^{60}Co	Более 400	1,5...2,0

нию времени просвечивания с экраном ко времени просвечивания без него.)

Улучшение качества снимка происходит за счет поглощения рассеяного излучения материалом экрана в большей степени, чем первичного. Усиливающее действие металлических экранов вызывается электронами отдачи (фотоэлектронами), высвобождаемыми из материала фольги действием проходящего через нее рентгеновского или гамма-излучения. Фотоэлектроны имеют относительно низкую энергию и дополнительно засвечивают эмульсию рентгеновской пленки. Свинцовая фольга имеет коэффициент усиления, составляющий примерно 2...3.

Для предохранения металлических экранов от механических воздействий их изготовляют с наклеенной с обеих сторон поливинилбутиральной пленкой. При контроле рентгеновская пленка помещается между металлическими экранами, поэтому их размеры определяются размерами пленки, а толщина — энергией источника ионизирующего излучения. Задний экран обычно ставят толще переднего, чтобы лучше защитить пленку от отраженного и рассеянного излучения. Экраны рассчитаны на работу при температуре окружающей среды от минус 20 до плюс 50 °C и относительной влажности при температуре плюс 25 °C до 80 %. Рекомендуется использовать экраны с безэкранными пленками РТ-1, РТ-3, РТ-4М, РТ-5.

Флюоресцентные усиливающие экраны употребляются для уменьшения времени просвечивания. Их изготавливают путем нанесения слоя люминофора (ZnS , CdS , $BaSO_4$, $PbSO_4$, $CaWO_4$ и др.) на картонную или пластмассовую подложку. При прохождении через эти экраны ионизирующих излучений люминофоры начинают излучать фотоны видимой, сине-фиолетовой, ультрафиолетовой и инфракрасной областей спектра, которые дополнительно воздействуют на эмульсию рентгеновской пленки и тем самым сокращают необходимое время просвечивания. В зависимости от излучения и типа экрана коэффициент усиления колеблется в пределах 1,2...4,5 (табл. 16).

16. Технические характеристики флюоресцирующих усиливающих экранов

Тип экрана	Средний размер зерна, 10^{-6} м	Нагрузка люминофора, $мг \cdot см^2$		Коэффициент усиления при энергии, кэВ	
		переднего	заднего	46	140
ЭУ-В1 (ПРС)	6	60	60	30	30
ЭУ-В1А	9	60	60	30	30
ЭУ-В2 (Стандарт)	9	60	60	30	30
ЭУ-В3 (УФДМ)	9	40	120	54	57
ЭУ-Б (СБ)	15	70	70	54	36
ЭУ-С (УС)	12	30	110	120	30
ЭУ-В2А	8	50	60	45	45
ЭУ-Ф	—	70	70	80	—
ВП-1	9	80	120	60	84
ВП-2	20	120	180	70	132
ЭУ-И1	—	50	80	120	50
ЭУ-И5	5	50	80	120	50
ЭУ-Г	—	80	120	—	90
ЭУ-ЛН	—	40	80	120	120
ЭУ-ФХ	16...18	160	160	—	250
ЭУ-В3А	7	60	60	60	60

Гибкие кассеты состоят из двух чехлов, сделанных из светонепроницаемого материала и имеющих кармашки для размещения пеналов с маркировочными знаками и эталонами чувствительности. Пленку с экранами помещают во внутренний чехол, который вкладывают в наружный. ГОСТ 15843—70 рекомендуется 15 внутренних типоразмеров кассет: 6×24 , 6×36 , 6×48 , 6×72 , 10×24 , 10×36 , 10×48 , 10×72 , 13×18 , 18×24 , 24×30 ,

7,5×40, 15×40 и 30×40 см, а также рулонные пленки, выпускаемые заряженными в гибкие кассеты,—6×2000 и 10×2000 см.

Маркировочные знаки (буквы, цифры, стрелки), предназначенные для нумерации и разметки радиографических снимков, изготовляют из свинца. Они поставляются наборами (табл. 17) в комплекте с пинцетами и пеналами для составления маркировки.

17. Размеры маркировочных знаков, мм

Номер набора знаков	Высота	Ширина	Толщина	Рекомендуемая толщина припаянного металла, мм
1	5	3	1,0	До 20
2	8	5	1,5	20...50
3	12	8	2,5	50...80
4	18	12	5,0	Св. 80

Для оценки качества снимков и чувствительности к дефектам применяют *эталон чувствительности*. Согласно ГОСТ 7512—82 предусмотрены три вида эталонов чувствительности — *канавочные, проволочные и пластинчатые*. Эталон чувствительности изготовляют из материала, аналогичного материалу изделия. Каждый эталон помещается в герметически закрытый полихлорвиниловый чехол. Сюда же устанавливаются знаки, обозначающие материал и номер эталона, например FeЗ. *Канавочные эталоны* (рис. 67, а) с переменной глубиной канавок применяют при просвечивании изделий с ожидаемыми объемными дефектами типа пор, шлаковых включений и раковин. Это даст возможность определить ориентировочный максимальный размер дефекта в направлении просвечивания (табл. 18). *Проволочные эта-*

18. Размеры канавочных эталонов чувствительности, мм

Номер эталона	h_1	h_2	h_3	h_4	h_5	h_6	Предельное отклонение глубины канавки	Радиус закругления, не более	a	b	c	h	L
1	0,60	0,5	0,40	0,3	0,20	0,1	—0,02	0,1	2,0	0,5	10	2	30
2	1,75	1,5	1,25	1,0	0,75	0,5	—0,05	0,2	2,5	1,5	12	4	45
3	4,00	3,5	3,00	2,5	2,00	1,5	—0,10	0,3	3,0	3,0	14	6	60

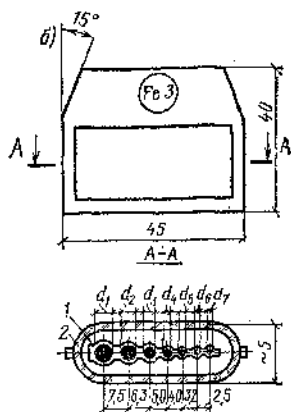
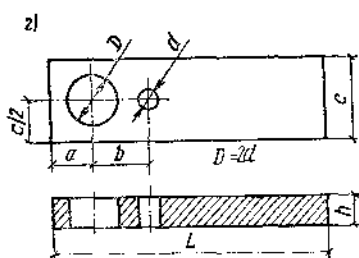
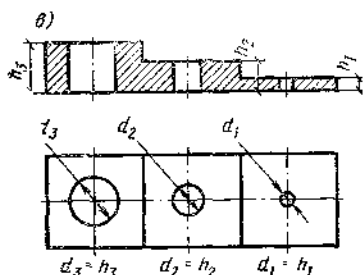
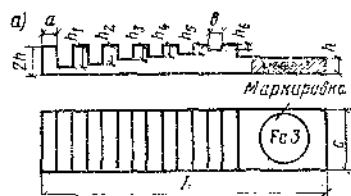


Рис. 67. Эталоны чувствительности

а — канавочный; б — проволоочный; в — пластинчатый (МИС); г — пластинчатый (ГОСТ 7512-82); 1 — вкладыш; 2 — чехол

лоны (рис. 67, б) используют для контроля изделий с дефектами типа непроваров и макротрещин (табл. 19). Международным институтом сварки (МИС) рекомендован пластинчатый ступенчатый эталон (табл. 20) с

отверстиями, диаметры которых равны толщине соответствующей ступени (рис. 67, в). ГОСТом предусмотрен пластинчатый эталон одинаковой толщины δ , но с двумя

19. Размеры проволоочных эталонов чувствительности, мм

Номер эталона	d_1	d_2	d_3	d_4	d_5	d_6	d_7	h
1	0,2	0,16	0,125	0,10	0,08	0,063	0,05	1,2
2	0,4	0,32	0,25	0,20	0,16	0,125	0,10	1,4
3	1,25	1,00	0,80	0,63	0,50	0,40	0,32	2,2
4	4,0	3,20	2,50	2,00	1,60	1,25	1,00	5,0

20. Размеры пластинчатых эталонов чувствительности, мм

Номер эталона	<i>h</i>	<i>D</i>	<i>d</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>L</i>
1	0,1	0,2	0,1	5	5	10	25
2	0,2	0,4	0,2				
3	0,3	0,6	0,3				
4	0,4	0,8	0,4				
5	0,5	1,0	0,5				
6	0,6	1,2	0,60	6	7	12	35
7	0,75	1,5	0,75				
8	1,00	2,0	1,00				
9	1,25	2,5	1,25				
10	1,50	3,0	1,50	7	9	14	45
11	1,75	3,5	1,75				
12	2,00	4,0	2,00				
13	2,50	5,0	2,50				
14	3,00	6,0	3,00				
15	3,50	7,0	3,50				
16	4,00	8,0	4,00				

отверстиями диаметрами, соответственно равными δ и 2 δ (рис. 67, г).

Магнитные держатели МД-1 обеспечивают усилие прижатия не менее 50 Н. С их помощью кассеты, заряженные пленкой с экранами, устанавливают и фиксируют на сварных соединениях из ферромагнитных материалов. Держатели МД-1 поставляются комплектами по 4 шт. в пластмассовой упаковке.

Для расшифровки рентгенограмм служат негатоскопы НС-2М и НО. Разработана более совершенная модель ОД-10Н, имеющая плавную регулировку яркости освещения.

Набор оборудования для обработки рентгеновских пленок (по МРТУ 42-2470-65) состоит из термостата с баками для проявляющего и фиксирующего растворов, промывочного бака контрольного термостата, рамок для крепления пленок стандартных размеров в количестве 60 шт., полок для рамок и двух ручных насосов для слива растворов. Рабочая температура в термостате, в который помещаются баки из винипласта вместимостью 15 и 30 л, регулируется с точностью $\pm 2^\circ\text{C}$ и поддержи-

вается на уровне 18...28 °С. Потребляемая мощность 2 кВт при напряжении 127 и 220 В. Термостат имеет размер 800×745×915 мм и массу 97 кг. Вместимость промывочного бака 130 л, размер 450×588×860 мм, масса 42 кг.

Для сушки рентгеновских пленок предназначен выпускаемый промышленностью сушильный шкаф 2Ц-1193 (МРТУ 42-1867-60), в котором автоматически поддерживается рабочая температура 36...44 °С. Время сушки составляет 40...60 мин. Потребляемая мощность 1,4 кВт при напряжении 220 В. Габаритные размеры шкафа 675×550×1657 мм, масса 82 кг.

Качество радиографического снимка. Носителем информации о наличии, виде, размерах и расположении дефектов в сварных соединениях является радиографический снимок. Выявляемость дефектов определяется качеством снимков, т. е. их чувствительностью к дефектам, которая зависит от оптической плотности, контрастности и резкости (четкости) изображения.

Чувствительность снимка характеризуется величиной минимального дефекта, надежно выявляемого на снимке. Абсолютная чувствительность определяется с помощью проволочного, канавочного или пластинчатого эталона, по значению наименьшего диаметра видимой проволочки, наименьшей глубине видимой канавки или наименьшей толщине пластинчатого эталона по формулам

$$K_a = d_{min}; \quad K_a = h_{min},$$

где d_{min} — наименьший диаметр видимой проволочки, мм; h_{min} — наименьшая глубина видимой канавки или наименьшая толщина пластинки эталона, мм.

Относительную чувствительность снимка в процентах определяют по отношению абсолютной чувствительности к контролируемой толщине металла в месте установки эталона

$$K_{отн} = (d_{min}/s) 100 \%; \quad K_{отн} = [h_{min}/(s + h)] 100 \%,$$

где s — толщина контролируемого металла, мм.

Проволочные эталоны чувствительности устанавливают под прямым углом к оси шва и так, чтобы проволочки его пересекали (рис. 68). Канавочные и пластинчатые эталоны располагают рядом со швом параллельно его оси.

В соответствии с ГОСТ 7512—82 значение чувстви-

тельности в миллиметрах не должно превышать половины размера (в направлении просвечивания) минимального дефекта (табл. 21).

Значение относительной чувствительности радиографического контроля может быть также вычислено аналитически в зависимости от основных параметров просвечивания и определяется уравнением

$$K_{\text{отн}} = [2,3 \Delta S / (\gamma \mu s)] 100 \%,$$

где ΔS — минимальная разность плотностей потемнения снимка, различимая глазом; B — дозовый фактор накопления излучения; γ — коэффициент контрастности радиографической пленки; μ — линейный коэффициент ослабления излучения.

Приведенное уравнение справедливо при отсутствии размытия краев изображения. В реальных условиях проведения контроля влияние геометрической нерезкости изображения дефекта приведет к ухудшению значения чувствительности, определенной по вышеприведенной формуле.

Наивысшая чувствительность радиографического метода для стали при просвечивании гамма-лучами составляет 2...4 %. Применение более мягкого рентгеновского излучения позволяет достигнуть чувствительности 1,5...3 %.

Четкость (резкость) радиографического снимка в значительной степени зависит от геометрической нерезкости, образующей по границам изображения дефектов зоны плавного затемнения. Геометрическая нерезкость связана с размерами активной части источника излу-

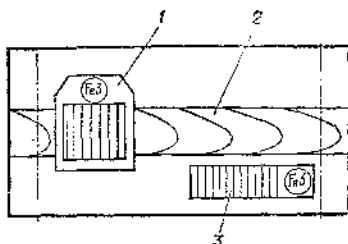


Рис. 68. Схема размещения эталонов чувствительности

1 — проволочный эталон чувствительности; 2 — контролируемый сварной шов; 3 — каменный эталон чувствительности

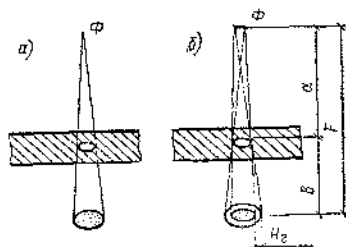


Рис. 69. Влияние размеров активной части источника излучения на величину геометрической нерезкости

а — точечное пятно; б — линейное пятно; H_p — геометрическая нерезкость изображения дефекта на снимке; F — фокусное расстояние; a — расстояние от источника до дефекта; b — расстояние от дефекта до пленки

21. Параметры чувствительности контроля

Минимальный размер дефектов, мм	Чувствительность просвечивания, мм	Максимальная геометрическая нерезкость, мм	Минимальный размер дефектов, мм	Чувствительность просвечивания, мм	Максимальная геометрическая нерезкость, мм
0,1	0,05	0,025	1,0	0,5	0,25
0,2	0,1	0,05	1,2	0,6	0,3
0,3	0,1	0,05	1,5	0,75	0,4
0,4	0,2	0,1	2,0	1,0	0,5
0,5	0,2	0,1	2,5	1,25	0,6
0,6	0,3	0,15	3,0	1,5	0,7
0,7	0,3	0,15	3,5	1,75	0,8
0,8	0,4	0,2	4,0	2,0	0,9

ния, поскольку каждая точка эффективного фокусного пятна создает своим излучением проекцию дефектного места на пленку (рис. 69). На величину геометрической нерезкости влияют также расстояние от пленки до источника (фокусное расстояние) и расстояние от пленки до дефекта (рис. 70). В общем случае значение геометрической нерезкости должно составлять не более половины значения чувствительности контроля в мм.

По приведенным схемам видно, что четкость изображения тем выше, чем меньше размер активной части источника и расстояние от пленки до дефекта, а также чем больше фокусное расстояние. Однако возрастание фокусного расстояния приводит к необходимости увеличения экспозиции.

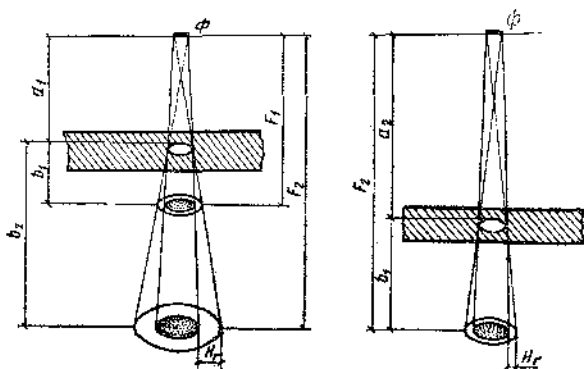


Рис. 70. Влияние расстояний от пленки до дефекта и до источника излучений на величину геометрической нерезкости

Выбор фокусного расстояния и экспозиции. Фокусное расстояние рассчитывают в зависимости от размера и толщины контролируемого участка сварного соединения в соответствии с рекомендациями ГОСТ 7512—82 и с учетом того, что плотность почернения изображения на краях должна быть более 0,5 плотности снимка в его центре. Напомним, что оптическая плотность различных участков негатива должна находиться в пределах 1,5...3 ед. На практике обычно плотность отдельных частей снимка доводят до 2 и более ед., а фокусное расстояние при свободном доступе к контролируемому объекту устанавливают в пределах 500...1000 мм при рентгенографии и 250...600 мм при гамма-просвечивании.

Чтобы получить качественный снимок, необходимо также правильно выбрать время экспозиции пленки (выдержку), которое прямо пропорционально квадрату фокусного расстояния, обратно пропорционально чувствительности рентгеновской пленки и зависит от энергии и мощности источника ионизирующего излучения, толщины и плотности просвечиваемого материала, коэффициента усиления экранов и пр. Расчетным путем определить выдержку с учетом этих многих факторов достаточно сложно. Поэтому на практике пользуются таблицами, построенными на основании экспериментальных данных, специальными линейками, графиками, гамма-экспонометрами и номограммами. Номограммы строятся для определенного фокусного расстояния. Для выбора экспозиции рентгеновского просвечивания с помощью аппаратов непрерывного действия номограмма дает зависимости экспозиции от толщины материала для различных напряжений на рентгеновской трубке при фокусном расстоянии 750 мм и определенных типах пленок и экранов.

Время экспозиции при рентгенографии определяется путем деления экспозиции на установленный анодный ток рентгеновской трубки. Для импульсных рентгеновских аппаратов время экспонирования определяется для каждого типа аппарата в зависимости от контролируемой толщины при фокусном расстоянии 0,3 м (рис. 71).

Номограммы для выбора экспозиции просвечивания с помощью гамма-источников и излучением ускорителей построены также для конкретных источников, пленок и металлических экранов, но в этом случае время просвечивания определяют в зависимости от мощности экспозиционной дозы [в кл/(кг·с)] на расстоянии 1 м от ис-

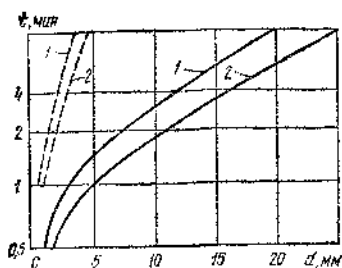


Рис. 71. Зависимость времени просвечивания t стали толщиной d излучением импульсных рентгеновских аппаратов МИРА-2Д (1) и МИРА-3Д (2) с пленками РТ-1 (сплошная линия) и РТ-5 (пунктирная линия) с металлическими экранами толщиной 0,05 мм, $S=1,8...$ 2,0

точника. Эту мощность определяют по паспорту с пересчетом на активность источника в момент просвечивания.

Выбор источника излучения. Источник ионизирующего излучения должен обеспечивать необходимую чувствительность выявления дефектов и требуемую производительность контроля. На выбор источника влияют многие технические и экономические факторы, однако исходными являются толщина и плотность контролируемого материала (табл. 22, 23). Не следует выбирать источник с жесткостью излуче-

ния и активностью более высокой, чем это требуется для обеспечения требуемой чувствительности и производительности просвечивания. При меньшей активности источника может быть применена более легкая радиационная головка, что повышает маневренность и производительность контроля, облегчает транспортировку. Источник с меньшей жесткостью излучения позволяет добиться более высокой чувствительности снимка.

Техника радиографического метода контроля. На основании приведенных выше рекомендаций для выполне-

22. Параметры радиографического контроля

Толщина, мм просвечиваемого сплава на основе			Напряжение на рентгеновской трубке, не выше, кВ
железа	титана	алюминия	
1	3	20	60
2	6	38	80
5	10	54	100
7	18	59	120
10	24	67	150
21	47	100	200
27	57	112	250
33	72	132	300
46	106	210	400

23. Параметры радиометрического контроля

Толщина, мм просвечиваемого сплава на основе			Радионуклид
железа	титана	алюминия	
1 . . . 20	2 . . . 40	3 . . . 70	^{176}Tm
5 . . . 30	7 . . . 50	20 . . . 200	^{75}Se
5 . . . 100	10 . . . 120	40 . . . 350	^{192}Ir
10 . . . 120	20 . . . 150	50 . . . 350	^{137}Cs
30 . . . 200	60 . . . 300	200 . . . 500	^{60}Co

ния работ по контролю сварных соединений радиографическим методом в зависимости от толщины и плотности материала изделия, его местоположения, конфигурации и других объективных условий выбирают дефектоскопическую аппаратуру и материалы, определяют схему зарядки кассет и схему просвечивания. Зарядку кассет производят в темной комнате при неактивном темнокрасном или желто-зеленом свете по одному из вариантов (рис. 72), наиболее приемлемых для данных конкретных условий. Для просвечивания особо ответственных изделий и соединений элементов разной толщины в кассету вкладывают две пленки, иногда разной чувствительности. При таком методе и некотором уменьшении времени экспонирования плотность снимков уменьшается, но значительно повышаются контрастность и чувствительность. Снимки рассматривают, накладывая друг на друга и точно их совмещая. Кроме кассет могут быть использованы специальные конверты из светонепроницаемой бумаги марки Б по ГОСТ 4665—62. На кассете закрепляют маркировочные знаки и эталоны чувствительности.

Заряженную кассету с помощью различных приспособлений (магнитных держателей, резиновых поясов и пр.) прикрепляют к сварному соединению со стороны, противоположной установке источника ионизирующего излучения, и возможно более плотно прижимают к нему. Дефектоскопическую аппаратуру (гамма-дефектоскоп, рентгеновский аппарат и др.) устанавливают на выбранном фокусном расстоянии и производят пробное просвечивание. Время просвечивания, определенное по номограммам, таблицам или с помощью специальных линеек, корректируют по результатам, полученным при пробном просвечивании, и только после этого переходят к массовому контролю швов данного типоразмера.

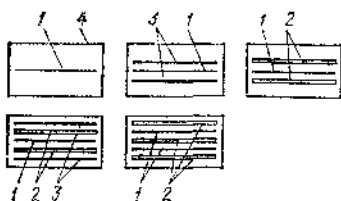


Рис. 72. Схемы зарядки кассет

1 — пленка; 2 — усиливающие флюоресцентные экраны; 3 — металлические экраны; 4 — кассета

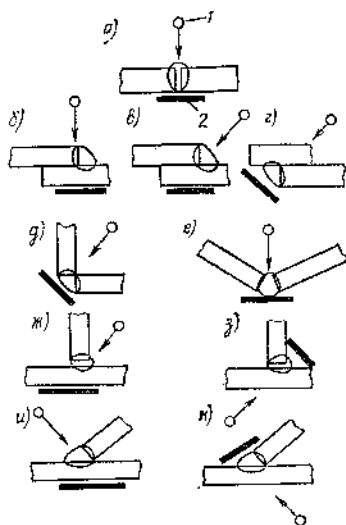
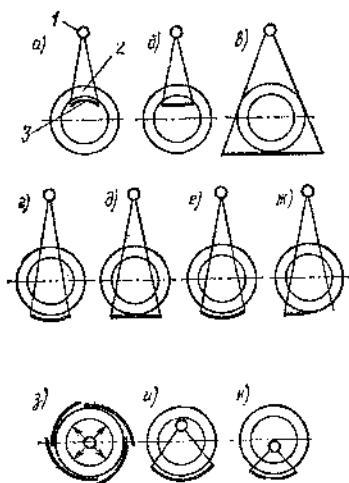


Рис. 73. Типовые схемы просвечивания сварных соединений (а—к)

1 — источник ионизирующего излучения; 2 — кассета с пленкой

Рис. 74. Схемы просвечивания кольцевых стыков труб и тел вращения (а—к)

1 — источник ионизирующего излучения; 2 — контролируемый участок шва; 3 — кассета

Несмотря на довольно большое разнообразие типов сварных соединений и конструкций, можно рекомендовать один подход к взаимному расположению источника излучения и пленки: направление лучей должно быть по возможности ближе к нормали к плоскости пленки (рис. 73). Предпочтительно расположение пленки со стороны корня шва и просвечивание через одну стенку изделия. В случае замкнутых конструкций (коробчатых, цилиндрических, например труб) кассету с пленкой закрепляют на оправке, вводят внутрь изделия и поджимают к шву изнутри, а источник излучения располагают снаружи. Стыки трубопроводов, как правило, приходится просве-

чивать через две стенки. По ГОСТ 7512—82 при просвечивании кольцевых сварных соединений цилиндрических и сферических пустотелых изделий следует применять схемы, приведенные на рис. 74. При контроле по схемам а, б, з, к направление излучения должно совпадать с плоскостью, в которой расположено контролируемое сварное соединение¹. При контроле по схемам г, д, е угол между направлением излучения и плоскостью сварного соединения не должен превышать 30°, но быть достаточным, чтобы изображения противоположащих контролируемых участков не накладывались друг на друга.

Размеры снимков должны обеспечивать получение полных изображений контролируемых участков сварных соединений, маркировочных знаков и эталонов чувствительности. Перекрытие изображений смежных участков должно быть не менее 20 % при длине снимка до 100 мм и не менее 20 мм при длине свыше 100 мм.

Чтобы иметь возможность исправить дефектные места, выявленные при просвечивании, радиографические снимки должны быть «привязаны». Это означает, что на пленке и на просвечиваемом соединении должны иметься метки, позволяющие точно совместить снимок (или снятую с него на кальку копию) с контролируемым местом: номер стыка по исполнительной схеме, номер пленки и место ее расположения.

После окончания просвечивания производится *фотообработка пленок*, которая включает проявление, промежуточную промывку, фиксирование, промывку окончательную и сушку. Эти операции во многом определяют качество снимков, поэтому режимы фотообработки, рекомендуемые заводом-изготовителем, должны строго соблюдаться.

Промышленность выпускает стандартные проявители «Рентген-1» и «Рентген-2». Для ускоренного проявления могут быть рекомендованы проявители, составленные в соответствии с рекомендациями заводов-изготовителей.

Свежеразведенный проявитель должен применяться не ранее чем через 12 ч, чтобы не вызвать появление вуали. Уменьшение вуали можно получить добавлением бензотриазола в количестве 0,1 г. Рекомендуется хранить проявитель в темных бутылках с притертой пробкой.

¹ Имеется в виду плоскость, проходящая через ось симметрии кольцевого сварного шва.

Срок хранения 30 дней. В 1 л проявителя можно проявить 1,5 м² пленки (табл. 24).

24. Число пленок, проявляемых в 1 л проявителя

Размер пленки, см	Всего пленок	Партии		
		1	2	3
13×18	46	26	12	8
18×24	25	14	6	5
24×30	15	8	4	3
30×40	9	5	2	2

Время проявления пленок первой партии равно оптимальному (при температуре 19 °С проявителя «Рентген-2») — для экранных пленок оно составляет 5 мин, для безэкраных — 8 мин; при проявлении второй партии его увеличивают на 20 %, третьей — на 40 %.

Проявление пленок допускается при температурах проявителя 10...24 °С, однако время проявления следует соответственно увеличивать (или уменьшать) на 0,5 мин/°С.

Активность истощенного проявляющего раствора поддерживают, добавляя в него восстанавливающий раствор. Промежуточная промывка проводится для удаления из эмульсии остатков проявителя. Пленки промывают в проточной воде в течение 2...3 мин или в стоп-ванне (125 см³ уксусной кислоты, разведенные в 1 л воды) в течение 0,5...1 мин при температуре раствора 18...21 °С.

Следующая операция — фиксирование проводится для удаления из эмульсий остатков невосстановленного бромистого серебра, которое под действием света может в дальнейшем испортить негатив. Время фиксирования при температуре раствора 20 °С в фиксажах № 1—5 (табл. 25) составляет 10...15 мин, а в № 6 — 15...20 мин. Кислые фиксажи (№ 2—4) мгновенно останавливают процесс проявления, а дубящий фиксаж № 6 применяют в случаях, когда температуру раствора не удается снизить до 20 °С.

Использованная пленка и ее обрезки, а также обработанный фиксаж содержат серебро. Организации, применяющие радиографический метод контроля, обязаны сдавать серебросодержащие отходы на заводы Минцветмета СССР. Порядок сдачи серебросодержащих отходов определен «Положением о порядке приемки и переработ-

25. Составы фиксирующих растворов

Химреактивы	Количество химреактивов, г в растворе №					
	1	2	3	4	5 (БКФ-2)	6
Гипосульфит:						
безводный или	160	256	256	256	166	160
кристаллический	250	400	400	400	260	250
Сульфит натрия:						
безводный или	—	25	25	25	—	20
кристаллический	—	50	50	50	—	40
Уксусная кислота 30 %	—	—	—	40	—	45

Примечания: 1. Кроме указанных в состав раствора № 3 входит серная кислота концентрированная — 5 г; в состав раствора № 5 входят аммоний хлористый — 50 г и метабисульфит натрия — 16 г; в состав раствора № 6 — квасцы алюминийные — 15 г. 2. Рецентура каждого раствора дана на 1 л воды.

ки лома и отходов драгоценных металлов, а также о порядке расчетов со сдатчиками за принятые от них драгоценные металлы в виде лома и отходов»

32. Ксерорадиография

Ксерографией или электрорадиографией называют метод контроля, при котором в качестве детектора используют пластины, покрытые слоем вещества, изменяющего свои электрические свойства при воздействии рентгеновского и гамма-излучений. Ксерорадиография позволяет сократить расходы серебра, идущего на изготовление рентгеновской пленки, и повысить производительность контроля за счет того, что отпадает необходимость в обработке и сушке снимков.

Наибольшее распространение при этом методе контроля получили алюминиевые пластины, на которые наносится слой аморфного селена. Такую пластину, как и рентгеновскую пленку, помещают в светонепроницаемую кассету. Перед просвечиванием поверхность селенового слоя заряжают электрическим зарядом. Под действием прошедшего ионизирующего излучения поверхностный электрический заряд стекает через алюминиевую подложку. При этом степень разрядки пропорциональна дозе прошедшего излучения. В результате на поверхности пластины появляется скрытое электростатическое изображение, которое проявляют путем опыливания мелким сухим порошком, которому сообщен электрический заряд, знаком противоположным знаку заряда полу-

проводникового селенового слоя. Частички порошка, накапливаясь пропорционально заряду пластины, образуют видимое изображение, которое можно перенести на бумагу. Для этого бумагу заряжают электростатическим зарядом и накладывают на поверхность ксерографической пластины. Под действием электростатических сил порошок притягивается к бумаге, полученное изображение закрепляют в парах органического растворителя, а пластину тщательно и аккуратно очищают от остатков порошка, после чего она готова к повторному просвечиванию. Одна пластина может быть использована до 1000 раз.

При ксерорадиографии используют порошки типа КСЧ-5, ПСЧ-1 или ПСЧ-74 по ГОСТ 17044—71 с размером частиц 5...10 мкм и ксерорадиографические пластины. Согласно ГОСТ 22020—76 определены четыре типа пластин: ПЭР1, ПЭР2, ПЭР3 и ПЭР4, отличающихся между собой максимальной спектральной чувствительностью, например, для ПЭР1 максимум находится в интервале энергий 10...30 кэВ, для ПЭР2 — 30...60 кэВ. По чувствительности к ионизирующему излучению в каждом типе пластин различают четыре класса: первый класс чувствительность — $50...10 \text{ Р}^{-1}$; второй — $100...160 \text{ Р}^{-1}$; третий — $160...250 \text{ Р}^{-1}$; четвертый — $250—400 \text{ Р}^{-1}$.

Чувствительность к ионизирующему излучению определяется обратной величиной экспозиционной дозы (в единицах, обратных единице дозы—рентгену), необходимой для спада рабочего потенциала пластины на 250 В. Экспозиционная доза, равная $1,61 \cdot 10^{-6} \text{ Кл/кг}$, создается рентгеновским излучением при напряжении на трубке 100 кВ и толщине алюминиевого фильтра, равной $4,5 \pm \pm 0,5 \text{ мм}$. В зависимости от полярности зарядки различают пластины с индексами: П — положительная, Н — отрицательная, Б — биполярная. Основные размеры пластин 10×30 ; 10×40 ; 24×30 ; $30 \times 40 \text{ см}$. Условное обозначение пластины включает в себя: тип пластины, класс чувствительности, вид зарядки, размеры пластины в см. Например, ПЭР2-4-Б— 10×30 означает, пластина типа ПЭР2 класса 4, предназначенная для биполярной зарядки (размером $10 \times 30 \text{ см}$).

В ксерорадиографических пластинах между селеновым слоем и алюминиевой подложкой нанесен слой олова, играющий роль усиливающего заднего металлического экрана. Просвечивание производят так же, как и

при радиографическом методе контроля с использованием тех же источников излучения. Лучшие результаты достигают при использовании рентгеновского излучения. Для осуществления процессов электростатической зарядки, проявления, переноса изображения на бумагу и его закрепления используют специальные ксерорадиографические установки ЭРГА-МП, ЭГУ-71, ПКР-1, ПКР-2С и др.

Разработаны портативные установки АРЕКС-2. Относительная чувствительность ксерорадиографического метода примерно равна чувствительности радиографического метода и для стали составляет 1,5...2 %, разрешающая способность 20 линий/мм, однако она уменьшается примерно вдвое при переносе изображения на бумагу.

Ксерорадиографический контроль не находит широкого распространения из-за отсутствия гибких пластин, хрупкости селенового слоя, наличия высокого напряжения (8...15 кВ) и ряда других факторов. Однако его преимущества — высокая производительность, возможность получения результатов сразу же через несколько минут после просвечивания, дешевые применяемые материалы и отсутствие необходимости в воде, химикатах, фотолаборатории, делают этот метод перспективным для успешного применения при контроле сварных соединений.

33. Расшифровка радиографических снимков и оформление результатов контроля

Расшифровкой называют процесс отождествления различных элементов и деталей изображения, полученного на радиографическом снимке, с действительно имеющимися в изделии дефектами. Расшифровку производят при просмотре пленок на пегатоскоп, который должен иметь равномерное, диффузно излучающее световое поле регулируемой яркости. О размерах дефектов по глубине судят по степени потемнения пленки в месте дефекта в сопоставлении с потемнением пленки в месте расположения соответствующей канавки эталона чувствительности, глубина которой известна. Расшифровку должны производить опытные операторы, умеющие отличить дефекты сварного соединения от дефектов пленки, которые могут иметь место из-за неравномерности

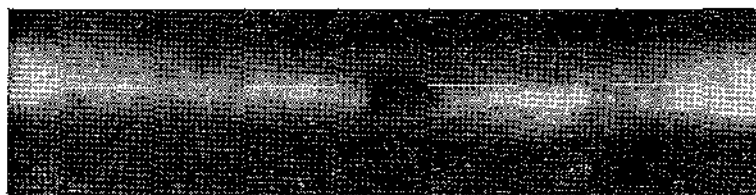
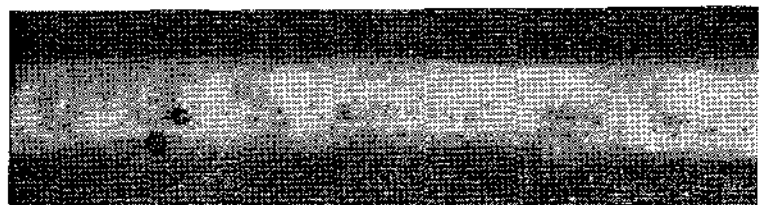
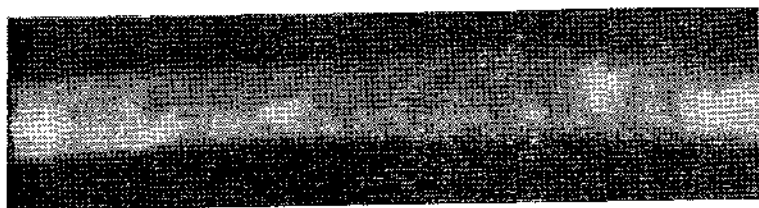
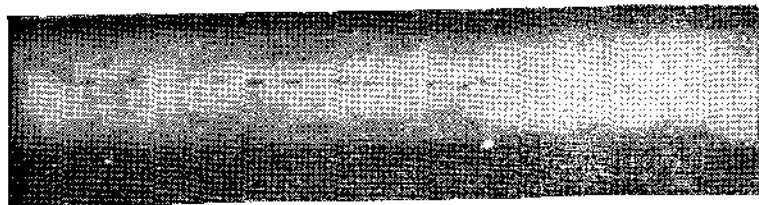


Рис. 75. Радиографические снимки дефектов
 а — трещина; б — непровар; в — поры; г — шлаковое включение

полива эмульсии, некачественного проявления и т. п.

Наиболее опасными дефектами сварных соединений являются трещины. На радиографических снимках они (рис. 75, а) имеют вид темных, как правило, очень уз-

ких извилистых или зигзагообразных линий с острыми концами; иногда они разветвляются и могут выходить на основной металл. Трещины могут раскалываться вдоль и поперек шва.

Непровары (рис. 75, б) на радиографических снимках имеют вид темных прямых линий различной толщины и длины, сплошных и прерывистых, расположенных в середине изображения шва (непровар в корне) или смещенных от оси, по параллельных ей (непровар по кромке, между слоями).

Поры (рис. 75, в) выглядят на снимке как темные пятна различной величины правильной округлой формы или в виде запятых. Они могут располагаться отдельно (одиочные), в виде скоплений или цепочек. Иногда поры имеют вид следа кометы, направленного под углом к оси шва.

Шлаковые включения также имеют вид темных пятен, но неправильной формы (рис. 75, г), которые могут быть как отдельными, так и в виде цепочек или скоплений. Вольфрамовые включения, в отличие от шлаковых, имеют вид светлых пятен неправильной формы, поскольку плотность вольфрама больше плотности стали.

Подрезы, расположенные с внешней стороны соединения, обычно исправляют до просвечивания после выявления их при внешнем осмотре. При обнаружении просвечиванием на снимке они имеют вид темных полос, расположенных на границе усиления шва и основного металла.

Места прожогов на радиографических снимках выявляют по темным пятнам, расположенным по оси шва. Иногда в середине прожога имеется превышение проплава (провис), тогда на снимке появляется светлое пятно с темным ободком.

На основании расшифровки снимков делается заключение о пригодности сварного соединения. Предельные размеры, вид, расположение и количество допустимых дефектов определяют согласно рекомендациям ГОСТ 23055—82. Согласно этому ГОСТу, за размеры дефектов принимают размеры их изображений на радиограммах. Для сферических пор и включений таким размером является диаметр, для удлиненных пор и включений — длина и ширина. Два или более расположенных на одной линии дефекта с расстоянием между любыми двумя близлежащими из них более одной, но не более трех

максимальных ширин или диаметров этих дефектов, называются цепочкой. Размеры скоплений и цепочек определяют по наиболее удаленным друг от друга краям дефектов в этих скоплениях или цепочках. За размер окисных включений, непроваров и трещин принимается их длина. Группа дефектов с расстоянием между ними не более их максимальной ширины или диаметров рассматривается как один дефект.

В зависимости от максимально допустимых размеров дефектов, их вида, числа, длины отдельных дефектов, их суммарной длины и расстояний между ними ГОСТ 23055—82 устанавливает семь классов сварных соединений. Трещины, как особо опасный вид дефектов, не допускаются ни в одном из этих семи классов. Непровары в классах 1...3 также не допускаются. Предельные размеры остальных видов дефектов приводятся в табл. указанного ГОСТа. Возможность отнесения данного сварного соединения к какому-либо классу должна регламентироваться на основании требований соответствующей нормативно-технической документации на эти сварные изделия.

Оформление результатов контроля. Информация о качестве проконтролированных сварных соединений, полученная в результате радиографического просвечивания, заносится в журнал регистрации. На основании этой записи составляется заключение. ГОСТ 23055—82 предусматривает использование условных обозначений (табл. 26) для сокращенной записи дефектов при расшифровке радиографических снимков и документальном оформлении результатов контроля.

Если длина радиографического снимка или его участка, на котором имеются дефекты, составляет до 100 мм, то для сокращенной записи максимальной суммарной длины дефектов следует применять условное обозначение знака суммы Σ . Размеры дефектов в миллиметрах указывают после их условных обозначений. Для сферических пор, шлаковых и вольфрамовых включений указывают их диаметр; для удлиненных дефектов — ширину и длину через знак умножения; для цепочек, скоплений окисных включений, непроваров и трещин — длину; для цепочек и скоплений пор, шлаковых и вольфрамовых включений после условного обозначения дефектов, в них входящих, указывают максимальные диаметр или ширину и через знак умножения — их длину. Например, на ра-

26. Условные сокращенные обозначения дефектов сварных соединений

Вид дефекта	Обозначение		Характер дефекта	Обозначение	
	русское	латинское		русское	латинское
Трещины	Т	Е	Вдоль шва Поперек шва	Тв Тп	Еа Еб
Непровары	Н	Д	Разветвленная В корне Между валиками	Тр Нк Нв	Ес Да Дб
Поры	П	А	По разделке Отдельная пора Цепочка	Нр П ЩП	Дс Аа Аб
Шлаковые включения	Ш	В	Скопление Отдельное включение Цепочка	СП Ш ЦП	Ас Ва Вб
Вольфрамовые включения	В	С	Скопление Отдельное включение Цепочка	СШ В ЦВ	Вс Са Сб
Оксидные включения	О	О	Скопление —	СВ —	Сс —

диограмме при расшифровке выявлены четыре поры диаметром по 2 мм каждая, цепочки пор длиной 20 мм при максимальной длине и ширине пор в ней 4 и 2 мм и шлаковое включение длиной 15 мм и шириной 2 мм. При этом максимальная суммарная длина дефектов на участке радиограммы длиной 100 мм равна 25 мм. Запись в заключении должна быть сделана такая: 4П2; Ц20П4Х2; Ш15Х2; Σ 25. Запись 2С10П0,5; С8Ш2Х1; Σ 18 означает, что на радиографическом снимке обнаружены два скопления пор с длиной каждого по 10 мм и максимальным диаметром пор по 0,5 мм и скопление шлаковых включений длиной 8 мм при максимальной длине и ширине включений 2 и 1 мм и максимальной суммарной длине дефектов 18 мм на участке снимка длиной 100 мм. Аналогично записывают и другие выявленные дефекты.

В журнале и заключении должны быть указаны объекты, шифр узла (линии трубопроводов, емкости и т.п.), номер стыка по схеме и номер пленки, фамилия и клеймо сварщика, наименование нормативного документа, согласно которому проводится контроль, чувствитель-

ность снимка, марка основного металла и его толщина (в случае технологических трубопроводов — диаметр и толщина стенки). Если на радиографическом снимке дефекты не выявлены, то в графе заключения «Обнаруженные дефекты» делается прочерк. В графе заключения «Соответствует требованиям» пишется «да», если размеры и число дефектов не превышают максимально допустимые, и «нет» в противоположном случае. В заключении при необходимости должна быть приведена схема расположения пленок на контролируемом соединении с указанием их номеров.

34. Радиационная интроскопия

Метод радиационной интроскопии (радиоскопии) заключается в приеме и преобразовании прошедшего через просвечиваемое сварное соединение ионизирующего излучения и «скрытого» в нем радиационного изображения в светотеневое, усилении и передаче этой информации для визуального анализа либо сразу же на экран, либо на расстоянии с помощью оптических и телесизионных систем. Радиационная интроскопия имеет определенные преимущества по сравнению с радиографией, поскольку дает возможность судить о наличии дефектов сразу же в момент просвечивания, исследовать объект под различными углами, что повышает выявляемость дефектов, позволяет производить контроль в условиях поточного производства и повышает производительность контроля в 3...5 раз.

Кроме того, при радиационной интроскопии изображение дефекта на экране (рис. 76) может быть увеличено и одновременно рассматриваться несколькими специалистами, что повышает полноту анализа и в конечном итоге увеличивает результативность контроля.

Источниками ионизирующих излучений при этом методе контроля в большинстве случаев являются рентгеновские аппараты, ускорители электронов (линейные и циклические), а также радиоизотопные источники значительной мощности [$M\dot{E}D$ равна $(0,52...5,16)10^{-4}$ Кл/(кг·с) на расстоянии 1 м].

Для преобразования радиационного изображения в светотеневое используются свойства некоторых кристаллических веществ светиться под действием ионизирующих излучений (свойства люминесценции). На этом

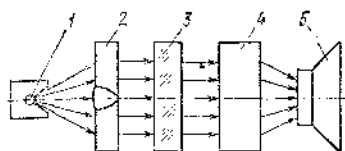


Рис. 76. Блок-схема установки для радиационной матроскопии

1 — источник излучения; 2 — сварное соединение; 3 — преобразователь изображения; 4 — усилитель яркости; 5 — выходной экран

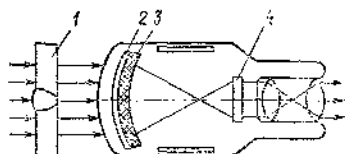


Рис. 77. Схема электронно-оптического преобразователя

1 — сварное соединение; 2 — входной флуоресцирующий экран; 3 — фотокатод; 4 — выходной экран (анод)

принципе построены флюороскопические экраны. В качестве преобразователей применяют также сцинтилляционные монокристаллы и электронно-оптические преобразователи и усилители (ЭОП и ЭОУ).

Флюороскопические экраны изготовляют из флуоресцирующего вещества, которое наносят тонким слоем на картонную основу. Для изготовления экранов используют смесь кристаллов сульфидов цинка и кадмия, активированных серебром. Однако разрешающая способность таких экранов низка и составляет не более 3 линий/мм (при радиографическом методе разрешающая способность достигает 50 линий/мм и более). Для обеспечения достаточной яркости свечения этих экранов просвечивание, как правило, проводят при максимальном токе рентгеновской трубки и напряжении 50...200 кВ.

Для повышения разрешающей способности экранов используют *сцинтилляционные монокристаллы* из $\text{NaI}(\text{Ti})$, $\text{KJ}(\text{Ti})$ или $\text{CsI}(\text{Ti})$, активизированные таллием. Изготовленные из них экраны не имеют зернистости, мало поглощают собственный свет и могут быть выбраны такой толщины, чтобы обеспечить полное поглощение падающего излучения. Последнее очень важно, так как за счет большого поглощения гамма-квантов люминесценция у этих экранов значительно выше, чем у флюороскопических. Контраст оптического теневого изображения у монокристаллических экранов почти равен контрасту теневого рентгеновского изображения. Отечественная промышленность выпускает экраны из монокристаллов $\text{CsI}(\text{Ti})$ диаметром 70...150 мм и готовит к выпуску нитчатые монокристаллические экраны с диаметром нити не более 0,1 мм.

При радиационной интроскопии применяют также электронно-оптические преобразователи на фоторезисторах. Из таких преобразователей с фоторезистивным входом наибольшее распространение получили электронно-оптические преобразователи (ЭОП) и рентгеновидиконы.

Электронно-оптический преобразователь состоит из вакуумированного до $1,33 \cdot 10^{-5}$ Па стеклянного баллона, в котором размещается многослойный входной экран — катод и в 10 раз меньший его выходной экран — алюминиевый анод (рис. 77). Входной экран представляет собой алюминиевую подложку сферической формы, на которую нанесен слой люминофора из сульфида цинка и контактирующий с ним сурьмяно-цезиевый полупрозрачный фотокатод. Под действием рентгеновского излучения люминесцирующее вещество начинает светиться, вызывая испускание электронов фотокатодом. Эти электроны фокусируются фокусирующим электродом, которым служит внутренняя поверхность баллона, покрытая проводящим слоем. К покрытию подведено постоянное напряжение 300 В. Под действием электрического поля и напряжения 25 кВ между анодом и катодом фотоэлектроны устремляются к аноду, внутри которого размещена стеклянная пластинка, покрытая люминофором (цинк-сульфид-селенид). Это и есть выходной экран, который под действием фотоэлектронов начинает светиться. Изображение на этом экране для визуального наблюдения отклоняют с помощью системы зеркал или рассматривают через свинцовое стекло. С помощью телевизионных систем его также передают на расстояние и рассматривают на приемном телеэкране.

С помощью ЭОП получают усиление яркости в 3000 раз, яркость изображения достигает 100 кд/м^2 (кд — кандела). Хотя разрешающая способность ЭОП не превышает 1,5...3 линии/мм, чувствительность по сравнению с флуороскопическими экранами увеличивается почти вдвое. Существенным недостатком ЭОП является малое рабочее поле (диаметр не более 230 мм) и относительно большая внутренняя нерезкость (0,3 мм). Значительно увеличить рабочее поле и усилить яркость изображения, полученного на флуороскопическом и сцинтилляционном экранах, позволяет *электронно-оптический усилитель* (рис. 78). В нем световое изображение с экрана проецируется на фотокатод, вызывая из-

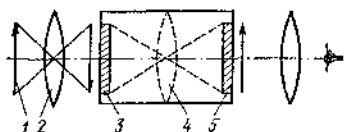


Рис. 78. Схема электрошоно-оптического усилителя

1 — изображение контролируемого изделия; 2 — объектив; 3 — фотокатод; 4 — фокусирующая система; 5 — выходной сцинтилляционный экран

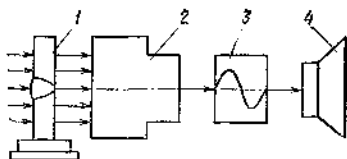


Рис. 79. Блок-схема рентгено-телевизионной установки на базе рентген-видикона

1 — изделие; 2 — рентген-видикон; 3 — телевизионный блок связи; 4 — телевизионный приемник

лучение фотоэлектронов, которые под действием электрического поля (потенциал 10...35 кВ) фокусируются с помощью электронной оптики на выходном сцинтилляционном экране. Одна такая ступень дает коэффициент усиления яркости от 30 до 100 при разрешающей способности 4...5 линий/мм. Однако создание ЭОУ с числом ступеней более трех приводит к снижению разрешающей способности и уменьшению контраста.

В качестве преобразователя и усилителя контрастности изображения применяют также *электролюминесцентные преобразователи*, у которых явление свечения проявляется под действием приложенного переменного электрического поля, а яркость свечения растет с увеличением напряжения переменного тока и его частоты.

Преобразователем является элемент, состоящий из фотопроводника и электролюминофора, разделенных непрозрачным слоем и последовательно включенных в цепь переменного тока. Под действием гамма-излучения фотосопротивление уменьшается, что вызывает повышение напряжения на электролюминофоре, что вызывает увеличение яркости. По сравнению с флюороскопическими экранами яркость увеличивается в 30...100 раз, а разрешающая способность составляет около 10 линий/мм.

Использование в радиоскопическом контроле *рентген-видиконов* (рис. 79) основано на следующем. Электронный луч рентгенвидикона сканирует последовательно поверхность фотокатода, на котором под влиянием прошедшего излучения устанавливается определенное распределение электрического потенциала. Полученный в результате электрический сигнал передается по телевизионному каналу, модулирует луч телевизионного при-

емника и вызывает яркое изображение объекта на экране трубки.

Методы радиационной интроскопии находят применение для контроля многих производственных процессов — сварки, литья, пайки, сборки и внутреннего состояния узлов без их демонтажа. Для контроля сварных соединений стальной стали до 20 мм и алюминия до 60 мм применяют рентгено-телевизионные установки РИ-10Т и РИ-20Т, хорошо выявляющие шлаковые включения диаметром более 0,2...0,3 мм, несправы и подрезы, трещины с шириной раскрытия 0,2 мм и др. Наиболее эффективно применение визуальных методов в сочетании с рентгенографией.

35. Радиометрический метод

Радиометрический метод также относится к методам контроля с использованием ионизирующих излучений. Если при радиографическом и радиоскопическом контроле автоматическая обработка результатов связана с определенными трудностями, то при радиометрическом контроле такая возможность имеется.

Радиометрический метод (рис. 80) заключается в просвечивании контролируемого объекта узким коллимированным пучком тормозного или гамма-излучения, регистрации прошедшего излучения детектором, преобразовании его в электрический сигнал, который через усилитель поступает на регистрирующее устройство — миллиамперметр, осциллограф, самопишущий прибор, счетчик импульсов и т.п. В качестве детекторов используют сцинтилляционные, полупроводниковые, газоразрядные счетчики или ионизационные камеры. Преобразование сигнала от детектора производится, например, с помощью фотоэлектронного умножителя. Изменение интенсивности прошедшего через дефектное место излучения вызывает отклонение стрелки прибора, кривой на осциллографе или самописце и пр. Обычно контролируемое изделие перемещают в зоне излучения при неподвижном источнике излучения и

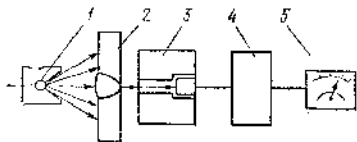


Рис. 80. Схема радиометрического метода контроля

1 — источник излучения; 2 — изделие; 3 — коллиматор; 4 — усилитель; 5 — регистрирующий прибор

детекторе. В качестве источников ионизирующего излучения в зависимости от контролируемой толщины применяют рентгеновские аппараты, радиоактивные изотопы или ускорители (табл. 27).

27. Параметры радиометрического контроля

Толщина просвечиваемого металла, мм			Рекомендуемые источники излучения
железо	титан	алюминий	
1 . . . 150	2 . . . 300	5 . . . 500	Рентгеновские установки с напряжением 40...1000 кВ
1 . . . 200	2 . . . 400	5 . . . 1000	Радионуклиды ^{170}Tm , ^{192}Ir , ^{137}Cs , ^{60}Co
50 . . . 500	90 . . . 980	150 . . . 2000	Ускорители с энергией 6...35 МэВ

Чувствительность радиометрического метода составляет 0,5...1,0 %, благодаря чему он применим при контроле малых толщин (0,5...0,8 мм). Увеличение разрешающей способности достигается применением возможно более узкого пучка излучения. Площадь окна коллиматора у современных дефектоскопов составляет менее 1 см².

Для увеличения производительности контроля применяют многоканальные системы, для чего зону контроля делят на полосы, ширина каждой из которых соответствует размеру окна коллиматора в данном канале.

К преимуществам радиометрического метода следует отнести его экономичность и высокую производительность за счет сокращения обслуживающего персонала, экономии пленки, возможности непрерывно осуществлять контроль и автоматизировать процесс его выполнения.

36. Радиационная безопасность

При работе по радиационной дефектоскопии для обеспечения безопасности следует руководствоваться общесоюзными и отраслевыми нормативными документами: ОСЛ 72180, СП N1171—74, СП N2191—80.

Все лица, работающие с источниками ионизирующих излучений, проходят специальную подготовку, сдают соответствующие экзамены и должны иметь удостоверение на право производства работ с этими источниками. Кро-

ме этого они ежегодно проходят медицинскую комиссию, проверяющую состояние здоровья и отсутствие противопоказаний для выполнения работ по просвечиванию сварных соединений. Повторная проверка знаний правил техники безопасности проводится через каждые 3 мес.

Воздействие излучений. Ионизирующие излучения оказывают вредное влияние на организм человека. Различают два вида воздействия излучений: внешнее, когда организм подвергается облучению от источника, находящегося вне организма, и внутреннее — от радиоактивных веществ, попавших внутрь организма.

При дефектоскопии сварных соединений используют закрытые радиоактивные источники, исключаящие возможность попадания радиоактивных веществ внутрь организма. Поэтому дефектоскописты могут быть подвергнуты только внешнему облучению ионизирующими излучениями. В зависимости от поглощенной дозы при однократном внешнем облучении всего тела человека возможны следующие нарушения:

Видимых нарушений нет	до 0,025 Дж/кг (до 25 рад)
Возможны изменения в крови	0,025...0,05 Дж/кг (25...50 рад)
Нарушение нормального состояния трудоспособности	0,05...0,1 Дж/кг (50...100 рад)
Возможна потеря трудоспособности	0,1...0,2 Дж/кг (100...200 рад)
Возможен смертельный исход	более 0,2 Дж/кг (более 200 рад)

Степень поражения организма при одинаковых значениях поглощенной дозы зависит от площади облучаемой поверхности. Так при гамма-терапии злокачественных опухолей размером от 2×2 до 20×20 см пациенты могут получать единовременные дозы 0,2...0,5 Дж/кг (200...500 рад) без заметных поражений всего организма. Те же дозы при облучении всего тела приводят к смертельным исходам, составляющим до 50 % общего числа пострадавших. Воздействие излучения человеком не ощущается, при этом поглощенные дозы организмом суммируются и проявляются через некоторое время, поэтому необходимы строгое соблюдение норм радиационной безопасности и правил работы с источниками ионизирующих излучений, защита от их воздействия персонала и населения в целом, проведение радиационной дозиметрии.

Значение предельно допустимых доз (ПДД) регламентировано «Нормами радиационной безопасности» (НРБ-76), составленными с учетом рекомендаций Национальной комиссии по радиационной защите (НКРЗ) при Министерстве здравоохранения СССР.

По допустимым основным дозовым пределам устанавливаются следующие категории облучаемых лиц: категория А — *персонал*; категория Б — *ограниченная часть населения*; категория В — *население области, края, республики, страны*.

В порядке убывания радиочувствительности устанавливаются три группы критических органов: I группа — все тело, красный костный мозг; II группа — мышцы, щитовидная железа, жировая ткань, печень, почки, селезенка, желудочно-кишечный тракт, легкие, хрусталик глаза и другие органы, за исключением тех, которые относятся к I и III группам; III группа — кожный покров, костная ткань, кисти, предплечья, лодыжки и стопы.

Для каждой категории облучаемых лиц устанавливаются три класса нормативов: *основные дозовые пределы, допустимые и контрольные уровни*.

В качестве основных дозовых пределов в зависимости от группы критических органов (I, II, III) для категории А устанавливается предельно допустимая доза за год (ПДД) 30 бэр, а для категории Б — предельная доза за год (ПД) соответственно 0,5; 1,5; 3 бэр.

Контрольные уровни для категории А устанавливаются администрацией учреждения при обязательном согласовании с органами государственного санитарного надзора, для категории Б — с органами государственного санитарного надзора по представлению администрации учреждения.

Для операторов, занятых на работах по рентгено- и гамма-просвечиванию, исходя из ПДД 5 бэр/год санитарными правилами определены следующие предельно допустимые дозы облучения всего тела: 2,8 мР/ч или 17 мР в смену или 0,1 Р в нед при 36-часовой рабочей неделе. Если в рабочей неделе t часов, то $\text{ПДД} = 100/t$ мР/ч.

Защита гамма-дефектоскопов должна обеспечивать снижение мощности экспозиционной дозы на расстоянии 1 м от поверхности радиационной головки до 3 мР/ч.

Защита от ионизирующих излучений. Воздействие ионизирующих излучений на живой организм зависит от вида излучений (проникающей способности частиц),

времени облучения и его мощности. Так, α - и β -частицы менее опасны, чем γ -нейтронное излучение, поскольку пробег α -частиц в живых тканях составляет 40 мкм, а β -частиц — 1,3 мм и они не достигают кровеносных органов.

Наиболее распространенными способами защиты от ионизирующих излучений являются защита расстоянием и ослабление их слоем тяжелого материала — экраном. При прохождении излучения через экран γ -кванты либо поглощаются в нем, либо теряют свою энергию, вследствие чего мощность дозы за экраном меньше, чем мощность дозы в том же месте без экрана. Защитные свойства экранов характеризуются кратностью ослабления и зависят от материала экрана и энергии излучения. Защитные устройства делятся на стационарные и нестационарные. К стационарным относятся стены, перекрытия, двери, смотровые окна. К нестационарным защитным устройствам относятся экраны, передвижные кабины, ширмы, защитные кожухи гамма-аппаратов и рентгеновских трубок, контейнеры для перевозки и хранения источников радиоактивного излучения.

В зависимости от преобладающего вида излучения материалом для стационарных устройств могут служить бетон, баритобетон (барит — это смесь сернокислого бария и цемента), кирпич. Радиационные головки и защитные кожухи делают из свинца, вольфрама, обедненного урана. Защитные окна изготовляют из свинцового стекла марок СТФ, ТФ-5, ТФ-1; ширмы — из свинцовой резины. Толщину защиты рассчитывают по толщине слоя половинного ослабления для выбранного материала в зависимости от мощности источников и необходимой кратности ослабления (отношения значения мощности дозы до экрана к ее значению после экрана). Переносные гамма-дефектоскопы хранятся в хранилищах, имеющих отдельный вход. На каждый хранимый аппарат должна отводиться площадь не менее 3 м². Гамма-дефектоскопы хранятся в специальных колодах или нишах, имеющих требующую защиту и крышки с приспособлениями для запираания и опечатывания. Подъем и опускание гамма-дефектоскопов должны быть механизированы. Иногда хранилище оборудуется манипулятором и смотровым окном для проведения безопасной перезарядки источников. Эти операции должны выполняться специализированными организациями или лабораториями,

имеющими соответствующее разрешение. Хранилище оснащается звуковой или световой сигнализацией. Для эксплуатации хранилища местные СЭС (санитарно-эпидемиологические станции) должны выдать специальный паспорт (разрешение).

Выдача и прием каждого дефектоскопа производится ответственным лицом и регистрируются в специальном журнале.

Транспортировка гамма-дефектоскопов производится в транспортных упаковках, защищающих их от механических повреждений и снижающих гамма-фон, имеющийся на поверхности защитных контейнеров. В соответствии с ПБТРВ-73 транспортные упаковки делятся на IV категории по максимальному значению мощности дозы (в мР/ч):

	I	II	III	IV
На поверхности	0,4	10	200	не учитывается
На расстоянии 1 м	не учитывается	0,4	10	50

В упаковках I, II, III категорий гамма-дефектоскопы можно перевозить воздушным, железнодорожным, водным и автомобильным транспортом. Для перевозок в пределах строящихся объектов дефектоскопические лаборатории должны иметь специально оборудованные автомашины. На расстояние до 50 м дефектоскопы можно переносить на специальных ручках длиной не меньше 1 м.

Дозиметрия. Для контроля за соблюдением правил радиационной безопасности из числа сотрудников дефектоскопической лаборатории приказом по организации назначается компетентное лицо. Ответственный за дозиметрический и радиометрический контроль обязан:

не реже 2 раз в месяц производить измерение мощностей доз излучения на расстоянии 0,1 и 1 м от поверхности радиационной головки;

не реже 2 раз в год осуществлять контроль за эффективностью защиты хранилища и смежных с ним помещений;

постоянно измерять индивидуальные дозы облучения лиц, занятых на проведении дефектоскопических работ; вести учет доз облучения.

Индивидуальная карточка (журнал) доз облучения должна храниться в учреждении 30 лет.

Для проведения дозиметрического и радиометрического контроля дефектоскопическая лаборатория должна

быть укомплектована необходимыми приборами: для индивидуального контроля полученной дозы КИД-2, ДК-0,2 и ИФК-3; для измерения мощности доз излучений — ДРГ-3-1 (рис. 114), ПРМ-1М; для контроля загрязненности поверхности — РУП-1.

Глава X. ВЫБОР НЕРАЗРУШАЮЩИХ МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ

37. Выбор методов контроля и их сочетаний

Для определения качества сварных соединений может применяться один из методов неразрушающего контроля либо совокупность нескольких из них. Выбор методов контроля зависит от их технических возможностей, конструктивных особенностей сварных изделий, физико-химических свойств материалов, из которых эти изделия сделаны, состояния контролируемой поверхности, типа и размеров дефектов, которые должны быть выявлены в соответствии с техническими условиями и нормативными документами на изделие.

Технические возможности методов неразрушающего контроля определяются их чувствительностью и разрешающей способностью, производительностью, простотой технологического процесса, надежностью аппаратуры, требованиями к квалификации операторов-дефектоскопистов и к вопросам охраны труда и техники безопасности, которые необходимо соблюдать.

Чувствительность и разрешающая способность метода контроля зависят от физических особенностей применяемых аппаратуры и дефектоскопических материалов, состояния поверхности сварного соединения, условий контроля. Величина требуемой чувствительности зависит от параметров дефектов, являющихся браковочными для сварных соединений контролируемой конструкции и регламентируемых нормативными документами на нее.

Достоверность результатов контроля определяется вероятностью пропуска дефектных участков сварных соединений или необоснованной браковкой годных швов.

Производительность контроля связана с трудоемкостью самих контрольных операций, сложностью и затратами времени на их подготовку.

Требования по охране труда различны для разных методов контроля. Так, при радиационных методах не-

обходимо соблюдать меры радиационной и электробезопасности; при капиллярных методах необходима защита от жидкостей, органических растворителей, паров и ультрафиолетового облучения; такие методы как магнитный и ультразвуковой требуют соблюдения мер электробезопасности, но не требуют других специальных мер защиты.

В сварных соединениях могут встречаться разнообразные по характеру расположения, форме и размерам дефекты. Поэтому выбор эффективного метода контроля производится с учетом типа дефектов, наиболее вероятных для данного вида сварных соединений и применяемой технологии сварки. Например, при сварке закаливающихся хромо-молибденовых сталей могут возникнуть дефекты в виде трещин, для выявления которых следует предусмотреть ультразвуковой метод контроля. В случае сварки этих сталей аустенитными электродами возникают затруднения по применению ультразвукового метода, поскольку неоднородность структуры аустенитного шва приводит к резкому затуханию ультразвуковых колебаний и высокому уровню реверберационных помех, соизмеримых с уровнем полезных сигналов, и требуются специализированное оборудование и технология контроля.

При сварке малоуглеродистых и низколегированных пластичных сталей наиболее часто встречаются дефекты в виде пор, шлаковых включений и неспаров; появление трещин маловероятно, поэтому следует применять радиографический метод контроля, эффективно выявляющий такие дефекты.

Зачастую бывает трудно дать однозначную рекомендацию по выбору наиболее эффективного метода контроля, поскольку следует учитывать не только особенности контролируемого изделия и возможности методов контроля, но и наличие средств контроля у данной производственной организации, время, отведенное на проведение контрольных операций, условия проведения контроля и т. п. В уже приведенном примере применение ультразвукового контроля может быть ограничено или совсем невозможно, если необходимо проконтролировать монтажные швы на открытой площадке в условиях отрицательных температур.

При выборе метода контроля важно учесть конструктивные особенности изделия, наличие подходов к прове-

ряемым участкам сварных соединений, место расположения контролируемого соединения (внизу или на высоте). Например, для контроля герметичности сварных швов днищ вертикальных резервуаров вакуумированием достаточно одностороннего подхода к контролируемому шву. При радиографическом методе необходимо иметь доступ к сварному соединению с двух сторон; в случае просвечивания замкнутых конструкций — труб, балок коробчатого сечения и др. — хотя и применяют просвечивание через две стенки, но это требует увеличения экспозиции, а в случае недостаточной мощности источника контроль этим методом становится невозможен.

Таким образом можно рекомендовать следующий порядок выбора метода контроля:

- изучение нормативно-технической документации на сварные конструкции, требований к качеству сварных швов, норм отбраковки;

- ознакомление с технологией сварки и установление видов дефектов, возникновение которых наиболее вероятно при этой технологии;

- исходя из особенностей и технических возможностей методов контроля (табл. 28) отбирают те, которые могут решить поставленную задачу;

- изучение условий проведения контроля, наличие приборов и дефектоскопических материалов у организации, выполняющей работы;

- на основании проведенного анализа с учетом экономических факторов назначают метод контроля, наиболее эффективный для данных конкретных условий.

В большинстве случаев не удается получить исчерпывающую всестороннюю информацию о качестве сварной конструкции с помощью одного метода контроля. Как правило, сварные соединения ответственных конструкций не должны иметь внутренних дефектов в виде пор и инородных включений даже относительно малых размеров, в них недопустимы трещины и непровары.

Перечисленные дефекты эффективно выявляются с помощью радиографических методов в сочетании с контролем ультразвуком. К этим же швам предъявляют жесткие требования по выявлению поверхностных дефектов, что вызывает необходимость использования также капиллярных и магнитных методов контроля. Кроме этого, сварные соединения трубопроводов, сосудов и аппаратов подвергают испытаниям на прочность и плотность

28. Основные методы неразрушающего контроля

Метод контроля	Характеристики внешнего состояния			Основные виды выявленных дефектов	Чувствительность метода		
	материал	толщина	шероховатость поверхности		глубина или площадь	ширина, мм	диаметр, мм
Теческанном	Любые металлы и неметаллы	Любая	Любая	Спаи, прожоги, сквозные трещины	—	Сквозные	2·10 ⁻⁴
Капиллярные	Любые материалы	»	Не ниже 5-го класса	Трещины, имеющие выход на поверхность, поры, раковины и т. п.	0,001	0,001 мм	0,01
Магнитные	Ферромагнитные материалы	≥ 2,5 мм	Для магнитопроводного не ниже 5-го класса, для магнитогрфического — любая	Выходящие на поверхность, подповерхностные	0,001	0,025 мм	—
Ультразвуковые	Металлы с мелкозернистой однородной структурой и неметаллы	3 мм	Не ниже 4-го	Внутренние трещины, недровары, поры и раковины	0,005	0,25 мм ²	0,5
Радиационные	Любые металлы и неметаллы	≥ 500 мм (для стали)	Любая	Внутренние, ориентированные в направлении просвечивания	—	1...2%	1...2%

путем гидравлических и пневматических испытаний. Таким образом, полную картину качества сварных соединений получают на основании контроля методами, позволяющими обнаружить недопустимые поверхностные и внутренние дефекты в сочетании с прочностными гидравлическими испытаниями и проверкой герметичности.

38. Экономическая эффективность неразрушающих методов контроля

В зависимости от степени ответственности сварной конструкции нормативной документацией назначаются *виды контроля* и его *объемы*, то есть число сварных стыков или протяженность сварных швов, которые должны быть проконтролированы (в % общего объема заваренных одним сварщиком или от общей протяженности швов на данной конструкции).

Проводимый в процессе производства выборочный или стопроцентный (в случае особо ответственных изделий) контроль позволяет судить о стабильности технологии или необходимости ее корректировки. Введение или замена тех или иных контрольных операций должны способствовать решению этой задачи, но быть экономически целесообразными, поскольку применение различных методов неразрушающего контроля качества сварных соединений связано с определенными затратами, величина которых в некоторых случаях достигает более 40% общих затрат на изготовление конструкций. Это связано со стоимостью контрольного оборудования, дефектоскопических материалов, техпроцесса проведения контроля, с затратами на создание условий для его проведения и пр. Поэтому назначение методов и объемов контроля должно производиться с учетом технической необходимости и экономической эффективности. Оценка экономической эффективности рассматриваемых вариантов проводится по обычным методикам расчета и сопоставления текущих и капитальных затрат с учетом нормативного коэффициента эффективности капитальных вложений.

Уровень качества принято оценивать долей брака. Наличие брака наносит определенный ущерб, так как требует затрат на исправление дефектов. Если ущерб ограничивается только *затратами на ликвидацию*

дефектов, то он прямо пропорционален уровню качества

$$Y_{\Delta} = kБ,$$

где Y_{Δ} — относительный ущерб; Б — брак, %; k — коэффициент, зависящий от уровня качества.

В этом случае относительный ущерб

$$Y_{\Delta} = C_{\text{б}}/C_{\text{ск}},$$

где $C_{\text{б}}$ — стоимость исправления брака, р; $C_{\text{ск}}$ — стоимость сварки и контроля, р.

Если незначительный брак может привести к выходу из строя дорогостоящей конструкции, то зависимость ущерба становится нелинейной и должна оцениваться обобщенным относительным показателем Y_0 , который учитывает затраты на ликвидацию последствий брака $C_{\text{пб}}$ $Y_0 = C_{\text{пб}}/C_{\text{ск}}$.

Таким образом, оценка экономической эффективности контроля должна производиться с учетом обобщенного относительного показателя ущерба, величина которого может быть получена на основе статистических данных по результатам аварийных ситуаций. Показатель обобщенного ущерба может служить основанием для назначения объемов и методов контроля еще на стадии проектирования. В зависимости от возможного относительного обобщенного ущерба сварные конструкции могут быть разделены на категории ответственности. Например, если затраты на исправление возможных последствий брака одного порядка с затратами на сварку и контроль, то такие конструкции малоответственные. Если же при десятках или сотнях рублей стоимости технологических операций затраты на ликвидацию возможных последствий брака составляют сотни тысяч рублей, то такие сварные конструкции являются высокоответственными и увеличение затрат на улучшение качества и проведение дорогостоящего контроля может быть экономически оправдано.

Раздел третий

КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ РАЗРУШАЮЩИМИ МЕТОДАМИ

Глава XI. МЕХАНИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

39. Виды испытаний и образцы для их выполнения

Для оценки механических свойств сварные соединения подвергают различным испытаниям. К механическим испытаниям сварных соединений прибегают и в тех случаях, когда требуется определить качество сварочных материалов, разработать оптимальные технологические режимы (особенно при сварке спецсталей), а также при проверке квалификации сварщиков или их переаттестации.

Механические испытания сварных соединений по характеру приложения нагрузок во времени можно разделить на три основных вида:

статические испытания, осуществляемые путем постепенного возрастания нагрузки на образец вплоть до его полного разрушения; имитирует работу сварных соединений при постоянной нагрузке;

динамические испытания, при которых усилие возрастает мгновенно и действует в течение короткого времени; характерны для соединений, работающих в условиях быстро возрастающих нагрузок (ударов);

испытания на усталость, при которых нагрузка многократно изменяется по величине или по величине и знаку.

Методы определения механических свойств сварных соединений предусматривают следующие виды испытаний металла различных участков сварного соединения и наплавленного металла сварного шва: а) на статическое (кратковременное) растяжение; б) на ударный изгиб (на надрезных образцах); в) на стойкость против механического старения; г) на статическое растяжение (сварного соединения); д) на статический изгиб (загиб сварного соединения); е) на ударный разрыв (сварного соединения), а также измерение твердости металла различных участков сварного соединения и наплавленного металла.

Испытания проводят на образцах, вырезаемых непосредственно из контролируемых изделий, например, из стыков трубопроводов, или из контрольных соединений, специально свариваемых для этих целей. При этом необходимо использовать те же основной металл и сварочные материалы, режимы сварки и термообработки, тех же сварщиков. Образцы сварных соединений не должны иметь прогиб, величина которого на длине 200 мм превышает 10 % толщины

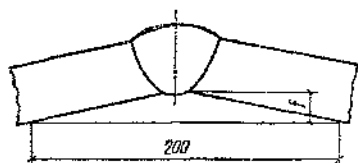


Рис. 81. Схема измерения прогиба образца

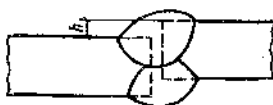


Рис. 82. Смещение кромок

свариваемого металла или составляет более 4 мм (рис. 81). Деформация, то есть превышение одной кромки над другой в стыковых соединениях, должна быть не более 15 % толщины свариваемых листов, но не более 4 мм (рис. 82).

При сварке контрольных соединений ширина (b) каждой свариваемой пластины в зависимости от толщины металла (δ) должна быть не менее:

b , мм	50	70	100	150
δ , мм	4	4...10	10...20	20...50

Длину пластины определяют в зависимости от размеров и числа образцов, которые необходимо из них изготовить, с учетом длины неиспользуемых участков шва в начале и конце пластин, где режим сварки недостаточно стабилен. Размеры этих участков назначают от 20 до 70 мм в зависимости от способа сварки и силы тока. Заготовки для испытаний наплавленного металла вырезают из специально приготовленных наплавов, выполненных на пластине в несколько слоев.

Вырезку заготовок для образцов следует по возможности производить на металлорежущих станках, чтобы не изменять структуру металла. Стандарт допускает вырезку заготовок на ножницах, штампах, с помощью кислородной, электродуговой, анодно-механической и других методов резки. Однако во всех случаях должен быть предусмотрен припуск, обеспечивающий возможность

удаления из рабочей части образца металла с измененными свойствами. При огневых способах резки припуск должен составлять не менее 10 мм. Термическую обработку, если она необходима, производят до чистовой обработки образцов.

До начала испытаний на все образцы (вне их рабочей зоны) ставится клеймо, которое должно сохраниться после испытаний. Температура при этом, если нет других указаний в ТУ, должна составлять $20 \pm 10^\circ\text{C}$. Результаты испытаний определяют как их среднее арифметическое. Для одного из испытываемых образцов допускается снижение результатов на 10% (кроме испытаний на статический изгиб и при измерении твердости).

При наличии в изломе образца или на его поверхности кристаллизационных или холодных трещин результаты испытаний считаются неудовлетворительными.

По результатам испытаний составляют протокол, в котором указывают тип образцов, место его отбора и разрушения, температуру и наличие дефектов в изломе.

40. Статические испытания

Испытания на растяжение являются одними из наиболее распространенных, поскольку они дают возможность сравнительно точно оценивать поведение металла и при других видах нагружения. Стандартами и ТУ этот вид испытаний предусматривается для большей части ответственных сварных конструкций, является наиболее простым и относительно легко осуществим.

При испытаниях на статическое (кратковременное) растяжение можно определить: предел текучести металла физический σ_T или условный $\sigma_{0,2}$ в Па, временное сопротивление σ_B в Па, относительное удлинение δ в %, относительное сужение Ψ в %.

Испытания проводят на специальных машинах, состоящих из механизмов крепления образца, нагружения, измерения и регистрации развиваемого усилия. В некоторых типах машин имеются дополнительные устройства для записи диаграммы испытания. Механизм крепления образца обеспечивает также его центрирование для создания только растягивающего усилия без образования изгибающего момента. Необходимые усилия создаются с помощью механического или гидравлического привода. В машинах с механическим приводом (рис. 83) враще-

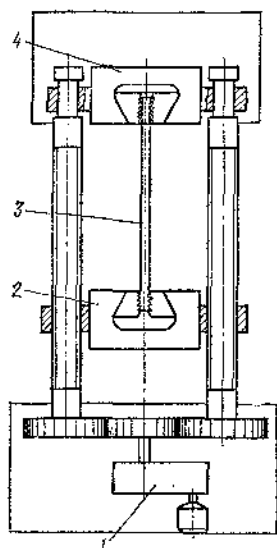


Рис. 83. Схема разрывной машины с механическим приводом

1 — электропривод; 2 — нижний захват; 3 — образец; 4 — верхний захват

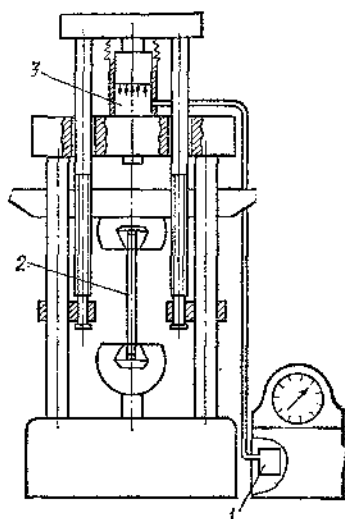


Рис. 84. Схема разрывной машины с гидравлическим приводом

1 — гидропривод; 2 — образец; 3 — гидроцилиндр

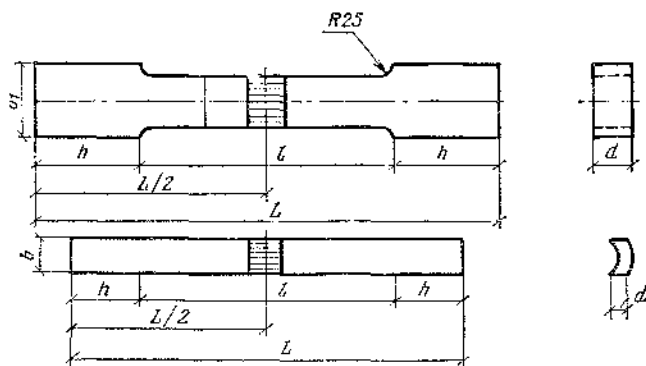


Рис. 85. Образец для испытания на растяжение

ние ходового винта, перемещающего зажимы, осуществляется вручную или от электродвигателя через фрикционную передачу или коробку скоростей для создания

различных скоростей нагружения. Из числа машин с механическим приводом применяются ИМ-4Р, ИМ-12А, МР-0,05. В испытательных машинах с гидравлическим приводом (рис. 84) перемещение подвижного захвата осуществляется за счет хода поршня. Давление в рабочем цилиндре создается с помощью нейтрального масла или специальной водной эмульсии, подаваемой плунжерным насосом. Такие испытательные машины относительно компактны, позволяют более плавно увеличивать нагрузки и создавать большие усилия.

По конструктивному исполнению в зависимости от положения растягиваемого образца испытательные машины делятся на горизонтальные и вертикальные. Последние получили наибольшее распространение. Они удобны в эксплуатации и занимают мало места. К ним относятся, например, испытательные разрывные машины Р-20 и Р-50, позволяющие проводить испытания на растяжение, на изгиб, на сжатие (смятие) с усилиями до 0,2 и 0,5 МН.

Испытания на статическое растяжение проводят для определения свойств металла шва и различных участков околошовной зоны при всех видах сварки плавлением. Для этого из соответствующих участков вырезают заготовки, из которых изготовляют круглые пятикратные образцы (рис. 85) диаметром 3...10 мм (длина рабочей части в пять раз больше ее диаметра). Рабочее сечение образца должно полностью состоять из металла испытываемого участка сварного соединения, а в головках допускается наличие металла других участков. Чтобы определить место вырезки, на торце заготовки делают макрошлиф, а образец располагают вдоль продольной оси испытываемого участка.

Для получения образца наплавленного металла на пластину толщиной не менее 12 мм делают многослойную наплавку, из центра которой и вырезают заготовку. Наплавка может производиться и на торец пластины толщиной 20 мм, длиной не менее 80 мм с применением боковых медных пластин для удержания металла от стекания. Применяется также наплавка в медную, охлаждаемую водой форму.

При толщине основного металла до 35 мм образцы металла одностороннего стыкового шва вырезают обычно из центра сечения, при толщине металла от 36 до 60 мм—из верхней и нижней зон сечения шва (рис. 86).

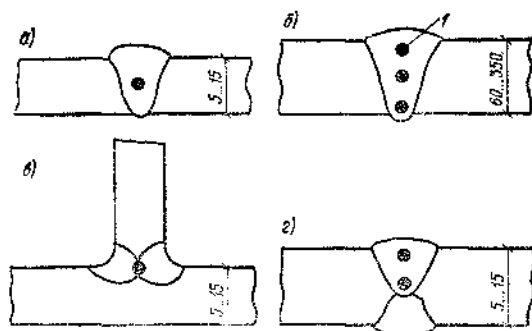


Рис. 86. Схема вырезки образцов для испытания металла шва на растяжение при различной толщине основного металла, мм ($q-r$)
 ● — место вырезки образца

При двухсторонних швах вырезку образца производят из шва, заваренного последним.

При испытании на статическое растяжение сварного соединения определяют прочность наиболее слабого участка стыкового или нахлесточного соединения и прочность металла шва в стыковом соединении. Испытания проводят на плоских образцах, при этом металл усиления наружного и внутреннего шва снимают механическим способом до поверхности основного металла. Строгать «усиление» следует поперек или вдоль шва, но с последующим удалением рисок. При недостаточной мощности разрывной машины допускается рабочую часть плоских образцов доводить до толщины 10...18 мм, а круглых — до диаметра 20 мм.

Испытания на растяжение (разрыв) выполняют в следующей последовательности. В рабочей зоне образца производят измерение размеров сечения с точностью до 0,1 мм и подсчитывают его площадь. Для измерения относительного удлинения в пределах рабочей зоны на определенном расстоянии друг от друга наносят риски или керны. Образцы по одному устанавливают в зажимное устройство машины и закрепляют с возможно меньшим перекосом. Включают привод и производят постепенное нагружение образца. Записывают усилия, при которых наступает предел текучести и разрушение образца. По полученным данным вычисляют необходимые механические свойства.

Испытания угловых соединений (тавровых и нахле-

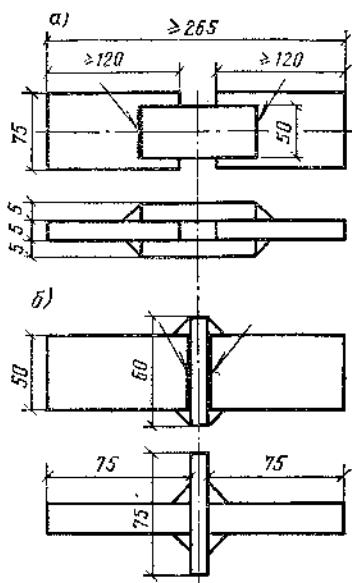


Рис. 87. Образцы для испытания нахлесточных (а) и тавровых (б) угловых соединений

сточных) производятся значительно реже, так как более сложно выполнить образцы с угловыми швами, работающими чисто на срез или растяжение без образования изгибающего момента, который значительно искажает результаты. Поэтому образцы для испытания угловых соединений должны выполняться с симметричным расположением швов (рис. 87). В связи с трудностью выполнения этого условия ГОСТ и ТУ допускают замену испытаний угловых швов испытаниями стыковых швов на образцах, выполненных теми же сварочными материалами, на тех же режимах и в таких же условиях, что и угловые швы. Толщину стыкового соединения обычно принимают равной катету углового

шва. Для определения механической прочности углового шва толщину основного металла выбирают с таким расчетом, чтобы его прочность была больше прочности металла шва.

При испытании на изгиб применяют образцы цилиндрической или прямоугольной формы (рис. 88). Испытания проводят на универсальной машине. Образец помещают на две шарнирные опоры, расстояние между которыми и радиус оправки, через которую к центру образца прикладывают изгибающее усилие, выбирают в зависимости от толщины основного металла (рис. 89). Изгиб производят на образцах со снятым усилением и в сторону, противоположную корню шва (при односторонней сварке). Браковочным показателем является угол загиба, при котором на поверхности образца образовывается трещина длиной более 5 мм. Величина минимального допустимого угла загиба оговаривается в ТУ на данный вид продукции и зависит от материала и его тол-

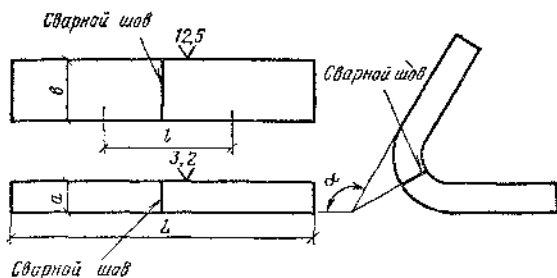


Рис. 88. Образцы для испытаний на статический изгиб

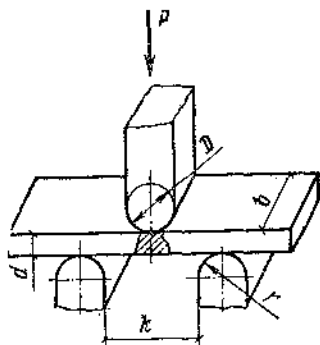


Рис. 89. Схема испытаний на статический изгиб

D — диаметр пуансона

щины. По величине угла судят о пластических свойствах сварного шва и околошовной зоны.

Испытания на смятие проводят для труб малого диаметра с продольными и поперечными сварными швами. Образец для испытаний на смятие (рис. 90) представляет собой стыковое соединение длиной, равной диаметру трубы, из которой его вырезают механическим способом. «Усиление» шва срезается до основного металла на

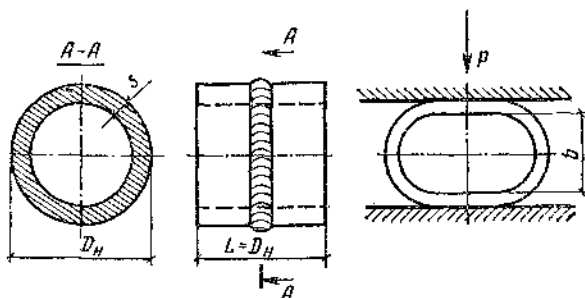


Рис. 90. Образец и схема испытаний на смятие

станке, острые кромки закругляются. Испытания проводят на прессе путем деформации образца сжимающей нагрузкой. Круговой шов располагают по оси приложения усилия, а продольный — в плоскости, ей перпендикулярной. Если в образце, предназначенном для испытания кругового шва, есть продольный шов, то он должен располагаться вне растянутой зоны. Результаты испытаний характеризуются величиной просвета между сжимаемыми поверхностями при образовании первой трещины. Если трещина не образуется, то испытания доводят до сплющивания образца. Появление по кромкам или на поверхности последнего не развивающихся далее надрывов длиной до 5 мм не является браковочным признаком.

Испытания на ползучесть для сварных швов проводят редко, так как эта характеристика обычно совпадает с показателями для основного металла. Испытания заключается в нагревании образца до нескольких сот градусов и постепенном нагружении его до появления деформаций. Величину деформаций в процессе испытаний регистрируют.

41. Динамические испытания

Динамические испытания различаются по характеру деформаций, температурным условиям, числу циклов нагружения. К основным видам динамических испытаний сварных соединений относятся испытания на ударный изгиб и на усталость.

Испытания на ударный изгиб благодаря относительной простоте выполнения и точности результатов являются наиболее распространенными. При этих испытаниях определяют ударную вязкость шва, различных участков околошовной зоны и наплавленного металла. Ударная вязкость характеризуется величиной работы, расхо-

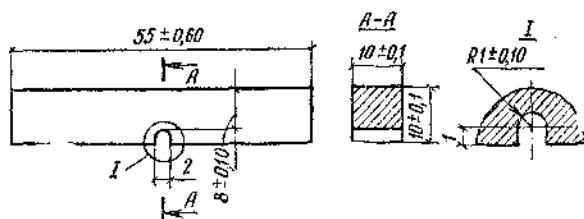


Рис. 91. Образец для испытаний на ударный изгиб

дуемой на ударный изгиб образца и приходящейся на единицу его площади в месте разрушения. Для определения значения ударной вязкости квадратный или прямоугольный в сечении образец вырезают из сварного соединения с таким расчетом, чтобы можно было сделать надрез в определенном месте сварного соединения. Форма и размеры образцов регламентируются стандартом. Наиболее распространены испытания образцов длиной $55 \times 10 \times 10$ мм с полуцилиндрическим надрезом глубиной 2 мм и радиусом 1 мм (рис. 91). Ударная вязкость, определенная при испытании образцов с надрезами такого типа, обозначается a_u . При ширине образца 5 мм ударная вязкость образца обозначается $a_{u,л}$. Кроме этого, применяют образцы с треугольным в сечении надрезом глубиной 2 мм с углом при вершине 45° и радиусом скругления 0,25 мм. Результаты испытаний образцов различных типов несравнимы. Место вырезки и расположения надреза оговаривается технической документацией.

Испытания на ударный изгиб проводят на маятниковых копрах со свободно падающим грузом (рис. 92). При испытании свободно качающийся маятник поднимают до некоторого положения, устанавливают образец, отпускают маятник, который, разрушив

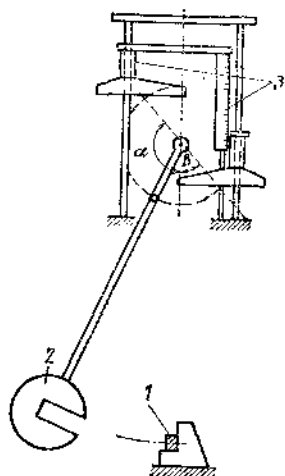
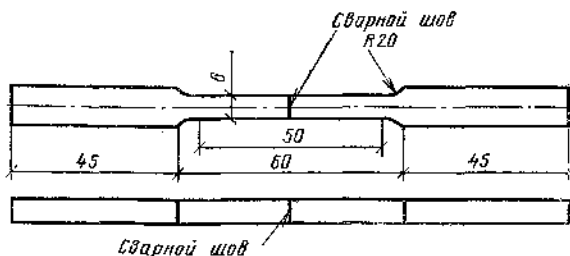


Рис. 92. Схема маятникового копра
1 — образец; 2 — маятник; 3 — линейка

Рис. 93. Образец для испытаний на ударный разрыв



образец, по инерции поднимается на некоторую высоту. По разности высот расположения маятника до и после удара получают значение затраченной на разрушение образца работы. Размеры сечения образца подсчитывают на основании измерений, выполненных с точностью до 0,05 мм. Разделив величину затраченной на разрушение образца работы на площадь его сечения, получают значение ударной вязкости в Дж/м². На маятниковом копре можно также производить испытания на ударный разрыв, которые применяют для сварных стыковых соединений листов толщиной до 2 мм. Плоский образец (рис. 93) при этом закрепляют в специальном приспособлении, а удельную работу, затраченную на разрыв, определяют по работе удара, отнесенной к объему расчетной части образца (произведение расчетной длины образца на толщину основного металла и ширину образца). Результаты испытаний обозначают через a_u . При необходимости проведения испытаний при отрицательных температурах образцы предварительно охлаждают.

Испытания на усталость. Различные структуры и механические свойства сварных швов, зоны термического влияния под воздействием переменных нагрузок могут привести к образованию микротрещин, а затем и к разрушению сварного соединения. Такое разрушение носит название усталостного, а состояние металла при этом называется усталостью. Для имитации процессов, происходящих в реальной конструкции, подверженной усталостному разрушению, образец сварного соединения подвергают действию переменных нагрузок — растяжению, сжатию, изгибу, кручению или комбинации этих нагрузок. Испытания проводят в той среде и при той температуре, которые соответствуют производственным условиям. Повторно-переменное приложение нагрузок к испытываемому образцу носит циклический характер. Предел выносливости характеризуется наибольшим напряжением, которое может вынести образец без разрушения при заданном числе циклов. Для сварных соединений это число составляет $(2 \dots 10) 10^6$. Машины для испытания на усталость имеют следующие основные механизмы: приложения, измерения, регистрации заданных нагрузок и деформаций, подсчета циклов и автоматического отключения при разрушении образца. Порядок проведения испытаний на усталость, формы и размеры образцов регламентируются ГОСТ 2860—65.

42. Виды металлографических исследований

Процесс образования сварных швов сопровождается нагревом и расплавлением присадочного металла и свариваемых кромок, их совместной кристаллизацией и охлаждением, нагревом и охлаждением основного металла в зоне термического влияния. При этом в зависимости от режимов и технологических особенностей сварки и термообработки структура металла шва и зоны термического влияния будет различной. Соответственно будут отличаться их свойства и химический состав. Изучение структурных составляющих металла различных зон сварных соединений производится при металлографических исследованиях, которые помогают выявить изменения, происходящие в металле при различных режимах сварки и термообработки.

При металлографических исследованиях изучаются характер разрушения образцов (вид излома), макро- и микроструктура сварного шва и зоны термического влияния. Кроме этого, на шлифах для металлографических исследований определяют твердость различных зон сварного соединения.

Для изучения вида излома используют образцы, разрушившиеся при различных видах испытаний. Осмотр изломов проводят невооруженным глазом или с помощью лупы с десятикратным увеличением. Пластическое разрушение характеризуется образованием «шейки» в образцах, испытываемых на растяжение. Пластичные металлы дают волокнистый серый излом с матовой поверхностью. Это свидетельствует о наличии более благоприятных мелкозернистых структур. При хрупком разрушении изменения размеров образцов незначительны, излом имеет блестящий кристаллический вид, металл отличается крупнозернистой структурой с низкими пластическими свойствами.

Разрушение образцов часто происходит в местах наличия дефектов, которые легко обнаруживаются в изломе. Поры выглядят как округлые или вытянутые пустоты с гладкими стенками, горячие трещины характеризуются темной окислившейся поверхностью, в случае холодных трещин поверхность металла блестящая, пусто-

ты с острыми краями говорят о наличии инородных включений (иногда в изломе сохраняются и сами включения). Таким образом, по виду излома можно судить о строении металла в месте излома, его плотности, сплошности и сделать качественный вывод о пластических свойствах.

43. Макроанализ

Исследования макроструктуры проводятся для определения размеров и формы сечения сварного шва, величины зоны термического влияния, выявления неплотностей в виде непроваров, трещин, пор и других дефектов. При макроисследованиях можно выявить участки химической неоднородности, ликвационные зоны, усадочную рыхлость, форму, размеры и направление роста кристаллитов.

Макроанализ проводят на специально подготовленных образцах — макрошлифах. Для приготовления шлифов из сварного соединения вырезают плоские заготовки — темплеты. Вырезку выполняют поперек или в плоскости сварного шва, обычно так, чтобы в них входили все участки соединения — наплавленный металл, зона сплавления и термического влияния, основной металл. Исследуемую поверхность образца последовательно обрабатывают резанием или абразивом, шлифуют, обезжиривают и подвергают травлению специальными реактивами. Разные зоны сварного соединения неодинаково взаимодействуют с реактивами, вследствие чего отдельные участки теряют отражательную способность и проявляются в виде затемненных составляющих. Рельеф, образованный затемненными и более светлыми участками, воспроизводит картину структуры.

Для травления шлифов из углеродистой и низколегированной стали обычно применяют растворы активных кислот (азотной, серной, соляной, пикриновой) и их смесей с хлорными солями. Травление проводят как при комнатной температуре, так и с подогревом до 70...80°C, что увеличивает активность реактивов. Для улучшения процесса травления поверхность шлифа обычно протирают. Смеси азотной и соляной кислот применять непосредственно после составления реактива не рекомендуется, поскольку может произойти точечное травление образца. Реактивы с окислителями, наоборот, с течением

времени распадаются. Поэтому растворы с перекисью водорода, аммиачные соли и т.п. следует готовить непосредственно перед употреблением. Для выявления характера кристаллизации швов, перегрева околошовных зон на углеродистых и среднелегированных сталях применяют реактив, в состав которого входят:

Хлористый аммоний (NH_4Cl), г	52
Хлористая медь (CuCl), г	85
Вода, л	1

При глубоком травлении для выявления кристаллизации в плотных швах и обнаружения мелких дефектов используют реактив следующего состава:

Концентрированная соляная кислота (HCl), мл	50
Вода, мл	50

Применяется универсальный реактив:

Хлористое железо (FeCl_3), г	200
Азотная кислота (H_2NO_3), г	360
Вода, мл	100

После травления образцы необходимо промыть в проточной воде в течение 10...15 мин, протереть этиловым спиртом и высушить. Работы по травлению образцов проводят в специальных помещениях, оборудованных вытяжными шкафами, соблюдая правила техники безопасности; как и при работе с сильными кислотами.

По макрошлифу можно определить зоны ликвации серы в основном металле и сварном шве. Для этого используют метод отпечатка по Бауману, заключающийся в том, что на подготовленный макрошлиф накладывают предварительно засвеченную и выдержанную в 5 %-ном растворе серной кислоты фотобумагу. Ее снимают со шлифа через 3...5 мин, фиксируют места, имеющие повышенное содержание серы (они окрашиваются в желто-коричневый цвет).

44. Микроанализ

Микроанализ заключается в исследовании специально изготовленных микрошлифов с помощью металлографических микроскопов, дающих увеличение 50...2000 и более раз. При изучении микрошлифов выявляют дефек-

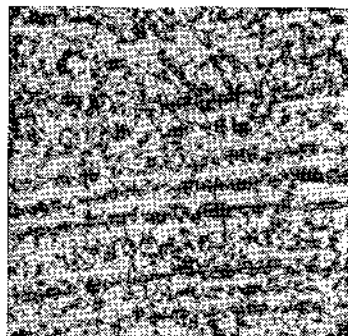
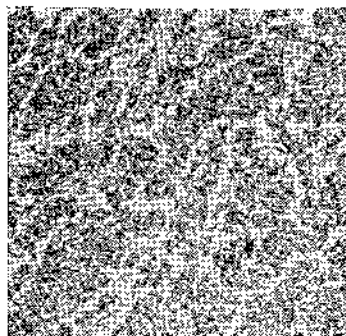
ты в виде микротрещин и микроскопических включений, определяют структурные составляющие сварного соединения (различных участков шва и зоны термического влияния), что позволяет косвенным образом судить о процессах кристаллизации металла шва.

Микрошлифы изготавливают из вырезанных для металлографического анализа участков металла сварного соединения. Для удобства обработки площадь шлифа не должна превышать 20×20 мм, толщина — 10...15 мм. При обычной шлифовке глубина слоя с искаженной воздействием абразива структурой составляет 50...100 мкм. Поскольку глубина травления для выявления микроструктуры не превышает 10 мкм, слой с искаженной при шлифовке структурой должен быть удален. Для этого шлифы из малоуглеродистых и низколегированных сталей обрабатывают наждачной бумагой, постепенно переходя от более крупного зерна к более мелкому, а затем производят полировку с помощью паст. Полировку выполняют на специальных станках с горизонтально расположенным, вращающимся от электропривода полировальным кругом. После чего образцы промывают водой, затем спиртом и сразу же подвергают травлению. Реактивами для микрошлифов из малоуглеродистых, низко- и среднелегированных сталей чаще всего служат слабые спиртовые растворы кислот (табл. 29). Наибольшее рас-

29. Реактивы для травления микрошлифов

Состав	Назначение
2...4 %-ный спиртовой раствор азотной кислоты или 4 %-ный спиртовой раствор пикриновой кислоты	Выявление микроструктуры углеродистых, низко- и среднелегированных сталей
Три части концентрированной соляной кислоты и одна часть концентрированной азотной кислоты	Выявление микроструктуры аустенитных пержавающихся и ферритных сталей (границы аустенитных зерен, карбиды и пр.)

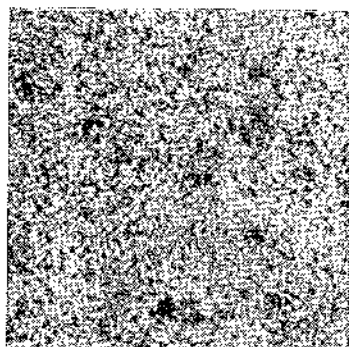
пространение получил 2...5 %-ный раствор азотной кислоты в этиловом спирте. Однако при травлении в азотной кислоте на поверхности шлифов образуются окисные пленки, которые в некоторых случаях препятствуют четкому выявлению структуры. Избежать появления окис-



а	б
б	в

Рис. 94. Микроструктура различных зон сварного соединения из стали 16Г2АФ, заваренного автоматической сваркой методом сложных колебаний

а — сварной шов; б — зона термического влияния; в — основной металл



ных пленок можно, используя растворы пикриновой кислоты. Такое травление позволяет выявить мельчайшие детали структуры, но процесс длится значительно дольше. Скорость травления зависит также и от температуры.

Очень высокое качество микрошлифов можно получить при электролитическом полировании и травлении. Для этого образец помещают в ванну с электролитом и пропускают через него электрический ток. Микровыступы образца под действием тока растворяются, в результате чего поверхность шлифа одновременно полируется и травится. Этот метод дает возможность совершенно устранить следы деформируемого при механической обработке слоя и позволяет выявить тончайшие структурные составляющие.

Для фиксирования исследуемых микроструктур применяется фотография (рис. 94).

45. Измерение твердости

Твердостью называется способность металла сопротивляться пластической деформации при вдавливании в него значительно более твердого тела.

Твердость, особенно микротвердость (твердость отдельных структурных составляющих) дает возможность получить достаточно правильную картину прочностных показателей различных участков сварного соединения, поскольку для пластичных металлов она пропорциональна временному сопротивлению при разрыве.

К основным видам испытаний на твердость относятся три предусмотренных стандартами метода, названных по именам их изобретателей: метод Бринелля, метод Виккерса и метод Роквелла.

Измерение твердости по методу Бринелля применяется для металлов и сплавов малой и средней твердости. Он состоит в том, что в испытуемый образец под действием определенного усилия вдавливается шарик определенного диаметра. Нагрузка действует строго определенное время. Диаметры шариков 10, 5 и 2,5 мм. Соотношения диаметра шарика, нагрузки и времени выдержки шарика под нагрузкой регламентируются ГОСТ 9012—59. Полученный диаметр отпечатка должен составлять 0,2... 0,6 диаметра шарика. Измерения диаметра отпечатка производят в двух взаимно перпендикулярных направлениях с точностью до 0,05 мм при диаметре шарика 10 и 5 мм и до 0,01 мм при диаметре шарика 2,5 мм. Разность измерений не должна превышать 2 %. Результат подсчитывают как арифметическое среднее, и по таблице в зависимости от диаметра отпечатка определяют твердость образца в единицах Бринелля *НВ*.

Испытуемый образец должен иметь обработанную напильником на станке чистую, ровную, плоскую поверхность. Для шарика диаметром 2,5 мм поверхность образца должна быть отполирована или отшлифована. Толщина образца должна составлять не менее десятикратной глубины отпечатка. Вдавливание шарика разрешается осуществлять на расстоянии от края не менее 1,5 диаметров ожидаемого отпечатка, а соседний отпечаток — на расстоянии диаметра. Если после испытаний опорные или боковые поверхности образца окажутся деформированными, то измерения считаются недействительными.

Для испытаний на твердость по методу Бринелля

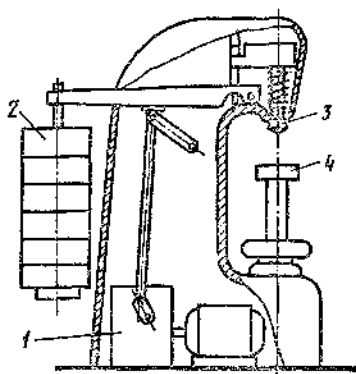


Рис. 95. Схема прибора ТШ-2 для измерения твердости

1 — груз; 2 — привод; 3 — оправка с шариком; 4 — рабочий столик

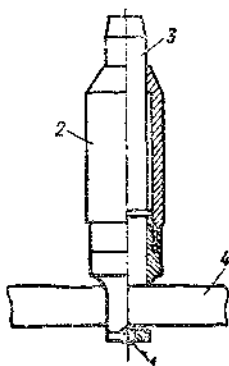


Рис. 96. Схема прибора типа Полюди для измерения твердости

1 — шарик; 2 — корпус; 3 — боек; 4 — эталон

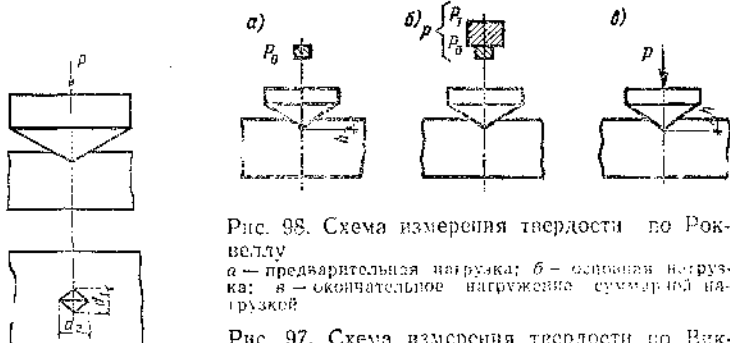


Рис. 98. Схема измерения твердости по Роквеллу

а — предварительная нагрузка; б — основная нагрузка; в — окончательное нагружение суммарной нагрузкой

Рис. 97. Схема измерения твердости по Виккерсу

наиболее распространенным прибором является ТШ-2 (рис. 95). Для измерения твердости в монтажных условиях, особенно после термообработки, применяется прибор типа Полюди. Ошибка измерения составляет $\pm 5...10\%$, но легкость прибора и простота измерения обеспечили ему широкое применение (рис. 96).

Для испытания материалов большой твердости применяют метод Виккерса, где наконечником для испытанной служит алмазная пирамида, которая позволяет проверять твердость деталей малых сечений и тонких слоев. Как и при испытаниях по методу Бринелля, твердость

по Виккерсу определяется отношением величины нагрузки к площади поверхности отпечатка (рис. 97) алмазной пирамиды. Испытания по Виккерсу регламентируются ГОСТ 2999—75. Результаты испытаний также представляют в единицах твердости по Виккерсу *HV*. Если время выдержки под нагрузкой при измерении твердости черных металлов отличается от 10...15 с, а цветных — 28...32 с, то обозначение дополняется индексом, указывающим величину нагрузки и продолжительность ее приложения. В зависимости от твердости испытуемых по методу Виккерса образцов применяют нагрузки 50...1000 Н. Благодаря малым размерам алмазной пирамиды удается измерить твердость даже отдельных участков зоны термического влияния. Но испытания столь узких участков и необходимость измерения отпечатка с точностью $\pm 0,001...0,002$ мм приводят к усложнению оборудования. Прибор ТП-2, широко применяемый для определения твердости с помощью алмазной пирамиды по методу Виккерса, имеет такую же принципиальную схему, что и ТШ-2, но отличается наличием оптической системы, позволяющей измерять диагонали отпечатка. Отпечаток проецируется на экран прибора, снабженный подвижной измерительной шкалой, с помощью которой и производятся замеры.

Принципиально методы Бринелля и Виккерса аналогичны, и для малых и средних значений твердости величины их совпадают. Неудобством является необходимость измерять остающийся после испытаний отпечаток. Этому недостатка лишены испытания по методу Роквелла, при котором твердость измеряется не по размерам отпечатка, а по глубине внедрения (рис. 98) алмазного конуса с углом при вершине 120° или стального шарика диаметром 1,588 мм с твердостью не менее 850 ед. по Виккерсу. Результаты испытаний определяют по показаниям индикатора. Нагрузка на наконечник прикладывается в два этапа: вначале дается предварительная нагрузка в 100 Н, затем основная нагрузка, величина которой выбирается в зависимости от применяемого наконечника и ожидаемой твердости. За единицу твердости при испытаниях по методу Роквелла принята величина, соответствующая осевому перемещению наконечника на 0,002 мм при данной основной нагрузке и данном наконечнике. Глубина внедрения измеряется после снятия основной нагрузки, но до снятия предварительной.

Для испытаний по методу Роквелла применяют приборы типа ТК, несколько отличающиеся по конструкции от ТШ и ТП. Они имеют пружинное устройство для приложения предварительной нагрузки и индикаторный прибор для измерения и регистрации глубины внедрения алмазного конуса.

Следует отметить, что результаты измерений твердости по Роквеллу не могут быть точно переведены в значения твердости по Бринеллю и Виккерсу.

Большое значение имеет определение твердости отдельных структурных составляющих сварного шва — микротвердости. Это позволяет оценить полноту прохождения многих металлургических процессов, происходящих при сварке. Сущность метода заключается во вдавлении стандартной алмазной пирамиды с углом при вершине 136° , при нагрузке $0,02...2$ Н, определении площади поверхности отпечатка и делении величины нагрузки на эту плотность. Результаты обозначаются в ИМ — единицах микротвердости. Прибор для измерения микротвердости ПМТ-3 снабжен микроскопом с подвижной шкалой, позволяющим точно установить наконечник и произвести последующие измерения отпечатка.

Согласно ГОСТ 6996—66 измерения твердости рекомендуется производить по соответствующим схемам, для стыковых соединений листов толщиной менее 3 мм разрешается проводить измерения твердости по наружной поверхности образца со снятым до уровня основного металла «усилением».

Глава XIII. КОРРОЗИОННЫЕ ИСПЫТАНИЯ, ХИМИЧЕСКИЙ И СПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

46. Виды коррозии

Коррозией называется снижение прочности сварных соединений, вызванное необратимыми физико-химическими превращениями, происходящими в металле под действием активных составляющих внешней или рабочей среды. В основе коррозионных явлений лежат два процесса: химический и электрохимический. Химическая коррозия представляет собой процесс непосредственного химического взаимодействия между металлом и средой. Интенсивность его определяется концентрацией агрес-

сивного компонента в среде, воздействующей на металл. При химической коррозии ионизация атома металла и восстановление окислительной составляющей среды происходят в одну стадию и не сопровождаются переносом электрических зарядов в системе. Наибольшее значение имеет химическая коррозия при повышенных температурах на границе металла с газовой средой, так называемая газовая коррозия. Этот процесс начинается еще на этапе образования сварного соединения и может быть предотвращен применением материалов, имеющих высокую стойкость против активных составляющих среды.

Для сварного соединения наибольшее значение имеет электрохимическая коррозия, происходящая из-за образования гальванических пар и протекания электрического тока вследствие взаимодействия металла с электролитически проводящей средой. Различные зоны сварного соединения имеют на поверхности разные электрические потенциалы и вследствие этого могут выступать в роли микроэлементов. Такими микроэлементами являются сварной шов, зоны перегрева, перекристаллизации, максимальной пластической деформации и основной металл. Наибольшее влияние на скорость и распределение коррозионных процессов оказывает разница в химическом составе участков, образующих гальванические пары. В случае макропар, образованной сварным швом и основным металлом, усиленному разрушению подвергается шов, если он является анодом. Это наиболее неблагоприятный случай электрохимической коррозии. Кроме того, коррозионные процессы (табл. 30) происходят за счет образования микропар вследствие микронеоднородности (структурной и химической) в пределах каждой зоны сварного соединения.

Среди общей коррозии более неблагоприятными являются ее виды, имеющие сосредоточенный характер. Местная межкристаллитная коррозия, возникающая преимущественно в сварных соединениях хромистых и хромоникелевых сталей и алюминиевых сплавах, резко снижает несущую способность конструкций и более опасна, чем общая, поскольку ее труднее прогнозировать. Но наибольшую опасность представляют разрушения, которые могут возникнуть вследствие коррозионной усталости. Этот вид разрушений вызывает совместное воздействие коррозионной среды и напряжений при статических нагрузках (коррозионное растрескивание), а также при повторно-

36. Основные типы и виды коррозии сварных соединений

Тип и вид коррозии	Характер разрушения
I. Общая коррозия:	
а) равномерная	
б) сосредоточенная на шве	
в) сосредоточенная в зоне термомеханики	
г) преимущественно на основном металле	
II. Местная межкристаллитная:	
а) в зоне термомеханики	
б) пожевая в зоне сплавления	
в) в сварном шве	
г) точечная	
III. Коррозионная усталость:	
а) коррозионное растрескивание	
б) повторно-статическая, циклическая	

статических и циклических нагрузках. Опасность этих разрушений в том, что они носят хрупкий характер, трещины могут развиваться как межкристаллитно, так и транскристаллитно. Возникновение их может привести к внезапному выходу из строя ответственных конструкций.

47. Определение коррозионной стойкости

В соответствии с ГОСТ 13819—68 коррозионная стойкость металла оценивается по 10-балльной шкале. Оценка стойкости сварных соединений производится разными методами в зависимости от целей испытания, типа испытуемого объекта, типа и вида коррозии. При этом могут испытываться специально заваренные образцы, проводиться модельные испытания узлов и реальные испытания конструкций.

Испытания образцов проводят сначала без нагрузки на стойкость против общей и местной коррозии, а затем на стойкость против коррозионных разрушений в условиях напряженного состояния.

Для испытаний применяют как специально подобранные среды, позволяющие провести сравнительные ускоренные испытания, так и производственные, дающие информацию о поведении конструкции в реальных условиях, но не позволяющие оперативно оценивать влияние на коррозионную стойкость конструктивных и технологических факторов. Поэтому на практике широко используют ускоренные методы испытаний: а) гравитационный (весовой); б) профилографический; в) электрохимический; г) по изменению механических свойств; д) качественный (по внешнему виду).

Основным методом для оценки стойкости сварных соединений в условиях общей коррозии является *гравитационный (весовой)*. Образцы подвергаются воздействию сильных кислот в течение определенного времени, после чего взвешиванием устанавливаются потери (или прибавление) массы, приходящиеся на единицу площади образца в единицу времени.

Более удобно величину коррозии выражать толщиной разрушенного металла. Эту величину называют *проицаемостью*

$$h = 10^{-3} \gamma^{-1} K,$$

где γ — плотность металла, кг/м³; K — скорость коррозии, кг/(м²×год).

Оценка коррозионной стойкости гравитационным методом непосредственно указывает на количество металла, разрушенного коррозией, а потому он особенно важен, если к продукту предъявляются требования по чистоте. Гравитационный метод нашел широкое распространение в силу своей простоты и надежности. Следует иметь в виду, что на результаты испытаний большое влияние оказывают формы и размеры образца в связи с различной скоростью коррозии зоны сварки (шов и зона термовлияния) и основного металла. Уточнить получаемые данные можно параллельным испытанием серий образцов из сварных соединений, из основного металла и шва или из шва и зоны термовлияния (рис. 99). Можно также применить испытание сварных образцов с зоной сварки, в пять раз меньшей площади всего образца, и последующим профилографированием.

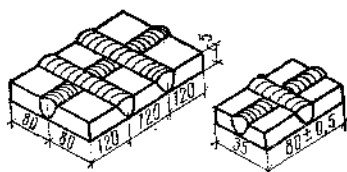


Рис. 99. Образцы для испытаний на межкристаллитную коррозию

Профилографирование позволяет определить степень корродирования различных участков сварного соединения. Профилографирование выполняют с помощью специальных приборов — профилографов путем записи диаграммы изменений профиля образца после воздействия коррозионной среды.

В качестве реактивов для испытаний малоуглеродистой стали применяют 25 %-ный водный раствор серной кислоты при комнатной температуре. Медь испытывают в растворе, состоящем из равных количеств крепкой уксусной кислоты и воды (и других растворах) путем кипячения в течение 100 ч.

Аустенитные и аустенитно-ферритные стали испытывают в соответствии с ГОСТ 6032—75 на межкристаллитную коррозию из следующих методов: А — в водном растворе медного купороса и серной кислоты; АМ — то же, с добавлением медной стружки; Б — анодное травление; В — в водном растворе медного купороса и серной кислоты с добавкой цинковой пыли; Г — в растворе азотной кислоты и фтористого натрия; Д — в кипящей 65 %-ной азотной кислоте.

Для проката и сварных соединений с одним швом об-

разцы должны быть размером 20×80 мм; при наличии перекрещивающихся швов — 35×80 мм; допускаются и другие размеры и формы образцов по специальным ТУ. По окончании испытаний промытые и просушенные образцы подвергаются загибу на угол 90° . Признаком брака является наличие поперечных трещин на поверхности изогнутого образца. Когда изгиб невозможен, прибегают к металлографическому исследованию прошедших испытания образцов на шлифах при увеличении изображения в 300—400 раз. Браковочным признаком является разрушение границ зерен по всей поверхности шлифа или единичных зерен на глубину более 30 и 50 мкм соответственно.

Электрохимический метод исследования коррозионной стойкости сварных соединений состоит в определении электродных потенциалов, которые дают представление о термодинамической устойчивости металла испытываемой зоны, зависимости его коррозионной стойкости от свойств среды и пр. Поляризационные кривые показывают зависимость величины потенциала от плотности пропускаемого через образец тока и позволяют судить о степени пассивного состояния металла образца, его коррозионной стойкости, о необходимой величине защитного тока при электрохимической защите и т. д. Испытания могут проводиться на образцах из соответствующих зон сварных соединений, на имитационных образцах и непосредственно на сварном соединении.

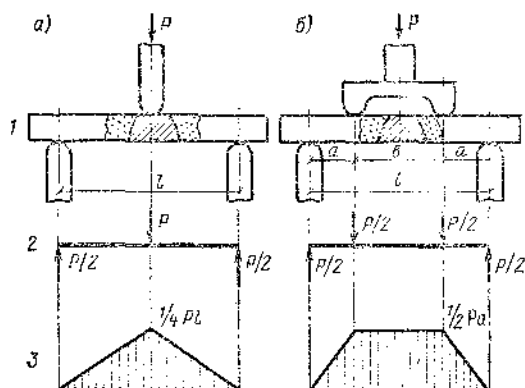
Определение электродных потенциалов макро- и микроскопических сварных соединений может производиться при помощи электродов сравнения: макроскопический — относительно вспомогательного электрода. Поляризационные кривые снимают при помощи гальваностатического метода или методом измерения тока контактных пар.

По изменению *механических свойств* сварных соединений вследствие коррозионного воздействия можно получить данные для расчета несущей способности конструкции, подвергающейся как общей, так и местной коррозии. Для этого проводят испытания на растяжение и на изгиб образцов до и после коррозионных испытаний.

В МВТУ им. Н. Э. Баумана разработаны методика и прибор для испытаний сварных соединений тонколистовых материалов на изгиб (рис. 100). Эти испытания позволяют определять прочностную характеристику материала, четко фиксировать момент появления трещины и

Рис. 100. Схемы испытаний на изгиб для определения коррозионной стойкости (а—б)

1 — схема испытания; 2 — схема усилий; 3 — эпюра изгибающих моментов



производить запись кривой «усилие — деформация» в процессе испытания. Изменение свойств в каждой зоне сварного соединения оценивается по отношению к свойствам в исходном состоянии и после воздействия коррозии.

Качественная оценка коррозионной стойкости является наиболее простым способом, поскольку она проводится путем внешнего осмотра, макро- и микроскопического исследования образцов сварных соединений или реальных конструкций.

48. Испытания на коррозионное растрескивание

Сварные соединения, подвергаемые коррозионному воздействию, в реальных конструкциях представляют собой неоднородные системы. Неоднородность обусловлена теплофизическим и металлургическим воздействием сварки на металл сварного соединения и околошовной зоны. В результате этих воздействий образуются структурно-химическая макро- и микронеоднородности, геометрическая неоднородность (непровары, подрезы, несплавления, трещины и другие дефекты, а также конструктивные концентраторы) и неоднородность упруго-пластического состояния, вызванная неравномерным распределением остаточных упругих напряжений и пластических деформаций. Кроме этого, на сварное соединение действуют внешние нагрузки, вызывающие повышение напряжений в местах наличия концентраторов. Поэтому

все коррозионные разрушения реальных сварных конструкций происходят в условиях напряженного состояния, которое не увеличивает общую коррозию, а способствует развитию местной, вызывая в определенных случаях появление наиболее опасного вида — коррозионного растрескивания. Последнее появляется при наличии металла, восприимчивого к коррозионному растрескиванию, коррозионно-активной специфической среды и напряженного состояния, характеризуемого растягивающими компонентами напряжений.

Для оценки сопротивляемости сварных соединений разрушению в агрессивных средах в условиях напряженного состояния разработан ряд методик. Напряжения в образце могут быть вызваны собственным полем остаточных напряжений за счет сварки, путем приложения внешней нагрузки или суммарным действием обоих факторов. Напряженное состояние в образцах может быть одноосным или двухосным. Испытания при одноосном нагружении внешней нагрузкой следует рассматривать как сравнительные, поскольку они не полностью воспроизводят напряженное состояние конструкций типа оболочек. Тем не менее они могут быть успешно использованы для сравнительной оценки стойкости против коррозионного растрескивания основного металла, а также влияния различных факторов неоднородности сварных соединений. Одноосные напряжения могут быть созданы постоянной нагрузкой. Статические растягивающие одноосные напряжения в образцах с заданной начальной деформацией могут быть созданы изгибом или растяжением. Для сварных соединений широко используют образцы в виде скоб (рис. 101). Различные начальные напряжения в них можно создавать, изменяя с помощью винта величину стрелы прогиба. Для выявления стойкости определенной зоны сварного соединения целесообразно использовать одноопорную схему, так как в зоне приложения нагрузки создаются максимальные напряжения. При двухопорной схеме более равномерное распределение напряжений позволяет сразу выявить слабую зону. Подготовленные таким образом образцы помещают в агрессивную среду и, если через заданное время образец не разрушился, его испытывают на растяжение. Считается, что сварное соединение может работать в условиях напряженного состояния, если изменение свойств не превышает 5...10 %.

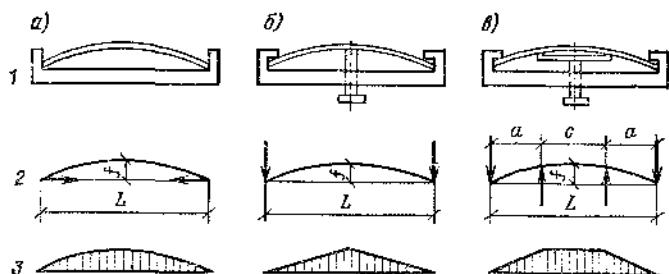


Рис. 101. Образцы для коррозионных испытаний в виде скобы (а—в)
1 — схема испытания; 2 — схема усилий; 3 — эпюра напряжений

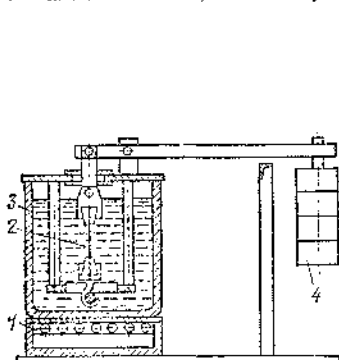


Рис. 102. Схема установки для коррозионных испытаний при одноосном растяжении

1 — печь; 2 — образец; 3 — емкость с раствором; 4 — груз

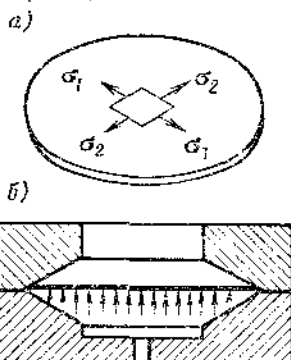


Рис. 103. Образец (а) и схема испытания (б) при двухосном напряженном состоянии, создаваемом изгибом

Описанная методика испытаний с постоянной деформацией отличается простотой, но имеет два принципиальных недостатка: в процессе испытаний за счет коррозии в образце изменяется напряженное состояние, в большинстве случаев схема напряженного состояния не соответствует реальным условиям нагружения.

Преодолеть эти недостатки позволяют испытания с постоянной нагрузкой, которая создается в растягиваемом образце через рычажную систему с помощью грузов. По этому принципу (рис. 102) создан ряд установок для испытаний образцов в условиях статического растяжения, что позволяет с большой точностью определить уро-

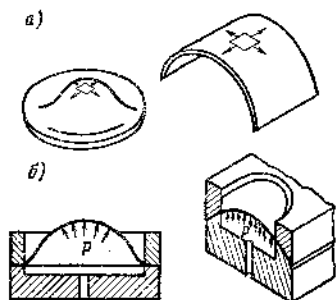


Рис. 104. Образцы (а) и схемы (б) испытаний при двухосном растяжении, создаваемом в сферическом сегменте и полуюцилиндрической панели

Собственные напряжения обусловлены наличием сварных швов, а внешние статические, повторно-статические и циклические нагрузки создаются с помощью гидроэлектрической системы.

Для испытаний применяют круглые плоские образцы, которые закрепляют по контуру матрицы, и прикладывают гидравлическую нагрузку (рис. 103). В этом случае в центральной части образца возникает двухосный изгиб с растягивающими компонентами на внешней части. Двухосное растяжение получают в центральной части образцов, предварительно сформованных в виде сферического сегмента или полуюцилиндрической панели (рис. 104).

Для испытаний малогабаритных дисковых образцов диаметром 130 мм, толщиной 2...5 мм при двухосном изгибе используют установку УДИМ-2 и УДИМ-3. Заданное поле остаточных напряжений получают сваркой круговых или продольных швов. На установке УДИМ-2 одновременно испытывают шесть образцов; УДИМ-3 предназначена для повторно-статических испытаний, поэтому она снабжена гидравлическим пульсатором.

Образцы толщиной 15...35 мм, диаметром 510 мм испытываются на установке УДИ-11. При толщине металла до 100 мм и диаметре образца до 1200 мм испытания проводят на установке УДИ-15.

вень напряжений и деформаций в образце в любой момент времени.

Сварные соединения типа оболочек и корпусов работают в условиях двухосного напряженного состояния с суммированием полей напряжений от внешних статических и повторно-статических нагрузок с собственными. Для оценки коррозионной стойкости сварных соединений такого рода конструкций испытывают специальные образцы, макеты и реальные сварные узлы.

49. Химический и спектральный анализ

Химический состав основного и присадочного металла оказывает существенное влияние на его механические, коррозионные, технологические сварочные свойства. Поэтому, разрабатывая новую технологию сварки, проверяя правильность применяемых материалов, проводя исследование причин появления разного рода дефектов, выполняют химический анализ металла различных участков сварного соединения. Обычно химическому анализу подвергают основной металл, электроды, присадочную проволоку и наплавленный металл.

Химический состав основного металла должен соответствовать сертификату и ГОСТу. Так химический состав углеродистых сталей обыкновенного качества регламентируется ГОСТ 380—71*, углеродистых и низколегированных конструкционных сталей для мостостроения — ГОСТ 6713—75*, углеродистых качественных конструкционных — ГОСТ 1050—74*, сталей низколегированных толстолистовых и широкополосных — ГОСТ 19282—73, низколегированных арматурных сталей — ГОСТ 5781—75, сталей легированных конструкционных — ГОСТ 4543—71*.

При химическом анализе основного металла важно установить, что содержание основных легирующих и, в особенности, вредных элементов, например, серы и фосфора, находится в допустимых пределах. В некоторых случаях производят также анализ содержания в основном металле азота, кислорода и водорода.

Содержание основных элементов в электродной стальной проволоке должно соответствовать требованиям ГОСТ 2246—70, в металле шва, наплавленного металлическими электродами — ГОСТ 9467—75, ГОСТ 10051—75 и ГОСТ 10052—75.

При сварке происходит частичное выгорание (окисление) некоторых легирующих элементов, содержащихся в электродной или присадочной проволоке и расплавляемой части основного металла, электродном покрытии или флюсе. Металл шва поглощает кислород, азот и водород, усваивает легирующие элементы из покрытия электрода или флюса, смешивается с расплавляемой частью основного металла. Поэтому химическим анализом металла шва можно установить, соответствует ли содержание углерода, кремния, марганца и основных легирую-

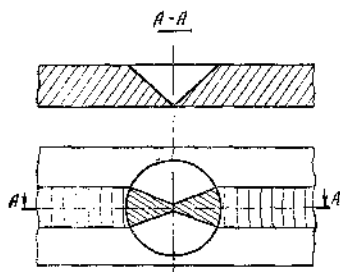


Рис. 105. Схема определения границ шва при отборе проб для химического анализа рассверловкой

щих элементов рекомендуемо в зависимости от конкретных условий сварки.

Металла для химического анализа отбирают в виде стружки, после строжки или рассверловки образцов-свидетелей или специально заваренных соединений. В некоторых случаях отбор проб делают непосредственно из сварных соединений изделий. Анализ наплавленного металла выполняют из пробы, отобранной из образ-

ца, специально изготовленного путем многослойной наплавки. Чтобы получить более правильный средний состав, стружку берут из нескольких участков наплавки и перемешивают ее.

Для анализа металла шва на торце образца изготовляют макроншлиф, что позволяет установить границы сварного шва и зоны термического влияния. В тех случаях, когда вырезать образец не представляется возможным, для определения границ шва производят рассверловку шва специальным сверлом, диаметр которого перекрывает шов в поперечном направлении (рис. 105).

Масса стружки, необходимой для проведения анализа на содержание углерода, составляет 3...5 г; на содержание углерода, марганца, кремния и легирующих элементов — около 50 г, а для газового анализа — не менее 60 г. Перед химическим анализом стружку измельчают, с помощью магнита отделяют от всевозможных неметаллических примесей, обезжиривают спиртом или эфиром. При сомнительных результатах проводят контрольный анализ стружки, полученной при отборе еще двух дополнительных проб.

Химический анализ определенных участков сварного шва производят путем отбора проб в этих местах. Однако в случае многослойных или малогабаритных швов, а также при необходимости установить степень химической неоднородности по сечению сварного соединения химический состав швов определяют методами спектрального анализа.

В настоящее время разработаны методы и аппарату-

ра для локального спектрального анализа, позволяющие с высокой точностью определять химический состав поверхности металла площадью менее 0,1 мм². Спектральный анализ проводится на образцах или непосредственно на изделии. Химический состав определяют по линиям спектра, который дают пары металла, попадающие в дугу спектроскопа. Каждому металлу присущ свой спектр, который, будучи разложен на аналитические линии оптической системой спектроскопа, позволяет качественно и количественно оценить химический состав.

В монтажных условиях спектральный анализ позволяет провести экспресс-анализ легированных и низколегированных сталей, а также цветных металлов. На практике зачастую необходимо отличить низколегированную, например, хромомолибденовую сталь от углеродистой. С помощью переносного аппарата-стилоскопа СЛП-1 или СЛП-2 такой анализ выполняется в течение нескольких минут. Стилоскопирование проводят на зачищенных до металлического блеска участках металла. Часто стилоскопирование выполняют также и на сварных швах с целью проверки соответствия применяемых сварочных материалов проектным. Результаты стилоскопирования как основного металла, так и металла сварного шва заносят в специальный журнал.

Раздел четвертый

КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ

Глава XIV. КОНТРОЛЬ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ ПРОМЫШЛЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ

50. Виды контроля при изготовлении и испытании конструкций

Сварные стальные конструкции изготавливаются по детализовочным чертежам КМД (конструкции металлические, детализовка), разработанным на основании рабочих чертежей, условно называемым КМ (конструкции металлические). В этих чертежах должны быть указаны

характеристики сварных соединений и требования к ним. При контроле документации необходимо проверить, чтобы указания на чертежах давали исчерпывающую информацию для выполнения сварочных работ. Кроме того, должны иметься сведения о нормах и способах контроля, если они не оговорены в отдельном разделе проекта производства работ.

Качество исходных основных материалов — металлического листа, прокатного профиля, прутка и пр. должно соответствовать сертификатам и паспортам заводов-изготовителей. Если при проверке поступившего металла устанавливается отсутствие сопроводительных документов, то в виде исключения разрешается удостоверять качество и марки лабораторными испытаниями, выполняемыми в соответствии с требованиями соответствующих ГОСТов.

Качество исходных сварочных материалов должно контролироваться в соответствии с общими требованиями. На рабочее место сварочные материалы должны подаваться только после требуемой по паспорту просушки (прокалки) и в количестве, необходимом для работы одной смены. Для сварки стали класса С60/45 электроды должны подаваться с температурой не ниже плюс 45 °С в количестве, требуемом на 2 ч работы. Рекомендуется пользоваться переносными подогреваемыми печами. Скорость охлаждения сварных узлов из этой стали после ее обработки должна исключать закалку, коробление, появление надрывов и трещин. Нельзя допускать правку стали класса С60/45 с помощью наплавки валиков дуговой сваркой. Если сталь термически улучшена, то нельзя нагревать ее выше 700 °С.

Контроль квалификации сварщиков состоит в проведении испытаний путем сварки пробы на материалах и в условиях, тождественных с теми, в которых будет выполняться сварка конструкций. Для сварки при температуре ниже минус 30 °С проба заваривается при предусмотренной технологией температуре. Сварщик может быть допущен к работе при температуре на 10 °С ниже пробной. Аттестация сварщиков должна проводиться в соответствии с правилами Госгортехнадзора СССР.

Одной из важных заготовительных операций является *обработка кромок с образованием скосов* под сварку. Контроль на этом этапе должен состоять в проверке правильности угла скоса кромок и состояния их поверхно-

сти. После огневой резки поверхность кромок должна быть зачищена шлифовальной машинкой, причем следы зачистки должны быть направлены вдоль кромок. При температуре ниже минус 15 °С огневая резка должна производиться с подогревом до 100 °С.

Контроль сборочных операций заключается в проверке правильности сборки, соблюдения заданного зазора, величины прихваток и расстояний между ними. Формы кромок и размеры зазоров должны соответствовать ГОСТ и специальным указаниям в чертежах КМ. Длина прихваток в конструкциях из стали класса до С52/40 включительно должна быть не менее 50 мм при расстоянии между ними не более 500 мм, а в конструкциях из стали класса С60/45 — соответственно 100 и 400 мм.

Важным параметром, который следует контролировать в процессе выполнения сварки, является температура, при которой выполняются работы (табл. 31).

31. Допускаемая температура воздуха при сварке сталей без подогрева в °С

Толщина элементов, мм	Сварка			
	ручная и полуавтоматическая		автоматическая	
	Конструкции			
	решетчатые	листовые, обрешетчатые, сплошностенчатые	решетчатые	листовые, обрешетчатые, сплошностенчатые
≤16	—30(—20)	—30(—20)	—	—
16 . . . 30	—30(—10)	—20(0)	—30(—20)	—30(—20)
30 . . . 40	—10(0)	—10(+5)	—20(—10)	—20(—10)
>40	0(+5)	0(+10)	—20(—10)	—20(—10)

Примечание. Температура воздуха приводится для конструкций из углеродистых и в скобках для низколегированной стали до С52/40 включительно.

Ручную и полуавтоматическую сварку конструкций из стали класса С60/45 без подогрева можно выполнять при толщине стали до 16 мм при температуре не ниже минус 15 °С и от 16 до 25 мм — не ниже 0 °С. При толщине стали свыше 25 мм подогрев обязателен при любой температуре воздуха. Автоматическую сварку этой стали можно выполнять без подогрева при толщине стали до 30 мм при температуре до минус 20 °С, а при больших толщинах — не ниже минус 10 °С.

Предварительный подогрев должен производиться до температуры 120...160 °С на ширине 100 мм в обе стороны от оси шва. Электрошлаковая сварка может выполняться без ограничений.

Сварка при отрицательных температурах, когда свариваемая сталь имеет температуру ниже минус 5 °С, должна выполняться без перерывов (исключая время, необходимое на смену электрода, проволоки и на зачистку мест остановки перед возобновлением сварки). Возобновление сварки после вынужденных перерывов должно проводиться с предварительным подогревом.

51. Контроль сварных швов

В процессе сварки следует контролировать соблюдение режима и последовательности выполнения швов согласно разработанной технологической карте. Режимы должны обеспечивать получение угловых швов с коэффициентом формы $b/h \geq 1,3$ и стыковых однопроходных швов с коэффициентом формы $b/h \geq 1,5$. При этом твердость металла шва и околошовной зоны не должна превышать 350 ед., ударная вязкость при проектной отрицательной температуре должна быть не менее 0,3 МДж/м², относительное удлинение — не ниже 16 % для всех классов стали, включая С60/45.

По внешнему виду сварные швы должны иметь гладкую или равномерную мелкошершуватую поверхность с плавным переходом к основному металлу. Величина подтеков не должна превышать 0,5 мм при $\delta = 4...10$ мм и 1 мм при $\delta > 10$ мм. Швы не должны иметь незаваренных кратеров.

В сварных швах металлических конструкций допускаются следующие дефекты, выявленные с помощью физических методов контроля:

в односторонних швах без подкладок допускаются неспровары глубиной до 15 % толщины металла, но не глубже 3 мм;

в двухсторонних швах допускаются неспровары глубиной до 5 % толщины металла, но не более 2 мм при длине не более 50 мм, — расстояние между ними не менее 250 мм и общая длина участков неспровара не более 200 мм на 1 м шва;

отдельные шлаковые включения или поры, размером по диаметру не выше 10 %, но не более 3 мм, а также

их цепочки вдоль шва при суммарной длине не более 200 мм на 1 м шва;

скопления газовых пор и шлаковых включений в отдельных участках шва не более 5 шт. на 1 см² площади шва при диаметре одного дефекта не более 1,5 мм.

Следует отметить, что в конструкциях из стали класса С60/45 не допускаются несправы любой величины.

Если конструкции работают при динамической нагрузке, то так же, как и для элементов конструкций работающих при статической нагрузке, но в растянутых зонах, допускаются отдельные поры или шлаковые включения диаметром до 1 мм для стали толщиной до 25 мм и не более 4 % толщины — более 25 мм в количестве не более четырех дефектов на длине 400 мм. В статически нагруженных сжатых элементах размер дефекта может доходить до 2 мм, а число до шести на длине 400 мм при расстоянии между дефектами не менее 10 мм.

В швах всех видов конструкций не допускаются трещины любых видов и размеров.

При контроле разрушающими методами на статическое растяжение стыкового сварного соединения должны испытываться 2 образца; из металла сварного шва — по 3 образца на каждый тип соединения (стыкового, углового, таврового); на ударный изгиб по центру шва и по линии сплавления — по 3 образца); на статический изгиб сварного стыкового соединения — 2 образца. Кроме того, сварные соединения низколегированной стали классов до С60/45 включительно проверяются на твердость.

При выявлении исправимых дефектов, например, подрезов, незаваренных кратеров, перерывов швов и т.п., производят устранение их путем подварки; участки швов с дефектами плюс по 15 мм с каждой стороны удаляют и заваривают вновь. Исправленные швы подлежат повторному контролю.

При исправлении остаточных деформаций необходимо осуществлять контроль за температурой нагрева, применяемого для выполнения этой операции. Для сталей классов до С46/33 эта температура составляет 900...1000 °С, для нормализованной стали классов С52/40 и С60/45 — 900...950 °С. При температуре не ниже 700 °С исправление должно прекращаться, а скорость охлаждения должна исключать закалку и образование трещин.

Сварку решетчатых конструкций (кроме транспортных галерей) типа стропильных и подстропильных

ферм пролетом до 36 м, ветровых и связевых ферм, тормозных ферм, фонарей, лестниц, площадок, ограждений и пр. разрешается производить по общим указаниям без специально разработанной технологической документации.

Сварные швы всех конструкций подвергают наружному осмотру с проверкой размеров. Сварные швы конструкций, качество которых в соответствии с требованиями проекта необходимо проверять физическими методами, контролируют 100 % ультразвуковой дефектоскопией с просвечиванием всех участков швов с признаками дефектов или просвечиванием проникающими излучениями 2 % длины швов, выполненных ручной или полуавтоматической сваркой, и 1 % швов, выполненных автоматической сваркой.

Сварные швы конструкций транспортных галерей подвергаются 100 % ультразвуковому контролю в растянутых зонах с последующим просвечиванием всех участков швов с признаками дефектов и выборочным контролем ультразвуковой дефектоскопией остальных швов из расчета одного участка на каждые 20 м.

Ультразвуковой контроль 100 % всех соединений предусмотрен и для конструкций, где по условиям работы сварные швы должны быть выполнены со сквозным проплавлением стенки.

52. Газгольдеры и вертикальные цилиндрические резервуары

Стальные листовые конструкции вертикальных цилиндрических резервуаров и мокрых газгольдеров вместимостью до 50 и 30 тыс. м³ (рис. 106) изготавливают в нашей стране начиная с 1948 г. преимущественно из рулонированных заготовок. Поэтому часть контрольных операций должна быть выполнена на заводе рулонных металлоконструкций.

Важными характеристиками, определяющими сборность на монтаже и работу конструкций в целом, являются геометрические размеры свариваемых на заводе заготовок. Поэтому размеры эти должны проверяться, а однотипные отправочные элементы должны изготавливаться в кондукторах. К таким элементам следует отнести короба понтонов и плавающих крыш, колец жесткости, затворов плавающих крыш и гидрозатворов (в случае газгольдеров), внешних направляющих газгольдеров со

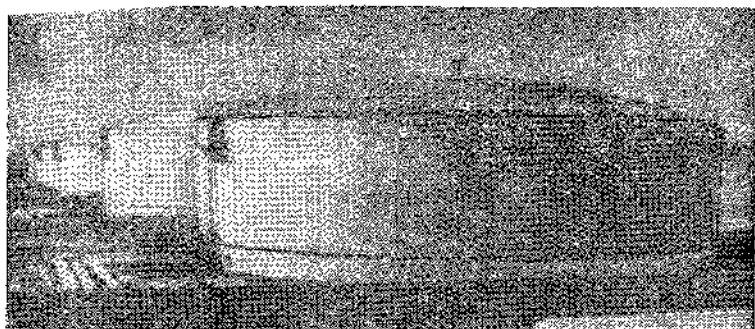


Рис. 106. Парк вертикальных цилиндрических резервуаров вместимостью 20 тыс. м³ для нефтепродуктов

связями. Для обеспечения требуемых размеров и формы во время сварки рулонных заготовок и других элементов резервуаров и газгольдеров осуществляют контроль технологических режимов и последовательности выполнения швов.

Сварку днищ из листов толщиной более 4 мм, а также стыковых швов окраек на остающейся подкладке выполняют не менее чем в два слоя.

Контроль сварных швов на заводе рулонных металлоконструкций включает в себя просвечивание проникающими излучениями 100 % пересечений вертикальных и горизонтальных швов сварных соединений I и II поясов (считая снизу) и 50 % пересечений II, III и IV поясов, а на монтаже — вертикальных монтажных швов стенок резервуаров вместимостью 2...20 тыс. м³.

Все стыковые сварные швы соединения окраек в местах примыкания к ним стенок резервуаров подлежат 100 % контролю просвечиванием. При толщине стали 10 мм и более взамен просвечивания разрешается производить ультразвуковой контроль с последующим просвечиванием участков швов с признаками дефектов.

Контроль герметичности всех швов днища, как в заводских, так и в монтажных, производится вакуумированием, а всех остальных швов — путем смачивания керосином.

Если резервуары сооружаются полистовым методом, то просвечиванием должны быть проверены 100 % вертикальных стыковых соединений I и II поясов и 50 %

соединений II, III и IV поясов преимущественно в местах пересечений этих соединений с горизонтальными.

Испытание вертикальных резервуаров производится наливом водой. Высота заполнения предусматривается проектом. Для резервуаров низкого давления устанавливается испытательное давление на 25 %, а вакуум на 50 % больше проектной величины (если в проекте нет других указаний).

Считается, что резервуар выдержал гидравлические испытания, если по истечении 24 ч на его поверхности или по краям днища не появятся течи и если уровень воды не будет снижаться. Обнаруженные мелкие дефекты (свищи) исправляют при пустом резервуаре, а места исправлений после этого проверяют на герметичность.

Изготовление и контроль конструкций мокрых газгольдеров производится в соответствии с теми же правилами, как и вертикальных цилиндрических резервуаров. Контролю просвечиванием подвергаются все пересечения вертикальных и горизонтальных соединений в объеме 100 % на листах толщиной 6 мм и более. Испытание на герметичность днища, настила кровли и гидрозатворов колокола и телескопа производят до испытания наливом воды. При этом сварные соединения настила кровли испытывают путем создания внутреннего давления воздухом и нанесения мыльного раствора на поверхность швов снаружи. Герметичность гидрозатворов телескопа и колокола контролируют керосином до установки грузов и покраски. Испытание газгольдера наливом воды осуществляют ступенями по поясам с промежутками времени, необходимыми для осмотра сварных соединений.

В целом газгольдер испытывают наливом воды и нагнетанием воздуха. Газгольдер считается выдержавшим испытания, если по истечении семи суток величина утечки газа не превышает 3 % для газгольдеров вместимостью до 1 тыс. м³ включительно и 2 % — свыше 3 тыс. м³. На вертикальные цилиндрические резервуары и мокрые газгольдеры составляется исполнительная документация по форме и в объеме, предусмотренным СНиП III-18-75.

53. Доменные печи и газоочистки

В комплекс доменных пещей и газоочисток кроме непосредственно доменных пещей входят воздухонагреватели, пылесушители, скрубберы, электрофильтры, газо-

и воздухопроводы, конструкции колошниковых копров и пролетных строений наклонного моста с опрокидывающим устройством и пилоном, балки рудных бункеров и несущие конструкции лифтов.

Заготовки всех негабаритных конструкций изготавливают на заводе, где контролируют качество исходных материалов, размеры разделок кромок под сварку, геометрические размеры отправочных элементов.

Для обеспечения собираемости на монтажной площадке заводы-изготовители обязаны выполнять контрольную сборку кожуха горна, мораторного кольца с прилегающими к нему верхней царгой горна и первой царгой кожуха шахты печи, кожуха шахты, включая купол с газоотводами, днища и купола воздухонагревателя и других конструкций.

Проверка квалификации сварщиков, работающих на конструкциях доменной печи, должна производиться путем сварки контрольных образцов и разделки кромок в пространственных положениях, аналогичных реальным в свариваемой конструкции. В процессе электрошлаковой сварки кожухов печей необходим контроль строгого соблюдения режимов, которые должны обеспечивать необходимые механические свойства сварного соединения — твердость не выше 300 единиц и ударную вязкость при 20 °С не ниже 0,6 МДж/м².

Контроль физическими методами на плотность путем смачивания керосином производится для всех герметичных сварных соединений, кроме кожуха печи и элементов оболочек толщиной более 16 мм.

Стыковые сварные соединения кожухов доменных печей, воздухонагревателей, воздухопроводов горячего дутья, пылеуловителей, скрубберов, электрофильтров и т. п. должны подвергаться контролю ультразвуковой дефектоскопией в объеме 100 % с последующим просвечиванием проникающими излучениями участков швов с признаками дефектов или просвечиванием проникающими излучениями в объеме 3 % общей длины швов, выполненных ручной и полуавтоматической сваркой, и 1,5 % — автоматической сваркой. Стыковые сварные соединения воздухонагревателей и выносных камер горения воздухонагревателей, а также воздухопровода горячего дутья, включая кольцевой участок, просвечивают в объеме 10 % общей длины швов. Не допускаются непровары всех размеров и подрезы глубиной более 0,5 мм.

Листовые конструкции доменных печей и газоочисток испытывают на прочность и плотность сжатым воздухом, как правило, в два этапа. Первый этап — испытание на избыточное давление до 0,07 МПа — производят перед футеровкой. Второй этап — испытание на избыточное давление, которое для большинства конструкций составляет до 1,25 рабочего давления, может выполняться как до футеровки, так и после ее осуществления. Во время первого этапа внешним осмотром швов, покрытых пенным индикатором, выявляют дефекты, которые затем исправляют и переходят ко второму этапу испытаний. Под испытательным давлением конструкцию выдерживают 5 мин, после чего давление снижается до рабочего и производят вторичный осмотр конструкции с проверкой величины утечки воздуха. Продолжительность испытания на герметичность, в течение которого производится подсчет потерь воздуха, должна быть не менее 1 ч. Испытание газопроводов на первом этапе производят керосином. Второй этап испытаний проводят сжатым воздухом одновременно со всем комплексом сооружений.

54. Мачтовые и башенные сооружения

Металлические конструкции мачтовых и башенных сооружений объектов радиосвязи, радиовещания и телевидения вследствие их негабаритности также изготавливают транспортабельными узлами на заводах и собирают на монтажной площадке.

Контроль исходных основных и сварочных материалов выполняется на заводе. Здесь же должны осуществляться мероприятия по надзору за квалификацией сварщиков, сварочной технологией и проводиться испытания для готовых узлов. Размеры и конфигурация узлов, изготавливаемых в кондукторах, должны обеспечивать хорошую собираемость и взаимозаменяемость. Поэтому на заводе должна также производиться контрольная сборка и проверка размеров обработанных элементов монтажных стыков. Трубчатые элементы мачтовых и башенных сооружений должны быть очищены от пыли и грязи, а при диаметре 250 мм и выше — огрунтованы. Швы сварных соединений заглушек трубчатых элементов, узлов примыкания трубчатых раскосов и распорок, а также швы заваренных прорезей в трубчатых конструкциях должны быть выполнены герметичными и испытаны на

плотность избыточным давлением воздуха 0,04 МПа. Испытанию подвергаются 5 % трубчатых элементов. При обнаружении дефектов чисто испытываемых элементов удваивается, а если и в этом случае обнаруживают дефектные швы, то переходят к 100 %-ному контролю. После исправления дефектов и повторных испытаний отверстия, через которые подавался сжатый воздух, заваривают герметичным швом.

Стыковые сварные соединения листовых трубчатых мачт, как заводские, так и монтажные, при диаметре 1500 мм и более должны контролироваться просвечиванием проникающими излучениями в размере 2 % длины сварных швов, выполненных ручной или полуавтоматической сваркой, и в размере 1 % длины сварных швов, выполненных автоматической сваркой, преимущественно в местах пересечения швов.

Глава XV. КОНТРОЛЬ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ТРУБОПРОВОДОВ

55. Классификация трубопроводов

Металлические трубопроводы составляют одну из основных групп сварных конструкций, монтируемых при сооружении промышленных предприятий. На долю трубопроводных работ приходится более половины трудоемкости всех работ, выполняемых на монтажной площадке.

К сварным стыкам трубопроводов в зависимости от транспортируемых веществ и рабочих параметров (температуры, давления, вида нагрузок) предъявляются разные требования, изложенные в соответствующих нормативных документах.

Технологическими трубопроводами называются такие, по которым транспортируют газообразные, жидкие и сыпучие вещества или их смеси, применяющиеся или образующиеся во время технологического процесса производства.

Технологические трубопроводы — комплексные устройства, состоящие из труб, деталей трубопровода, запорной и регулирующей арматуры, опор и подвесок, разъемных или сварных соединений, контрольно-измерительных приборов и средств автоматики.

Технологические трубопроводы подразделяют:

по месту расположения — на внутрицеховые, соединя-

32. Обобщенная классификация технологических трубопроводов

Группа	Среда	Категория									
		I		II		III		IV		V	
		$P_{\text{раб. изб.}}, \text{Па}$	$t, ^\circ\text{C}$	$P_{\text{раб. изб.}}, \text{Па}$	$t, ^\circ\text{C}$	$P_{\text{раб. изб.}}, \text{Па}$	$t, ^\circ\text{C}$	$P_{\text{раб. изб.}}, \text{Па}$	$t, ^\circ\text{C}$	$P_{\text{раб. изб.}}, \text{Па}$	$t, ^\circ\text{C}$
А	Продукты и горючие газы с токсическими свойствами: а) сильнодействующие ядовитые вещества, дымящиеся кислоты и сжиженные газы б) прочие	Не зависит	От -150 до +170	—	—	—	—	—	—	—	—
		Свыше 160 и ниже 8 абс. до 0,1 абс.	От -170 до 700	От 8 абс. до 160 вкл.	От -150 до +350	—	—	—	—	—	—
Б	Газы и жидкости, обладающие токсическими свойствами: а) взрывоопасные газы, легко воспламеняющиеся и горючие жидкости б) сжиженные газы с упругостью пара при 30 °С, более 60 Па абс.	Не зависит	От 350 до 700	Свыше 250 до 640	От -70 до +350	Свыше 160 до +250	От -150 до +120	—	—	—	—
		Ниже 8 абс.	Не зависит	Ниже 9,5 абс. до 250	Не завысит	—	—	—	—	—	—
В	Перегретый водяной пар	Более 380	До 450	Более 220	До 350	Более 160	До 250	До 160	Свыше 115 до 250	—	—
		Не зависит	Свыше 450	До 390	Свыше 350 до 450	До 220	Свыше 250 до 350	—	—	—	—
Г	Горячая вода, насыщенный водяной пар	Более 800	Свыше 115	Более 330 до 810	Свыше 115	Более 160 до 320	Свыше 115	До 160	Свыше 115	—	—
		Не зависит	От 450 до 700	От 640 до 1 кПа	От -70 до +450	От 250 до 640	От -70 до +350	От 160 до +250	От -70 до +250	От -150 до +250	—

Примечания: 1. В случае отсутствия необходимого сочетания параметров следует руководствоваться тем параметром, который относится к более высокой категории. 2. Категория трубопровода устанавливается проектной организацией.

ющие отдельные виды оборудования, и межцеховые, транспортирующие продукты между цехами или объектами;

по величине внутреннего давления — на вакуумные, работающие при абсолютном давлении ниже 10 Па, низкого давления — от 10 до 1000 Па и высокого давления — свыше 1 кПа;

по температуре транспортируемого продукта — на холодные (температура продукта до 45 °С) и горячие (свыше 45 °С);

по агрессивности транспортируемых продуктов — на неагрессивные или малоагрессивные, вызывающие коррозию стенки трубы менее 0,1 мм в год, среднеагрессивные — 0,1...0,5 мм в год и высокоагрессивные — свыше 0,5 мм в год;

по применяемым материалам — на металлические, металлометаллические с внутренними покрытиями и неметаллические.

Надежность эксплуатации трубопроводов зависит от соблюдения определенных норм и правил их сооружения. Такими нормативными документами являются СНиП III-31-78 «Правила устройства и безопасной эксплуатации трубопроводов пара и горячей воды» Госгортехнадзора СССР, «Правила устройства и безопасной эксплуатации трубопроводов для горючих, токсичных и сжиженных газов» (ПУГ-69), «Правила безопасности в газовом хозяйстве» и др.

Контроль сварных соединений металлических трубопроводов будет рассмотрен на примере технологических. В зависимости от транспортируемых веществ, их рабочих параметров технологические трубопроводы могут быть отнесены к одной из пяти категорий (табл. 32), определяемых совокупностью технических требований, предъявляемых к его сварным соединениям, объемом контроля, видом механических испытаний, квалификацией сварщиков и др. Категория трубопровода устанавливается проектом.

56. Контроль и испытания сварных соединений трубопроводов

Сварные соединения трубопровода могут обеспечить надежную работу объекта, а монтажная организация не будет нести затрат на переделки и исправление брака,

если контроль качества будет выполняться на всех этапах производственного процесса: во время заготовительных операций и сборки под сварку, при выполнении сварочных работ, при контроле и испытаниях сварных швов и готового трубопровода в целом.

На стадии подготовки производства необходимо контролировать качество поступающих в монтаж основных материалов — труб, деталей трубопроводов, арматуры; сварочных материалов — электродов, сварочной проволоки, флюса, защитных газов; выполнить проверку квалификации сварщиков и исправности сварочного оборудования и приспособлений.

Трубы и детали трубопроводов должны иметь сопроводительные документы, в которых указывается: размер (диаметр и толщина стенки), марка стали, номер плавки и ее химический состав (при плавочной сдаче труб или по требованию потребителя указывается химический состав всех входящих в партию плавок), а также результаты всех испытаний, которые были выполнены на заводе-изготовителе. На детали трубопроводов по ГОСТ 17374—77 и 17380—77, предназначенные для изготовления трубопроводов пара и горячей воды, завод-изготовитель должен выдавать сертификат. Трубы и детали трубопроводов, на которые нет документов предприятия-изготовителя, а также бывшие в употреблении, могут быть использованы для изготовления трубопроводов II категории и ниже только после дополнительной проверки и испытаний. На основании такой проверки составляются документы, удостоверяющие соответствие результатов требованиям нормативной документации. Независимо от наличия сопроводительных документов и сертификатов основные материалы подлежат контролю внешним осмотром с проведением необходимых замеров и проверкой соответствия их сопроводительной документации и требованиям ГОСТов, ТУ и нормалей. Если на поверхности труб обнаруживают дефекты, уменьшающие толщину стенок ниже допускаемых минусовых отклонений, то такие изделия приемке не подлежат. Трубопроводы, имеющие овальность, отклонения в размерах скосов кромок и устранимые дефекты, могут быть доведены до кондиции силами монтажной организации по согласованию с заводом-изготовителем, который обязан возместить затраты на исправление. Трубопроводы из легированных сталей должны подвергаться стилископированию.

Для трубопроводов пара и горячей воды должны употребляться трубы и детали, изготовленные с соблюдением следующих требований:

электросварные швы должны быть подвергнуты на заводах-изготовителях 100 %-му контролю физическими методами и гидравлическим испытаниям (поштучно);

сварные швы штампосварных деталей трубопроводов с двумя продольными швами должны быть подвергнуты 100 %-му контролю ультразвуковой дефектоскопией или просвечиванием;

поперечные стыковые соединения секторных отводов должны быть проконтролированы в соответствии с правилами Госгортехнадзора СССР, после чего они могут быть применены для трубопроводов III и IV категории;

трубы из легированных сталей и изготовленные из них гнутые, штампованные и сварные детали должны быть термообработаны, если эта операция предусмотрена ТУ и соответствующими стандартами.

Сварочные материалы должны допускаться в производство только после проверки соответствия их качества требованиям действующих ГОСТов или ТУ. Электроды должны отвечать требованиям ГОСТ 9466—75, ГОСТ 8467—75, ГОСТ 10052—75; сварочная проволока — ГОСТ 2246—70; флюс — ГОСТ 9087—81; углекислый газ — ГОСТ 8050—76; аргон — ГОСТ 10157—73 и ГОСТ 5457—75; гелий — МРТУ 77—66; азот — ГОСТ 9293—74; вольфрам для сварки неплавящимся электродом: лантанированный — марок ВЛ-2 и ВЛ-10 — СТУ 45-ЦМ-1150-63, иттрированный — марки СВЧ-1 — ТУ 48-42-73-71.

В сопроводительных документах завода-изготовителя — сертификатах должны быть указаны марка, механические свойства и химический состав наплавленного металла (для электродов). При проверке соответствия свойств сварочных материалов данным сертификатов и требованиям ГОСТов или ТУ электроды испытывают по партиям, а сварочную проволоку и флюс — по плавкам.

Для сварки трубопроводов I и II категорий от каждой партии электродов отбирается проба и после просушки (прокалки) по режиму, рекомендованному в паспорте, производится проверка технологических свойств. Если электроды предназначены для сварки труб во всех пространственных положениях, то проверка осуществляется на неповоротных стыках труб или на пластинах,

свариваемых в вертикальном и потолочном положениях. В общем случае технологические свойства электродов определяют при односторонней сварке таврового соединения в один слой, на длине 150 мм двух образцов, вырезанных из труб или двух пластин 180×140 мм в потолочном положении «в лодочку».

Электроды должны обеспечивать легкое зажигание дуги и равномерное горение без чрезмерного разбрызгивания металла и без образования «козырька», равномерное покрывание шлаком наплавленного металла и легкое отделение шлака после окончания сварки, получение наплавленного металла без трещин, крупных пор и шлаковых включений.

После окончания сварки технологической пробы швы (табл. 33) подвергают внешнему осмотру и производят

33. Рекомендуемые размеры пластин и швов для технологической пробы, мм

Диаметр электрода	Толщина пластин	Катет шва
2 . . . 3	6 . . . 8	4 . . . 5
3 . . . 4	10 . . . 14	6 . . . 8
Свыше 5	16 . . . 24	8 . . . 10

излом, для чего допускается делать надпил по середине шва со стороны усиления глубиной не более 20 % толщины свариваемых пластин. В изломе наплавленный металл должен быть плотным и не иметь внутренних дефектов.

Если по технологическим свойствам электроды не будут соответствовать требованиям ГОСТа, то для сварки трубопроводов I и II категорий данную партию применять нельзя.

Качество защитных газов определяется при наплавке сварного валика соответствующим способом сварки и с применением тех же присадочных и основных материалов, что и в производственных условиях. Обычно длина наплавки должна составлять не менее 100...150 мм. По результатам внешнего осмотра наплавки устанавливается пригодность данного защитного газа к сварочным работам.

Контроль сварочной проволоки осуществляют определением соответствия ее химического состава паспортным

данным. Кроме того, проверяется состояние поверхности проволоки, которая перед сваркой должна быть очищена от смазки, применяемой при волочении, ржавчины, окислы и других загрязнений. Очистку можно производить путем травления в 5 %-ном растворе соляной кислоты с последующей нейтрализацией в 12...15 %-ном водном растворе кальцинированной соды при температуре 70...90 °С, промывкой в горячей воде и сушкой на воздухе. Применяют также протягивание проволоки через устройства, заполненные сварочным флюсом, битым кирпичом, абразивами, войлочными фильтрами и другие механические способы, позволяющие зачистить ее до металлического блеска.

Одним из ответственных элементов контроля на стадии подготовки к сварке трубопроводов является проверка квалификации сварщиков. К прихватке и сварке трубопроводов I, II, III и IV категорий могут допускаться сварщики, выдержавшие теоретические и практические испытания в соответствии с действующими «Правилами аттестации сварщиков», утвержденными Госгортехнадзором СССР, и имеющие удостоверение на право сварки трубопроводов соответствующих категорий. При этом сварщики обязаны независимо от наличия удостоверения заварить пробный стык в условиях, тождественных с теми, в которых производится сварка трубопроводов.

Пробные стыки должны подвергаться внешнему осмотру, проверке сплошности физическими методами контроля, механическим испытаниям на разрыв, загиб и для трубопроводов I и II категорий — на ударную вязкость. При неудовлетворительных результатах внешнего осмотра сварщик считается не выдержавшим испытание. При неудовлетворительных результатах контроля пробного стыка физическими методами производится сварка и контроль двух других пробных стыков. В случае неудовлетворительных результатов испытаний хотя бы одного из них сварщик признается не выдержавшим испытания и отстраняется от работы. Аналогично поступают и по результатам механических испытаний. К повторным испытаниям сварщик может быть допущен не ранее, чем через 10 дней с момента отстранения его от работы. Результаты испытаний пробных стыков заносятся в формуляр сварщика. К прихватке и сварке трубопроводов V категории допускаются сварщики, не аттестованные по

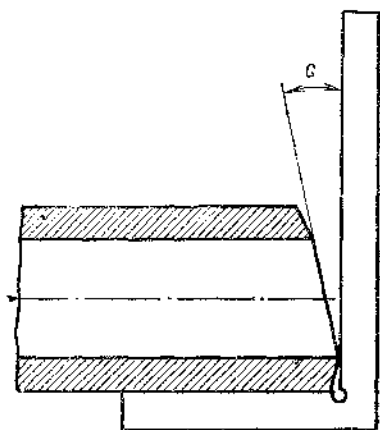


Рис. 107. Схема замера перпендикулярности или заданного угла торцевых срезов труб

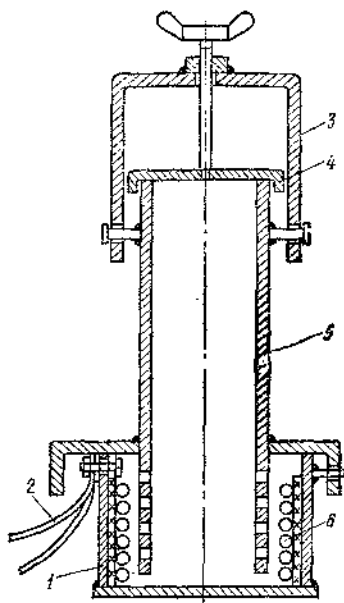


Рис. 108. Переносная печь для электродов

1 — изолятор; 2 — подвод электроэнергии; 3 — скоба для переноски; 4 — крышка; 5 — корпус; 6 — спираль

правилам Госгортехнадзора СССР, но заварившие пробные стыки.

Все заготовительные и сборочные операции при производстве трубопроводных работ контролируют путем инструментальной проверки размеров разделок и зазоров, а также состояния и свойств кромок после обрезки.

При подготовке концов труб и деталей трубопроводов под сварку для сохранения структуры металла предпочтительнее механическая резка труб из легированных сталей и вырезка в них отверстий. Применение огневой резки должно производиться с соблюдением специальных технологических приемов. Так для труб из среднелегированных хромистых и хромомолибденовых сталей участки трубы вблизи реза должны подогреваться до температуры 250...350 °С, а после окончания резки следует обеспечить медленное охлаждение. После газовой и воздушно-дуговой резки кромки реза должны быть зачищены на глубину не менее 3 мм, а после плазменной резки — не менее 0,5 мм. При этом глубину механической обработки следует считать от поверхности максимальной впадины. Торцы труб и деталей трубопроводов

после резки должны быть чистыми без внешних и внутренних заусенцев и грата. Отклонения С плоскостей торцевых срезов от перпендикулярности (или заданного угла) (рис.107) не должны превышать 0,5 мм при толщине стенок до 3 мм, 1 мм — до 3...4,5 мм, 1,5 мм — 5 мм и более.

Разделка кромок и размеры зазоров при сборке под сварку стыков трубопроводов должны соответствовать требованиям ГОСТ 16037—80. Если трубопроводы изготовляются из легированных сталей, то для различных способов сварки разделку следует выполнять в соответствии с «Инструкцией по сварке и контролю сварных соединений трубопроводов из легированных сталей» МСН 163—67/ММСС СССР.

На стадии сборки должны быть проверены не только размеры разделки и зазор, но и выполнение зачистки кромок и прилегающих к ним внутренней и наружной поверхностей на расстоянии не менее 15...20 мм от ржавчины, окислов, грата и других загрязнений. При стыковке элементов трубопроводов, не подведомственных Госгортехнадзору СССР, из углеродистых сталей на условное давление до 10 Па

при толщине стенок, мм	3...4	5...6	7...8	9...14	15
разностенность и смещение кромок не более, мм	1	1,5	2	2,5	3

В остальных случаях сборки элементов стальных трубопроводов величина разностенности или смещения кромок не должна превышать 10 % толщины стенок, но не более 3 мм.

При выполнении сварки трубопроводов должны контролироваться состояние сварочных материалов, соблюдение технологических режимов, а также специальных требований технологических инструкций.

При сварке трубопроводов I и II категорий рекомендуется применять термостатированные пены или подогреваемые до 100...110 °С легкие переносные печи (рис. 108), обеспечивающие применение сухих электродов.

Прихватка и сварка стыков трубопроводов в холодное время должна производиться с соблюдением необходимых условий (табл. 34).

Сварка трубопроводов может выполняться любыми методами, обеспечивающими требуемое качество свар-

34. Условия сварки трубопроводов из углеродистой стали

Содержание углерода, %	Условия сварки при толщине стенки, мм	
	<16	>16
<0,2	Выше -20°C без подогрева	Выше 0°C без подогрева, ниже 0°C до -20°C с подогревом до $100...150^{\circ}\text{C}$
0,2 . . . 0,28	Выше -10°C без подогрева, ниже -10°C с подогревом до $100...150^{\circ}\text{C}$	То же
>0,28	Выше -10°C с подогревом до $200...250^{\circ}\text{C}$	

Примечание. Условия для стали с содержанием углерода $>0,28\%$ также относятся и к сталям, закаляющимся на воздухе с легирующими элементами до $0,3\%$ и углерода до $0,18\%$.

ных соединений. Применение газовой сварки допускается только для труб условным диаметром до 80 мм с толщиной стенки не более $3,5\text{ мм}$.

По результатам контроля трубопроводов физическими методами сварные швы должны быть забракованы, если в них обнаружены трещины любых размеров, несплавления по кромке, скопления шлаковых и других включений и пор в виде сплошной сетки, а также дефекты, размеры которых превышают допускаемые. Величина допускаемых дефектов должна устанавливаться в соответствии с классом сварного соединения по ГОСТ 23055—78, регламентируемого проектом.

Исправление дефектов сварных стыков трубопроводов допускается, если при условном диаметре трубопровода до 100 мм длина трещины меньше 20 мм и при условном диаметре свыше 100 мм — меньше 50 мм , а также если протяженность участков с недопустимыми дефектами меньше $0,25$ длины окружности стыка. Обнаруженные дефекты обязательно удаляют. Если размеры дефектных мест превышают допустимые, то стык должен быть удален и заменен катушкой. Исправленные стыки должны быть повторно проконтролированы. Сведения обо всех ремонтных операциях должны быть зафиксированы в журнале сварочных работ.

Кроме контроля качества физическими методами сварные соединения трубопроводов подвергаются механическим испытаниям и металлографическим исследова-

ниям, а при сварке трубопроводов из спецсталей определяют коррозионную стойкость, производят стилооскопирование, замеряют твердость. Указанные испытания производят на образцах, изготовленных из контрольных сварных соединений или из стыков, вырезаемых непосредственно из трубопровода.

В тех случаях, когда проектом предусмотрено проведение термической обработки, должны быть проконтролированы время между окончанием сварки и началом термообработки и соблюдение нагрева, выдержки и охлаждения.

Испытания сварных стыков трубопроводов на прочность и плотность проводят после окончания сварки, контроля, термообработки и полного завершения монтажа испытываемой линии или ее участка. Перед испытаниями проводится детальный осмотр всего трубопровода при свободном доступе ко всем соединениям, арматуре, опорам. Проверяется наличие исполнительной технической документации, в составе которой должны быть:

журналы сварочных работ на сварные стыки трубопроводов I и II категорий;

исполнительная схема на трубопроводы I категории; на трубопроводы пара и горячей воды I категории при условном диаметре более 70 мм и II и III категорий при диаметре более 100 мм.

Как правило, испытания проводят гидравлическим способом. Если температура окружающего воздуха ниже 0 °С, трубопроводы могут испытываться пневматическим способом, который проводят и в тех случаях, когда опорные конструкции не рассчитаны на заполнение трубопроводов водой или оно недопустимо по каким-либо техническим причинам.

Вид испытаний оговаривается в проекте или выбирается в соответствии с действующими нормативными документами (табл. 35).

Отдельное испытание на плотность проводится только после проведения испытания на прочность. При этом разрешается проводить испытания изолированных трубопроводов из бесшовных труб при условии, что все сварные монтажные стыки и фланцевые соединения останутся неизолрованными и доступными для осмотра. Дефекты сварных соединений трубопроводов, находящихся под давлением, исправляют только после его снятия.

Оформление результатов контроля. Если выявленные

35. Пробные давления при гидро- и пневмоиспытаниях трубопроводов

Виды и параметры трубопроводов	Давление, МПа	
	на прочность	на плотность
Трубопроводы с $P_{раб}$ от 400 °С и выше независимо от $P_{раб}$	1,5 $P_{раб}$, но не менее 0,2	$P_{раб}$
Трубопроводы с $P_{раб}$ 0,095...0,5 и $P_{раб}$ до 400 °С, кроме газопроводов по ПУГ-69	1,5 $P_{раб}$, но не менее 0,2	$P_{раб}$
Трубопроводы с $P_{раб}$ от 0,5 и выше и $P_{раб}$ до 400 °С	1,25 $P_{раб}$, но не менее 0,3	$P_{раб}$
Трубопроводы пара и горячей воды, подконтрольные Госгортехнадзору СССР	1,25 $P_{раб}$	$P_{раб}$
Газопроводы по ПУГ-69 с $P_{раб}$		
0,095...0,005	—	0,2
0,0051...0,05	—	$P_{раб} \div 0,3$
0,051...0,1	—	$P_{раб}$, но не менее 0,085
Газопроводы по ПУГ-69, работающие под вакуумом с $P_{раб}$ от 0,01 до 0,95 (от 0,001 до 0,095)	0,2	0,1
Факельные линии	0,2	0,1
Самотечные для неогнеопасных жидкостей (только подземные и в каналах)	0,2	0,1

нарушения приводят к появлению брака, то проверяющие лица обязаны сделать запись в журнал производства работ, и если они имеют такие полномочия, приостановить работы, о чем ставится в известность главный инженер монтажного управления.

По результатам контроля физическими методами составляется заключение по форме, предусмотренной соответствующими нормативными документами.

Результаты механических испытаний и металлографических исследований оформляются лабораторией контроля в виде протокола и заключения соответственно.

На гидро- и пневмоиспытания составляются «Акт испытаний трубопроводов на прочность и плотность» с участием представителей монтирующей организации и предприятия-заказчика.

Глава XVI. КОНТРОЛЬ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИИ СОСУДОВ, РАБОТАЮЩИХ ПОД ДАВЛЕНИЕМ

57. Сосуды, подведомственные Госгортехнадзору СССР

Сварные сосуды, работающие под давлением, составляют особую группу конструкций. К ней относятся шаровые резервуары, газгольдеры, сосуды, цистерны, бочки, баллоны для хранения и перевозки различных газообразных продуктов.

Вопросы изготовления, монтажа и ремонта сосудов, работающих под давлением, регламентируются «Правилами устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением», утвержденными Госгортехнадзором СССР. Они охватывают сосуды, работающие под давлением свыше 0,07 МПа (без учета гидростатического давления); цистерны и бочки для перевозки сжиженных газов, давление паров которых при температуре до 50°C превышает 0,07 МПа; баллоны, предназначенные для перевозки и хранения различных газообразных веществ под давлением свыше 0,07 МПа.

Сварные швы корпусов сосудов, работающих под давлением, должны быть стыковыми. Угловыми швами допускается приваривать только плоские днища, фланцы, трубные решетки, штуцера. При различной толщине стенок в стыковых соединениях надлежит обеспечивать плавный переход от более толстого элемента к тонкому. Угол наклона поверхностей перехода не должен превышать 15°. Плавность перехода может быть обеспечена и самим сварным швом, если разница в толщине не превышает 5 мм.

Сварные швы при ручной сварке должны быть смещены на расстояние не менее 100 мм; пересекаться могут только швы, выполненные автоматической и полуавтоматической сваркой. Расстояние между краем сварного корпуса сосуда и краем шва, с помощью которого привариваются опоры, должно быть не менее толщины стенки сосуда; приварка опор на швы корпуса не допускается.

Аналогичные требования предъявляются к расположению отверстий для люков, лазов, штуцеров. В отдельных случаях допускается устройство таких отверстий на швах, но при условии двухстороннего провара

швов и укрепления отверстий. В усиливающем кольце, если оно приварено снаружи или в стенке сосуда, если кольцо приварено с внутренней стороны, должно быть сделано контрольное отверстие для проверки качества швов, которыми это кольцо приварено.

Общим и весьма важным требованием к конструкции сосуда является обеспечение возможности контроля. Сварные швы должны быть расположены в доступных для проведения контроля зонах.

Основной металл, из которого изготавливаются сосуды, и сварочные материалы должны обладать хорошей свариваемостью, прочностью, пластичностью и отвечать требованиям соответствующих СТ и ТУ. Применение новых сварочных материалов и технологии сварки разрешается после положительного заключения в отрасли головной научно-исследовательской организации по сварке. Сварку сосудов должны выполнять сварщики, прошедшие аттестацию и сдавшие экзамены в соответствии с «Правилами испытания электросварщиков и газосварщиков», утвержденными Госгортехнадзором СССР. Сварка должна производиться при температурах и в условиях, предусмотренных нормативными документами на данный сварной сосуд.

Контроль качества сварных соединений сосудов, работающих под давлением, производит организация, выполняющая их сварку. Для этого используют большинство из известных методов контроля: внешним осмотром и измерением, ультразвуковой дефектоскопией и просвечиванием рентгеновскими и гамма-лучами, выполняют механические испытания и металлографические исследования, проводят гидравлические испытания и другие виды контроля, предусмотренные технической документацией на данное изделие. Например, в случае сварки сосудов из аустенитных сталей проверяют коррозионную устойчивость и сопротивляемость межкристаллитной коррозии; при сварке сосудов из низколегированных закаливающихся хромомолибденовых сталей производят контроль стилиоскопированием, проверяют твердость, выполняют цветную дефектоскопию и др. Если предусмотрена термообработка, то контрольные операции должны выполняться после ее завершения.

Осмотр и измерения сварных соединений должны по возможности проводиться с двух сторон по всей протяженности швов. Перед осмотром поверхность сварного

шва и прилегающих к нему участков основного металла на ширине не менее 20 мм в обе стороны очищают от шлака, брызг металла и других загрязнений. При внешнем осмотре выявляют отклонения от требований ГОСТ 3242—79, нормалей и ведомственных инструкций по сварке и контролю.

Внутренние дефекты сварных соединений выявляют с помощью неразрушающих методов контроля — ультразвуковой дефектоскопии и просвечиванием ионизирующими излучениями (табл. 36).

36. Объем ультразвуковой дефектоскопии при просвечивании сварных швов сосудов

Давление, МПа	Температура стенки сосуда, °С	Объем контроля от общей длины швов, %
5	Выше +200 и ниже —70	100
5	— 70... +200	50
1,6	— 40... +200	20

Примечание. Для сосудов, предназначенных для хранения и транспортирования взрывоопасных продуктов и сильнодействующих ядовитых веществ независимо от параметров объем контроля — 100 %.

В сварных соединениях сосудов и их элементов не допускаются: а) трещины всех видов и направлений в металле шва, по линии сплавления и в околошовной зоне, включая микротрещины; б) непровары и несплавления — любые; в) поры в виде сплошной сетки; г) наплывы, натеки; д) незаваренные кратеры, свищи; е) подрезы, прожоги и подплавления основного металла; ж) смещения кромок выше установленных нормалью; з) газовые и шлаковые включения свыше установленных норм. Места сопряжений (пересечений) швов подлежат обязательному контролю и в тех случаях, когда объем контроля составляет менее 100 %. Для проверки соответствия свойств сварных соединений сосудов требованиям Правил Госгортехнадзора СССР и ТУ на их изготовление проводят механические испытания и металлографические исследования образцов, изготовленных из контрольных сварных соединений. Образцы испытывают на статическое растяжение, на статический изгиб при сплющивании и на ударную вязкость. Однако все перечисленные виды испытаний проводят не всегда. Так, испытания на ударную вязкость производят при сварке сосудов и их элементов при толщине стенки 12 мм и более,

если сосуды предназначены для работы под давлением 5 МПа при рабочей температуре стенки выше 450 °С и ниже минусовой температуры, указанной в Правилах Госгортехнадзора СССР. Это относится и к металлографическим исследованиям, которые должны проводиться для стыковых, тавровых и угловых сварных соединений, если рабочая температура стенки превышает 450 °С, а также независимо от ее значения при давлении свыше 5 МПа.

В тех случаях, когда проводят полный комплекс механических испытаний, из каждого контрольного стыкового сварного соединения должны быть вырезаны два образца для испытаний на растяжение, два — на статический изгиб или сплющивание, три — на ударную вязкость и один образец для металлографических исследований. Значение временного сопротивления разрыву и показатели испытаний на статический изгиб должны быть не менее допускаемых ГОСТом.

58. Шаровые резервуары

Шаровые резервуары являются наиболее рациональными конструкциями для хранения под давлением продуктов нефтехимической переработки: различных газообразных веществ (рис. 109). Основным конструктивным элементом резервуаров являются шаровые оболочки. В СССР эти оболочки изготовляют из стали 09Г2С (М) толщиной 16...36 мм вместимостью 600 и 2000 м³ и рассчитанные на давление 0,25...1,8 МПа. Оболочки шаровых резервуаров собирают из заготовок, имеющих двоякую кривизну и изготовляемых методом холодной вальцовки или горячей штамповки. За рубежом для получения заготовок с двоякой кривизной применяют горячую и холодную штамповку.

Контроль исходных основных материалов начинается на заводе. Поскольку размеры заготовок шаровых оболочек могут быть большие, чем длина листового проката, то для получения необходимой длины листы сваривают. Здесь же производят весь объем испытаний как основного металла, так и сварочного, проверяют квалификацию сварщиков и следят за соблюдением технологии сварки.

Шаровые резервуары являются очень ответственными конструкциями, поэтому листы, идущие на заготовки оболочек, тщательно контролируют на отсутствие рассло-

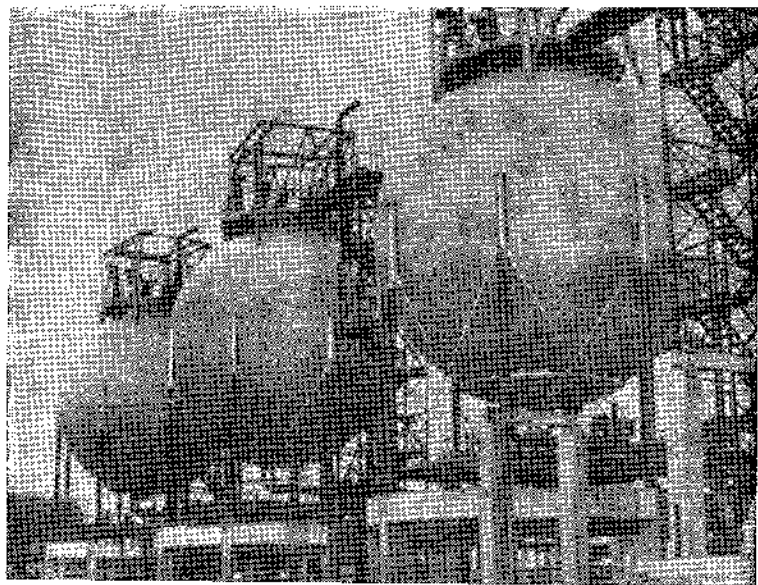


Рис. 169. Парк шаровых резервуаров вместимостью 600 м³

сний визуально по кромкам и с помощью ультразвуковой дефектоскопии.

Большое значение для надежной работы шаровой оболочки имеет правильность геометрической формы и высокое качество сварных соединений. Обеспечить правильную форму можно только в том случае, если при изготовлении заготовок на заводе будет обеспечена проектная двоякая кривизна с отклонениями, не выходящими за пределы допусков. Необходимо также получить требуемые геометрические размеры заготовок, чтобы при сборке на монтажной площадке была достигнута правильная шаровая форма и величина зазоров в стыках позволяла качественно выполнять сварку.

Правильность геометрической формы проверяется шаблоном длиной 1000 мм не только на заводе, но и на монтаже в районе сварных стыков (рис. 110). Отклонения от проектной кривизны не должны превышать следующих значений:

совместный пологий увод кромок в зоне сварных стыков на длине 500 мм, измеренный шаблоном длиной

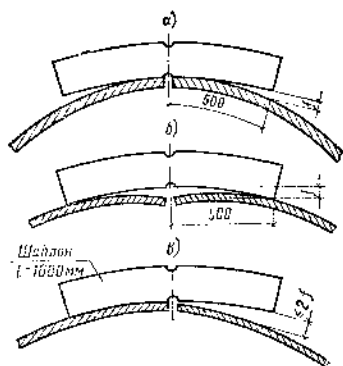


Рис. 110. Схема проверки геометрической формы шаровой оболочки шаблоном (а—в)

1000 мм, не должен превышать ± 10 и ± 8 мм соответственно при толщине стенки до 28 мм и более;

местные деформации в виде вмятин, выступов для любых толщин стенки оболочки не должны превышать ± 5 мм при измерении шаблоном длиной 100 мм.

Отклонение от проектного значения диаметра готовой шаровой оболочки не должно превышать ± 22 мм, а овальность ± 40 мм.

Заготовки шаровых резервуаров, поступившие на монтажную площадку, дол-

жны проходить входной контроль, осуществляемый монтажной организацией.

При монтаже шаровых резервуаров широко применяется автоматическая сварка шаровых оболочек под флюсом, разработанная в ИЭС им. Е. О. Патона. При этом оболочка, собранная на подварном шве, вращается на специальном манипуляторе, а сварочный автомат — сварочный трактор ТС-17М, находясь в верхней (или нижней внутри) части шаровой оболочки, перемещается по ней со сварочной скоростью и производит сварку под флюсом. Для обеспечения качества сварных швов в этом случае необходимо проверять правильность сборки под сварку, пригодность флюса (он должен быть сухой), чистоту кромок и сварочной проволоки. При многослойной сварке необходима тщательная зачистка поверхности шва от шлака после каждого прохода. На уменьшение вероятности возникновения пор положительно влияет предварительной и сопутствующий подогрев кромок до 100...150 °С даже при положительной температуре воздуха. В том случае, если между сборкой и окончанием сварки подварного шва и началом автоматической сварки оболочки прошло много времени, разделка стыка должна быть обязательно очищена с помощью шлифовальных машин от ржавчины и загрязнений и продута сжатым воздухом. Особенно важно осуществить очистку от загрязнений при сварке внутри резервуа-

ра, поскольку в нижней части шаровой оболочки всегда скапливается много грязи, которая попадает в разделку и вызывает дефекты в сварном шве.

Повышению производительности, уменьшению дефектов в сварном шве, снижению уровня сварочных деформаций и остаточных напряжений, а значит и улучшению геометрической формы шаровой оболочки способствует применение при автоматической сварке под флюсом дополнительного порошкообразного присадочного металла (ППМ). Однако и при этом способе сварки могут появляться присущие ему дефекты в виде несплавлений по кромке. Они связаны с тем, что применение ППМ позволяет максимально использовать тепло перегрева сварочной ванны для целей плавления присадочного металла. Вследствие этого уменьшается количество расплавленного основного металла и увеличивается вероятность появления несплавлений при отклонениях от технологии сварки. Понятно, что высокое качество сварных соединений может быть обеспечено только при надлежащем контроле за соблюдением режимов сварки.

За последние годы НИИ провели большую работу по изысканию и разработке способов сварки, которые позволили бы осуществлять сварку шаровой оболочки без ее вращения. Необходимость решения этой проблемы объясняется тем, что с увеличением объемов резервуаров возрастают расходы и технические трудности, связанные с созданием манипуляторов, а сварка одним автоматом при вращении громадной конструкции становится недостаточно производительной и экономичной.

Сейчас внедрен способ сварки шаровых оболочек без их вращения, осуществляемый порошковой проволокой с принудительным формированием сварного шва. Специфическими дефектами при этом способе сварки являются несплавление по кромке и появление каналообразных пор, вытянутых по направлению вдоль шва. Появление несплавлений связано, как и при сварке с ППМ, относительно меньшим проплавлением основного металла. Каналообразные поры могут возникать при увеличении скорости сварки, когда газы не успевают выйти на поверхность и образуют дефекты. В связи с этим при сварке с принудительным формированием необходимо, чтобы осуществлялся строгий контроль режимов.

Шаровые резервуары находятся в ведомстве Госгортехнадзора СССР. В связи с этим к сварке шаровых

оболочек допускаются сварщики, аттестованные в соответствии с «Правилами аттестации сварщиков», утвержденными Госгортехнадзором СССР 22.06.71 г. Независимо от наличия удостоверения на право выполнения ответственных сварочных работ все сварщики должны заварить контрольные образцы из стали сварочными материалами и в положениях, тождественных аналогичным в реальной конструкции.

Сварные швы шаровых резервуаров должны отвечать требованиям ОСТ 26-291-71 и подвергаться контролю физическими методами без разрушения в следующих объемах:

внешнему осмотру, обмерам швов и замерам правильности геометрической формы — 100 %;

ультразвуковой дефектоскопии — 100 %;

просвечиванию проникающими излучениями — все участки швов, которые по результатам ультразвукового контроля имеют признаки наличия дефектов; 15 % протяженности всех швов, включая все места их пересечений.

При просвечивании сварных соединений шаровых резервуаров применяют панорамный способ, когда источник излучения выводится дистанционно из рабочего контейнера в радиационную головку, устанавливаемую в центре шаровой оболочки. В качестве радиоактивного источника используют радионуклиды: ^{137}Cs или ^{192}Ir .

Хорошие результаты дает применение рентгеновских аппаратов РАП-150, устанавливаемых в центре шаровой оболочки и используемых также при панорамном просвечивании. В обоих случаях кассеты с пленками закрепляются на поверхности оболочки резервуара с помощью магнитных держателей МД-1.

Испытания шаровых резервуаров на прочность и плотность производятся гидравлическим методом. Значение пробного давления составляет $1,25 P_{\text{раб}}$. Под пробным давлением шаровая оболочка выдерживается 5 мин, затем давление снижается до рабочего и производится тщательный осмотр всех сварных соединений резервуара.

Минимальные значения ударной вязкости при положительной температуре испытаний ($+20^\circ\text{C}$) для всех сталей, кроме аустенитных, должны быть не менее $0,5 \text{ МДж/м}^2$, а для всех сталей аустенитного класса — не менее $0,8 \text{ МДж/м}^2$; при температуре испытаний ниже

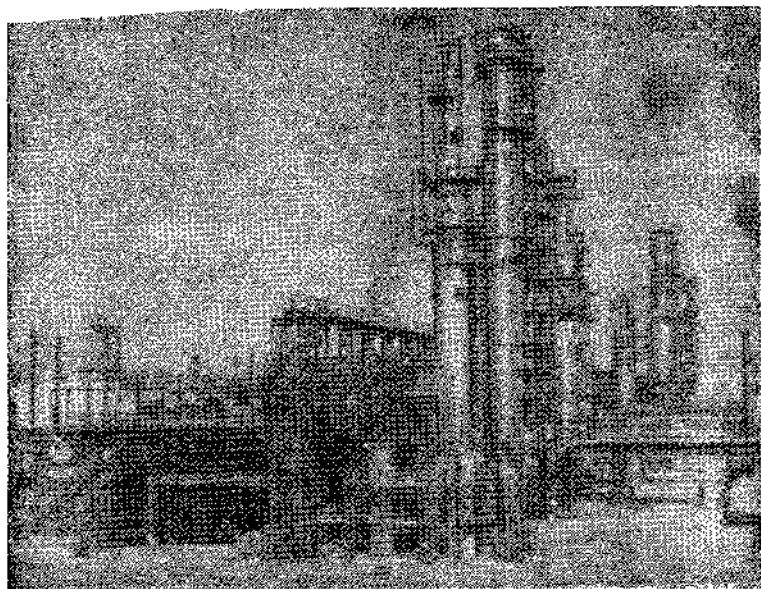


Рис. 111. Технологические вертикальные аппараты колонного типа.

0 °С — соответственно не ниже 0,2 и 0,3 МДж/м². Кроме указанных видов испытаний проектом и ТУ на конкретный вид продукции могут быть предусмотрены дополнительные испытания, например измерение твердости, цветная дефектоскопия и др.

Все сосуда подвергаются окончательным испытаниям гидравлическим методом на давление в 1,25...1,5 раза больше рабочего.

59. Технологические аппараты колонного и башенного типа

Основные технологические процессы переработки газов, нефти и других жидкостей на нефтеперерабатывающих и химических производствах происходят в вертикальных аппаратах колонного и башенного типов (рис. 111). Эти аппараты являются сварными конструкциями, работающими под вакуумом или под избыточным давлением до 10 МПа. Они изготавливаются из углеродистой,

легированной и двухслойной стали, чугуна, цветных металлов и их сплавов.

К технологическим аппаратам относятся реакторы и регенераторы установок крекинга и гидроочистки, работающие под давлением ректификационные колонны, вакуумные и атмосферные колонны установок первичной переработки нефти, испарители, газогенераторы, абсорберы, адсорберы и десорберы, колонны стабилизационные, экстракционные, промывные, башни очистные и т. д.

В зависимости от габаритов вертикальные технологические аппараты поставляются в трех вариантах: целиком, по частям с установленными внутренними устройствами (аппараты габаритные по диаметру и негабаритные по длине) и укрупненными блоками и отдельными частями без внутренних устройств (негабаритные по диаметру).

На аппараты, поступающие полностью с внутренними устройствами, до подъема в проектное положение устанавливают лестницы, обслуживающие площадки, обвязочные технологические трубопроводы, арматуру, и производят гидравлические испытания. После этого производят изоляцию и установку на фундаменты.

Аппараты, негабаритные по длине и поступающие на монтажную площадку из двух-трех или более частей, собирают в блоки и сваривают, после чего производят обвязку, испытание и изоляцию. Если аппараты поступили отдельными заготовками из-за негабаритности по диаметру, то на монтажной площадке представители заводов-изготовителей (или привлеченные ими организации) производят окончательную досборку и сварку, а также обвязку, испытания, изоляцию и подъем в проектное положение.

Для исключения деформаций укрупнительную сборку аппаратов производят на специальных стеллажах, стендах и вращателях (если последующая сварка выполняется автоматическими методами). На стадии сборки контролируют тщательность подгонки стыков и соосность отдельных частей (блоков). Перед сваркой проверяют величину зазоров и угла скоса кромок, смещение кромок, допуски на которые в зависимости от материала аппарата составляют следующие значения в % от толщины его стенки δ , мм:

Сталь углеродистая и легированная ($\delta = 22$)	25
Легированная сталь аустенитного класса для всех толщин	25, но не более 3 мм
Двухслойная сталь для всех толщин	10, но не более 3 мм

Кроме того, производят проверку овальности корпуса аппарата. Под овальностью принято понимать разность между наибольшим и наименьшим номинальными диаметрами в любом поперечном сечении корпуса. Овальность аппаратов, работающих под вакуумом или атмосферным давлением, не должна превышать 0,5 % номинального диаметра, а для всех других аппаратов — не более 1 %, но в обоих случаях не более 20 мм.

Сборка стыков под сварку осуществляется с помощью сборочных приспособлений и прихваток, которые должны выполняться квалифицированными сварщиками, аттестованными в соответствии с Правилами Госгортехнадзора СССР.

Контрольные операции непосредственно перед сваркой должны заключаться в проверке поверхности свариваемых кромок и прилегающих к стыку зон шириной 20...30 мм, которые должны быть тщательно зачищены до металлического блеска; сварочные материалы должны пройти соответствующую сушку (прокалку). После этого стык сдается под сварку и составляется соответствующий акт. Технология сварки разрабатывается монтажной организацией, но она должна быть согласована с заводом-изготовителем или ведущим институтом в области сварочных работ в соответствующей отрасли. При многослойной сварке внешнему осмотру подвергается поверхность шва каждого прохода. При обнаружении дефектов, выходящих на поверхность, они должны быть исправлены до наложения следующего шва. Поскольку сварка выполняется на монтажной площадке, то избежать появления дефектов можно созданием надежного укрытия свариваемого стыка от атмосферных осадков и грязи. При отрицательных температурах (табл. 37) следует предусмотреть постановку минимального числа прихваток, заменяя их по возможности сборочными приспособлениями. Кроме того, сварку многослойных швов следует завершать без перерывов в работе.

После завершения сварки сварщик должен выбить свое клеймо: на продольных швах — в начале, в конце и посередине, на кольцевых швах — через каждые 2 м, но

37. Условия сварки аппаратов при отрицательных температурах

Сталь	Толщина металла, мм	
	до 16	св. 16
	Температура окружающего воздуха, не ниже, °С	
Углеродистая с содержанием углерода до 0,2 %	—20, без подогрева	—20, с подогревом до 200 °С
Углеродистая с содержанием углерода 0,21...0,28 %, низколегированная — 16ГС, 09Г2С, 10Г2С1, 10Г2 и др.	—10, без подогрева	—10, с подогревом до 100...200 °С
Хромистая и хромоникелевая 12ХМ, 15МХ, 12ХМФ, 0Х13 и др.	—10, с подогревом до 200 °С	—10, с подогревом до 200 °С
Хромоникелевая аустенитного класса — Х18Н9Т, Х17Н13М2Т, 0Х18Н12Б и др.	—10, без подогрева	—10, без подогрева

не менее, чем в трех местах на каждом шве; проверить прямолинейность корпуса аппарата и его размеры по длине. Кривизна корпуса на 1 м длины не должна превышать 2 мм, а на всей длине — 20 и 30 мм при длине аппарата соответственно 10...20 м и более.

Все монтажные сварные швы подлежат контролю внешним осмотром и физическими методами без разрушения.

Объемы контроля просвечиванием проникающими излучениями назначают в процентах от общей длины заваренных монтажных швов в зависимости от рабочих параметров аппарата (табл. 38).

Оценка качества сварных швов производится в соответствии с «Правилами устройства и безопасной эксплу-

38. Объемы контроля просвечиванием

Рабочие параметры аппарата		Длина просвечивания от общей длины стыковых швов, %
Допускаемое давление (избыточное), МПа	температура стенки, °С	
$\leq 0,07$	— 40 . . . +600	10
$\leq 1,6$	— 40 . . . — 200	10
$\leq 5,0$	+200 . . . +600	15
$> 5,0$	Свыше +400	25

атации сосудов, работающих под давлением», утвержденными Госгортехнадзором СССР, а также на основании ТУ на изготовление и ведомственных инструкций по контролю сварных соединений.

После контроля сварных швов проводят испытания на прочность и плотность. Методы испытаний и пробные давления назначаются в зависимости от рабочих параметров аппаратов. Аппараты, работающие при атмосферном давлении, испытываются наполнением водой, а в оговоренных проектом случаях — керосином. Время выдержки при испытании керосином нижних швов в зависимости от их толщины до 4, 4...10, свыше 10 мм следует принимать соответственно 20, 25, 30 мин, для горизонтальных и вертикальных швов — на 10 мин больше.

Плотность сварных швов может быть также проверена вакуумированием. Аппараты, работающие под вакуумом, подвергаются гидравлическому испытанию давлением 0,2 МПа или испытанию на вакуум с остаточным давлением, указанным в проекте. Аппараты, работающие под давлением до 0,07 МПа, испытываются гидравлическим давлением, значение которого должно быть указано в чертежах, а при $P_{\text{раб}} > 0,07...0,5$ МПа испытательное давление принимается $1,5 P_{\text{раб}}$, но не менее 0,2 МПа и $1,25 P_{\text{раб}}$, но не менее $(P_{\text{раб}} + 0,3)$ соответственно.

Если рабочая температура стенки аппарата превышает $+400^{\circ}\text{C}$, то испытательное давление должно составлять не менее, чем $1,5 P_{\text{р}}$.

Если аппарат собирается в вертикальном положении из блоков, которые до этого покрывают теплоизоляцией, то сварные швы необходимо проверить на плотность керосином или вакуумированием до изоляции. Окончательные испытания аппаратов производят после сварки монтажных швов в проектом положении. Эта технология монтажа и испытаний должна быть согласована с органами Госгортехнадзора СССР.

В некоторых случаях проведение гидравлических испытаний затруднено или невозможно. Например, когда удаление воды из аппарата после испытаний связано с большими трудностями или стенка аппарата не рассчитана на заполнение его водой. Тогда прибегают к пневматическим испытаниям воздухом или инертным газом, причем пробные давления остаются такими же. Для проведения пневматических испытаний следует провести 100 %-ный контроль монтажных сварных швов просве-

чиванием проникающими излучениями и выполнить тщательный внешний осмотр.

При пневмоиспытаниях запрещается обстукивать сварные швы молотком, а осмотр покрытых пенообразующим веществом швов проводят при рабочем давлении.

При гидро- и пневмоиспытаниях аппарат выдерживают при давлении в течение 5 мин, а затем его плавно снижают до рабочего и осуществляют осмотр. Аппарат считают выдержавшим испытания, если не обнаружено падения по манометру, течи, появления капель, запотевания на поверхности шва и вблизи него, а также если после испытания не возникло остаточной деформации.

Аппараты, поступающие с завода-изготовителя полностью собранными, подвергают испытаниям на месте монтажа, если аппарат перед монтажом хранился на складе в законсервированном виде более трех лет или, будучи установленным перед пуском в работу, бездействовал более одного года. Испытания элементов, работающих под давлением, проводят и в том случае, когда по каким-либо причинам они не были выполнены на заводе-изготовителе.

Раздел пятый

ОРГАНИЗАЦИЯ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА СВАРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ. ОСНОВЫ УПРАВЛЕНИЯ

Глава XVII. ОСНОВЫ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ СВАРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

60. Конструктивно-технологические факторы

Задачный уровень качества сварки, обоснованный конструктивно, технологически и экономически, формируется на всех этапах монтажно-сварочного производства и является результатом квалифицированной и добросовестной работы всех подразделений монтажной организации.

Информацию об уровне качества сварных соединений конструкций получают на основе производственного кон-

троля, имеющего две функции — *приемочную* и *предупредительную*.

До последних лет в системе Милмонтажспецстроя СССР преобладал пассивный приемочный контроль, который не мог обеспечить необходимое влияние на повышение качества. Получившая в 60-е гг. развитие система бездефектного труда, в которой основное внимание уделялось предупредительному контролю, оказала положительное влияние на изучение этого вопроса применительно к сварке конструкций. В результате работы производственных организаций и НИИ были разработаны рекомендации по комплексному управлению качеством, в том числе и качеством сварки.

Управлять качеством сварочной продукции — это значит эффективно и своевременно (оперативно) влиять на факторы, от которых зависит качество сварного соединения.

Система управления качеством сварки конструкций представляет собой совокупность конструктивно-технологических факторов и организационно-технических мероприятий по контролю и воздействию на эти факторы.

Основа эффективности системы — регулярность действия и наличие обратных связей, в качестве которых выступают обработка информации о состоянии факторов, влияющих на качество и воздействие на отклонения от требований нормативов, которые могут стать причиной появления дефектов.

Факторы, влияющие на качество сварки, относят к конструктивно-технологическим, поскольку они охватывают как элементы самой сварной конструкции (основной металл, особенности конструкции и пр.), так и элементы технологии (подготовка производства, сварочные материалы, процесс сварки и др.).

Успех действия системы управления качеством зависит от работы всех отделов монтажных подразделений по надзору за процессом формирования качества на всех стадиях производства.

Наиболее эффективным управление качеством сварки становится при использовании статистических методов, когда оценки качества технологического процесса сварки и получаемых соединений, обоснование оптимальных уровней дефектности, объемов и чувствительности контроля производится на основе математико-статистических методов обработки информации. Внедрение этих методов

в монтажных организациях в каждом конкретном случае должно увязываться с характером и структурой выполняемых работ.

К конструктивно-технологическим факторам системы управления качеством сварки относятся: техническая документация, исходные материалы (основные и сварочные), сварочное оборудование, сборочная оснастка и инструмент, рабочее место (условия работы), квалификация сборщиков и сварщиков, сборка, процесс сварки, послесварочные операции, контроль качества сварных соединений.

Процесс монтажно-сварочного производства начинается с получения и изучения проекта. На этом первом этапе производственного процесса начинает формироваться качество всей сварной конструкции в целом.

Рассмотрением поступившего в монтажное управление проекта обычно занимаются на участке подготовки производства (УПП): здесь изучают проектную документацию и делают выборку необходимых для строительства объекта материалов. Одновременно выявляются технические особенности и методы сварки, которыми будут осуществляться работы, устанавливаются объемы и методы контроля качества сварных соединений. На основе такой обработки документации производится заключение договоров на поставку требуемых материалов (основных и сварочных), решается вопрос о возможности выполнения сварочных работ с помощью оборудования и сварщиков, имеющихся в монтажном управлении. Изучение технической документации является также основой для своевременного размещения заказа на разработку проекта производства работ (ППР), неотъемлемой частью которого должен быть проект производства сварочных работ (ППСР). Успешное выполнение работ и качество сварки будут зависеть от полноты технического задания на ППР (ППСР), разрабатываемого на данном этапе технологического процесса производства сварных конструкций.

Поступающие на склад основные материалы должны быть проверены, и качество их сохранено вплоть до использования их в производстве путем правильного хранения и транспортировки на монтажную площадку. Изучение технической документации и ППР являются основой для технической подготовки сварочного оборудования, инструмента и технологической сборочной оснастки,

исправность и эффективность работы которых также влияют на обеспечение качества сварного соединения.

При подготовке рабочего места: устройству надежных лесов и подмостей, укрытий от атмосферных осадков, строительству тепляков для работы в зимних условиях и пр. следует уделять особое внимание. Рабочее место должно быть обеспечено всем необходимым инструментом.

Квалификация слесарей-сборщиков и правильность сборки также влияют на качество сварного соединения, потому что стык, собранный с большими зазорами, смещением, неправильной разделкой кромок, создает предпосылки для образования дефектов даже при сварке самыми опытными сварщиками.

Влияние различных факторов, так же как и следующего — контроля и испытания сварных соединений, особенно проявляется в предпусковые периоды, когда напряженная ситуация на объекте создает условия использования сварщиков несоответствующей квалификации, сварки плохо подогнанных стыков, применения не предусмотренных проектом марок электродов, несвоевременного проведения контроля и т. п.

Совершенствование применяемых методов контроля оказывает положительное влияние на получение качественных сварных соединений. При этом немаловажную роль играет материальное и моральное стимулирование исполнителей. Различные формы оплаты труда обязательно должны быть увязаны не только со сроками и результатами, но и с качеством выполненной работы.

Качество выполненных работ, безусловно, зависит от планомерности их выполнения, отказа от штурмовщины и организации по месячным планам-наборам работ, согласованным со всеми обеспечивающими службами и строительными организациями, подготавливающими фронт работ для монтажа.

61. Организационно-технические мероприятия

Управление качеством сводится к управлению влияющими на него факторами, т. е. к своевременному воздействию на те производственные операции, где выявляются отступления от требований ТУ, нарушения норм и правил. В связи с этим отдел каждой монтажной организации в системе управления качеством сварки должен решать две задачи: выполнение производственных функ-

ций, включая самоконтроль качества их исполнения, а также осуществление контрольных функций по работе других подразделений (отделов, монтажных участков), относящейся к работе данного отдела, связанной с формированием качества. На практике это реализуется путем осуществления комплекса организационно-технических мероприятий, образующих постоянно действующие обратные связи, благодаря чему создаются условия, при которых вероятность возникновения дефектов сводится к минимуму.

Контроль качества *технической документации*, проверку ее полноты, связь с проектными и научно-исследовательскими организациями по ликвидации выявленных недостатков и внесению необходимых исправлений выполняет УПП. Его работу можно проверять по «Журналу регистрации поступающей техдокументации», «Журналу замечаний к технической документации», протоколам тсхсовета управления и другим документам.

Контроль поступающих на центральный склад управления *основных материалов* (металлопроката, труб, арматуры, отводов, фланцев, крепежа и др.) осуществляют представители УПП и ПТО, разрабатывавшие заявки и участвовавшие в оформлении договоров на их поставку. По результатам приемочного контроля на складе управления всдется журнал. Применение материалов допускается только в соответствии с результатами приемочного контроля. Это же относится и к сварочным материалам, приемочный контроль которых осуществляет контрольно-сварочная лаборатория (КСЛ) управления. Например, проверкой электродов УОНИ 13/45 диаметром 4 мм партии 329 установлено, что при сварке образуется односторонний козырек, в результате чего происходит интенсивное образование пор. Обмер показывает, что обмазка электродов наложена эксцентрично. По результатам контроля следует составить рекламационные материалы, а забракованную партию отправить на завод для замены. Если принято решение оставить электроды в управлении, то КСЛ делает заключение о возможности использовать данную партию электродов только для неответственных конструкций. УПП и КСЛ должны осуществлять также периодический контроль за соблюдением правил хранения и транспортировки материалов, чтобы на этих этапах производства их качество не ухудшилось.

Контроль за исправным состоянием *сварочного оборудования* осуществляет сварочная служба управления. Источники питания сварочного тока проходят ревизию и мелкий ремонт в службе главного механика. Капитальный ремонт производится централизованно. Сварочные автоматы и полуавтоматы готовятся к выполнению конкретных работ службой главного сварщика, которая должна иметь для этой цели специализированную мастерскую. Работа на неотлаженном и неисправном сварочном оборудовании не допускается, так как это может привести к образованию дефектов.

Качество сборки под сварку зависит от исправности *оснастки и инструмента*, контроль которых осуществляется службами главного механика. Большую роль в этом вопросе играет работа центральной инструментальной, которая производит выдачу и приемку инструмента, а также его ремонт. Надзор за применением исправного инструмента на монтажной площадке выполняется представителями УПП, ПТО, инженером по технике безопасности.

Условия работы, которые должны быть созданы для достижения хорошего качества сварки и безопасного выполнения работ, оговариваются ППР и ППСР и контролируются представителями УПП, ПТО и сварочной службы при регулярных проверках монтажных участков. Особое внимание должно уделяться созданию необходимых условий для сварки при низких температурах и при плохих погодных условиях.

Подбор и расстановку слесарей-сборщиков и сварщиков по их *квалификации* в зависимости от сложности работ производят инженеры монтажных участков или решает руководство управления. Контроль за правильным использованием сварщиков осуществляет КСЛ, которая регулярно переаттестовывает сварщиков, испытывает контрольные образцы, производит проверку качества швов физическими методами без разрушения.

Контроль *сборки* под сварку осуществляют инженеры монтажного участка; периодическую проверку проводят представители КСЛ, УПП, ПТО. Лучшие условия по контролю за сборкой создаются в случае работы сварочных участков: стыки под сварку в этом случае принимает мастер или прораб сварочного участка.

Процесс *сварки* контролируется прежде всего непосредственным исполнителем — сварщиком и мастером

(прорабом), которому он подчиняется. Периодическая проверка правильности применяемых режимов и сварочных материалов производится КСЛ и главным сварщиком управления.

Контроль качества сварных соединений производится КСЛ управления по заявкам монтажных участков. Успех работы зависит от своевременности выполнения контроля как физическими методами без разрушения, так и проведением механических испытаний. Работа лаборатории контролируется руководством управления, а в техническом плане — центральной сварочной лабораторией треста. Результаты контроля физическими методами дают возможность установить характер наиболее часто встречающихся дефектов, выявить и исключить причины их появления. Поэтому обратная связь от контроля к сварочному процессу наиболее эффективна, если контроль во времени не отстает от проведения сварочных работ. При установившемся уровне технологии имеется возможность осуществлять обработку информации о браке статистическими методами (гл. X), что повышает эффективность контроля и улучшает качество сварки.

Материальное и моральное стимулирование существенное влияние оказывает на повышение качества сварочных работ. Качество работ должно учитываться при подписании нарядов. Контроль за этим проводится отделом труда и заработной платы и КСЛ, которые не должны визировать наряды, если не учтено качество выполненных работ.

Действительность системы управления качеством определяется эффективностью контроля работы монтажных подразделений и оперативностью действия обратных связей. Обследование монтажных участков и цехов вспомогательных производств производится регулярно по графику, утвержденному главным инженером управления, представителями КСЛ, УПП и ПТО. В проверке обязательно участвует прораб или мастер и представитель цехкома проверяемого участка. В зависимости от структуры работ проверяемого участка при обследовании руководствуются тем или иным перечнем требований, составленным на основе нормативных документов. Например, при проверке участка, ведущего работы по монтажу технологических трубопроводов, проверяются: качество подготовки труб под сварку (правильность об-

работки и зачистки кромок, равномерность зазора, правильность выполнения прихваток); соответствие материалов и деталей трубопроводов проекту; качество и соответствие сварочных материалов; устройство подмоостей, лесов; наличие технической документации (актов на приемку фундаментов и опор, на скрытые работы, на гидро-и пневмониспытания; сварочных журналов на трубопроводы I и II категорий; исполнительных схем на I категорию; журналов монтажных работ и т. д.).

Протокол проверки, составляемый по ее результатам, подписывается мастером (прорабом) и всеми проверяющими и сдается в центральную комиссию по качеству. Срочные меры принимаются на еженедельных оперативных совещаниях главным инженером управления. Кроме этого, ежемесячно проводится обсуждение и анализ состояния качества работ на специальных совещаниях по качеству. Подробный ежеквартальный анализ с принятием необходимых организационно-технических мер оформляется приказом по управлению, копия которого направляется в трест.

Таким образом, система управления качеством имеет две стороны: техническую и воспитательную. Постоянный контроль всех этапов производства, анализ и принятие мер в рабочем порядке, на оперативных совещаниях, при ежемесячных и ежеквартальных анализах образует как бы обратные связи результатов контроля с техникой, технологией, исполнителями оказывает воспитательное воздействие на непосредственных исполнителей.

62. Статистические методы

Качество сварных соединений оценивают по результатам разрушающего и неразрушающего контроля. Каждый вид контроля позволяет установить снижение показателей надежности сварного соединения, так называемую потерю качества. Предложена схема-модель формирования качества (надежности) сварных соединений, согласно которой потеря качества происходит на двух ступенях: при изменении свойств материала за счет сварки — технологическая потеря и при эксплуатации из-за влияния сварочных дефектов — производственная потеря. На практике обычно преобладает одна из ступеней. Технологическая потеря может быть оценена

по результатам разрушающих испытаний, а производственная — по результатам неразрушающего контроля с учетом анализа влияния дефектов. Достоверность оценок и экономичность контроля, а также эффективность его воздействия на обеспечение качества сварки, могут быть повышены путем применения методов математической статистики.

Применение статистических методов базируется на том, что факт появления дефектов сварного соединения, вызванных случайными факторами, может рассматриваться как случайное событие. При устойчивой технологии поток случайных дефектов может быть описан статистическими распределениями. Это даст возможность на основании обработки результатов систематического и оперативного контроля обеспечить регулирование технологического процесса, осуществить выборочный контроль, обосновать оптимальные уровни дефектности, объемов и чувствительности контроля.

Статистическое регулирование производят следующим образом. Результаты неразрушающего контроля, характеризующие ход технологического процесса, обрабатывают с помощью методов математической статистики. Полученные данные наносят на контрольные карты, на которых отмечены максимальные и минимальные приемлемые величины характеристик качества, например, процент брака. Эти величины называют соответственно верхней и нижней границами регулирования — ВГР и НГР. Появление результатов, величина которых выходит за пределы ВГР или НГР, служит сигналом для корректировки (регулирования) технологии, поскольку в большинстве случаев характер, форму и расположение выявляемых с помощью неразрушающих методов контроля дефектов можно связать с определенными отклонениями в качестве исходных материалов или с нарушениями технологических режимов сварки (рис. 112).

Выборочный контроль проводится по определенному плану, который предусматривает объем контроля и содержит данные о контрольных нормативах и правилах принятия решения. В сварочном производстве число свариваемых соединений в партии обычно составляет менее 100.

При *одноступенчатом контроле* все изделия разбивают на две группы: годные и негодные (дефектные). Планом предусматривается два уровня качества — присмоч-

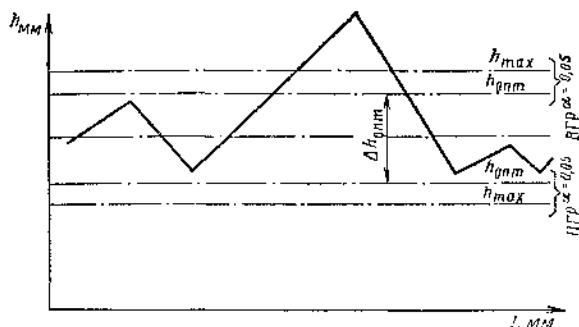


Рис. 112. Контрольная карта для статистического регулирования качества электронно-лучевой сварки с несвязным проплавлением (по В. Н. Волченко)

h — глубина провара; L — длина сварного шва; ВГР и НГР — верхняя и нижняя границы сварного шва

ный и браковочный. По результатам контроля определенного количества продукции, выбранной из контролируемой партии случайным образом, принимают решение либо о приемке всей партии, либо о ее браковке.

При *последовательном контроле* объем контролируемых изделий заранее не назначается. Он зависит от уровня качества изделий всей партии. По результатам контроля начальной выборки принимают решение о приеме всей партии, о ее браковке или о продолжении контроля. Особенностью такого вида контроля является то, что для партий изделий с высоким уровнем качества обеспечивается минимальный объем контроля, а для партий с низким уровнем качества — получение наиболее достоверных данных о дефектных изделиях в контролируемой партии.

Контроль по рассмотренным планам выполняется по альтернативному признаку. Чтобы получить приемный уровень достоверности контроля, объем выборки (число изделий, взятых из партии для контроля) должен быть относительно большим. Это снижает экономичность и оперативность контроля.

Более эффективен *контроль по количественным признакам*, позволяющий значительно уменьшить объем выборки при одинаковой достоверности контроля. Для осуществления контроля по количественным признакам

разработаны специальные карты учета и статические показатели дефектности.

При выборочном контроле всегда существует определенная вероятность того, что среди непроконтролированных единиц продукции могут встретиться детали с наличием дефектов. Поэтому такой вид контроля может применяться для сварных узлов, эксплуатация которых с определенной долей пропущенных дефектов может считаться допустимой, а также для узлов, входящих в системы, подвергаемые последующим общим испытаниям, например, гидравлическим, пневматическим и др.

Глава XVIII. ОРГАНИЗАЦИЯ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА СВАРКИ КОНСТРУКЦИИ

63. Структура службы контроля

Основным подразделением службы контроля сварки конструкций являются специализированные лаборатории. В системе Минмонтажспецстроя СССР насчитывается около 350 таких лабораторий, имеющих в своем составе более 1,5 тыс. дефектоскопистов. Решение проблемы обеспечения качества сварки в значительной степени зависит от рациональной организации работы.

В зависимости от типа производства, объема и характера выполняемых работ существуют три вида контрольных подразделений.

В монтажно-сварочных трестах контроль сварки осуществляют контрольно-сварочные лаборатории (КСЛ) трестов или монтажных управлений.

КСЛ трестов осуществляют контроль сварки во всех монтажных управлениях своими сотрудниками в случае треста-площадки, когда управления расположены относительно близко. В противном случае КСЛ треста имеет подчиненные ей филиалы в монтажных управлениях.

КСЛ монтажных управлений обычно состоит из начальника (старшего инженера), инженера, трех—шести дефектоскопистов, лаборанта по механическим испытаниям, одного-двух шоферов спецавтомашин-лабораторий. Лаборатории подчиняются непосредственно руководству управления, что имеет и преимущества, и недостатки: повышается оперативность контроля, но не исключена возможность некоторой тенденциозности при оценке качества работ.

Положительный опыт организации *службы контроля* имеется в системе Мипмонтажспецстроя БССР, где все монтажные организации обслуживает центральная лаборатория треста «Белпромвладка». До ее создания контрольные работы выполняли 25 мелких лабораторий, проверявших только сварные соединения газопроводов. В составе центральной лаборатории кроме служб непосредственного контроля сварных соединений физическими методами имеется и ряд других: служба радиационной безопасности и дозиметрии; группа подготовки производства, ремонта оборудования и экспериментальных работ; служба обеспечения спецавтотранспортом; группа статистического анализа качества сварочных работ. Наличие в составе лаборатории последней группы статистического анализа дает возможности от существующего пассивного контроля с альтернативной оценкой по принципу «годен» — «не годен» перейти к активному контролю с количественной оценкой, полным анализом результатов и выявлением причин брака для предупреждения его появления.

64. Работа контрольно-сварочной лаборатории

КСЛ создается в составе строительно-монтажной организации на основе действующего законодательства для проведения своевременного контроля за качеством сварочных работ. Она осуществляет контроль качества сварных соединений неразрушающими методами, выдает заключения о качестве сварных швов и составляет сигнальные записки по выявленным дефектам, ведет учет и анализирует причины появления брака, дает рекомендации по корректировке технологии, проводит радиационный и дозиметрический контроль. Выполняет определенную работу по предупредительному контролю; участвует в проверке качества поступающих на склад сварочных материалов (электродов, сварочной проволоки, флюса и др.) и оформлении актов рекламаций; осуществляет контроль за соблюдением правил складирования и хранения сварочных материалов; участвует в проверке квалификации сварщиков; на всех сварщиков, допущенных к ответственным сварочным работам, заполняет формуляры, в которых на основании контроля и испытаний записываются результаты работы. Данные формуляров должны учитываться квалификационной ко.

миссией при персаттестациях и присвоениях очередных разрядов.

Для успешной работы КСЛ необходимо, чтобы начальник лаборатории за месяц до начала года получал от ПТО перечень объектов и пообъектную ведомость количества стыков, подлежащих сварке и просвечиванию; ежемесячно, на основании поданных в ПТО заявок монтажных участков на просвечивание, составлял набор работ и утверждал его у главного инженера управления, давал свои предложения при визировании нарядов на сварочные работы с учетом качества их выполнения. Указания начальника КСЛ по вопросам, входящим в компетенцию лаборатории, обязательны для начальников монтажных участков, прорабов и мастеров; они могут быть отменены только письменным распоряжением главного инженера управления. Начальник КСЛ имеет право через начальника участка приостанавливать производство сварочных работ, если они ведутся с нарушением ТУ и нормативных документов. О каждом таком случае сообщается в письменной форме главному инженеру управления и даются предложения о привлечении к ответственности работников, виновных в неудовлетворительном качестве работ вплоть до снижения или лишения их прогрессивно-премиальной оплаты. Начальник КСЛ может отстранить от работы сварщиков, допускающих нарушение технологии и появление брака на срок, предусмотренный Правилами аттестации сварщиков.

КСЛ должна быть укомплектована необходимым числом приборов, дефектоскопов, иметь соответствующее помещение и хранилище дефектоскопов с радиоактивными изотопами. В зависимости от объемов работ, разбросанности и удаленности объектов и других конкретных условий КСЛ должна иметь одну-две или более спецавтомашин для перевозки приборов, рентгеновских и гамма-аппаратов, а также операторов-дефектоскопистов. В настоящее время выпускаются передвижные дефектоскопические лаборатории (ПДЛ) по стандарту СЭВ двух типов — легкого и среднего.

ПДЛ легкого типа смонтирована на базе автомобиля «Латвия» или УАЗ и оборудована с расчетом выполнения полного цикла радиографического контроля, включая фотообработку и расшифровку снимков.

ПДЛ среднего типа размещена в двухосном фургоне, предназначенном для транспортировки на прицепе.

Внутри помещение разбито на три отсека: фотографический, лабораторный и административно-бытовой, имеющий два спальных места. Вывезенная на объект с достаточно крупным объемом работ такая лаборатория позволяет оперативно решать весь комплекс работ по радиографическому контролю и ультразвуковой дефектоскопии в течение продолжительного времени.

В условиях строительства крупных промышленных объектов, удаленных от основной лабораторной базы на десятки километров, целесообразно на период строительства оборудовать лабораторию непосредственно на территории объекта. Для этой цели могут быть использованы передвижные монтажные домики. Здесь же следует разместить временное хранилище для радиоактивных источников, обеспечить полную его охрану.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- Акулов А. И., Бельчук Г. А., Демьянцев В. П. Технология и оборудование сварки плавлением.—М.: Машиностроение, 1977. 432 с.
- Алешин Н. П., Щербинский В. Г. Радиационная и ультразвуковая дефектоскопия. М.: Высшая школа, 1979. 56 с.
- Контроль качества сварки/В. Н. Волченко, А. К. Гурвич, А. Н. Майоров и др. М.: Машиностроение, 1975. 328 с.
- Волченко В. Н., Мамутов Е. Л. Вероятностная оценка несущей способности соединений, выполненных электронно-лучевой сваркой с несковным швом. — Сварочное производство, 1979, № 8, с. 15—16.
- Воробьев В. А., Горбунов В. И., Покровский А. В. Бетатроны в дефектоскопии. М.: Атомиздат, 1973. 280 с.
- Гурвич А. К., Ермолов И. Н. Ультразвуковая дефектоскопия сварных швов. Киев: Техника, 1972. 460 с.
- Денисов Л. С. Повышение качества сварки в строительстве. М.: Стройиздат, 1982. 160 с.
- Инструкция по ультразвуковой дефектоскопии сварных соединений, ВСН 338-74, ММСС СССР, ЦЕНТИ, 1976. 92 с.
- Николаев Г. А. и др. Расчет, проектирование и изготовление стальных конструкций. М.: Высшая школа, 1971. 760 с.
- Неразрушающий контроль металлов и изделий. Справочник/Под ред. Г. С. Самойловича. М.: Машиностроение, 1976. 456 с.
- Приборы для неразрушающего контроля материалов и изделий: Справочник/Под ред. В. В. Клюева. М.: Машиностроение, 1976, т. 1, с. 392, т. 2, 328 с.
- Румянцев С. В. Радиационная дефектоскопия. Изд. 2-е, перераб. и доп. М.: Атомиздат, 1974. 512 с.
- Неразрушающие методы контроля сварных соединений/С. В. Румянцев, В. А. Добромислов, О. И. Борисов, Н. Т. Азаров. М.: Машиностроение, 1976. 335 с.
- Сварка в машиностроении: Справочник. М.: Машиностроение, 1979, т. 4. 512 с.
- Стеклов О. И. Прочность сварных конструкций в агрессивных средах. М.: Машиностроение, 1976. 200 с.
- Технология электрической сварки металлов и сплавов плавлением/Под ред. Б. Е. Патона. М.: Машиностроение, 1974. 767 с.
- Тищенко О. Н., Моцохин С. Б., Свиридова Т. А. Методы предупреждения брака на монтажных работах. ЦБНТИ. — Экономика монтажных и спец. строит. работ, 1976, вып. 3, 4, с. 7—9.
- Ханапетов М. В., Блинов А. Н., Фоминных В. П. Организация и технология сварочно-монтажного производства. М.: Стройиздат, 1972. 320 с.
- Шебеко Л. П. Контроль качества сварных соединений. М.: Стройиздат, 1972. 120 с.
- Щербинский В. Г., Алешин Н. П. Ультразвуковой контроль сварных соединений строительных конструкций. М.: Стройиздат, 1976. 160 с.
- Щербинский В. Г., Алешин Н. П. Испытания на непроницаемость: Капиллярная и магнитная дефектоскопия. М.: Высшая школа, 1979, с. 40.
- Технологические трубопроводы в промышленном строительстве: Справочник монтажника/Под ред. Е. Я. Николаевского. М.: Стройиздат, 1979, с. 5—7.

ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

А

Активность изотопа 94
Акустическое сопротивление 65
Актеризативный признак оценки качества 223
Альфа-частица 93
Аппарат
— рентгеновский 99, 100, 101
— ультразвуковой 75

Б

Безотказность 221
Бета-частица 93
Бетатрон 102, 103

В

Вакуумная камера 35
Вещество
— контрольное 24, 31
— пробное 31
— рабочее 32
Взаимодействие излучения с веществом 93
Внешний осмотр 26
Включения шлаковые 19
Воздействия излучения на человека 123
Волны ультразвуковые 63

Г

Гамма-дефектоскоп 101
Гамма-излучение 93
Герметичность 31
Гидроиспытания 32
Гистерезиса кривая 30
Граница регулирования 222

Д

Датчик
— атмосферный 38
— вакуумный 38
Детектор радиографического контроля 106, 125
Дефектоскоп
— магнитографический 39
— ультразвуковой 75
Дефекты сварных соединений
— внутренние 12
— наружные 12
Диаграмма направления 67
Длина волны 62
Доза излучения
— предельно-допустимая 139
Достоверность контроля 222

Е

Единицы измерения ионизирующих излучений 95, 96

З

Закон радиоактивного распада 94
Зона
— ближняя 67
— дальняя 67

И

Излучение
— ионизирующее 92
— тормозное 91
Изотоп радиоактивный 103
Индикаторные пенетранты 41, 45, 47
Индукция магнитная 50
Искатели ультразвуковые
— призматические 71
— раздельно-совмещенные 71
Испытания механические 118
— — — радионуклонные 103
— — — тормозного излучения 92

К

Капиллярные методы контроля 41
Коллиматорная головка 104
Контрастность 103
Контроль
— заготовок 29
— исходных материалов 25
— сборки 29
— сварки 29
Краски для цветной дефектоскопии 46, 47
Кристалл единичный 133
Ксерорадиографии 125

Л

Лаборатория легкого типа 226
— среднего типа 227
Люминесцентный метод 34

М

Магнитография 57
Металлография 159
Методы дефектоскопии
— капиллярные 41
— магнитные 49
— радиационные 91
— теноскопический 31
— ультразвуковые 61
Микротвердость 167
Микротрон 102
Мощность дозы 96

Н

Намагничивающее устройство 58
Напряженность магнитная 30
Неплотность 31
Неспровод 17
Нерезкость герметическая 117

О

Обратные связи контроля 215
Объемы контроля 222, 223
Организация службы контроля 224

П

Пенетранты 41, 45, 47
Пластины электрорентгенографические 125
Пленка рентгеновская 110
Пористость лн 129
Поронки магнитные 53
Преобразователь электроно-опти-

ческий (ЭОП) 134
Приборы дозиметрические 142
Проявитель рентгеновской пленки 123
Пьезоэлектрические пластины 62

Р

Радиоактивность 93
Радиография 98
Радиометрический метод 136
Расшифровка снимков 127
Регулирование статистическое 222
Рентгеновидикон 135

С

Система управления качеством сварки 214
Сканирование 84
Смещение кромок 197

Т

Тест-образцы 83
Течискатели 38
Течи 31
Трещины 16, 17
Трубки рентгеновские 100

У

Угол преломления ультразвука 69, 79
Ударная вязкость 186
Управление качеством 214
Ускорители 102

Ф

Фактор качества 214
Фиксаж 125
Фотообработка рентгеновский пленки 123

Х

Химический анализ 177

Ц

Цветной метод контроля 46

Ч

Чувствительность неразрушающих методов контроля 25

Э

Экраны
— металлические 111
— усиливающие 112
Электрорентгенография 125
Эталоны чувствительности 113

ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
Предисловие	3
Раздел первый. Дефекты и методы контроля качества сварных соединений	5
<i>Глава I. Виды сварки и сварных соединений</i>	5
1. Основные виды сварки при монтажных работах	5
2. Виды сварных соединений	9
<i>Глава II. Дефекты сварных соединений</i>	12
3. Классификация дефектов	12
4. Наружные дефекты	12
5. Внутренние дефекты	15
6. Влияние дефектов на работу сварных конструкций	20
<i>Глава III. Виды и методы контроля качества сварных соединений</i>	22
7. Виды контроля	22
8. Методы контроля	23
Раздел второй. Контроль качества сварных соединений неразрушающими методами	26
<i>Глава IV. Контроль внешним осмотром и обмером</i>	26
9. Исходные материалы, заготовки и сборка под сварку	26
10. Процесс сварки	29
11. Готовые сварные соединения	30
<i>Глава V. Контроль методами течеискания</i>	31
12. Физические основы контроля	31
13. Гидравлические и пневматические испытания	32
14. Испытания керосином	36
15. Химический метод	37
16. Галогидный метод	38
<i>Глава VI. Контроль капиллярными методами</i>	41
17. Физические основы контроля	41
18. Люминесцентный метод	44
19. Метод красок (цветной)	46
20. Люминесцентно-цветной метод	47
21. Способы интенсификации капиллярных методов	48
<i>Глава VII. Контроль магнитными методами</i>	49
22. Физические основы контроля	49
23. Магнитопорошковый метод	52
24. Магнитографический метод	57
<i>Глава VIII. Контроль ультразвуковыми методами</i>	61
25. Физические основы контроля	61
26. Аппаратура	75
27. Технология	83
28. Оформление результатов контроля	90
<i>Глава IX. Контроль радиационными методами</i>	91
29. Физические основы контроля	91

30. Источники ионизирующих излучений	96
31. Радиографический метод	108
32. Ксерорадиография	125
33. Распечатавание радиографических снимков и оформление результатов контроля	127
34. Радиационная интроскопия	132
35. Радиометрический метод	136
36. Радиационная безопасность	137
<i>Глава X. Выбор неразрушающих методов контроля</i>	142
37. Выбор методов контроля и их сочетаний	142
38. Экономическая эффективность неразрушающих методов контроля	146
Раздел третий. Контроль качества сварных соединений разрушающими методами	148
<i>Глава XI. Механические испытания сварных соединений</i>	148
39. Виды испытаний и образцы для их выполнения	148
40. Статические испытания	150
41. Динамические испытания	156
<i>Глава XII. Металлографические исследования сварных соединений</i>	159
42. Виды металлографических исследований	159
43. Макроанализ	160
44. Микроанализ	161
45. Измерение твердости	164
<i>Глава XIII. Коррозионные испытания, химический и спектральный анализ сварных соединений</i>	167
46. Виды коррозии	167
47. Определение коррозионной стойкости	170
48. Испытания на коррозионное растрескивание	173
49. Химический и спектральный анализ	177
Раздел четвертый. Контроль качества сварных соединений металлических конструкций	179
<i>Глава XIV. Контроль сварных соединений металлических конструкций промышленных сооружений</i>	179
50. Виды контроля при изготовлении и испытании конструкций	179
51. Контроль сварных швов	182
52. Газгольдеры и вертикальные цилиндрические резервуары	184
53. Доменные печи и газоочистки	186
54. Мачтовые и башенные сооружения	188
<i>Глава XV. Контроль сварных соединений металлических трубопроводов</i>	189
55. Классификация трубопроводов	189
56. Контроль и испытания сварных соединений трубопроводов	191
<i>Глава XVI. Контроль сварных соединений сосудов, работающих под давлением</i>	201

	Стр.
57. Сосуды, подведомственные Госгортехнадзору СССР. . .	201
58. Шаровые резервуары	204
59. Технологические аппараты колонного и башенного типа	209
Раздел пятый. Организация контроля качества сварных конструкций. Основы управления	214
<i>Глава XVII. Основы системы управления качеством сварных конструкций</i>	<i>214</i>
60. Конструктивно-технологические факторы	214
61. Организационно-технологические мероприятия	217
62. Статистические методы	221
<i>Глава XVIII. Организация контроля качества сварки конструкций</i>	<i>224</i>
63. Структура службы контроля	224
64. Работа контрольно-сварочной лаборатории	225
Список литературы	228
Предметный указатель	229

Савелий Борисович Моцехин

КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ И КОНСТРУКЦИИ

Редакция литературы по технологии строительных работ

Зав. редакцией *Е. А. Ларина*

Редактор *И. В. Ситникова*

Художественный редактор *В. В. Кошмин*

Технический редактор *Н. В. Высотина*

Корректор *С. А. Зудилина*

ИБ № 2223

Сдано в набор 26.10.84. Подписано в печать 07.06.85. Т-10464. Формат 84×108¹/₃₂. Бумага кн.-журн. имп. Гарнитура «Литературная». Печать высокая. Усл. печ. л. 12,18. Усл. кр.-отт. 12,49. Уч.-изд. л. 12,33. Тираж 38.000 экз. Изд. № АПП-7806. Заказ 8. Цена 35 коп.

Стройиздат, 101442, Москва, Каляевская, 23а

Владимирская типография Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли 600000, г. Владимир, Октябрьский проспект, д. 7

Цена 35 коп.

Каждый вид контроля имеет свою оптимальную область применения, отличается определенными достоинствами и недостатками. Поэтому наиболее полную информацию о качестве изделия можно получить сочетанием различных видов контроля.

Выбор метода контроля или комплекса методов, а также чувствительности контроля зависит от технических возможностей каждого метода, специфических особенностей контролируемой сварной конструкции и требований к выявлению дефектов, устанавливаемых нормативными документами на данный вид продукции.