

КОМИТЕТ ОБРАЗОВАНИЯ, НАУКИ И МОЛОДЕЖНОЙ ПОЛИТИКИ ВОЛГОГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ  
государственное бюджетное профессиональное образовательное учреждение  
«Волгоградский колледж управления и новых технологий имени Юрия Гагарина»  
(ГБПОУ «ВКУиНТ им. Ю. Гагарина»)



**АДАптированное учебное пособие**  
**для студентов с овз по слуху**  
**по МДК 03.01 ФОРМЫ И МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА**  
**МЕТАЛЛОВ И СВАРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

***ОП СПО***

***по специальности 22.02.06 Сварочное производство***

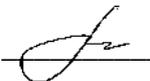
**Волгоград**  
**2023**

**РАССМОТРЕНО И ОДОБРЕНО**

Кафедрой Технологии материалов

Протокол № 1 от «29» августа 2023 г.

Заведующий кафедрой Технологии материалов

 /А.Н. Ананьева

**СОСТАВЛЕНО** в соответствии с

ФГОС СПО и ОП СПО по специальности  
22.02.06 Сварочное производство,  
рабочей программой ОПД  
«Материаловедение»

**РЕКОМЕНДОВАНО**

Научно-методическим советом

ГБПОУ «ВКУиНТ им. Ю. Гагарина»

Протокол № 1 от «26» октября 2023 г.

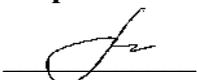
**УТВЕРЖДАЮ**

Зам. директора по УиМР

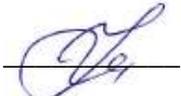
 Солодова Т.Е.

«26» октября 2023 г.

**Разработчик:** преподаватель ГБПОУ «ВКУиНТ им. Ю. Гагарина»

 А. Н. Ананьева

**Рецензент:** ст. методист ГБПОУ «ВКУиНТ им. Ю. Гагарина»

 Н.А. Степина

Учебное пособие по МДК 03.01 Формы и методы контроля качества металлов и сварных конструкций разработан для студентов специальности 22.02.06 Сварочное производство, в том числе для обучения студентов с ОВЗ, имеющих отклонения по слуху – Волгоград: ГБПОУ «ВКУиНТ им. Ю Гагарина», 2023, 123 – стр.

В данном пособии представлен теоретический материал, полностью освещающий основные вопросы, подлежащие рассмотрению в ходе изучения МДК 03.01 Формы и методы контроля качества металлов и сварных конструкций. Для каждой темы составлен план изучения (основные вопросы темы), представлены вопросы для самоконтроля знаний, приведен список рекомендуемой литературы.

## **СОДЕРЖАНИЕ**

<b>ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА</b>	4
<b>РАЗДЕЛ 1. Ведение технологического процесса контроля качества сварных соединений</b>	8
<b>Тема 1.1 Дефекты сварных соединений</b>	8
<b>Тема 1.2 Методы выявления наружных дефектов сварных соединений</b>	24
<b>Тема 1.3 Методы выявления внутренних дефектов сварных соединений</b>	54
<b>Тема 1.4 Разрушающие методы контроля качества сварных</b>	80
<b>Тема 1.5 Методы устранения дефектов сварных соединений</b>	104
<b>Приложения</b>	112
<b>Список использованных источников</b>	122

## ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Учебное пособие по МДК 03.01 Формы и методы контроля качества металлов и сварных конструкций разработано для студентов с ОВЗ, обучающихся по специальности 22.02.06 Сварочное производство, имеющих отклонения по слуху.

Цель данного учебного пособия – организация освоения учебного материала в соответствии с ФГОС СПО, АОП СПО по специальности 22.02.06 Сварочное производство и рабочей программой ПМ. 03 Контроль качества сварочных работ, ориентированной на актуальные требования современного производства, требования чемпионатного движения «Профессионалы», с учетом требований профессиональных стандартов в рамках освоения данной АОП СПО.

В данном курсе представлен теоретический материал, полностью освещающий основные вопросы, подлежащие изучению по МДК 03.01 Формы и методы контроля качества металлов и сварных конструкций. Для каждой темы составлен план изучения (основные вопросы темы, подлежащие рассмотрению), приведены практико-ориентированные задания, представлены вопросы для самоконтроля знаний, дополнительные и справочные материалы, а также ссылки на электронные ресурсы, приведен список рекомендуемой литературы. Для облегчения работы с учебным пособием введены условные обозначения, ориентирующие студентов данной инклюзии на тот или иной вид учебной работы, которую необходимо выполнить.

Учебное пособие также может быть использовано для освоения данного курса в рамках ОП СПО специальности 22.02.06 Сварочное производство.

### **Требования к результатам освоения модуля в соответствии с РП ПМ. 03 Контроль качества сварочных работ**

#### ***Формируемые профессиональные и дополнительные компетенции (ПК, ВК):***

ПК 3.1. Определять причины, приводящие к образованию дефектов в сварных соединениях.

ПК 3.2. Обоснованно выбирать и использовать методы, оборудование, аппаратуру и приборы для контроля металлов и сварных соединений.

ПК 3.3. Предупреждать, выявлять и устранять дефекты сварных соединений и изделий для получения качественной продукции.

ПК 3.4. Оформлять документацию по контролю качества сварки.

#### ***Вариативные компетенции:***

ВК 3.1. Осуществлять контроль качества сварных соединений и конструкций с использованием различных методов контроля.

ВК 3.2. Осуществлять поиск, анализ и оценку информации по результатам контроля сварных соединений и конструкций в соответствии с международными стандартами качества.

#### ***В результате освоения модуля обучающийся должен иметь практический опыт:***

- определения причин, приводящих к образованию дефектов в сварных соединениях;
- обоснованного выбора и использования методов, оборудования, аппаратуры и приборов для контроля металлов и сварных соединений;
- предупреждения, выявления и устранения дефектов сварных соединений и изделий для получения качественной продукции;
- оформления документации по контролю качества сварки;
- определения дефектов сборки и сварки с применением методов неразрушающего контроля качества сварных соединений;

- *определения дефектов с применением методов разрушающего контроля качества сварных соединений;*
- *расшифровки результатов контроля в соответствии с ГОСТ и ИСО.*

***В результате освоения модуля обучающийся должен уметь:***

- *выбирать метод контроля металлов и сварных соединений, руководствуясь условиями работы сварной конструкции, её габаритами и типами сварных соединений;*
- *производить внешний осмотр, определять наличие основных дефектов;*
- *производить измерение основных размеров сварных швов с помощью универсальных и специальных инструментов, шаблонов и контрольных приспособлений;*
- *определять качество сборки и прихватки наружным осмотром и обмером;*
- *проводить испытания на сплющивание и ударный разрыв образцов из сварных швов;*
- *выявлять дефекты при металлографическом контроле;*
- *использовать методы предупреждения и устранения дефектов сварных изделий и конструкций;*
- *заполнять документацию по контролю качества сварных соединений;*
- *определять дефекты сварных соединений различными методами в соответствии с международными стандартами и требованиями к качеству;*
- *предотвращать возникновение дефектов на всех стадиях осуществления сборочно-сварочных работ;*
- *сопоставлять результаты контроля, выполненными по ГОСТ и ИСО;*
- *выполнять базовые неразрушающие испытания и знать более совершенные методы испытаний;*
- *пробные образцы для сертификации сварщика в соответствии с международными стандартами.*

***В результате освоения модуля обучающийся должен знать:***

- *основы способы получения сварных соединений;*
- *основные дефекты сварных соединений и причины их возникновения;*
- *способы устранения дефектов сварных соединений;*
- *способы контроля качества сварочных процессов и сварных соединений;*
- *методы неразрушающего контроля сварных соединений;*
- *методы контроля с разрушением сварных соединений и конструкций;*
- *оборудование для контроля качества сварных соединений;*
- *требования, предъявляемые к контролю качества металлов и сварных соединений различных конструкций в соответствии с ГОСТ и международными стандартами качества;*
- *требования, предъявляемые к основным и вспомогательным сварочным материалам;*
- *классификацию дефектов в соответствии с международным стандартом.*

***Примечание*** – *в пособии все вариативные (дополнительные) знания, умения, профессиональные вариативные компетенции (ВК), введенные в рабочую программу, а также соответствующий учебный материал выделены курсивом.*

***В соответствии с рабочей программой модуля запланированы к изучению следующие разделы и темы:***

<b>Раздел / Тема МДК</b>	<b>Количество теоретических часов на освоение раздела и тем</b>
РАЗДЕЛ 1. ПМ.03 Ведение технологического процесса контроля качества сварных соединений	32 ч.
Тема 1.1. Дефекты сварных соединений	6 ч.
Тема 1.2. Методы выявления наружных дефектов сварных соединений	6 ч.
Тема 1.3. Методы выявления внутренних дефектов сварных соединений	12 ч.
Тема 1.4. Разрушающие методы контроля качества сварных соединений	8 ч.
Тема 1.5. Методы устранения дефектов сварных соединений	6 ч.
<b>Всего</b>	<b>32 ч.</b>

В сложившейся ситуации на рынке труда, освоение данного МДК для специальности 22.02.06 Сварочное производство занимает важное место, поскольку формирует основные идеи современного подхода к освоению общих, профессиональных и дополнительных компетенций. Последние, в свою очередь были внесены на основе анализа профессионального стандарта «Сварщик» и требований чемпионатного движения «Профессионалы», как наиболее четко отражающие те знания, умения и профессиональный опыт, которыми должен обладать будущий специалист в данной области. Поэтому данный курс занимает особое место и имеет значимость для освоения теоретических основ по специальности, входящих в программу обучения специалистов сварочного производства.

#### ***Особенности обучения студентов с нарушениями слуха***

В данной инклюзии выделяют глухих и слабослышащих. Аудиальная информация для глухих в основном недоступна. Преодоление сенсорных трудностей глухих должно происходить с опорой на зрительное и осязательное восприятие.

Для слабослышащих возможно использование остаточной слуховой функции, позволяющей воспринимать громкие неречевые звуки, некоторые звуки речи на близком расстоянии. Вербальная коммуникация с окружающими у этой категории затруднена, но зависит от степени тугоухости.

Тугоухость – это заболевание, которое характеризуется понижением слуха. Различают три степени тугоухости. При легкой тугоухости (1 степени) человек различает разговор шепотом на расстоянии от 1 до 3 метров, а разговорную речь на расстоянии более 4 метров, но не может адекватно воспринимать разговор при посторонних шумах или искажении речи. Тугоухость 2 степени (средняя тугоухость) - обучающийся воспринимает шепотную речь на расстоянии меньше, чем один метр, а разговорную речь слышит на расстоянии от 2 до 4 метров. Тугоухость 2 степени характеризуется неразборчивостью в восприятии всех слов в нормальной обстановке, требуются неоднократные повторения некоторых фраз или отдельных слов. Тяжелая тугоухость (3 степень) - невозможности различить шепот даже на очень близком расстоянии, разговорную речь обучающийся слышит на расстоянии меньше чем 2 метра. В данном случае используется слуховой аппарат и обучение зрительному восприятию речи (чтению с губ), чтобы иметь возможность общаться.

У слабослышащих ведущим типом восприятия является зрительный наряду с осязательным и слуховым. Слуховое же восприятие имеет ряд особенностей: они могут испытывать серьезные затруднения при восприятии и понимании аудиальной информации. Поэтому рационально в учебном процессе использовать зрительное, осязательное и слуховое восприятие слабослышащих и методы обучения, основанные на этих способах приема-передачи информации.

Для обучающихся с нарушениями слуха эффективна практика опережающего чтения, когда студенты заранее знакомятся с лекционным материалом и обращают внимание на незнакомые и непонятные слова и фрагменты. Такой вариант организации работы позволяет студентам лучше ориентироваться в потоке новой информации, заранее обратить внимание на сложные моменты.

В наибольшей степени перечисленным требованиям удовлетворяет использование учебных пособий в образовательном процессе. В предлагаемом учебном пособии рассматриваются основные дефекты сварных соединений, методы их контроля, предупреждения и устранения в соответствии не только с *ГОСТ*, но и *международными стандартами качества* сварных конструкций. Методические указания нацелены на развитие навыков студентов работы со справочниками, ГОСТами, ТУ и учебной литературой и источниками сети интернет; подбора и обработки информации при ответе на вопросы по изученным темам. Изучение материала ведется в логической последовательности. Изложение включает в себя перечни вопросов, подлежащих проработке после изучения темы в соответствии с перечнем рекомендуемого списка литературы. В пособии даны ссылки на ГОСТы, ТУ, справочники и учебную литературу, необходимую при изучении раздела или темы.

Контроль результатов освоения пособия осуществляется в пределах времени, отведенного на аудиторные учебные занятия; может проводиться в письменной, устной или смешанной форме с представлением продукта творческой деятельности студента. При организации учебного процесса для студентов с ОВЗ по слуху также необходимо обеспечить доступ к информации и обеспечить возможность обратной связи с преподавателем. Важную функцию в данном случае выполняет электронные образовательные ресурсы.

Для обеспечения открытости и доступности образования все учебно- методические материалы размещаются на образовательном *электронном ресурсе колледжа*: <https://onlinevkuint.ru/>, а также *личном сайте педагога*: <https://ananeva-anastasija.ucoz.net/>

При необходимости, в соответствии с состоянием здоровья студента, допускается дистанционная форма обучения. **Критериями оценки являются:** уровень усвоения студентами учебного материала (правильность ответов на вопросы, выполнение заданий для повторения изученной темы); умение использовать полученные знания при самостоятельном выполнении заданий; умение самостоятельно осуществлять поиск информации и др.

Обучение студентов данной инклюзии реализуется в интегрированной форме - такая форма организации образовательного процесса, при которой обучение лиц с ограниченными возможностями здоровья осуществляется в едином потоке со сверстниками, не имеющими таких ограничений.

**Для акцентирования внимания обучающихся в учебном пособии используются следующие обозначения:**

	Отмечена важная информация, понятия и определения	 	Ссылка на интернет ресурс. Для перехода на ресурс необходимо отсканировать QR – код.  Для примера приведен QR – код, на личный сайт педагога: <a href="https://ananeva-anastasija.ucoz.net/">https://ananeva-anastasija.ucoz.net/</a>
	Контрольные вопросы		
	Задания для закрепления изученной темы		

## РАЗДЕЛ 1. ВЕДЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

### ТЕМА 1.1. Дефекты сварных соединений

#### *Перечень вопросов, подлежащих рассмотрению:*

1. Строение сварного шва.
2. Напряжения и деформации при сварке.
3. Виды дефектов сварных соединений.
4. Причины возникновения дефектов сварных соединений.
5. Влияние дефектов сварки на работоспособность конструкции.

#### 1. Строение сварного шва

Строение сварного шва после затвердевания и распределения температуры малоуглеродистой стали на рисунке 1. Наплавленный металл 2 получается в результате перевода присадочного и частично основного металлов в жидком состоянии, образования жидкой ванночки и последующего затвердевания, в процессе которого расплавленный металл соединяется с основным 1. В узкой зоне сплавления 3 кристаллизуются зерна, принадлежащие основному и наплавленному металлу. Во всяком сварном шве образуется зона термического влияния 4, которая располагается в толще основного металла. В этой зоне под влиянием быстрого нагрева и охлаждения в процессе сварки изменяется лишь структура металла, а его химический состав остается неизменным.

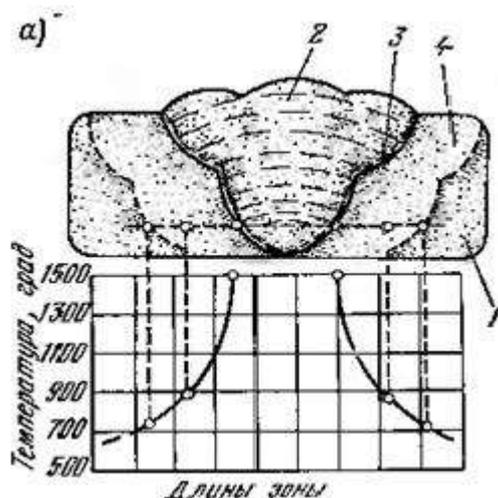


Рисунок 1 - Строение шва

Свойства металла в зоне шва определяются условиями плавления, металлургической обработки основного и присадочного металлов и кристаллизации металла шва при охлаждении. Свойства сварного соединения в целом определяются характером теплового воздействия на металл в околошовных зонах.

Во время плавления основной и присадочный металлы сильно перегреваются иногда до температур, близких к температуре кипения. Это приводит к испарению металла и изменению химического состава. Наличие газовой атмосферы вокруг плавящегося металла приводит в ряде случаев к окислению, взаимодействию металла с азотом и растворению в металле газов. Все это изменяет химический состав наплавленного металла, создает в нем окислы и другие неметаллические включения, поры и трещины. Чем чище наплавленный металл, тем выше механические свойства сварного шва.

С целью повышения качества наплавленного металла вокруг жидкого металла создают специальную газовую атмосферу, защищающую его от воздействия воздуха, раскисляют и прикрывают жидкую ванночку специальными шлаками.



Строение сварного шва после затвердевания и распределения температуры в малоуглеродистой стали на рисунок 2. Зона 1 примыкает непосредственно к металлу шва. Основной металл на этом участке в процессе сварки частично расплавляется и представляет собой смесь твердой и жидкой фаз.

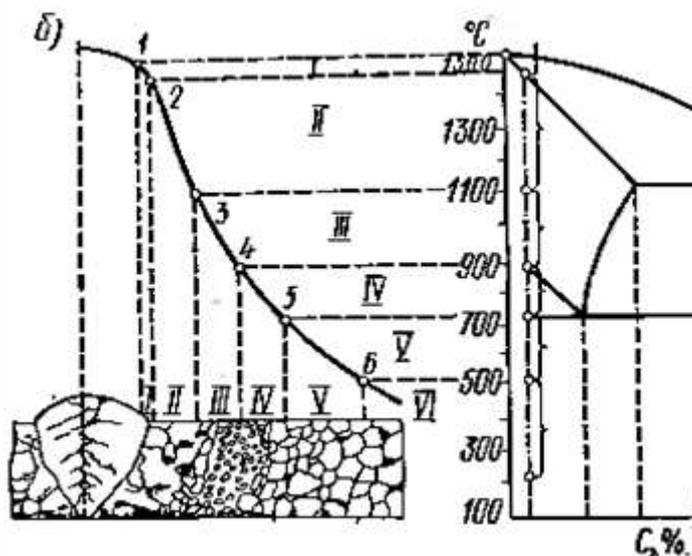


Рисунок 2 – Структурные превращения в малоуглеродистой стали в зоне термического влияния (1- полного расплавления, 2 - перегрев, 3 – нормализации, 4 - неполной перекристаллизации, 5 - рекристаллизации, 6 – синеломкости).

Наплавленный металл имеет столбчатое крупнозернистое строение, характерное для литой стали. Если наплавленный металл или соединенный с ним участок был перегрет, то при охлаждении на этом участке (зона 2) зерна основного металла (малоуглеродистой стали) образуют грубо игольчатую так называемую видманштеттную структуру.

Металл этой зоны обладает наибольшей хрупкостью и является самым слабым местом сварного соединения. В зоне 3 температура металла не превышает 1100 °С. Здесь наблюдается структура нормализованной стали с характерным и мелкозернистым строением. Металл в этой зоне имеет более высокие механические свойства (в сравнении с металлом первых двух зон).

В зоне 4 происходит неполная перекристаллизация стали, на нагретой до температуры, лежащей между критическими точками  $A_{c1}$  и  $A_{c3}$ . На этом участке после охлаждения наряду с крупными зернами феррита образуются мелкие зерна феррита и перлита. Металл этой зоны также обладает более высокими механическими свойствами.

В зоне 5 структурных изменений в стали не происходит, если сталь перед сваркой не подвергалась пластической деформации. В противном случае на этом участке наблюдается рекристаллизация.

В зоне 6 сталь не претерпевает видимых структурных изменений. Однако на этом участке наблюдается резкое падение ударной вязкости (синеломкость).

Структурные изменения основного металла в зоне термического влияния незначительно отражаются на механических свойствах малоуглеродистой стали при сварке ее любыми способами. Однако при сварке некоторых конструкционных сталей в

зоне термического влияния возможно образование закалочных структур, которые резко снижают пластические свойства сварных соединений и часто являются причиной образования трещин.

Размеры зоны термического влияния зависят от способа и технологии сварки и рода свариваемого металла. Так, при ручной дуговой сварке стали тонкообмазынными электродами (обмазку применяют в виде покрытия для защиты сварного шва от воздействия внешней среды) и при автоматической сварке стали под слоем флюса размеры зоны термического влияния минимальны (2-2,5 мм); при сварке электродами с толстой обмазкой протяженность этой зоны равна 4-10 мм, а при газовой сварке – 20-25 мм [1].

## 2. Напряжения и деформации при сварке

Во время технологического процесса происходит нагрев отдельных участков металла при холодных смежных участках, что вызывает напряжения в отдельных частях свариваемой конструкции и ее деформации.



**Напряжение** - сила, приложенная к единице площади поперечного сечения детали или к единице площади ее поверхности.

**Деформация** - изменение размеров и формы изделия под действием механических усилий или температурного воздействия.

При сварке в конструкции возникают внутренние напряжения в результате неравномерного нагрева, охлаждения и усадки, которые могут явиться причиной деформации и снижения надежности конструкции.

Внутренние напряжения при правильных приемах сварки нарастают медленно и потом остаются постоянными, не превышая допустимых для данной конструкции напряжений, при этом не происходит деформация конструкции.

Деформации могут быть двух видов: упругая и остаточная, или пластическая, деформации. Деформации деталей конструкции при сварке происходят вследствие образования внутренних напряжений, причинами которых являются (рисунок 3):

1. Температурные деформации из-за местного нагрева изделия;
2. Усадка наплавленного металла;
3. Фазовые превращения, происходящие в металле при охлаждении.

В результате местного нагрева при сварке происходит значительное местное расширение металла, в то время как остальная часть изделия остается в холодном состоянии. Это приводит к образованию внутренних напряжений и к изгибам элементов конструкции.

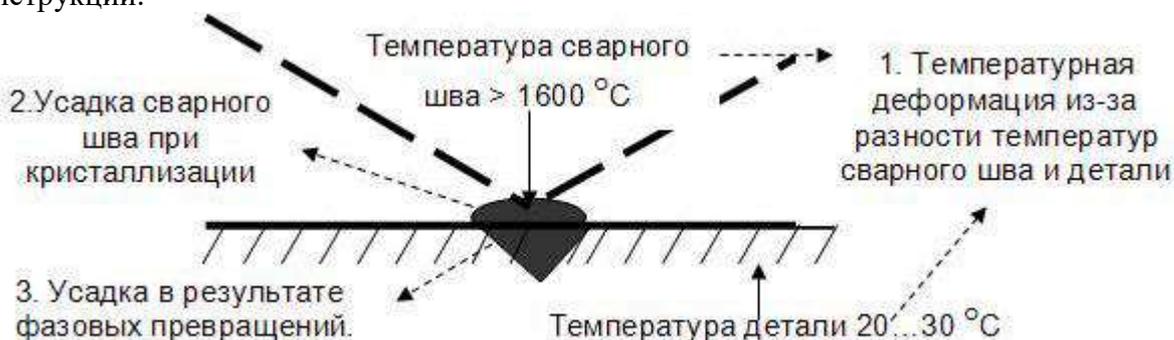


Рисунок 3 – Причины деформаций деталей при сварке

Усадка металла, происходящая вследствие уменьшения объема жидкого металла при затвердевании, является второй по значимости причиной появления внутренних напряжений.

Фазовые превращения при охлаждении нагретого при сварке металла также сопровождаются относительно небольшим изменением объема металла. Так для сталей переход  $\alpha$  - железа в  $\gamma$  -железо вызывает изменение объема примерно на 1 %, это (третья причина) также приводит к образованию внутренних напряжений.

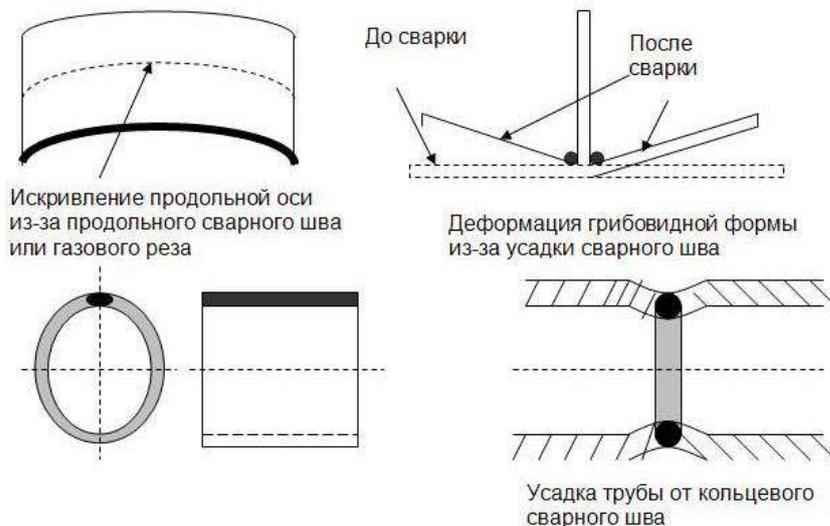


Рисунок 4 – Примеры деформаций при сварке и резке

Деформации изделия при сварке (рисунок 4) могут быть уменьшены правильным выбором вида сварки и технологии её осуществления. Сварка, при которой изделие получает сосредоточенный нагрев, например, электродуговая сварка, вызывает коробления меньше, чем сварка, при которой нагревается значительный участок детали, например, сварка газовым пламенем. Деформации при сварке плавлением больше, чем при сварке давлением.

Некоторое уменьшение коробления изделия достигается отводом тепла со свариваемого участка подкладыванием медной пластинки с обратной стороны шва, прикладыванием около шва асбеста, смоченного водой и т.п.

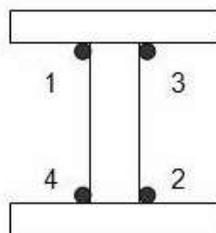


Рисунок 5 – Снижение деформаций изделий изменением порядка сварки

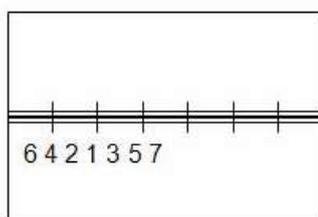


Рисунок 6 – Обратнo-ступенчатая сварка

Коробление можно уменьшить и путем уравнивания образовавшихся деформаций. При этом способе места соединения деталей разбивают на участки, сварка которых ведется в таком порядке, чтобы деформации, получаемые при сварке на отдельных участках, были равны по величине и противоположны по направлению.

Например, при сварке двутавровой балки из трех частей можно применять очередность сварки отдельных участков, показанную на рисунке 5.

Значительное уменьшение деформации достигается способом обратноступенчатой сварки. При этом способе кромки деталей, подлежащие сварке, делят на части, которые сваривают в последовательности, показанной на рисунке 6. Коробление изделия в данном случае получается значительно меньше, т.к. деформации коротких швов не в состоянии вызывать значительную деформацию всего изделия.

Уменьшить коробление свариваемых изделий можно также способом обратных деформаций. Он заключается в том, что соединяемые детали предварительно отгибают в сторону, обратную сварочным деформациям (рисунок 7). В процессе сварки они принимают требуемую, или очень близкую к требуемой, форму.

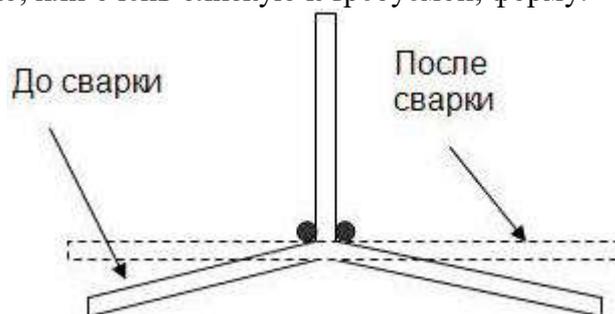


Рисунок 7 – Обратный изгиб деталей перед сваркой

Широко применяется также способ жесткого закрепления свариваемых деталей при помощи специального приспособления или путем прихватки, т.е. предварительной сварки кромок в нескольких точках по длине сварки.



*Полностью избежать деформаций при сварке не удастся, но уменьшить их до приемлемых значений можно за счет использования следующих конструкторских и технологических мероприятий:*

- рациональной конструкции сварного узла;
- припуска на усадку шва по размерам и форме изделия;
- рациональной сборки и подготовки к сварке;
- выбора наиболее рационального способа сварки;
- предварительного, сопутствующего и последующего подогрева изделия;
- проковки зоны сварного шва (в горячем состоянии или после остывания);
- механической правки;
- термической правки;
- общей термообработки сварного изделия.

На 85 ...90% остаточные напряжения при сварке снижаются при высоком отпуске сварных конструкций (нагрев до 550... 680° С и охлаждение на воздухе). При местном отпуске нагревается часть конструкции около сварного соединения; после остывания ее остаточные напряжения останутся, но будут меньше по величине. Иногда проводят поэлементный отпуск отдельных сборочных элементов конструкции, а после этого окончательная сборка конструкции [2].

Снижение деформаций происходит при проковке металла после сварки по горячему металлу или после полного остывания детали.

Наиболее эффективными являются конструкторские и технологические мероприятия до сварки: рациональное конструирование изделия, обоснование минимально допустимых размеров швов, выбор способов сварки с наименьшими погонными энергиями, предотвращение одностороннего расположения сварных швов,

использование соединений с отбортовкой кромок вместо нахлесточных или стыковых соединений, выбор рациональной последовательности сварки.

Газовым пламенем или другими способами после сварки иногда проводят местный нагрев тех зон, последующая усадка которых также уменьшает деформации изделия.

### 3 - 4. Виды дефектов сварных соединений и причины их возникновения



При производстве сварных деталей и конструкций образуются дефекты различного вида, которые условно можно классифицировать на:

- – дефекты подготовки и сборки;
- – дефекты формы шва;
- – наружные и внутренние дефекты.

**Дефекты подготовки и сборки.** Характерными видами дефектов при сварке плавлением являются:

- неправильный угол скоса кромок шва с V-, X- и U-образной разделкой;
- слишком большое или малое притупление по длине стыкуемых кромок;
- непостоянство зазора между кромками по длине стыкуемых элементов;
- несовпадение стыкуемых плоскостей;
- слишком большой зазор между кромками свариваемых деталей;
- расслоения и загрязнения кромок.

Указанные дефекты могут возникнуть из-за:

- неисправности станочного оборудования, на котором обрабатывали заготовки;
- недоброкачества исходных материалов;
- ошибок в чертежах;
- низкой квалификации слесарей и сборщиков.

**Дефекты формы шва.** Форма и размеры сварных швов обычно задаются техническими условиями, указываются на чертежах и регламентируются стандартами. Конструктивными элементами стыковых швов (рисунок 8) являются их ширина  $e$ , высота выпуклости  $q$  и подварки  $q_1$ , угловых швов тавровых и нахлесточных соединений без скоса кромок (рисунок 9) – катет  $K$  и толщина  $a$ . Размеры швов зависят от толщины  $s$  свариваемого металла и условий эксплуатации конструкций.

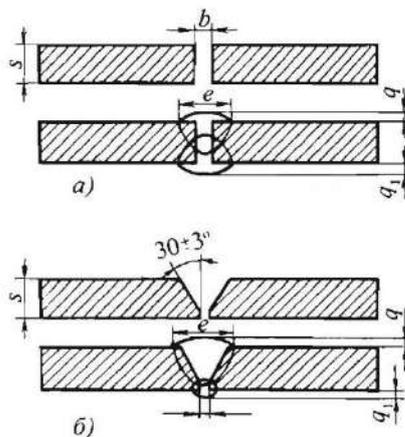


Рисунок 8 - Основные конструктивные элементы сварных швов: а - без подготовки кромок малых толщин ( $b$  - ширина зазора); б - с V-образной разделкой

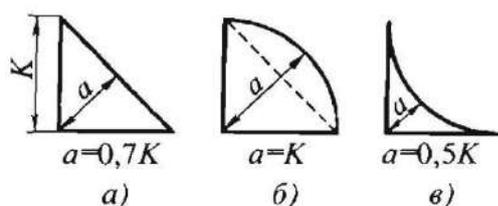


Рисунок 9 - Основные конструктивные элементы валиков: а – нормального; б – выпуклого; в – вогнутого

При выполнении сварных соединений любыми методами сварки плавлением швы могут иметь неравномерную ширину и высоту, бугры, седловины, неравномерную высоту катетов в угловых швах рис. 3 .

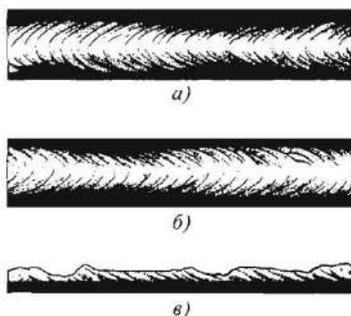


Рисунок 10 - Дефекты формы швов: а – неравномерная ширина шва при ручной сварке; б – то же, при автоматической сварке; в – неравномерная выпуклость – бугры и седловины

**Неравномерная ширина швов** образуется при неправильном движении электрода, зависящем от зрительно-двигательной координации (ЗДК) сварщика, а также в результате возникших отклонений от заданного зазора кромок при сборке. При автоматической сварке причиной образования этого дефекта является нарушение скорости подачи проволоки, скорости сварки и т. д. [6]

**Неравномерность выпуклости по длине шва, местные бугры и седловины** получают при ручной сварке из-за недостаточной квалификации сварщика и в первую очередь объясняются особенностью ЗДК сварщика; неправильными приемами заварки прихваток; неудовлетворительным качеством электродов.

При автоматической сварке эти дефекты встречаются редко и являются следствием неполадок в механизме автомата, регулирующем скорость сварки.

Перечисленные дефекты формы шва снижают прочность соединения и косвенно сказывают на возможность образования внутренних дефектов.

**Наружные дефекты.** К ним относят

- наплывы,
- подрезы,
- незаделанные кратеры,
- прожоги.

**Наплывы** образуются в результате стекания расплавленного металла электрода на нерасплавленный основной металл или ранее выполненный валик без сплавления с ним (рисунок 11). Наплывы могут быть местными, в виде отдельных зон, а также значительными по длине.

Наплывы возникают из-за:

- чрезмерной силы тока при длинной дуге и большой скорости сварки;
- неудобного пространственного положения (вертикальное, потолочное);
- увеличенного наклона плоскости, на которую накладывают сварной шов;
- неправильного ведения электрода или неверного смещения электродной проволоки при сварке кольцевых швов под флюсом;
- выполнения вертикальных швов вверх и недостаточного опыта сварщика.

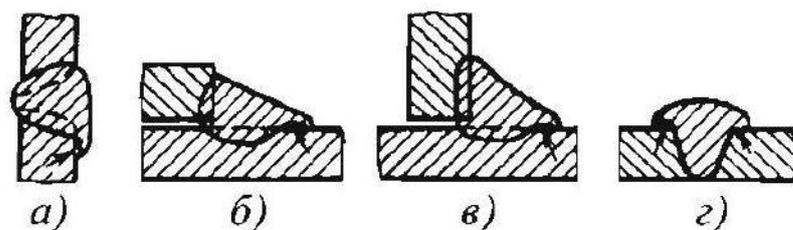


Рисунок 11 - Наплывы в швах: а – горизонтальном; б – нахлесточного соединения; в – таврового соединения; з – стыкового соединения или при наплавке валиков

**Подрезы** представляют собой углубления (канавки) в основном металле, идущие по краям шва (рисунок 12). Глубина подреза может колебаться от десятых долей миллиметра до нескольких миллиметров. Причинами образования этого дефекта являются:

- значительно силы ток и повышенное напряжение дуги;
- не удобное пространственное положение при сварке;
- небрежность сварщика.

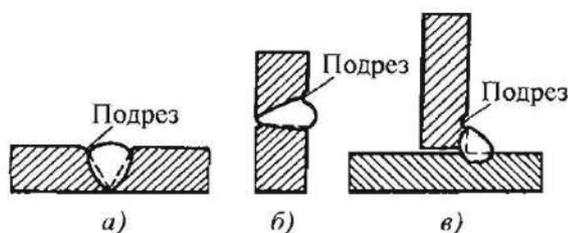


Рисунок 12 - Подрезы: а – в стыковом шве; б – в горизонтальном шве, расположенном на вертикальной плоскости; в – в угловом шве таврового соединения

Подрезы в шве уменьшают рабочую толщину металла, вызывают местную концентрацию напряжений от рабочих нагрузок и могут быть причиной разрушения швов в процесс эксплуатации. Подрезы в стыковых и угловых швах, расположенные поперек действующих на них сил, приводят к резкому снижению вибрационной прочности; даже достаточно крупные подрезы, проходящие вдоль действующей силы, отражаются на прочности в значительно меньшей степени, чем подрезы, расположенные поперек.

**Кратер** – углубление, образующееся конце шва при внезапном прекращении сварки. Особенно часто кратеры возникают при выполнении коротких швов. Размеры кратер зависят от величины сварочного тока. При ручной сварке его диаметр колеблется от 3 до 20 мм, при автоматической он имеет удлиненную форму в виде канавки. Незаделанные кратеры снижают прочность сварного соединения так как концентрируют напряжения. При вибрационной нагрузке снижение прочности соединения из малоуглеродистой стали достигает 25 %, а из низколегированных – 50 % при наличии в шве кратера.

**Прожоги** – дефекты в виде сквозного отверстия в сварном шве, образующиеся при вытекании сварочной ванны; сварке металл небольшой толщины и корня шва в многослойных швах, а также при сварке снизу вверх вертикальных швов (рисунок 13). Причинами прожогов являются: чрезмерно высокая погонная энергия дуги, неравномерная скорость сварки, остановка источника питания, увеличенный зазор между кромками свариваемых элементов. Во всех случаях отверстие, возникающее при прожогах, хотя и заделывается, однако шов в том месте получается неудовлетворительный по внешнему виду и качеству.

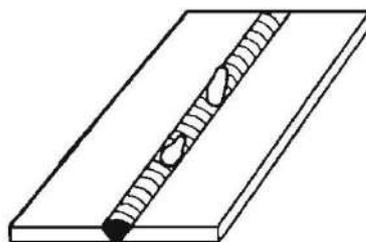


Рисунок 13 – Прожоги сварного шва

**Прожоги** возникают в результате возбуждения дуги («чирканья электродом») на краю кромки. Этот дефект служит источником концентрации напряжений, его обязательно удаляют механическим способом.

**Внутренние дефекты.** К ним относят поры, шлаковые включения, непровары, несплавления и трещины.

**Поры** (рисунок 14) в виде полости округлой формы, заполненной газом, образуются вследствие: загрязненности кромок свариваемого металла, использования влажного флюса или отсыревших электродов, недостаточной защиты шва при сварке в углекислом газе, увеличенной скорости и завышенной длины дуги. При сварке в углекислом газе, а в некоторых случаях и под флюсом на больших токах, образуются сквозные поры – так называемые **свищи**.

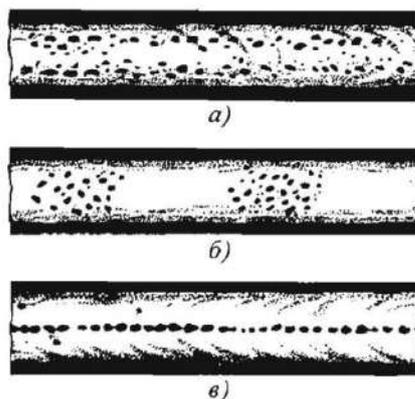


Рисунок 14 - Характер пористости в наплавленном металле шва: а – равномерная пористость; б – скопления пор; в – цепочки пор

Размеры внутренних пор колеблются от 0,1 до 2...3 мм в диаметре, а иногда и более. Поры, выходящие на поверхность шва, могут быть и больше. Свищи при сварке под флюсом и в углекислом газе на больших токах могут иметь диаметр до 6...8 мм. Длина так называемых «червеобразных» пор – до нескольких сантиметров.

Равномерная пористость (рисунок 14, а) обычно возникает при постоянно действующих факторах: загрязненности основного металла по свариваемым поверхностям (ржавчина, масло и т.п.), непостоянной толщине покрытия электродов и т.д. Скопление пор (рисунок 14, б) наблюдается при местных загрязнениях или отклонениях от установленного режима сварки, также при нарушении сплошности покрытия электрода, сварке в начале шва, обрыве дуги или случайных изменениях ее длины.

Цепочки пор (рисунок 14, в) образуются в условиях, когда газообразные продукты проникают в металл по оси шва на всем его протяжении (при сварке по ржавчине, подсос воздуха через зазор между кромками, подварке корня шва некачественными электродами). Одиночные поры возникают за счет действия случайных факторов (колебания напряжения сети и т.д.). Наиболее вероятно возникновение пор при сварке алюминиевых и титановых сплавов, в меньшей степени – при сварке сталей.

**Шлаковые включения** в металле сварного шва – это небольшие объемы, заполненные неметаллическими веществами (шлаками, оксидами). Вероятность образования шлаковых включений в значительной мере определяется маркой сварочного электрода. При сварке электродами с тонким покрытием вероятность образования шлаковых включений очень велика. При сварке высококачественными электродами, дающими много шлака, расплавленный металл дольше находится в жидком состоянии и неметаллические включения успеваю всплыть на его поверхность, в результате чего шов засоряется шлаковыми включениями не значительно. [7]

Шлаковые включения можно разделить на макро- и микроскопические. Макроскопические включения имеют сферическую и продолговатую формы в виде вытянутых «хвостов». Эти включения образуются в шве из-за плохой очистки свариваемых кромок от окалины и других загрязнений и чаще всего вследствие внутренних подрезов и плохой зачистки от шлака поверхности первых слоев многослойных швов перед заваркой последующих (рисунок 15).

Микроскопические шлаковые включения появляются в результате образования в процессе плавления некоторых химических соединений, остающихся в шве при кристаллизации.



Рисунок 15 - Шлаковые включения по подрезу кромки в многослойном шве

**Оксидные пленки** могут возникать при всех видах сварки. Причины их образования такие же, как и шлаковых включений: загрязненность поверхностей свариваемых элементов; плохая зачистка от шлака поверхности слоев шва при многослойной сварке; низкое качество электродного покрытия или флюса; недостаточно хорошая квалификация сварщика и т.п.

**Непровары** – это дефект в виде местного несплавления в сварном соединении вследствие неполного расплавления кромок или поверхностей ранее выполненных валиков. Непровары (рисунок 16, а) в виде несплавления основного металла с наплавленным представляют собой тонкую прослойку оксидов, а в некоторых случаях – грубую шлаковую прослойку между основным и наплавленным металлом. Причинами образования таких непроваров являются:

- плохая зачистка кромок свариваемых деталей от окалины, ржавчины, краски, шлака, масла и других загрязнений;
- блуждание или отклонение дуги под влиянием магнитных полей, особенно при варке на постоянном токе;
- электроды из легкоплавкого материала (при выполнении шва такими электродами жидкий металл натекает на неоплавленные свариваемые кромки);
- чрезмерная скорость сварки, при которой свариваемые кромки не успевают расплавиться;
- значительное смещение электрода в сторону одной из свариваемых кромок, при том расплавленный металл натекает на вторую нерасплавленную кромку, прикрывая непровар;
- неудовлетворительное качество основного металла, сварочной проволоки, электродов, флюсов и т.д.;
- плохая работа сварочного оборудования – колебания силы сварочного тока и напряжения дуги в процессе сварки;
- низкая квалификация сварщика.

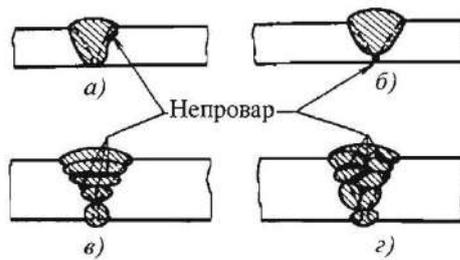


Рисунок 16 - Непровары: а – по кромке с основным металлом; б – в корне шва; в – между отдельными слоями; г – между валиками

Причинами образования непроваров в корне шва (рисунок 16, б) кроме указанных выше могут быть: недостаточный угол скоса кромок; большая величина их притупления; маленький зазор между кромками свариваемых деталей; большое сечение электрода или присадочной проволоки, укладываемой в разделку шва, что значительно затрудняет расплавление основного металла. Непровары между отдельными слоями (рисунок 16, в, г) возникают по следующим причинам: из-за не полностью удаленного шлака, образовавшегося при наложении предыдущего валика, что возможно из-за трудности его удаления или небрежности сварщика; недостаточной тепловой мощности (малый ток, излишне длинная или коротка дуга).

**Трещины** – частичное местное разрушение сварного соединения в виде разрыв (рисунок 17). Образованию трещин способствуют следующие факторы:

- – сварка легированных сталей в жестко закрепленных конструкциях;
- – высокая скорость охлаждения при сварке углеродистых сталей, склонных к закалке на воздухе;
- – применение высокоуглеродистой электродной проволоки при автоматической сварки конструкционной легированной стали;
- – использование повышенных плотностей сварочного тока при наложении первого слоя многослойного шва толстостенных сосудов и изделий;
- – недостаточный зазор между кромками деталей при электрошлаковой сварке;
- – слишком глубокие и узкие швы при автоматической сварке под флюсом;
- – выполнение сварочных работ при низкой температуре;
- – чрезмерное нагромождение швов для усиления конструкции (применение накладок и т.п.), в результате чего возрастают сварочные напряжения, способствующие образованию трещин в сварном соединении;
- – наличие в сварных соединениях других дефектов, являющихся концентраторами напряжений, под действием которых в области дефектов начинают развиваться трещины.

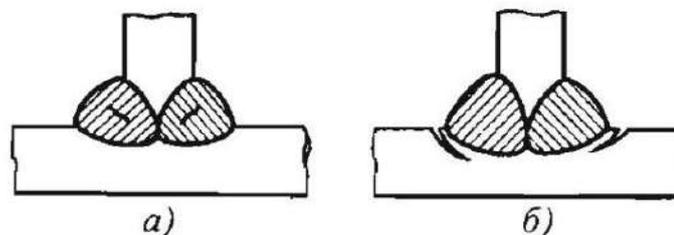


Рисунок 17 - Трещины в сварных швах и соединениях: а – в наплавленном металле; б – в зонах оплавления и термического влияния

Существенным фактором, влияющим на образование **горячих трещин** (ГТ), является засоренность основного и присадочного металлов вредными примесями серы и фосфора. **Холодные трещины** (ХТ) образуются при наличии составляющих

мартенситного и бейнитного типов, концентрации диффузного водорода в зоне зарождения трещин и растягивающих напряжений I рода. Трещины относятся к наиболее опасным дефектам и по всем действующим нормативно-техническим документам (НТД) недопустимы.

Для электронно-лучевой (ЭЛС) и лазерной сварки (ЛС) наиболее характерны: *несплавления за счет смещения луча* вследствие намагничивания (ЭЛС) или непостоянства зазора по длине (ЛС); газовые полости, возникающие из-за неполного закрытия газодинамического канала; дефекты формирования шва из-за выброса металла; пористость.

**Металлические включения.** На практике наиболее распространены вольфрамовые включения при сварке алюминиевых сплавов. Они обычно возникают при аргодуговой сварке вольфрамовым электродом. При этом могут наблюдаться мгновенная нестабильность дуги и появление одновременно вольфрамовыми включениями оксидных включений. Вольфрамовые включения могут располагаться внутри шва и на поверхности соединений в виде брызг. При попадании вольфрама жидкую ванну он обычно погружается на дно ванны. Вольфрам в алюминии нерастворим обладает большой плотностью. На рентгеновском снимке он дает характерные ясные изображения произвольной формы. Вольфрамовые включения, как правило образуются в местах обрыва дуги, при этом вольфрам скапливается в вершине кратеров, где часто образуются трещины.

Вольфрамовые включения подразделяю на две основные группы: изолированные и групповые. Размер диаметра изолированных включений 0,4...3,2 мм. Групповые включения описываются (по рентгенограмме) размером группы, количеством и размером отдельных (изолированных) включений в группе, при этом размер группы характеризуется размером минимальной окружности, в которую вписывается группа включений. Если изображение нескольких включений сливается, то их принимают за одно включение [6].

## 5. Влияние дефектов сварки на работоспособность конструкции



*Влияние дефектов на механические свойства сварных соединений определяется величиной и формой дефектов, частотой их повторения, материалом конструкции, условиями эксплуатации и характером нагрузки. Поэтому наличие дефектов в сварных соединениях еще не означает потерю их работоспособности. Но дефекты могут существенно снизить работоспособность конструкций и при определенных условиях привести к их разрушению. Следовательно, для определения надежности сварных конструкций и установления требований, предъявляемых к качеству сварных соединений, необходимо располагать сведениями о влиянии наиболее вероятных дефектов на прочность соединений. Наибольшую опасность для конструкций представляют внутренние дефекты, так как их надо обнаружить, не разрушая сварного соединения.*

*В конструкциях, работающих при статических и динамических нагрузках, одни и те же дефекты неодинаково влияют на сварные соединения. При статической нагрузке основное влияние на прочность конструкций, работающих при температурах до -60 °С, оказывает относительная величина дефекта при условии, что материал сварного соединения имеет большой запас пластичности. При более низких температурах прочность характеризуется интенсивностью напряжений в зоне дефекта. При динамических нагрузках прочность сварных соединений определяется их сопротивлением усталостным напряжениям. Подрезы, поры, шлаковые включения и непровары снижают долговечность конструкций, являясь причинами образования концентрации напряжений. Трещины любой величины, как правило, не допускаются в сварных соединениях, так как*

способствуют концентрации внутренних напряжений, легко распространяясь при этом в глубь металла.

**Степень влияния подрезов** на усталостную прочность зависит от глубины подреза, величины остаточной напряженности и вида сварного соединения. Так, у трубопроводов для горючих, токсичных и сжиженных газов не допускаются подрезы в местах перехода сварного шва к основному металлу глубиной более 0,1 толщины стенки трубы, но не более 1 мм. На одном стыке допускается подрез общей протяженностью не более 30 % длины шва. Сварные стыки трубопроводов, работающих при условном давлении от 10 до 100 МПа (от 100 до 1000 кгс/см<sup>2</sup>) и температуре от -50 до +5 °С, бракуют при наличии подрезов в местах перехода от шва к основному металлу длиной более 20 % протяженности шва при наружном диаметре до 159 мм и длиной более 100 мм при наружном диаметре свыше 159 мм. Кроме того, сварные стыки трубопроводов бракуют при подрезах глубиной более 5 % при толщине стенки до 10 мм и глубиной более 1 мм при толщине стенки более 10 мм. Суммарное влияние подреза и увеличения растягивающих остаточных напряжений может привести к снижению предела выносливости вдвое.

**Поры** являются причинами усталостных разрушений в угловых, стыковых и в поперечных швах (по отношению к действующей нагрузке) с высокими растягивающими остаточными напряжениями. Поэтому в сварных швах трубопроводов высокого давления не допускаются одиночная пора, сплошная цепочка или сетка пор (независимо от длины и площади) размером более 5% толщины стенки трубы при ее толщине до 20 мм и свыше 1 мм при большей толщине и наличии двух и более пор на 100 мм сварного шва. В нахлесточных соединениях поры практически не влияют на их выносливость. Отрицательное влияние на прочность сварки соединений оказывают также шлаковые включения.

**Непровар** оказывает большое влияние на ударную прочность металла сварных швов. По данным Института электросварки им. Е. О. Патона, непровар в 10 % толщины сварного соединения может наполовину снизить усталостную прочность, а непровар в 40-50 % снижает пределы выносливости стали в 2,5 раза.

Эксплуатации сварных конструкций показывает, что сварочные напряжения и деформации в основном не снижают несущей способности конструкций. Но в некоторых случаях изменение размеров и формы сварной конструкции снижает ее работоспособность, портит внешний вид и даже может привести к разрушению. Так, искривление продольной оси элементов конструкций, работающих на сжатие, местное выпучивание, грибовидность полков колонн и балок могут привести к потере устойчивости и разрушению всей конструкции.

Существует общая закономерность снижения прочности сварных конструкций под действием ударной нагрузки при наличии подрезов, пор, шлаковых включений и непроваров. Виды, количество и размеры допускаемых внутренних дефектов зависят от назначения конструкции.

У трубопроводов для горючих, токсичных и сжиженных газов сварные швы бракуют, если обнаружены трещины любых размеров и направлений, свищи, сетки или цепочки пор, шлаковые или другие инородные включения, непровар в корне шва, межваликовые несплавления. Кроме того, бракуют сварные швы, имеющие непровар при одностороннем шве без подкладного кольца глубиной более 10% толщины стенки трубы (если она не превышает 20 мм) и глубиной более 2 мм при толщине стенки свыше 20 мм, а также бракуют швы, имеющие одиночные поры, включения вольфрама размером свыше 10% толщины стенки (если толщина не превышает 20 мм) и размером более 2 мм (если толщина стенки свыше 20 мм) в количестве более трех на каждые 100 мм шва.

Примерно такими же являются браковочные признаки для трубопроводов высокого давления.

В сварных соединениях стальных конструкций промышленных и гражданских зданий и сооружений допускаются непровары по сечению швов в соединениях, доступных сварке с двух сторон глубиной до 5% толщины металла, но не более 2 мм при длине непровара не более 50 мм и общей длине участков непровара не более 200 мм на 1 м шва. Кроме того, возможны непровары в соединениях, доступных сварке с одной стороны (без подкладок), глубиной до 15% толщины металла, если она не превышает 20 мм. Допускается суммарная величина непровара, шлаковых включений и пор, расположенных отдельно или цепочкой, не превышающая в рассматриваемом сечении при двухсторонней сварке 10% толщины свариваемого металла, но не более 2 мм, и при односторонней сварке без подкладок 15%, но не свыше 3 мм [8].



**Фотоальбом дефектов сварных соединений по визуальному и измерительному контролю**

### Контрольные вопросы:



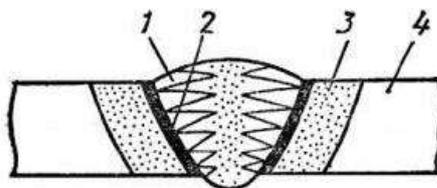
1. Какие структурные зоны формируются в сварном соединении стали при сварке плавлением?
2. Что такое зона термического влияния, чем она характеризуется и от чего зависит ее размер?
3. Каковы причины возникновения напряжений и деформаций при сварке?
4. Какие способы уменьшения сварочных деформаций вы знаете?
5. Приведите классификацию видов дефектов сварных соединений.
6. Назовите наиболее распространенные виды наружных и внутренних дефектов сварных соединений.
7. Каковы основные причины образования наружных и внутренних дефектов сварных соединений?
8. В чем различие между холодными и горячими трещинами?
9. Назовите причины, приводящие к возникновению таких дефектов как непровары.
10. Как дефекты влияют на работоспособность сварных конструкций?
11. Как влияет деформация и напряжения на работоспособность сварной конструкции?



### Задания для закрепления изученной темы:

#### Задание № 1

На подготовленной поверхности разреза сварного шва, можно видеть отдельные участки, имеющие различное строение зерен и называемые зонами сварного шва. Подпишите эти зоны в соответствии с рисунком 1.



На рисунке 2 подпишите основные участки зоны термического влияния для низкоуглеродистой стали. Опишите влияние этих участков на механические свойства стали.

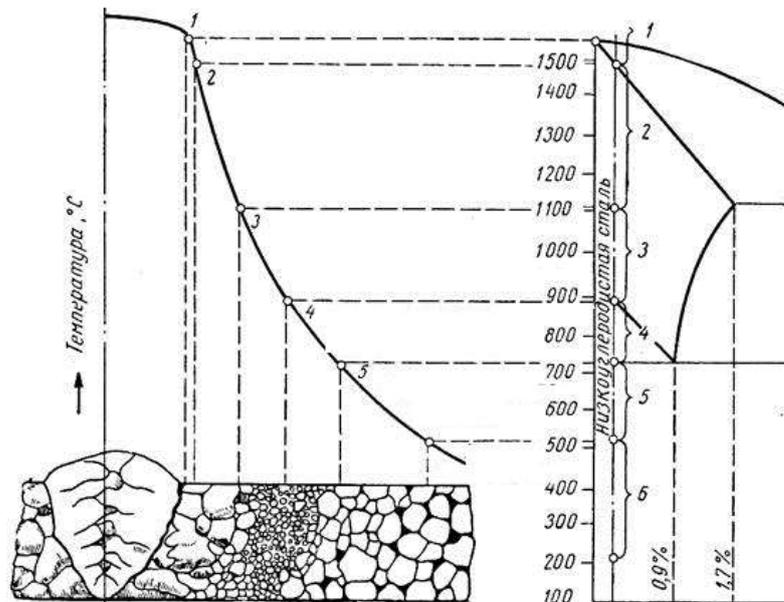


Рисунок 2 – Схема строения сварного шва

**Задание № 2**

После сварки таврового соединения, представленного на рисунке 3, произошла деформация. Назовите причины возникновения этой деформации, укажите способы ее предупреждения и предложите способы исправления возникшего дефекта.

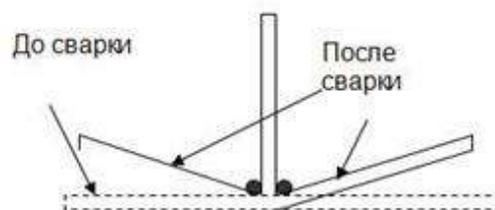
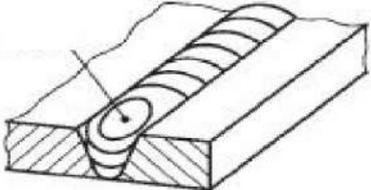


Рисунок 3 – Деформация таврового соединения.

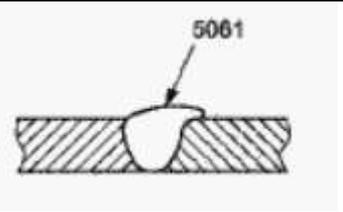
**Задание №3**

Воспользовавшись ГОСТ Р ИСО 6520-1-2012 Сварка и родственные процессы. Классификация дефектов геометрии и сплошности в металлических материалах. Часть 1. Сварка плавлением, дополните таблицу по имеющейся информации.

Обозначение дефекта	Название дефекта	Определение и/или пояснение дефекта	Рисунки сварных швов и соединений с дефектами
<b>1024</b>			

			
	<b>Единый подрез</b>		
<b>2011</b>			
		Смещение между двумя свариваемыми элементами, поверхности которых не параллельны или не находятся под заданным углом	
	<b>Вогнутость корня шва</b>		
			
<b>510</b>			

### Пример выполнения задания №3

Обозначение дефекта	Название дефекта	Определение и/или пояснение дефекта	Рисунки сварных швов и соединений с дефектами
2012	Равномерная пористость	Ряд газовых пор, распределенных сравнительно равномерно в наплавленном металле, отличающейся от цепочки пор (2014) и скопления пор (2013).	
5061	Натек на лицевой стороне сварного шва	Избыток наплавленного металла, натекшего на поверхность основного металла без сплавления с ним (по границе сварного шва на лицевой поверхности соединения).	

## ТЕМА 1.2. Методы выявления наружных дефектов сварных соединений

### Перечень вопросов, подлежащих рассмотрению:

1. Классификация видов технического контроля.
2. Визуальный и измерительный контроль.
3. Методы предотвращения образования дефектов формы шва.

### 1. Классификация видов технического контроля

Сварка является основной технологической операцией при изготовлении и монтаже различных типов конструкций, т.е. практически все неразъемные соединения этих конструкций - сварные. При этом сварка в конечном итоге определяет качество конструкций, а, следовательно, надежность и долговечность технологических установок, сооружений и производств, где указанные конструкции (металлоконструкции, трубопроводы, сосуды, аппараты, подъемно-транспортное оборудование и т.д.) являются основными. Поэтому эффективная организация контроля качества сварных соединений и конструкций на всех этапах производства является залогом высокой надежности конструкций.



*По организационным признакам все виды контроля (контрольные операции) разделяются на три группы:*

1. Входной (предупредительный) контроль, который осуществляется до начала производства сборочно-сварочных работ, он как бы "предупреждает" появление дефектов, устраняет порождающие их причины.
2. Текущий (пооперационный) контроль, выполняемый в процессе производства работ.
3. Приемочный (выходной) контроль, который является контролем готового сварного соединения (сварной конструкции).

Наиболее значимым для обеспечения надежного качества сварных соединений (конструкций) является входной контроль, четкая организация которого обеспечивает предупреждение (профилактику) появления различного рода дефектов.

Ниже приводятся подробные данные о составе контрольных операций в каждой из трех групп, в зависимости от характера конструкций, требований нормативных документов к качеству сварных соединений, в конкретных условиях производства может быть применена лишь часть этих операций. Вместе с тем, часть контрольных операций является обязательной для всех случаев.

**Входной контроль.** В комплекс операций предупредительного контроля входят следующие действия:

1. Контроль технической (проектно-сметной) документации. При этом контролируется комплектность документации, технологичность принятых проектных решений, наличие достаточных указаний по производству сварочных работ (включая ссылки на нормативные документы), правильность подсчета сметной стоимости работ.

2. Контроль технологической документации. Проверяются своевременный заказ на разработку проектов производства работ (ППР), включая сварочные работы (ППСР), состав и комплектность ППР и ППСР, составление технологических карт на сборочно-сварочные работы, наличие всех нормативных документов (ГОСТов, ОСТов, ТУ, СНиП, СН, ВСН и др.), необходимых для выполнения работ, а также различных норм и нормативов (норм расхода материалов, норм времени и расценок и т.д.).

3. Контроль качества основных материалов (в сварочном производстве это преимущественно металлоконструкции, металлический прокат и трубы). При этом осуществляется проверка наличия сертификатов и паспортов, соответствия их требованиям нормативной и технической документации, а в необходимых случаях производятся необходимые пробы и испытания (например, трубы высокого давления и листовой прокат - на расслоение металла, листовой металл - на ударную вязкость при отрицательной температуре - хладноломкость и др.). Проводится также контроль за складированием металлопроката и труб - по маркам, плавкам, типоразмерам.

4. Контроль качества сварочных материалов, в том числе проверка их приемки и хранения, наличия сертификатов и паспортов, их соответствия требованиям проекта и нормативных документов, а также проведения необходимых технологических испытаний, просушки, прокалки и доставки на рабочие места.

5. Контроль квалификации сборщиков и сварщиков, а в необходимых случаях - и инженерно-технических работников. При этом контролируется соответствие квалификации сварщика выполняемым им работам, своевременное проведение аттестации и переаттестации сварщиков и наличие непросроченных удостоверений на право допуска к ответственным сварочным работам, качество контрольных образцов, сваренных сварщиком перед началом работ.

Кроме того, необходимо производить проверку инженерно-технических работников, слесарей-сборщиков и сварщиков на знание ими требований нормативных документов к производству сборочно-сварочных работ.

6. Контроль сварочного оборудования, его исправности, комплектности, наличие исправных приборов для контроля за режимом сварки, соблюдение графика планово-предупредительных ремонтов.

7. Контроль сборочно-сварочной оснастки инструмента и приспособлений (исправность и комплектность).

8. Контроль применяемого впервые технологического процесса сварки (сварочного оборудования). Смысл этой контрольной операции - не выпускать на производство не отработанную технологию (оборудование).

9. Проверка средств контроля. При этом контролируется наличие приборов, аппаратов и инструментов, необходимых для осуществления контрольных операций, их техническое состояние, соблюдение сроков регистрации и проверки.

10. Контроль подготовки рабочих мест к производству сварочных операций, выполнение требований технологической документации и правил охраны труда и техники безопасности.

11. Контроль подготовки исполнительной (сдаточной) документации - наличие бланков актов, журналов, заключений о качестве, умение ответственных лиц оформлять эти документы.

12. Контроль готовности объекта к производству сварочных работ, наличие достаточного фронта работ, необходимых материалов, конструкций, оборудования и т.д.

**Текущий (пооперационный контроль).** В состав текущего контроля, который осуществляется в процессе производства сборочно-сварочных работ, входят:

1. Контроль подготовки деталей к сборке (наличие нужной разделки кромок, очистки, обезжиривания, перпендикулярности торцов и т.д.).

2. Контроль сборки (проверка зазоров, смещения кромок, соосности, правильности установки подкладных колец и электроприхваток и т.д.).

3. Контроль режимов технологического процесса сварки, включая предварительный и сопутствующий подогрев, очистку слоев при многослойной сварке, соблюдение специальных приемов сварки (обратная ступенчатость, мягкие прослойки), заварку кратеров.

4. Промежуточный визуальный контроль, например, при многослойной сварке.

5. Промежуточный неразрушающий контроль сварного шва, например, просвечивание корневого шва при сварке трубопроводов высокого давления.

6. Контроль и испытание образцов-свидетелей.

7. Контроль режимов в процессе термообработки сварных соединений.

8. Контроль работы сварочного оборудования, в том числе соблюдение графика плано-предупредительных осмотров и ремонтов.

9. Контроль за ведением исполнительной документации. Нетрудно заметить, что операции, указанные в п.п. 5; 6 и 7, не являются обязательными для всех организаций и предприятий. Например, на заводах металлоконструкций практически не применяется промежуточный неразрушающий контроль и термическая обработка сварных соединений.

**Приемочный контроль** законченного сварного соединения (сварной конструкции) включает:

1. Визуальный контроль (контроль внешним осмотром), при котором выявляются поверхностные дефекты сварного соединения (конструкции) или нарушения технологии, не являющиеся прямыми дефектами (например, шов не полностью очищен от шлака).

2. Контроль основных геометрических размеров как конструкции в целом, так и сварного шва (ширина, высота валика усиления).

3. Неразрушающий контроль сварных соединений и конструкций, включающий в себя большое количество методов и способов, основными из которых являются следующие:

3.1. Контроль сварных соединений на плотность керосином (керосиновая проба).

3.2. Контроль сварных соединений на плотность вакуумным методом (вакуумной тележкой).

3.3. Контроль проникающим излучением (рентгено- и гамма-графия).

3.4. Ультразвуковой контроль.

3.5. Магнитная дефектоскопия.

3.6. Капиллярные методы контроля, в том числе люминесцентная и цветная дефектоскопии.

3.7. Контроль твердости металла сварного шва и околошовной зоны (при термообработке).

3.8. Контроль плотности при помощи галоидных или гелиевых телеискателей.

3.9. Контроль плотности акустическим телеискателем.

3.10. Гидравлическое или пневматическое испытание трубопроводов, сосудов, резервуаров, аппаратов на прочность и плотность.

4. Контроль с разрушением сварного соединения:

4.1. Механические испытания.

4.2. Металлографические испытания.

4.3. Специальные испытания, в том числе на межкристаллитную коррозию, на наличие ферритной фазы в аустените.

5. Контроль исполнительной документации, необходимость в перечисленных видах контроля, объем и периодичность выполнения контрольных операций зависят от вида сварных конструкций, их назначения и категории. Практически все виды контроля применяют при сварочных работах на трубопроводах I и II категорий. В значительно меньшем объеме осуществляется контроль при монтаже металлических конструкций каркасов промышленных зданий. Объем и методы контроля устанавливаются нормативной и проектной документацией.

Обязательными операциями приемочного контроля для всех предприятий и организаций являются перечисленные в п.п. 1; 2 и 5.

**Исполнительская документация.** Соответствие сварных соединений (конструкций) проекту и нормативным документам подтверждается исполнительной технической документацией, которая передается заказчику (потребителю) после окончания строительно-монтажных работ (или при отгрузке потребителю сварных конструкций). Перечень документов устанавливается соответствующими стандартами, нормами, правилами, техническими условиями, инструкциями, а также проектом в зависимости от вида работ, категории их сложности и ответственности.

Например, перечень обязательной документации при монтаже технологических трубопроводов и оборудования устанавливает СНиП 3.05.05-84, при монтаже трубопроводов для горючих, токсичных и сжиженных газов - ПУГ-69 Госгортехнадзора и т.д. В машиностроении документы, входящие в состав исполнительной документации, можно условно разделить на группы:

1. Документы, удостоверяющие соответствие выполненных работ проекту - исполнительные чертежи, т.е. чертежи, на которых делается надпись о том, что работы сделаны без отступлений от проекта.

Если не все работы выполнены по проекту, на чертежах наносятся отступления со ссылкой на документ, их согласовывающий (или подписи заказчика и проектной организации). К этой же группе документов относятся исполнительные схемы технологических трубопроводов и паропроводов I и II категорий, газопроводов высокого давления и др. На схемы наносятся сварные стыки с указанием необходимых данных о сварщиках, контроле качества, характере соединения и т.п.

2. Документы, подтверждающие качество использованных основных материалов, деталей, полуфабрикатов и конструкций, - копии сертификатов на металл и трубы, паспорта на детали, полуфабрикаты и конструкции, результаты испытаний труб высокого давления на расслоение и микротрещины и другие аналогичные документы.

3. Документы о качестве сварочных материалов - копии сертификатов, акты испытания на прочность обмазки электродов и технологических проб, результаты химического анализа и механических испытаний, паспорта на флюсы и защитные газы и т.п.

4. Документы, подтверждающие квалификацию рабочих, а в необходимых случаях и инженерно-технических работников, в том числе копии удостоверений сварщиков на право выполнения ответственных сварочных работ, копии или реестр контролеров-дефектоскопистов или радиографов, копии удостоверений слесарей и ИТР на право ведения работ на газопроводах.

5. Журналы производства работ, в том числе сварочных, в которых регистрируют место, время, технологию, исполнителей, проведение и результаты контрольных операций, а также другие необходимые сведения. Форма журнала устанавливается нормативными документами.

6. Акты на скрытые работы, подтверждающие правильность выполнения промежуточных совмещенных работ (приемка фундаментов под монтаж, траншей под укладку трубопроводов, растяжка компенсаторов и т.п.).

7. Документы, подтверждающие качество сварных соединений, в том числе результаты неразрушающего контроля физическими методами, протоколы механических и металлографических испытаний, исполнительные диаграммы термообработки и замер твердости.

8. Документы, удостоверяющие результаты испытания конструкции в целом; в том числе акты на проведение гидравлических, пневматических и испытаний на непроницаемость (плотность).

Объем исполнительной документации, представляемой заводами-изготовителями заказчиком сварных конструкций, сокращен и сводится, как правило, к единому документу - паспорту на конструкцию. Необходимые сведения заносятся в паспорт, первичная исполнительная документация хранится в ОТК завода[9].

## 2. Визуальный и измерительный контроль

Любая работа, выполняемая сварщиком, требует контроля. А сделать это невозможно без измерений, то есть без использования измерительных инструментов и приборов.



**Основным нормативным документом, регламентирующим проведение визуального и измерительного контроля является Инструкция по визуальному и измерительному контролю РД 03-606-03. Визуальный и измерительный контроль, как было отмечено на первом занятии, состоит из трех этапов. Рассмотрим каждый из них подробно.**

### **Характеристика этапов проведения визуального и измерительного контроля**

1. **Визуальный контроль соединений** проводится невооруженным глазом в видимом свете с расстояния до контролируемой поверхности 250 - 600 мм, а в сомнительных местах при помощи лупы с оптическим увеличением до 7-кратного. Оптические приборы позволяют намного расширить пределы естественных возможностей глаза. Это дает возможность видеть мелкие объекты, размеры которых находятся за пределами границы видимости невооруженного глаза. При этом облегчается анализ причин возникновения дефектов сварного шва и их классификацию.

2. Визуальный контроль с применением оптических приборов называют **визуально-оптическим**. Он предназначен для обнаружения различных поверхностных дефектов материала деталей, скрытых дефектов агрегатов, контроля закрытых конструкций, труднодоступных мест механизмов и машин (при наличии каналов для доступа приборов к контролируемым объектам) и создает полное изображение проверяемой зоны, ее видимую картину.

Оптические приборы – **эндоскопы** позволяют осматривать детали и поверхности элементов конструкций, скрытые близлежащими деталями и не доступные прямому наблюдению, контролировать состояние внутренней поверхности различных закрытых конструкций.

**Для измерительного контроля** следует применять приборы и инструменты, класс точности которых обеспечивает надежное определение измеренных величин.

Измерительные инструменты и приборы должны периодически проходить проверку в метрологических службах в сроки, установленные НД на соответствующие приборы и инструменты. Измерительные инструменты, изготовленные предприятием-изготовителем для собственных нужд должны быть аттестованы метрологической службой и подлежат указанной выше периодической проверке.

Измерительный контроль размеров: углублений между валиками и чешуйчатости поверхности, ширины и выпуклости (вогнутости) поверхности шва, смещения кромок

сваренных деталей на выполненных сварных соединениях следует проводить в соответствии с нормативной документацией (НД).

При измерении, которое проводится на различных стадиях получения сварного шва следует использовать следующий инструмент и приборы:

- линейки измерительные по ГОСТ 427-75;
- штангенциркуль по ГОСТ 166-80;
- микрометр по ГОСТ 6507-78;
- рулетки измерительные металлические по ГОСТ 7502-80;
- лупы измерительные по ГОСТ 25706-83;
- шаблоны и лупы соответствующей конструкции для контроля формы и размеров выполненных сварных швов и др.

Допускается применение зеркал, перископов, волоконных световодов и телекамер при условии выявления дефектов.

Для измерения толщин стенок изделий допускается применять физические методы контроля с использованием ультразвуковых дефектоскопов и толщиномеров.

Чешуйчатость сварного шва и углубления между валиками допускается определять по слепку, снятому с контролируемого участка. Сленок разрезают (не допуская его деформации) так, чтобы искомый размер располагался в плоскости разреза. Материалом для слепка может служить пластилин, воск и другие пластичные материалы.



#### **Измерительные инструменты и приборы для обнаружения и контроля мелких близкорасположенных объектов.**

Данный вид контроля проводится с использованием Комплекта визуального и измерительного контроля (ВИК).

Комплект инструментов для визуального и измерительного контроля (рисунок 18) может включать в себя:

1. Нормативный документ РД 03-606-03;
2. Фонарик карманный;
3. Маркер по металлу;
4. Лупа измерительная 10х;
5. Лупа просмотровая 2х;
6. Лупа просмотровая 7х;
7. Рулетка измерительная 200 см;
8. Линейка измерительная 30 см;
9. Штангенциркуль ШЦ I-125-0,1 ГОСТ 166-89;
10. Универсальный шаблон сварщика УШС-2;
11. Универсальный шаблон сварщика УШС-3;
12. Угольник поверочный УП 160х100 кл.1;
13. Набор щупов № 4 Кл. (0,1 - 1,0 мм);
14. Набор радиусов №1(1-6 мм);
15. Набор радиусов № 3 (7 - 25 мм);
16. Шаблон Красовского;
17. Сумка упаковочная.

**Лупы и микроскопы** используются для визуально-оптического контроля деталей. Его проводят с помощью луп с фокусным расстоянием от 125 до 12,5 мм и увеличением соответственно от 2 до 20х.

Для контроля близко расположенных деталей (находящихся на расстоянии не более 250 мм от глаз контролера) используют лупы и микроскопы различного типа. Лупы и микроскопы позволяют обнаруживать трещины различного происхождения, поверхностные коррозионные и эрозионные повреждения, забоины, открытые раковины, язвы, поры, выкрашивание материала деталей, риски, надирь трущихся поверхностей и

другие поверхностные дефекты деталей, а также различные дефекты лакокрасочных и гальванических покрытий.

При анализе характера дефектов эти приборы позволяют отличать усталостные трещины от хрупких, трещины - от рисок, примятых заусенцев, сколов окисной пленки, нитевидных загрязнений (волокон ветоши, щетины от кистей) и т.д.



Рисунок 18 - Стандартный комплект визуального и измерительного контроля

Из-за существенного снижения поля зрения и глубины резкости при больших увеличениях для осмотра деталей в цеховых условиях, в основном, применяют **микроскопы** (рисунок 18) с увеличением от **8 до 40-50×**. Увеличение изображения микроскопом, используемым для осмотра деталей, превышает увеличение лупой и эффективнее из-за высокого качества изображения и надежного обнаружения дефектов. Применяемые для контроля деталей микроскопы дают прямое стереоскопическое изображение контролируемой поверхности, что облегчает поиск дефектов. Область применения микроскопов ограничена заводскими условиями. **Достоинством микроскопов** является их относительно большое рабочее расстояние, позволяющее использовать их для осмотра различных углублений и пазов на деталях. Например, рабочее расстояние лупы 20× составляет 10 мм, а микроскопа МБС-02 (рисунок 19) - 64 мм при любом увеличении.



Рисунок 19 - Микроскоп МБС-02

**Универсальные шаблоны сварщика (УШС)** – это простейшие устройства, предназначенные для контроля внешних характеристик сварного соединения:

а. **УШС-2** предназначен для контроля катетов угловых швов в диапазоне 4 – 14 мм (рисунок 20). Контроль проводится ступенчатым методом определения до минимального зазора.

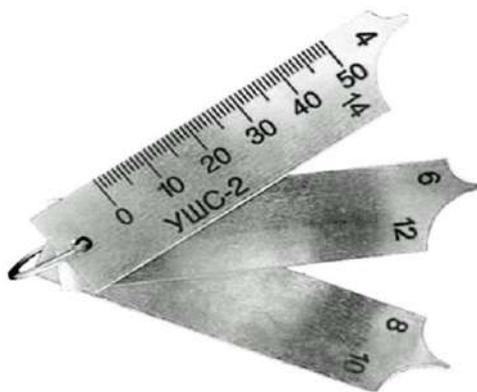


Рисунок 20 - Универсальный шаблон сварщика УШС-2

УШС-2 состоит из 3-х лепестков и 1 соединительного кольца. Каждый из лепестков имеет точно выполненные выточки определенного катета. Для удобства контроля рядом с каждой выточкой выбит размер соответствующего радиусу катета шва. Контроль катета сварного шва производится **методом «на просвет»** путем последовательного соприкосновения (подбора) лепестков с соединенными сваркой деталями. Размер считается установленным, если длинная сторона лепестка и перемычка между катетами лепестка прилегают к деталям без видимого зазора, а зазор между дугами лепестка и шва является минимальным. При несовпадении ни с одной ступенью размеров в указанном диапазоне значение катета определяется эмпирическим путем.

**УШС-3** предназначен для измерения контролируемых параметров труб, контроля качества сборки стыков соединений труб, а также для измерения параметров сварного шва при его контроле (рисунок 21)

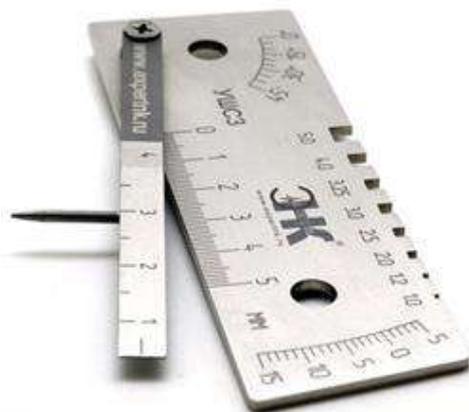


Рисунок 21 - Универсальный шаблон сварщика УШС-3

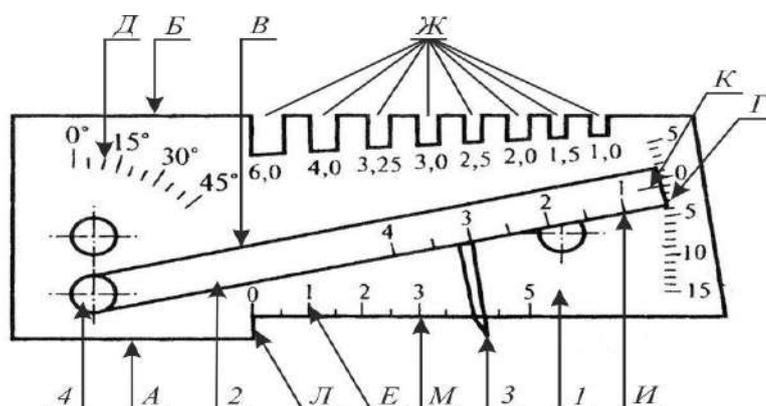


Рисунок 22 - Основные измерительные элементы Универсального шаблона сварщика УШС-3

Шаблон УШС-3 состоит из основания 1, соединенного осью 4 с движком 2 и закрепленного на движке указателем 3 (рисунок 22).



**Порядок проведения контроля (протоколы для проведения ВИК приведены в приложении):**

а) Контроль глубины раковин, глубины забоин, превышение кромок глубины разделки стыка до корневого слоя и высоту усиления шва производят при установке шаблона поверхностью А на изделие, затем поворотом движка 2 вокруг оси 4 ввести указатель 3 в соприкосновение с измеряемой поверхностью. Результат считывается против риски К по шкале Г.

б) Контроль зазора производится введением движка 2 его клиновой частью в контролируемый зазор. По шкале И, нанесенной на движке, считывается результат.

в) Контроль притупления шва, ширины шва производят при помощи шкалы Е, пользуясь ею как измерительной линейкой.

г) Контроль углов скоса кромок производится при установке шаблона поверхностью Б на образующую изделия. Затем, поворотом движка 2 совместить без зазора его поверхность В с измеряемой поверхностью. Результат считывается по шкале Д против поверхности движка В.

д) Определение диаметров проволоки, высоты выступа разделки производится с помощью пазов Ж.

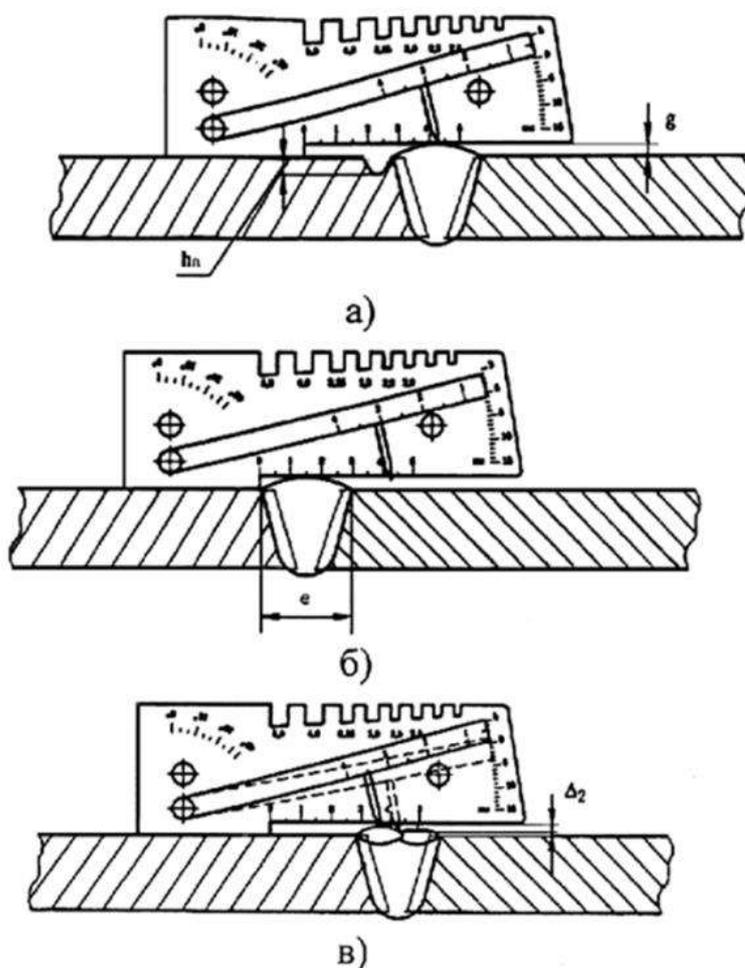
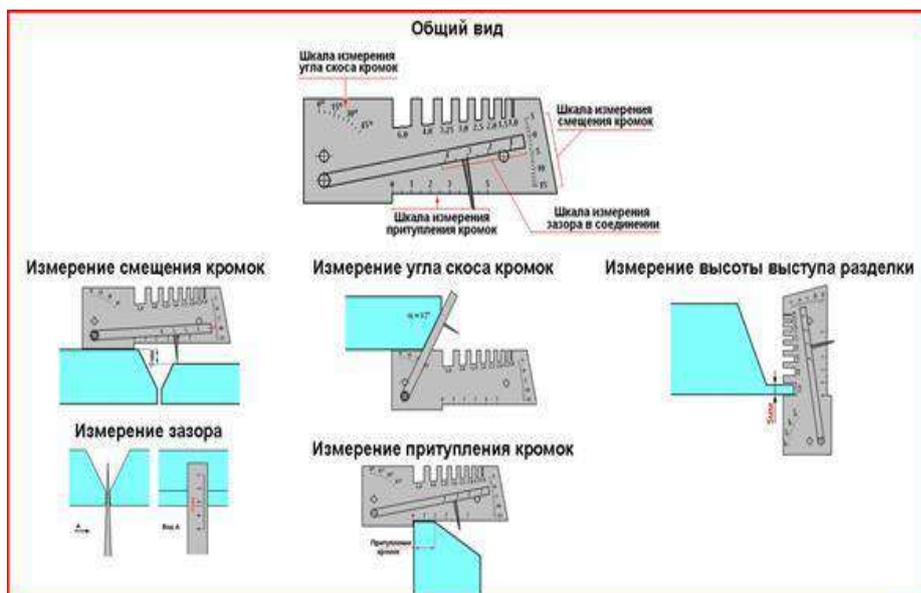


Рисунок 23 - Схемы применения УШС-3

- а) измерение высоты шва ( $g$ ) и глубины подреза ( $h_{п}$ ); б) измерение ширины шва ( $e$ ); в) измерение западаний между валиками ( $\Delta_2$ )

**Инструменты, позволяющие провести измерение отдельных параметров сварного соединения.**

Кроме указанных выше существует большое количество других шаблонов. Принцип их применения аналогичен применению шаблонов УШС-2 и УШС-3. Например, шаблон Красовского (рисунок 24).

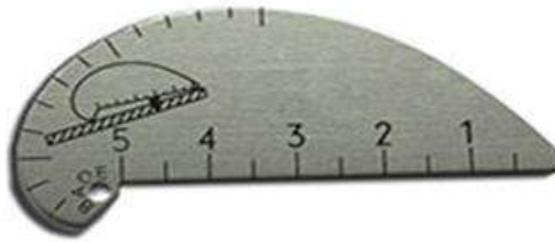


Рисунок 24 - Шаблон Красовского

Шаблон Красовского служит для контроля тавровых и нахлесточных сварных соединений, стыковых сварных соединений, измерения зазора между кромками, измерение выпуклости, вогнутости и высоты углового шва. Схемы его применения приведены на рисунок 25.

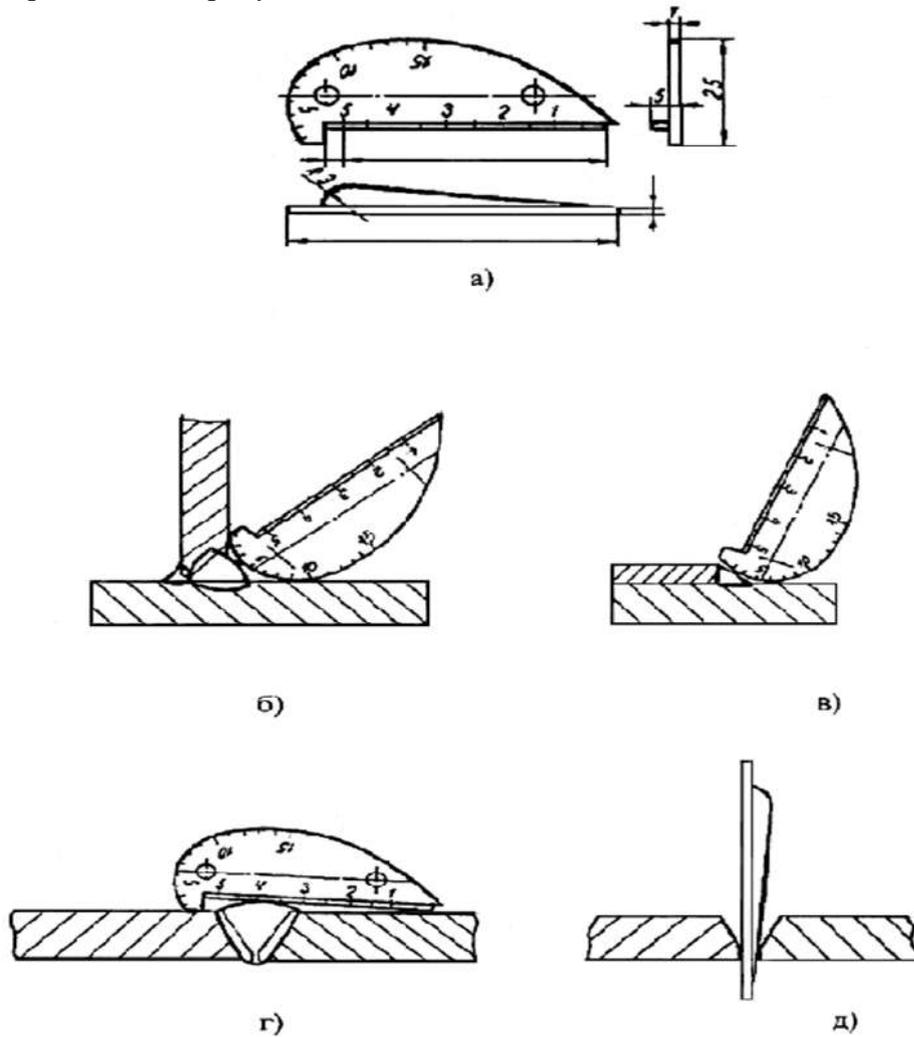


Рисунок 25 - Схемы применения шаблона Красовского  
 а) общий вид шаблона; б), в), г) контроль стыковых, тавровых и нахлесточных сварных соединений; д) измерение зазора между кромками

Наиболее распространенный *штангенциркуль* - штангенциркуль. С помощью штангенциркулей проводят измерительный контроль ширины и высоты шва, выпуклость и вогнутость обратной стороны шва, глубины подреза, катета углового шва, чешуйчатость шва, глубины западания между валиками [6].

Механический штангенциркуль представляет собой две измерительные поверхности, между которыми устанавливается размер, одна из которых составляет единое целое с линейкой (штангой), а другая соединена с двигающейся по линейке рамкой. На линейке находится через 1 мм деления, на рамке устанавливается или гравится нониус. Внешний вид различных штангенциркулей представлен на рисунке 26.

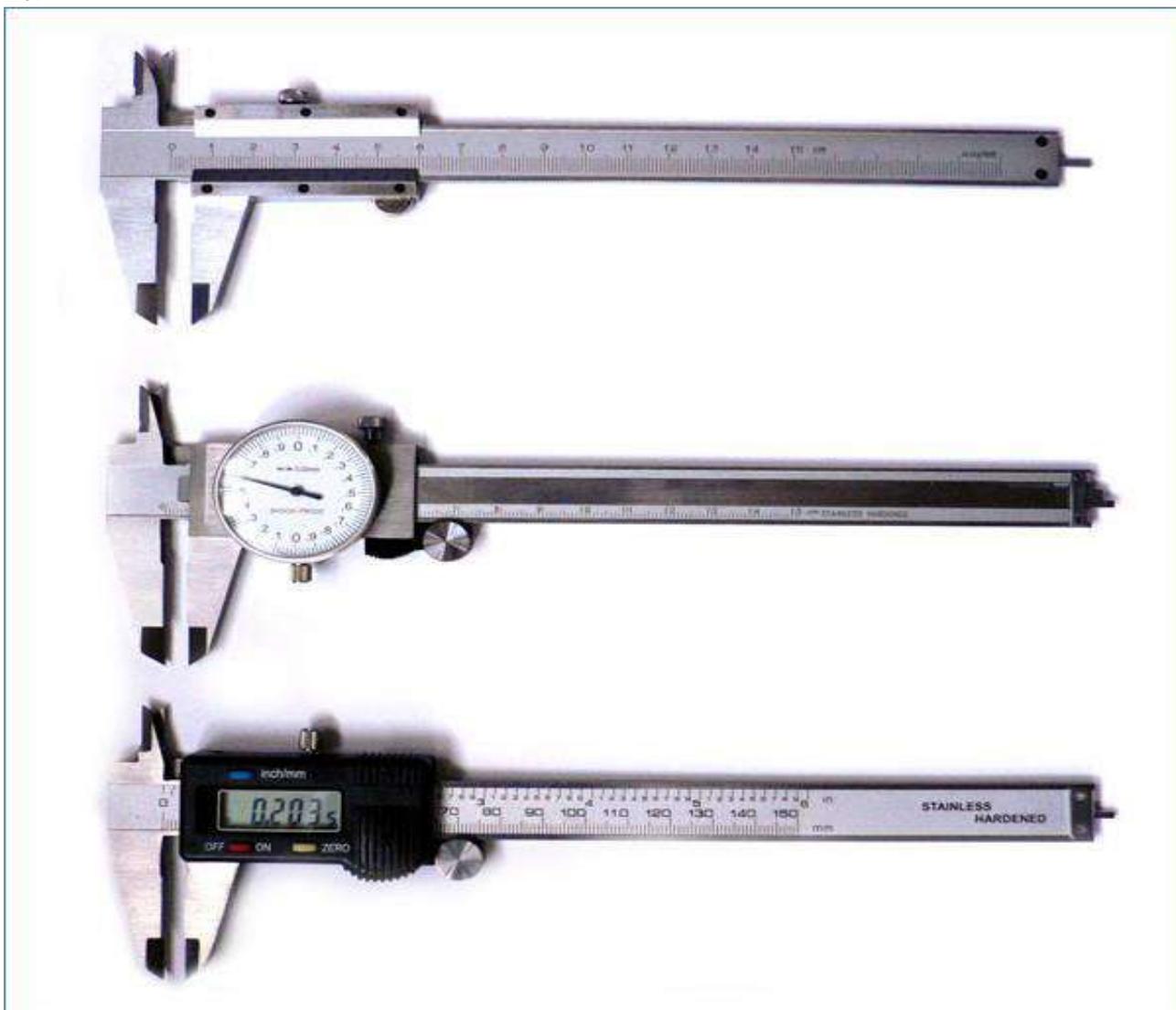


Рисунок 26 - Виды штангенциркулей 1– механический с нониусом; 2 – с круговым индикатором; 3 – электронный

К этому же виду инструментов можно отнести и шаблон Ушера - Маршака (рисунок 27), предназначенный для измерения скоса кромок при подготовке свариваемых соединений деталей, измерения высоты катета углового шва, измерения высоты валика усиления, измерения выпуклости корня шва стыкового сварного соединения, измерения зазора в соединении при подготовке деталей к сварке. Схемы применения шаблона Ушера-Маршака представлены на рисунке 27.



Рисунок 27 - Виды шаблона Ушерава-Маршака

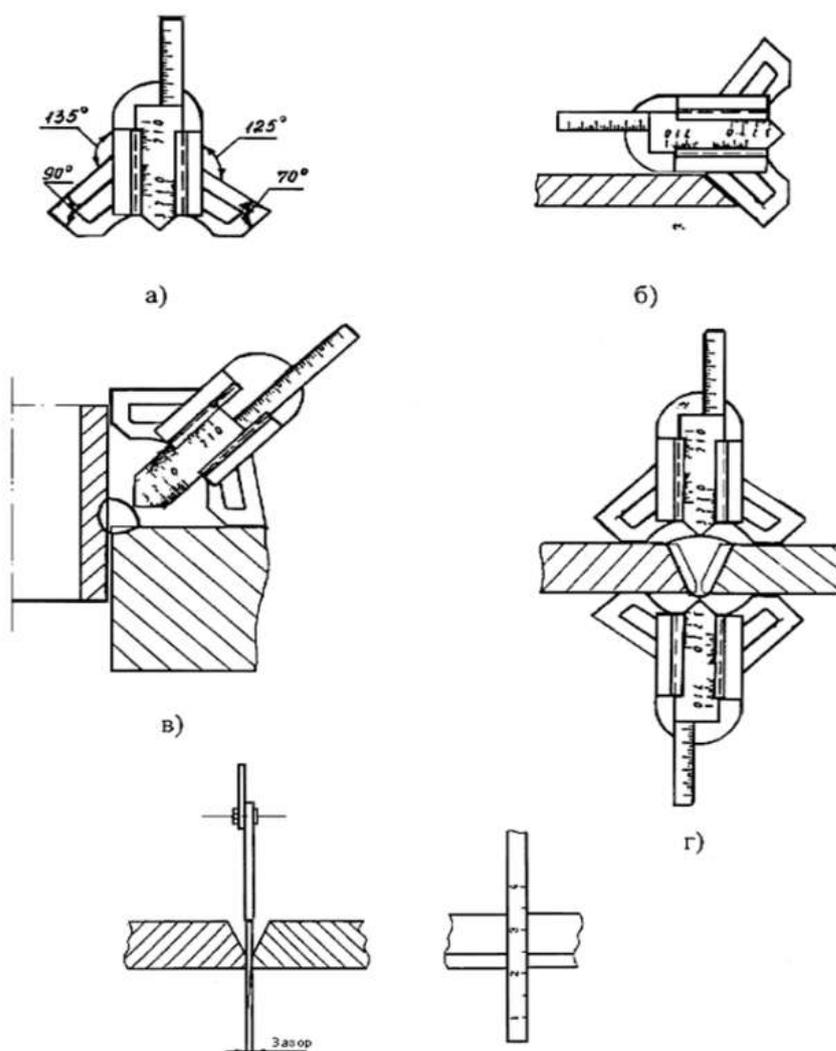


Рисунок 28 - Контроль шаблоном конструкции Ушерава-Маршака  
 а) общий вид шаблона; б) измерение угла скоса разделки "α"; в) измерение высоты катета углового шва "к"; г) измерение высоты валика усиления "g" и выпуклости корня

шва "g1" стыкового сварного соединения; д) измерение зазора "a" в соединении при подготовке деталей к сварке.



Рисунок 30 - Применение шаблона Ушера-Маршака. Измерение высоты катета углового сварного шва

#### **Измерительные приборы для обнаружения и визуального и измерительного контроля сварного шва.**

Визуальный и измерительный контроль предусматривает ручные технологии контроля. Для расширения возможностей метода неразрушающего контроля все чаще находят применение различные **эндоскопы** – смотровые приборы, которые используются для полного контроля общего технического состояния сварного шва с целью контроля состояния и целостности поверхностей, структурных элементов конструкций. Эндоскопы построенные на базе волоконной или линзовой оптики. Современные видеоэндоскопы (рисунок 31), имеющие на торце щупа микровидеокамеру с подсветкой.



Рисунок 31 - Современный видеоэндоскоп

Применение различных эндоскопов позволяет увидеть те области конструкции, узлов и деталей машин, которые невозможно увидеть человеческим глазом из-за невозможности проникновения к данной области. В последнее время в промышленности стало появляться оборудование, позволяющее автоматизировать процесс контроля,

снизить влияние человеческого фактора. Это **лазерные сканеры**. Конструкция одного из таких устройств для контроля сварного шва, представленная на рисунке 31.



Рисунок 32 - Лазерный сканер для контроля сварных швов. Информация, отображаемая на экране лазерного сканера

Система, снабжённая лазерным сканером и камерой высокого разрешения (рисунок 32), позволяет получать качественное трехмерное изображение шва. После создания трехмерной цифровой модели сварного шва производится автоматическое сравнение со встроенными шаблонами, основанными на конкретных нормативных документах. Признание сварного шва годным к эксплуатации происходит в режиме реального времени. На экране устройства отображается как фотография сварного шва, так и разнообразная информация, позволяющая классифицировать сварной шов, определить вид и геометрические параметры дефекта, сделать вывод о допустимости к эксплуатации изделия с данным дефектом [7].

### 3. Методы предотвращения образования дефектов формы шва

*К нарушениям формы шва относят дефекты с нарушением формы металла шва или отклонением от нормальных геометрических размеров.*

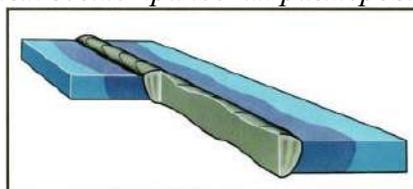


Рисунок 32 - Нарушение формы сварного шва (Код дефекта: 500).



**Нарушение формы** - отклонение формы наружных поверхностей сварного шва или геометрии сварного соединения от принятых значений. Допустимый дефект, если не превышает требований нормативно-технической документации. Недопустимый дефект в ответственных конструкциях.

*Внешние признаки: изменяется ширина шва, его выпуклость или чешуйчатость шва по его длине.*

*Процесс возникновения: такие дефекты возникают из-за изменений параметров сварочной дуги в результате изменения ее длины или напряжения питающей сети, а также воздействием других факторов.*

*Причины возникновения*

- плохое качество электродов (влажность, нарушение покрытия, неравномерность толщины покрытия);

- низкая квалификация сварщика;
- колебания напряжения питающей сети;
- сварка от источника дуги с плогопадающей ВАХ;
- сварка длинной дугой;
- химическая неоднородность основного металла.

*Способы предупреждения дефекта. Перед сваркой:*

- выбрать источник питания с оптимальной для процесса сварки вольт-амперной характеристикой;
- при химической неоднородности металла лучше выбрать в качестве источника питания сварочный инвертор;
- исключить влияние колебаний напряжения питающей сети на процесс сварки.

*Во время сварки:*

- вести сварку на короткой дуге;
- поддерживать стабильность параметров режимов сварки.



**Подрезы** (Код дефекта: 5011; 5012 Буквенное обозначение: F). Подрез - продольное углубление на наружной поверхности валика сварочного шва. Существуют подрезы непрерывной протяжности (5011), которые распространяются по всей длине валика шва, а также перемежающиеся локальные (5012) в виде подрезов на отдельных участках валика шва (на втором рисунке). Недопустимый дефект из-за уменьшения поперечного сечения шва в месте перехода шва к основному металлу, а также концентрации напряжений в месте подреза.

*Внешние признаки:* небольшое углубление на протяжении всего шва или его части по линии сплавления металла шва с основным металлом.

*Процесс возникновения:* расплавленный металл сварочной ванны вытесняется в центральную часть. Низкая смачиваемость и высокая скорость кристаллизации не позволяют металлу растекаться в пределах границы сплавления.

*Причины возникновения:*

- нарушение режимов сварки: сварка на повышенном напряжении дуги, чрезмерная скорость сварки, завышенная сила тока;
- низкая квалификация сварщика;
- неточное ведения электрода по оси шва;
- неудобное пространственное положение шва;
- низкая смачиваемость металла сварочного шва;
- плохо зачищенные сварочные кромки;

*Способы предупреждения. Перед сваркой:*

- улучшить смачиваемость жидкого металла за счет предварительного подогрева основного металла;
- выбор оптимальных режимов сварки;
- использовать вспомогательные приспособления для позиционирования и ориентации сварного соединения в удобном для сварщика положении;
- использовать сварочные материалы улучшающие смачиваемость расплава.

*Во время сварки:*

- выполнять сварку короткой дугой на оптимальной скорости;
- сварку угловых швов выполнять методом «в лодочку»;
- вести сварку наклонным электродом углом вперед;
- точно ориентировать электрод по оси шва и его длине;
- использовать инверторный источник питания дуги.

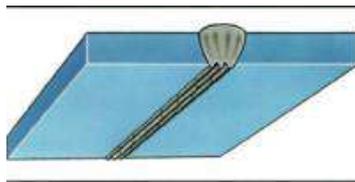


Рисунок 33 - Усадочная канава (Код дефекта: 5013)



**Усадочная канава** - подрез со стороны корня сварного шва, вызванный усадкой металла вдоль границы сплавления. Недопустимый дефект. Является концентратором напряжений.

Внешние признаки: небольшие двусторонние углубления со стороны корня шва появляющиеся на линии сплавления основного металла со швом.

Процесс возникновения: жидкий металл под давлением дуги вытесняется в центральную часть нижней области сварочной ванны. Металл кристаллизуется не успев заполнить впадину до линии сплавления.

Причины возникновения:

- неправильно подобраны параметры режимов сварки;
- низкая квалификация сварщика;
- нарушение геометрических размеров сварочного шва;
- неблагоприятное пространственное положение шва.

Способы предупреждения. Перед сваркой:

- установить правильные режимы сварки;
- выбрать правильное пространственное положение;
- подготовить кромки сварных деталей для формирования правильных размеров шва.

Во время сварки:

- добиваться минимального проплавления основного металла;
- воздействовать на расплавленный металл сварочной ванны внешним магнитным полем;
- использовать покрытые электроды малого диаметра (2-3 мм).

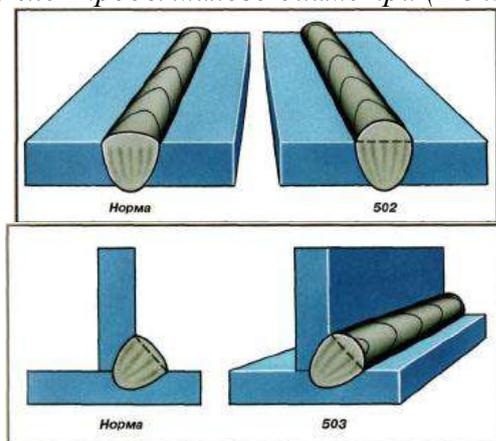


Рисунок 34 - Выпуклость сварного шва (Код дефекта: 502; 503)



**Выпуклость шва** - чрезмерное количество наплавленного металла на лицевой стороне сварочного шва сверх установленных значений. Существует выпуклость стыкового (502) и углового шва (503). Допустимо на неответственных конструкциях. Недопустимо на ответственных конструкциях, так как является концентратором напряжений.

Внешние признаки: выпуклость металла сварного шва превышает 2-3 мм над уровнем основного металла.

*Процесс возникновения: при формировании сварочного шва избыток наплавляемого металла в центре сварочной ванны кристаллизуется в виде выпуклости, превышающей заданные значения.*

*Причины возникновения:*

- низкая скорость сварки;
- сварка углом назад конструкции с малой толщиной стенки;
- низкая квалификация сварщика;
- неправильный выбор параметров режима сварки;
- неудобное пространственное положение шва;
- узкая разделка кромок при односторонней сварке;
- некачественная подготовка и сборка деталей под сварку.

*Способы предупреждения. Перед сваркой:*

- использовать сварочные материалы с пониженным поверхностным натяжением на границе со шлаком;
- кантовать конструкцию, добиться удобного пространственного положения стыка под сварку;
- качественно подготовить и собрать стык;
- выбрать оптимальные режимы сварки;
- выдержать правильный угол скоса кромок соответствующий толщине металла.

*Во время сварки:*

- применять сварку на обратной полярности (понижает межфазное натяжение металла при сварке углового шва);
- не снижать скорость сварки;
- не допускать манипуляций электродом, переходя на сварку углом назад.

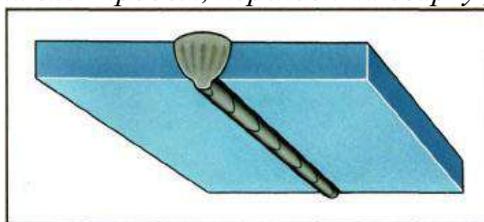


Рисунок 36 - Превышение проплава (Код дефекта: 504)



**Превышение проплава** - избыток наплавленного металла на обратной стороне стыкового шва. Допустимо на неответственных конструкциях. Недопустимо на ответственных конструкциях, так как место перехода от наплавленного металла к основному является концентратором напряжения.

*Внешние признаки: чрезмерная выпуклость со стороны корня шва при сварке стыка в нижнем положении. Дефект виден невооруженным глазом при визуальном контроле.*

*Процесс возникновения: под действием собственного веса расплавленный металл сварочной ванны провисает, и шов формируется с избыточной выпуклостью в нижней части.*

*Причины возникновения:*

- чрезмерная текучесть расплавленного металла сварочной ванны;
- увеличенный зазор в стыке;
- неправильный выбор параметров режима сварки;
- повышенное поверхностное натяжение металла сварочной ванны;
- неодинаковая толщина металла по длине шва.

*Способы предупреждения. Перед сваркой:*

- соблюсти точность зазора в стыке;
- использовать сварочные материалы с повышенным межфазным натяжением;
- выбрать оптимальный режим сварки.

Во время сварки:

- уменьшать сварочный ток при сварке по широким зазорам и при уменьшении толщины стенки конструкции;
- выдерживать оптимальный режим сварки.

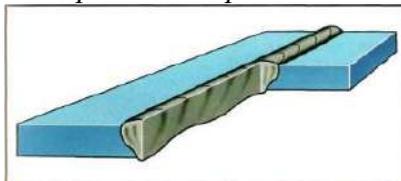


Рисунок 37 - Местное превышение проплава (Код дефекта: 5014)

Допустимо на неответственных конструкциях. Недопустимо на ответственных конструкциях, так как место перехода от наплавленного металла к основному является концентратором напряжения.

Внешние признаки: локальная, иногда повторяющаяся, чрезмерная выпуклость с обратной стороны шва при сварке в нижнем положении.

Процесс возникновения: при локальных увеличениях зазора, уменьшении толщины стенки под действием собственного веса расплавленный металл сварочной ванны провисает, и шов формируется с избыточной выпуклостью в корневой части.

Причины возникновения:

- неодинаковый зазор в стыке;
- химическая неоднородность свариваемого металла;
- неодинаковая толщина металла по длине шва;
- колебания сварочного тока из-за колебаний напряжения сети;
- низкая квалификация сварщика.

Способы предупреждения. Перед сваркой:

- тщательно подготовить и собрать стык с постоянным зазором;
- использовать источник питания со стабилизацией режима сварки;
- выбрать оптимальный режим сварки.

Во время сварки:

- корректировать режим сварки при увеличении зазора в стыке, уменьшении толщины металла и т.д.;
- увеличивать скорость сварки и снижать сварочный ток при провисании корня шва.

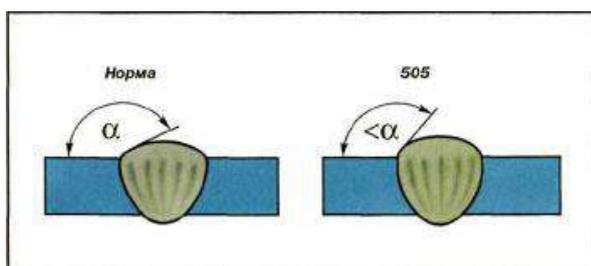


Рисунок 38 - Неправильный профиль сварного шва. (Код дефекта: 505)



**Неправильный профиль сварного шва** - угол между поверхностью основного металла и плоскостью, касательной к поверхности сварного шва, меньше установленного значения. Допустимый дефект на неответственных конструкциях. Недопустимый на конструкциях, работающих при сложных нагрузках, т. к. место перехода от наплавленного металла к основному является концентратором напряжения.

Внешние признаки: угол сопряжения, между основным металлом и металлом шва - менее  $160^\circ$ . Его определяют при измерительном контроле.

*Процесс возникновения: при формировании шва под действием давления дуги жидкий металл центральной части сварочной ванны вспучивается и после кристаллизации образует выпуклость.*

*Причины возникновения:*

- малая скорость сварки;
- сварка «углом назад» металла малой толщины;
- плохая жидкотекучесть металла сварочной ванны;
- неправильная геометрия шва;
- высокое поверхностное натяжение расплавленного металла или межфазного натяжения на границе со шлаком;
- низкая квалификация сварщика.

*Способы предупреждения. Перед сваркой:*

- тщательно подготовить кромки под сварку;
- собрать стык согласно требованиям технологической карты;
- выбрать оптимальную технику сварки.

*Во время сварки:*

- вести сварку на оптимальных режимах;
- вести сварку в удобном пространственном положении.

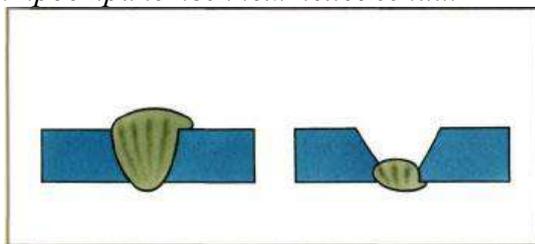


Рисунок 39 - Наплыв. Код дефекта: 506



**Наплыв** - избыток наплавленного металла сварного шва, натекавший на поверхность основного металла, но не сплавленный с ним. Допустим на неответственных конструкциях. Недопустим на ответственных конструкциях, поднадзорных органам технического надзора.

*Внешние признаки: избыток металла шва по его краю. Дефект виден невооруженным глазом при визуальном контроле.*

*Процесс возникновения: при формировании шва избыток металла сварочной ванны натекает на холодные кромки основного металла, не образуя с ним соединения.*

*Причины возникновения:*

- ошибки в технике сварки;
- нарушение параметров режима сварки;
- неправильный выбор сварочных материалов;
- неудобство формирования шва, вызванное наличием мешающих конструкций;
- большой сварочный ток;
- излишняя длина дуги.

*Способы предупреждения. Перед сваркой:*

- выбрать оптимальный режим сварки;
- строго соблюдать требования технологического процесса;
- использовать соответствующие сварочные материалы.

*Во время сварки:*

- корректировать режим сварки в зависимости от схемы формирования шва;
- вести сварку строго по середине разделки кромок;
- вести сварку дугой средней длины.

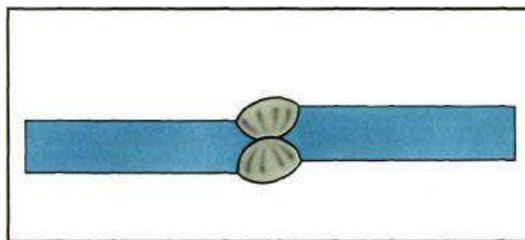


Рисунок 40 - Линейное смещение (депланация свариваемых листов) (Код дефекта: 507)



**Линейное смещение (депланация)** - смещение между двумя свариваемыми элементами, при котором их поверхности располагаются параллельно, но не на требуемом уровне. Допустимо на неответственных конструкциях. Недопустимо на ответственных конструкциях, поднадзорных органам технического надзора.

*Внешние признаки:* расположение двух свариваемых деталей не в одной плоскости. Дефект виден невооруженным глазом. Размер смещения определяют при измерительном контроле.

*Процесс возникновения:* при сварке двух деталей под действием термического цикла сварки происходит параллельное смещение одной свариваемой детали относительно другой.

*Причины возникновения:*

- отсутствие приспособлений для жесткой фиксации свариваемых деталей в горизонтальном положении;
- нарушение технологического процесса изготовления конструкции;
- чрезмерная тепловая мощность сварочной дуги при сварке первого шва.

*Способы предупреждения. Перед сваркой:*

- использовать специальное приспособление для жесткой фиксации свариваемых деталей;
- строго соблюдать требования технологического процесса;
- использовать методы регулирования термического цикла для того, чтобы уменьшить деформации сварной конструкции.

*Во время сварки:*

- вести сварку с минимальной погонной энергией, чтобы снизить сварочные деформации.

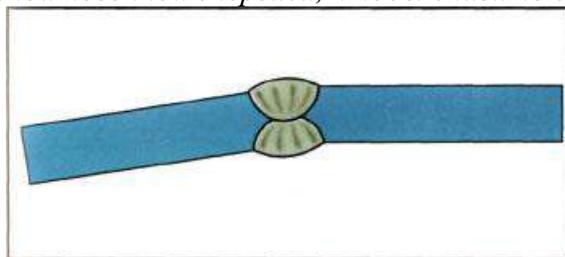


Рисунок 41 - Угловое смещение (Код дефекта: 508)



**Угловое смещение** - смещение между двумя свариваемыми элементами, при котором их поверхности располагаются под углом, отличающимся от требуемого. Допустимо на неответственных конструкциях. Недопустимо на ответственных конструкциях, поднадзорных органам технического надзора.

*Внешние признаки:* расположение двух сваренных деталей под некоторым углом относительно друг друга. Дефект виден невооруженным глазом. Размер смещения определяют при измерительном контроле.

*Процесс возникновения:* при сварке двух деталей под действием термического цикла сварки происходит смещение одной свариваемой детали под углом относительно другой.

*Причины возникновения:*

- отсутствие приспособлений для жесткой фиксации свариваемых деталей в горизонтальном положении;
- нарушение технологического процесса изготовления конструкции;
- чрезмерная тепловая мощность сварочной дуги при сварке первого шва.

**Способы предупреждения. Перед сваркой:**

- использовать специальное приспособление для жесткой фиксации свариваемых деталей;
- строго соблюдать требования технологического процесса;
- использовать методы регулирования термического цикла для того, чтобы уменьшить деформации сварной конструкции.

*Во время сварки:*

- вести сварку с минимальной погонной энергией, чтобы снизить сварочные деформации.

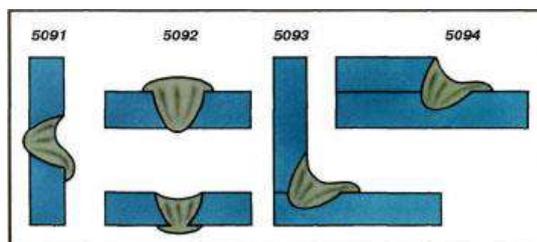


Рисунок 42 - Натек (Код дефекта: 509)



**Натек** - металл шва осевший от тяжести и не сплавленный с соединяемой поверхностью, при горизонтальном (5091), нижнем или потолочном (5092) положении сварки, в угловом шве (5093), в нахлесточном соединении (5094). Допустим на неответственных конструкциях. Недопустим на ответственных конструкциях, поднадзорных органам технического надзора.

*Внешние признаки:* расплавленный металл сварочной ванны натек на одну из кромок без сплавления с ней, что привело к дефекту формообразования.

*Процесс возникновения:* Во время образования жидкой сварочной ванны расплавленный металл под действием силы тяжести стекает на основной металл.

*Причины возникновения:*

- неблагоприятное пространственное положение при сварке;
- высокая жидкотекучесть металла сварочной ванны;
- применение сварочных материалов с низкой вязкостью шлака;
- низкая квалификация сварщика;
- нарушение режима сварки и технологического процесса изготовления конструкции.

**Способы предупреждения. Перед сваркой:**

- применять кантователи, вращатели для формирования шва в удобном пространственном положении;
- использовать сварочные материалы с повышенной вязкостью шлака;
- применять импульсно-дуговые способы сварки.

*Во время сварки:*

- вести сварку на минимальной погонной энергии;
- не допускать большого объема сварочной ванны.

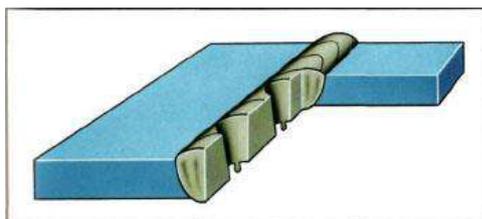


Рисунок 43 – Прожог (Код дефекта: 510)



**Прожог** – вытекание металла сварочной ванны, в результате чего образуется сквозное отверстие в сварном шве. Недопустим, так как нарушает сплошность сварного шва.

*Внешние признаки:* сквозные отверстия или полости, образованные вследствие расплава сварочной ванны.

*Процесс возникновения:*

В сварочной ванне образуется чрезмерный объем жидкого металла. Он не удерживается силами поверхностного натяжения и самопроизвольно вытекает из шва.

*Причины возникновения:*

- химическая неоднородность свариваемого металла;
- завышенная сила тока при недостаточной скорости сварки;
- некачественная сборка стыка под сварку (под свариваемый шов плохо поджата флюсовая подушка или медная подкладка), чрезмерные зазоры;
- низкая квалификация сварщика.

*Способы предупреждения. Перед сваркой:*

- использовать специальные подкладки (остающиеся и не остающиеся);
- оптимизировать режим сварки по скорости и мощности источника нагрева;
- применять кантователи, вращатели для выбора пространственного положения, исключающего прожог.

*Во время сварки:*

- применять импульсно-дуговые режимы сварки;
- вести дуговую сварку «углом вперед», а газовую «левым» способом;
- строго соблюдать постоянство зазора в стыке.

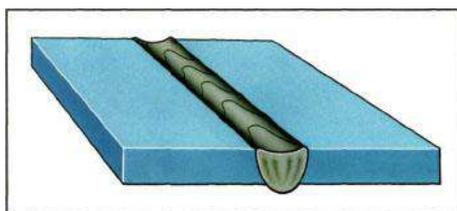


Рисунок 44 – Неполное заполнение разделки кромок (Код дефекта: 511)



**Неполное заполнение разделки кромок** – непрерывная или прерывистая канавка на поверхности сварного шва из-за недостаточности присадочного материала. Допустимо на неответственных конструкциях. Недопустимо на ответственных конструкциях, поднадзорных органам технического надзора.

*Внешние признаки:* вогнутость внешней поверхности шва, вызванная недостаточным количеством расплавленного металла сварочной ванны.

*Процесс возникновения:*

При недостатке жидкого металла сварочной ванны шов формируется с углублением в центре или по краям.

*Причины возникновения*

- низкая квалификация сварщика;

- неправильно выбраны марка и размеры присадочного материала;
- нарушение технологии изготовления конструкции;
- неправильно разделаны кромки;
- неправильное пространственное положение, вызывающее стекание металла на одну сторону.

**Способы предупреждения.** Перед сваркой:

- правильно выбрать покрытый электрод или присадочный материал;
- применять кантователи, вращатели для сварки в удобном пространственном положении;
- качественно подготовить и собрать стык под сварку.

Во время сварки:

- использовать поперечные колебания электрода;
- вести дуговую сварку «углом назад», а газовую «правым» способом;
- строго соблюдать параметры режима сварки.

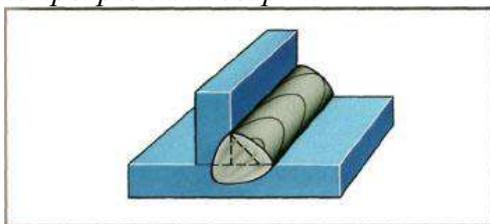


Рисунок 45 – Чрезмерная асимметрия сварного шва (Код дефекта: 512)



**Чрезмерная асимметрия шва** – один катет шва значительно больше второго. Допустима на неответственных конструкциях. Недопустима на ответственных конструкциях, поднадзорных органам технического надзора. Внешние признаки: несимметричность углового шва, вызванная тем, что один из катетов превышает другой более чем в 1,5 раза.

**Процесс возникновения:**

В процессе сварки не удастся сформировать симметричное, равностороннее сечение углового шва.

**Причины возникновения:**

- неудобное пространственное положение для формирования шва;
- низкая квалификация сварщика;
- высокая жидкотекучесть металла сварочной ванны;
- нарушение технологии изготовления конструкции;
- различная теплопроводность металла свариваемых деталей.

**Способы предупреждения.** Перед сваркой:

- правильно выбрать покрытый электрод или присадочный материал;
- применять кантователи, вращатели для сварки в удобном пространственном положении;
- выбрать оптимальные параметры режима сварки.

Во время сварки:

- корректировать положение источника нагрева относительно свариваемых деталей;
- строго соблюдать параметры режима сварки.

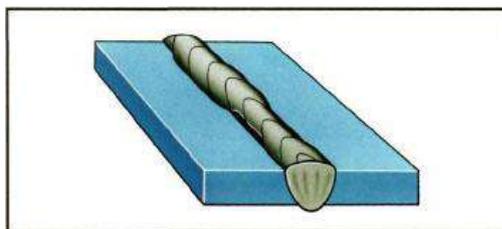


Рисунок 46 – Неравномерная ширина шва (Код дефекта: 513)



**Неравномерная ширина шва** – отклонение ширины сварного шва от установленного значения. Недопустима на ответственных конструкциях, поднадзорных органам технического надзора.

**Внешние признаки:** изменение ширины шва по его длине.

**Процесс возникновения:**

Под действием указанных ниже причин формируется шов переменной ширины.

**Причины возникновения:**

- колебания напряжения питающей сети;
- использование при ручной сварке источника питания с пологопадающей или жесткой вольт-амперной характеристикой;
- низкая квалификация сварщика;
- плохая подготовка кромок;
- сварка длинной дугой;
- нарушение технологии сварки при изготовлении конструкции;
- неточное направление электрода.

**Способы предупреждения.** Перед сваркой:

- использовать источник питания со стабилизацией параметров режима;
- применять для ручной сварки источник питания с крутопадающей вольт-амперной характеристикой;
- тщательно подготовить стык, соблюсти стабильный зазор по его длине или периметру;
- тщательно зачистить кромки.

Во время сварки:

- вести сварку на короткой или средней дуге;
- строго соблюдать параметры режима сварки.

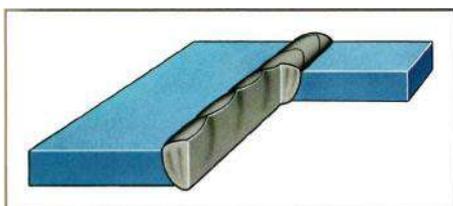


Рисунок 47 - Неровная поверхность (Код дефекта: 514)



**Грубая неравномерность формы выпуклой поверхности шва по длине.** Допустима на неответственных конструкциях. Недопустима на ответственных конструкциях, если превышает нормативы для каждого объекта, поднадзорного органам технического надзора.

**Внешние признаки:** на поверхности шва и четко видны гребни и впадины затвердевшего металла по изотермам кристаллизации (чешуйчатость).

**Процесс возникновения:**

Под действием указанных ниже причин шов формируется дискретно, с определенным шагом между соседними гребнями или впадинами.

**Причины возникновения:**

- низкая квалификация сварщика;
- нарушение технологии сварки при изготовлении конструкции;
- применение сварочных материалов с низкой жидкотекучестью;
- неравномерная скорость перемещения источника нагрева.

**Способы предупреждения.** Перед сваркой:

- правильно выбрать сварочные материалы;
- использовать источник питания постоянного тока с обратной полярностью;
- строго соблюдать требования технологического процесса.

Во время сварки:

- равномерно перемещать источник нагрева вдоль шва;
- использовать устройства электромагнитного управления процессом формирования шва.

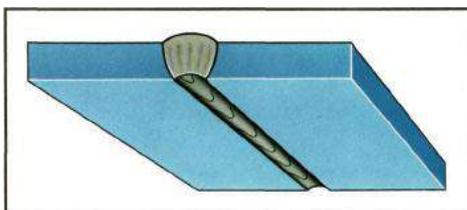


Рисунок 48 - Вогнутость корня шва. (Код дефекта: 515)



**Вогнутость корня шва** - неглубокая канава со стороны корня одностороннего сварного шва. Допустима на неответственных конструкциях. Недопустима на ответственных конструкциях, поднадзорных органам технического надзора.

**Внешние признаки:** с обратной стороны шва корень имеет вогнутость. Дефект виден невооруженным глазом при визуальном контроле.

**Процесс возникновения:**

При формировании корневого шва поверхностное натяжение металла снижается. Происходит утяжка корня шва, образуется вогнутая поверхность.

**Причины возникновения:**

- неправильно подготовлены и собраны стыкуемые кромки;
- неправильно выбраны сварочные материалы;
- низкая квалификация сварщика;
- нарушение технологии сварки при изготовлении конструкции.

**Способы предупреждения.** Перед сваркой:

- правильно выбрать сварочные материалы;
- тщательно подготовить и собрать стык;
- строго соблюдать требования технологического процесса.

Во время сварки:

- вести сварку на постоянном токе обратной полярности;
- соблюдать оптимальные параметры режима сварки.

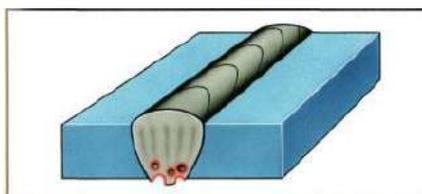


Рисунок 49 - Пористость в корне шва. Код дефекта: 516



**Пористость в корне шва** - наличие пор в корневой части сварного шва. Допустима на неответственных конструкциях. Недопустима на ответственных конструкциях, поднадзорных органам технического надзора.

**Процесс возникновения:**

Водород, растворенный в жидком металле сварочной ванны, а также оксид углерода образуют на фронте кристаллизации пузырьки. Они превращаются в поры по мере затвердевания металла.

**Причины возникновения:**

- оксиды, загрязнения, влажность на внутренней поверхности свариваемых кромок;
- дефекты покрытия электродов;

- нарушение режима прокали электродов;
- низкая квалификация сварщика;
- «стартовые поры» при сварке легированных сталей электродами с основным покрытием;
- малые размеры сварочной ванны, минимальная ширина шва.

**Способы предупреждения.** Перед сваркой:

- тщательно подготовить обратную сторону кромок;
- выбрать качественные покрытые электроды;
- строго соблюдать режим прокали электродов;
- для начального зажигания дуги использовать выводные планки;
- для электродов с основным покрытием применять источники постоянного тока.

Во время сварки:

- вести сварку на короткой дуге;
- соблюдать оптимальные параметры режима сварки.

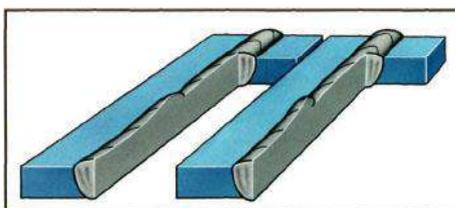


Рисунок 50 - Возобновление шва (Код дефекта: 517)



**Возобновление шва** - местная неровность поверхности в месте возобновления сварки. Допустимо на неответственных конструкциях. Недопустимо на ответственных конструкциях, поднадзорных органам технического надзора.

**Внешние признаки:** наплывы или углубления в длинномерных швах в местах стыковки одного участка с другим.

**Процесс возникновения:**

При выполнении длинномерных швов при переходе от предыдущего участка к последующему образуется наплыв металла или канавка.

**Причины возникновения:**

- низкая квалификация сварщика;
- низкое качество покрытых электродов;
- нарушение режима прокали покрытых электродов;
- низкая жидкотекучесть металла сварочной ванны;
- некачественная зачистка конца предыдущего шва.

**Способы предупреждения:** Перед сваркой:

- выбрать качественные покрытые электроды;
- строго соблюдать оптимальный режим прокали электродов;
- тщательно зачищать предыдущий шов от шлака;
- применять электроды с ионизирующим покрытием торца;
- использовать источник питания с системой поджига электрода.

Во время сварки:

- формировать окончание шва с пологим наклоном;
- зажигать последующий электрод на застывшем кратере, в верхней его части.

**Справочная информация, используемая на уроках, по теме 1.2 приведена в приложении 4.**



## Видеоролик об измерениях при помощи УШС-3

### Контрольные вопросы:



1. Приведите классификацию методов контроля.
2. Что такое визуальный и измерительный контроль (ВИК)? В чем сущность метода?
3. Какие виды измерительных приборов, используемых при ВИК вы знаете?
4. Для чего необходимы универсальные шаблоны сварщика (УШС)? Каковы область и способ их применения?
5. Что входит в понятие исполнительская документация? Для чего она необходима?
6. Опишите методику входного контроля?
7. Назначение и осуществление пооперационного (текущего) контроля?
8. В чем сущность приемочного (окончательного) контроля?
9. Назовите основные дефекты формы шва..
10. Способы предотвращения образования дефектов формы шва во время сварки?
11. Способы предотвращения образования дефектов формы шва после сварки?



### Задания для закрепления изученной темы:

#### Задание № 1

- а) Заполните таблицу, соотнеся контрольную операцию с видом технического контроля:
1. Контроль качества основных и сварочных материалов.
  2. Контроль сборки.
  3. Контроль квалификации сборщиков и сварщиков.
  4. Документы, подтверждающие качество сварных соединений.
  5. Контроль основных геометрических размеров как конструкции в целом, так и сварного шва (ширина, высота валика усиления).
  6. Контроль режимов технологического процесса сварки.
  7. Документы, удостоверяющие результаты испытания конструкции в целом.
  8. Контроль сварочного оборудования, его исправности, комплектности.
  9. Контроль подготовки деталей к сборке.
  10. Контроль на наличие дефектов сварной конструкции.
  11. Контроль подготовки рабочих мест к производству сварочных операций, выполнение требований технологической документации и правил охраны труда и техники безопасности.
  12. Журналы производства работ, в том числе сварочных, в которых регистрируют место, время, технологию, исполнителей, проведение и результаты контрольных операций, а также другие необходимые сведения.

Вид контроля № операции	Входной	Текущий (пооперационный)	Приемочный	Исполнительская документация

б) Проанализировав заполнение таблицы и на основании имеющихся теоретических знаний, укажите назначение видов контроля.

### *Пример выполнения задания № 1.б*

**Назначение контроля исполнительской документации.** Соответствие сварных соединений (конструкций) проекту и нормативным документам подтверждается исполнительной технической документацией, которая передается заказчику (потребителю) после окончания строительно-монтажных работ (или при отгрузке потребителю сварных конструкций). Перечень документов устанавливается соответствующими стандартами, нормами, правилами, техническими условиями, инструкциями, а также проектом в зависимости от вида работ, категории их сложности и ответственности.

Объем исполнительной документации, представляемой заводами-изготовителями заказчиком сварных конструкций, сокращен и сводится, как правило, к единому документу - паспорту на конструкцию. Необходимые сведения заносятся в паспорт, первичная исполнительская документация хранится в ОТК завода

### *Задание № 2*

Осуществите входной контроль, сверив химический состав сталей и сварочной проволоки (таблица 1 и таблица 2 соответственно), предназначенных для выполнения конструкций, в соответствии указанных значений ГОСТ. По результатам анализа, дайте заключение о соответствии состава требованиям ГОСТ. В случае наличия несоответствия, укажите по каким параметрам материал не прошел контроль.

Таблица 1 – Химический состав сталей и ГОСТ, указанные поставщиком

Марка стали	ГОСТ	Химический состав, %									
		C	Si	Mn	Cr	S	P	Ni	Cu	As, N	V
09Г2С	19281 - 2014	до 0,12	0,5 - 0,8	1,3 - 1,7	до 0,3	до 0,035	до 0,03	до 0,3	до 0,3	до 0,08	до 0,12
10ХСНД		до 0,12	0,5 - 0,8	0,5 - 0,8	0,6 - 0,9	до 0,035	до 0,03	0,5 - 0,8	до 0,3	до 0,08	до 0,12
16Г2АФ		0,14 - 0,2	0,3 - 0,6	1,3 - 1,7	до 0,4	до 0,035	до 0,03	0,015 - 0,025	до 0,4	до 0,08	0,08 - 0,14

Таблица 2 – Химический состав сварочной проволоки и ГОСТ, указанные поставщиком

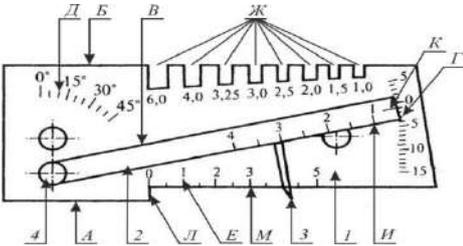
Марка проволоки	ГОСТ	Химический состав, %									
		C	Si	Mn	Cr	S	P	Ni	Ti	Mo	V
Св-08Г2С	2246	0,05	0,70	1,8	до	до	до	до	-	-	-
		-	-	-	0,2	0,025	0,03	0,25			
		0,11	0,95	2,1							
Св-10ХМФТ	- 70	0,07	до	0,4	0,6	до	до	0,5	0,05	до	0,20
		-	0,35	-	-	0,035	0,03	-	-	0,08	-
		0,12		0,7	0,9			0,8	0,08		0,35
Св-10НМА		0,07	0,12	0,4	до	до	до	0,015	-	0,40	-
		-	-	-	0,4	0,035	0,03	-	-	-	-
		0,12	0,35	0,7				0,025		0,55	

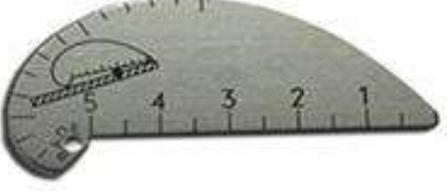
**Пример составления заключения:**

По результатам анализа установлено полное соответствие химического состава стали 09Г2С ГОСТ 19281-2014. Следовательно, сталь марки 09Г2С, поставленная на предприятие, прошла входной контроль.

**Задание № 3**

Соотнесите название инструмента, для осуществления измерительного контроля, с его внешним видом и назначением.

Название инструмента	Вид инструмента	Назначение
Шаблон Красовского	 <p>1</p>	а) предназначен для измерения скоса кромок при подготовке свариваемых соединений деталей, измерения высоты катета углового шва, измерения высоты валика усиления, измерения выпуклости корня шва стыкового сварного соединения, измерения зазора в соединении при подготовке деталей к сварке.
УШС №3	 <p>2</p>	б) проводят измерительный контроль ширины и высоты шва, выпуклость и вогнутость обратной стороны шва, глубины подреза, катета углового шва, чешуйчатость шва, глубины западания между валиками

Шаблон Ушерова-Маршака	 <p>3</p>	в) предназначен для измерения контролируемых параметров труб, контроля качества сборки стыков соединений труб, а также для измерения параметров сварного шва при его контроле
Штанген-инструмент	 <p>4</p>	г) служит для контроля тавровых и нахлесточных сварных соединений, стыковых сварных соединений, измерения зазора между кромками, измерение выпуклости, вогнутости и высоты углового шва
УШС №2	 <p>5</p>	д) предназначен для контроля катетов угловых швов

### ТЕМА 1.3. Методы выявления внутренних дефектов сварных соединений

#### Перечень вопросов, подлежащих рассмотрению:

1. Радиационная дефектоскопия.
2. Ультразвуковая дефектоскопия.
3. Магнитная дефектоскопия.
4. Вихретоковая дефектоскопия.
5. Капиллярная дефектоскопия.
6. Контроль точечным методом.

#### 1. Радиационная дефектоскопия



Все методы радиационного контроля основаны на пропускании ионизирующего излучения через твердый материал объекта и поэтому относятся только к классу методов прохождения. Радиационные методы чаще всего применяют при контроле качества сварных соединений. В эту группу методов входят рентгенографический, гаммаграфический и рентгеноскопический.

Схема **рентгенографического метода** показана на рисунок 51. Источником излучения является специальный генерирующий аппарат, располагаемый по одну сторону от объекта, а на другой стороне крепится рентгеновская фотопленка, упакованная в гибкую светонепроницаемую кассету. Аппарат управляется дистанционно (ДУ) с помощью реле времени, которым задается время просвечивания (экспозиции). Требования к методу изложены в ГОСТ 7512-82. «Контроль неразрушающий. Радиографический метод» [6].

**Гаммаграфический метод** (рисунок 52) отличается от рентгенографического тем, что здесь применяются негенерирующие (т.е. непрерывно самоизлучающие) мощные

естественные источники гамма-излучения – элементы из радиоактивных металлов (уран, стронций, иридий, кобальт), помещенные в специальные переносные свинцовые колбы с дистанционно управляемым затвором.

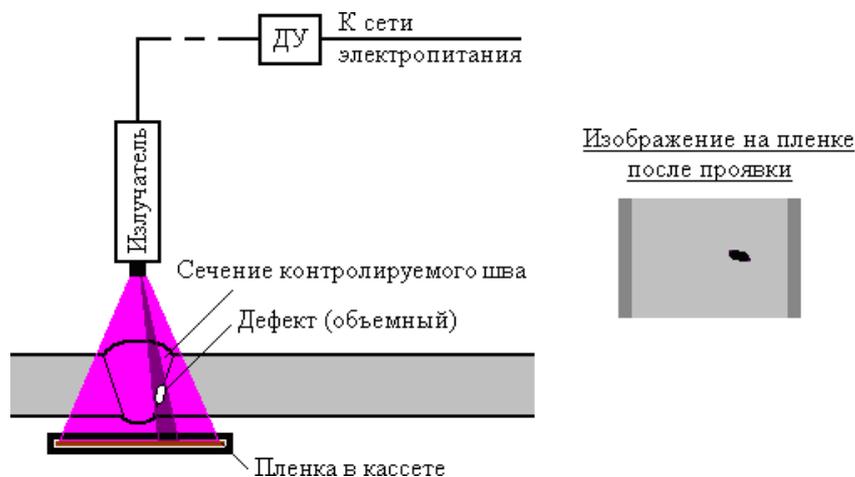


Рисунок 51 - Схема рентгенографического метода

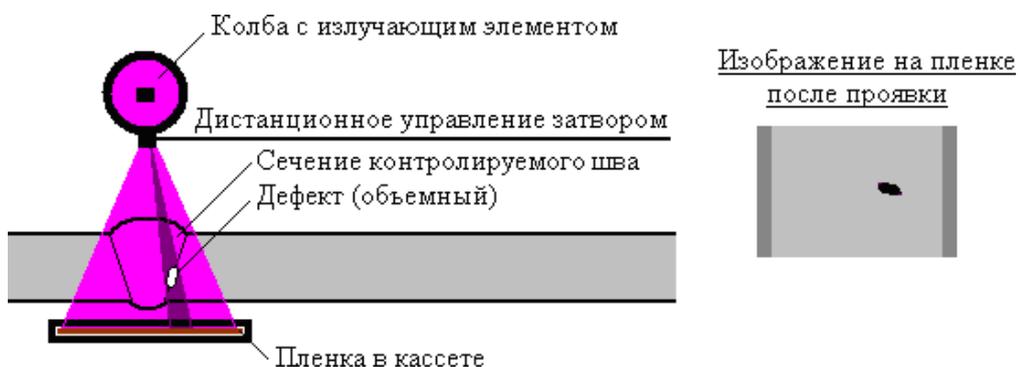


Рисунок 52 - Схема гаммаграфического метода

Этот метод характеризуется большей мощностью излучения, чем рентгенографический, и поэтому позволяет осуществлять контроль более толстых стальных объектов – до 40 мм (рентгенографический – до 25 мм). Он не требует электропитания, но лаборатории, применяющие его, должны быть обязательно обеспечены специальным хранилищем для источников излучения и специальным автомобилем для их перевозки.

В отличие от рентгенографического и гаммаграфического **рентгеноскопический метод** (рисунок 53) – стационарный, так как в этом случае мощный рентгеновский аппарат, преобразователь изображения и контролируемый объект должны быть помещены в специальной камере (бункере). Толстые стены камеры выполнены из бетона со свинцовым наполнителем (дробь), помещение снабжено датчиками присутствия, а входная дверь – датчиком закрытия: система не будет работать, если дверь камеры открыта или в камере находятся люди. Из трех рассматриваемых здесь методов рентгеноскопический – самый мощный, он позволяет просвечивать стальные изделия толщи- ной до 80 мм. Получаемое изображение преобразуется в телевизионное и по кабелю передается на монитор, расположенный в удаленном от рентген- камеры помещении оператора.

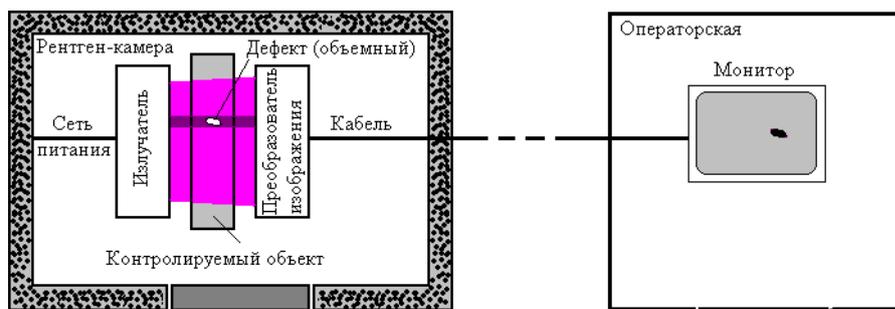


Рисунок 53 - Схема рентгеноскопического метода

Все радиационные методы связаны с высокой опасностью. Поэтому специальными нормативными документами предусмотрены следующие особые меры безопасности при их осуществлении:

1. При проведении рентгенографического и гаммаграфического контроля в зоне работ не должно быть посторонних лиц. Эта зона ограничивается радиусом 25 м от места съемки для рентгенографического и 50 м для гаммаграфического метода. При этом источник излучения следует ориентировать в таком направлении, в котором наименее вероятно присутствие людей.

2. Участок проведения рентгенографического и гаммаграфического контроля должен быть обнесен съемным ограждением. В перекрытых проходах и проездах должен быть вывешен знак радиационной опасности.

3. Оператор должен быть одет:

- при проведении рентгенографического контроля – в белый халат или комбинезон и в белый головной убор;

- при проведении гаммаграфического контроля – также и в специальный защитный фартук со свинцовым наполнителем.

4. При проведении контроля любыми радиационными методами оператор должен иметь при себе счетчик Гейгера для контроля окружающего радиационного фона, а также индивидуальный нагрудный радиационный дозиметр для фиксирования накопленной дозы облучения. В процессе экспозиции оператор должен следить за окружающим фоном и в случае превышения допустимого уровня удалиться от источника на безопасное расстояние. Лица, у которых индивидуальным дозиметром зафиксировано превышение допустимой дозы облучения, отстраняются от участия в проведении радиационного контроля на срок, устанавливаемый органами Роспотребнадзора.

5. На наружной стороне дверей помещений для хранения источников излучения, дверей рентген-камер для рентгеноскопического контроля и на бортах спецавтомобилей для перевозки средств гаммаграфического контроля должен быть нанесен знак радиационной опасности. На двери рентген-камеры рекомендуется смонтировать подсветку знака с загоранием синхронно с включением аппарата. Спецавтомобиль должен быть также снабжен желтым проблесковым маячком и специальным поддоном в днище салона для доставки неисправных источников к месту их захоронения (заклинивание открытого затвора источника гамма-излучения является радиационной аварией, и такой источник ремонту не подлежит).

6. Все лаборатории, осуществляющие радиационный контроль, должны иметь соответствующую лицензию и санитарно-гигиенический паспорт (заключение), выдаваемые органами Роспотребнадзора. Отдельными паспортами должны быть обеспечены рентген-камеры и спецавтомобили.

Достоинства радиационных методов – наглядность результатов контроля и возможность выявления мелких округлых дефектов (пор), которые ультразвуковой дефектоскопией определяется ненадежно.

Кроме высокой опасности, радиационные методы обладают следующими недостатками:

1. Аппаратура не склонна к портативности (вес наиболее легких аппаратов серии «АРИНА» и «МИРА» в полном комплекте достигает 20 кг).
2. Аппараты для рентгеновского контроля характеризуются большим расходом электроэнергии; рентгенографический и гаммаграфический методы – расходом пленки и средств ее химической обработки.
3. Невозможно обнаружить наиболее опасные плоскостные дефекты, так как они практически не влияют на торможение лучистой энергии: совокупная плотность остается одинаковой в области дефекта и вне ее (рисунке 54).

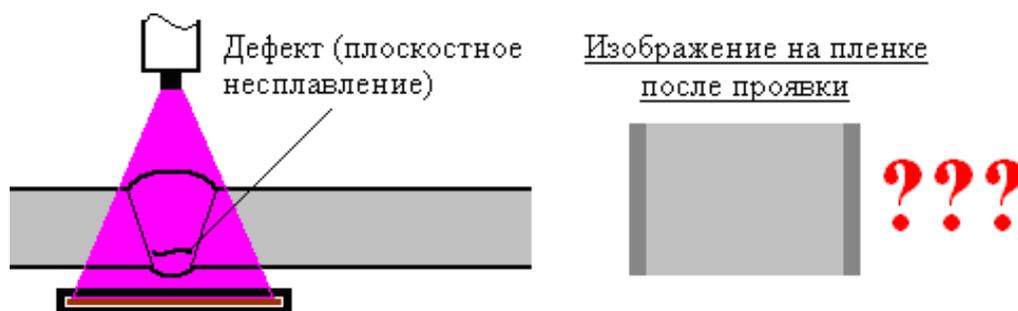


Рисунок 54 - Пропуск радиационным методом существующего дефекта

В конце 1990-х гг. по результатам обширных международных исследований было установлено, что достоверность радиационного контроля металла в среднем составляет лишь 19 %. В связи с этим интерес к радиационным методам в настоящее время постепенно снижается: большинство лабораторий предпочитает применять ультразвуковой контроль, втрое более достоверный и полностью безопасный.

**Расшифровку дефектограмм** выполняют в проходящем свете на негатоскопе – устройстве, в котором имеются закрытые рассеивающим или матовым стеклом осветительные лампы для создания равномерно рассеянного светового потока. При этом помещение для расшифровки затемняют, чтобы поверхность пленки не отражала падающий на нее свет. Негатоскопы обеспечивают регулирование яркости освещенного поля и его размеров. Расшифровку снимков и оценку качества контролируемого сварного соединения производят операторы – расшифровщики, которые по выполненным дефектограммам дают заключение о наличии дефектов.

Так как рентгеновская пленка является детектором с высоким уровнем собственных шумов, вызванных неравномерностью полива эмульсии, некачественным проявлением и т.д., расшифровщики должны уметь отличать дефекты пленки от дефектов изделия. В сомнительных случаях проводят повторное просвечивание или применяют зарядку кассет двумя пленками[9].

В разных отраслях промышленности существуют собственные правила и нормы, регламентирующие как уровень дефектности сварных соединений, так и требования к качеству выполнения самой дефектограммы. В общем виде снимок должен удовлетворять следующим требованиям:

- на дефектограмме должны быть видны весь сварной шов с усилением и околошовная зона, ширина которой определяется правилами контроля;
- на снимке должны быть отчетливо видны маскировочные знаки и эталоны чувствительности;
- на снимке должны отсутствовать пятна, царапины, отпечатки пальцев, подтеки, белый налет от плохой промывки и другие дефекты пленки и обработки.

При контроле сварных соединений на дефектограммах выявляют следующие дефекты:

- трещины продольные и поперечные в наплавленном и основном металле, направление которых совпадает с направлением просвечивания в диапазоне углов от 0 до 10-12°;

- непровары сплошные и прерывистые;
- вольфрамовые и шлаковые включения;
- поры – газовые включения;
- подрезы, проплавы, прожоги.

Расшифровка пленок при гаммаграфировании производится так же, как и при рентгенографировании (**Приложение 7**).

## 2. Ультразвуковая дефектоскопия



Согласно ГОСТ 23829-79 акустические методы делят на две большие группы: использующие излучение и приём акустических волн (активные методы) и основанные только на приёме (пассивные методы). В каждой из групп можно выделить методы, основанные на возникновении в объекте контроля бегущих и стоячих волн или колебаний.

Активные акустические методы, в которых применяют бегущие волны, делят на две подгруппы, использующие прохождение и отражение волн. Применяют как непрерывное, так и импульсное излучение.

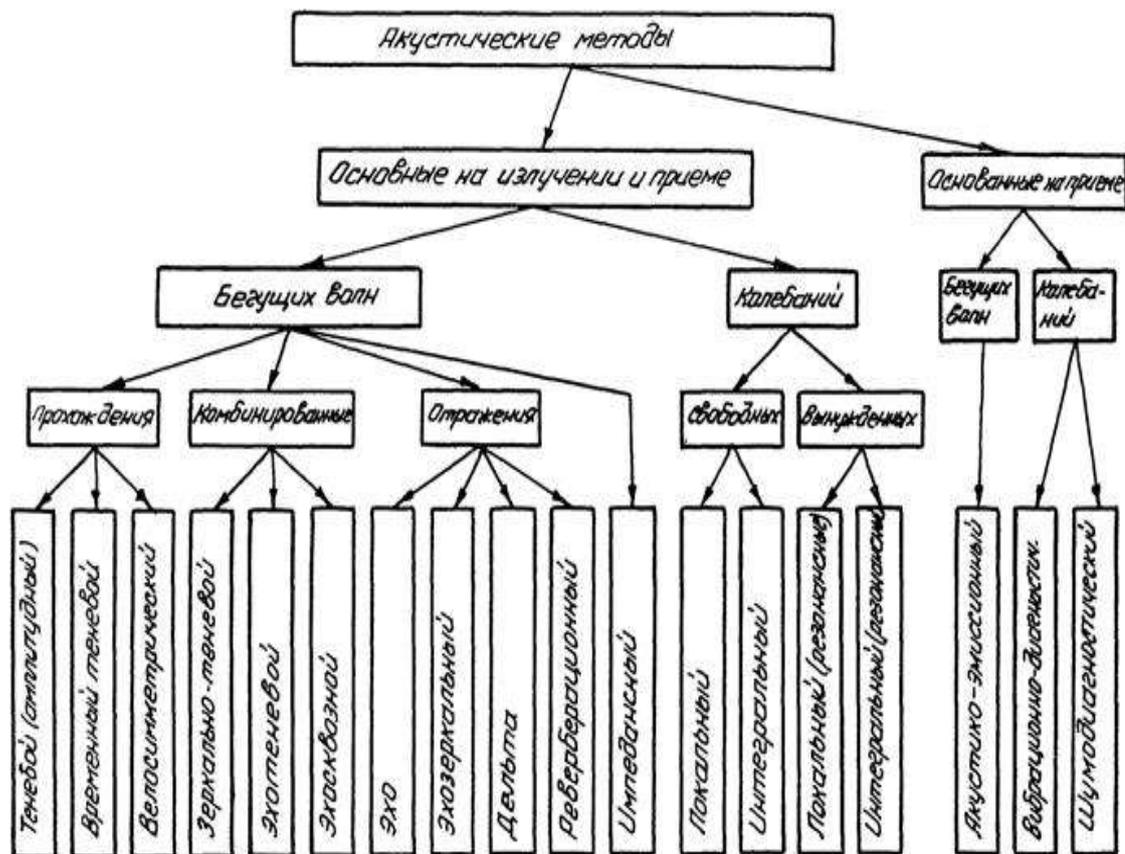


Рисунок 55 – Классификация ультразвуковых методов контроля

К методам прохождения относятся следующие:

1. Теневой метод, основанный на уменьшении амплитуды прошедшей волны под влиянием дефекта. (рисунок 56 а)
2. Временной теневой метод, основанный на запаздывании импульса, вызванном огибанием дефекта.
3. Зеркально-теневой метод, основанный на ослаблении сигнала, отраженного от

противоположной поверхности изделия (донного сигнала).

4. Велосимметрический метод, основанный на изменении скорости упругих волн при наличии дефекта.

В методах отражения применяют, как правило, импульсное излучение. К этой подгруппе относятся следующие методы дефектоскопии.

1. Эхо-метод. Регистрирует эхо-сигналы от дефектов. (рисунок 56 б)
2. Зеркальный эхо-метод основан на зеркальном отражении импульсов от дефектов, ориентированных вертикально к поверхности, с которой ведётся контроль.
3. Реверберационный метод предназначен для контроля слоистых конструкций типа металл-пластик. Он основан на анализе длительности реверберации ультразвуковых импульсов в одном из слоёв.

От рассмотренных акустических методов неразрушающего контроля существенно отличается импедансный метод, (рисунок 56 з) основанный на анализе изменения механического импеданса участка поверхности контролируемого объекта, с которым взаимодействует преобразователь. На использование стоячих волн основаны следующие методы:

1. Локальный метод свободных колебаний. Он основан на анализе спектра возбуждённых в части контролируемого объекта с помощью ударов молоточка-вибратора. (рисунок 56 д)
2. Интегральный метод свободных колебаний. Механическим ударом возбуждаются вибрации во всём изделии или в значительной его части.
3. Локальный резонансный метод. Применяется в толщиномерии. (рисунок 56 в)
4. Интегральный резонансный метод. Применяют для определения модулей упругости материала по резонансным частотам продольных, изгибных или крутильных колебаний изделий простой геометрической формы.

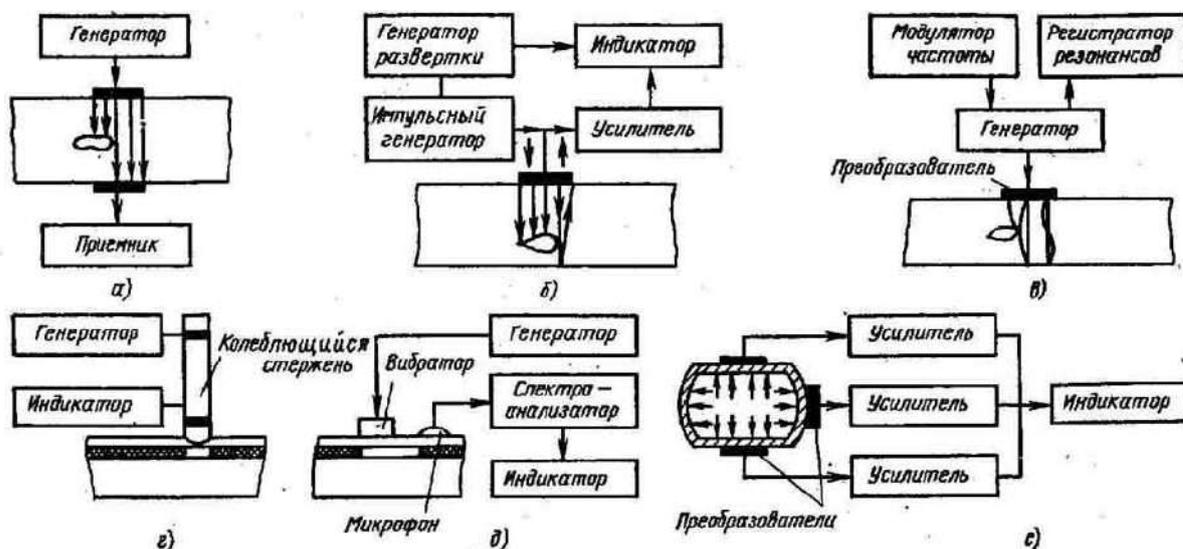


Рисунок 57 – Схемы основных акустических методов контроля

К методам вынужденных колебаний относят акустико-топографический, акустико-эмиссионный метод. (рисунок 56 е).



### Эхо-импульсный метод ультразвуковой дефектоскопии

Как видно, существует огромное количество методов ультразвуковой дефектоскопии, но один из наиболее распространённых методов является эхо-импульсный метод ультразвукового неразрушающего контроля. Это объясняется тем, что этот метод – в отличие от других – применим при

одностороннем доступе к исследуемому объекту, и при этом позволяет определить размеры дефекта, его координаты, характер.

В эхо-импульсном методе ультразвуковой дефектоскопии (УЗД) используются те же принципы, что и в радио - и акустической локации.

Современный эхо-метод УЗД основан на излучении в контролируемое изделие коротких импульсов упругих колебаний (длительностью 0,5 – 10 мксек) и регистрации интенсивности (амплитуды) и времени прихода эхо-сигналов, отраженных от дефектов отражателей.

**Импульсный эхо-метод позволяет решать следующие задачи дефектоскопии:**

1. Обнаружение и определение координат дефектов, представляющих собой нарушения сплошности и расположенных как на поверхности, так и внутри металлических и неметаллических изделиях и в сварных соединениях.
2. Определение размеров дефектов и изделий.
3. Обнаружение зон крупнозернистости в металлических изделиях и заготовках.

Аппаратура, реализующая данный метод, позволяет определить характер дефектов, идентифицировать их по размерам, формам, ориентации.



**Характеристики метода.** К основным характеристикам метода относятся: чувствительность, максимальная глубина прозвучивания, минимальная глубина ("мертвая" зона), разрешающая способность, точность измерения расстояния, производительность контроля[4].

Под **чувствительностью** понимают минимальный размер дефекта, находящийся на максимальной глубине и четко регистрируемый прибором. Количественно ее определяют порогом чувствительности. Для эхо-метода – это минимальная площадь искусственного дефекта типа плоскодонного отверстия, который обнаруживается при контроле. Ее можно определить по отражателям другого типа, выполняя пересчет на площадь плоскодонного отверстия по формулам акустического тракта. Порог чувствительности ограничивается двумя главными факторами: чувствительностью аппаратуры и уровнем помех. В зависимости от структуры материала будет и изменяться порог чувствительности.

**Бланк протокола для проведения ультразвукового контроля приведен в приложении 5.**



**Максимальная глубина прозвучивания** определяется максимальным расстоянием от дефекта (отражателя) заданного размера, на котором он уверенно выявляется. Она ограничивается условием, чтобы сигнал от дефекта был больше минимального сигнала, регистрируемого прибором и уровня помех. Она также определяется параметрами аппаратуры. В технических характеристиках прибора в качестве максимальной глубины прозвучивания указывают максимальную длительность развертки дефектоскопа. Достижение максимальной глубины прозвучивания ограничивается теми же факторами, которые препятствуют повышению чувствительности.



**Минимальная глубина или "мертвая" зона** - минимальное расстояние от преобразователя или от поверхности изделия до дефекта, на котором он четко выявляется не сливаясь с зондирующим импульсом или импульсом от поверхности ввода ультразвука.

**Разрешающая способность** - минимальное расстояние между двумя одинаковыми дефектами, при котором они регистрируются отдельно. Различают лучевую и фронтальную разрешающую способности метода.

Лучевая разрешающая способность - минимальное расстояние в лучевом направлении, при котором сигналы от дефектов видны на экране как два отдельных импульса.

Фронтальная разрешающая способность по перемещению - минимальное расстояние между дефектами в направлении перпендикулярном лучевому.

**Точность измерения** расстояния до дефекта определяется погрешностью в % от измеряемой величины.

**Производительность контроля** определяется шагом и скоростью сканирования (перемещения) преобразователя. При оценке времени контроля учитывается и время на исследование дефекта.

**Условия выявления дефектов при эхо-импульсном методе.** Для обеспечения надежного выявления дефектов необходимо выполнение двух условий:

1. Сигнал от дефекта должен превосходить минимальный сигнал, регистрируемый регистратором прибора.

2. Сигнал от дефекта должен быть больше сигнала помех.

**Условия получения максимального сигнала от дефекта.** Для оптимального выполнения первого условия выявления дефекта величина  $V_d/V_0$  - тах должна иметь максимальное значение. Где  $V_d$  – сигнал от дефекта, а  $V_0$  – сигнал посылаемый преобразователем.

Также, зачастую от правильного выбора частоты ультразвуковых колебаний зависит мощность получения сигнала от дефекта, и как следствие, точность определения дефекта. Можно сказать, что частота является одним из главных параметров, от выбора которых зависит выявление. Остановимся подробно на её выборе. Как известно, частота зависит от коэффициента затухания. Для большинства материалов в диапазоне частот, применяемых в дефектоскопии, эта зависимость приближенно выражается формулой:

$$d = C_1 f + C_2 f^4 \quad (3)$$

где  $C_1$  и  $C_2$  - коэффициенты, не зависящие от частоты.

Первый член связан с поглощением, второй – с рассеянием ультразвука мелкими зернами (кристаллитами) металла.

При малых расстояниях от преобразователя до дефекта влияние затухания ультразвука невелико, поэтому в ближней зоне целесообразно применение высоких частот. В дальней зоне затухание имеет очень большое значение для рационального выбора частоты.

Оптимальная частота ультразвуковых колебаний для мелкозернистых материалов определяется формулой

$$f_{\text{opt}} \approx \frac{2}{C_1 r} \quad (4)$$

где  $C_1$  – коэффициент, связанный с поглощением ультразвука;

$r$  – расстояние от преобразователя ультразвуковых волн до дефекта.

Для крупнозернистых оптимальная частота находится по формуле:

$$f_{\text{opt}} = \sqrt{\frac{1}{2C_2 r}} \quad (5)$$

где  $C_2$  в зависимости от соотношения  $\lambda$  и  $\bar{D}$  равна  $C_2 = 0.25\bar{D}^3$  или  $C_2 = 0.12\bar{D}$  (где  $\bar{D}$  -

средний диаметр кристаллита);

$r$  – расстояние от преобразователя ультразвуковых волн до дефекта

Таким образом, в обоих случаях с увеличением толщины изделия следует понижать частоту.

**Виды помех, появляющихся при эхо-методе.** При ультразвуковой дефектоскопии материалов и изделий, как и при других видов дефектоскопии наблюдается помехи. Их делят на несколько видов:

- помехи усилителя дефектоскопа. Эти помехи препятствуют беспредельному увеличению коэффициента усиления приемного тракта дефектоскопа и определяют граничное значение регистрируемого прибором сигнала  $V_{\min}$ ;

- шумы преобразователя, возникающие при его работе по совмещенной схеме. Непосредственно после излучения зондирующего импульса чувствительность усилителя резко ослабляется в связи с сильным динамическим воздействием на него мощного сигнала генератора. Вследствие этого в указанной зоне резко возрастает граничное значение регистрируемого прибором сигнала  $V_{\min}$ . наличие многократных отражений в протекторе, призме преобразователя, контактной жидкости создает помехи, затягивающие действие зондирующего импульса. Эти помехи быстро исчезают;

- ложные сигналы, возникающие в результате отражения от выступов или выточек и других неровностей поверхности. Эти помехи мешают выявлению дефектов на отдельных участках объекта контроля;

- помехи, связанные с рассеянием ультразвука на структурных неоднородностях, зернах материала, т.е. структурной реверберацией. Сигналы от неоднородностей в зависимости от фазы ослабляют или усиливают друг друга. Они носят статистический характер.

Если дефект находится в дальней зоне, то для улучшения выявляемости дефекта в дальней зоне целесообразно увеличивать размеры преобразователя. При увеличении диаметра преобразователя улучшается направленность излучения, однако граница

ближней зоны удаляется от преобразователя и при  $r_d = a^2/l$  дефект попадает в ближнюю зону. В ближней зоне увеличение диаметра преобразователя оказывает отрицательное влияние на отношение сигнал-шум, приводит к ухудшению направленности преобразователя.

Одним из путей устранения указанных явлений является применение фокусирующих преобразователей.

**Разрешающая способность эхо-метода** – минимальное расстояние между двумя одинаковыми дефектами, при котором эти дефекты фиксируются раздельно. Различают лучевую и фронтальную разрешающую способности. Первую определяют минимальным расстоянием  $\Delta r$  между двумя раздельно выявленными дефектами, расположенными в направлении хода лучей вдоль акустической оси преобразователя. Фронтальную разрешающую способность определяют минимальным расстоянием  $\Delta l$  между одинаковыми по величине точечными раздельно выявляемыми дефектами, залегающими на одной глубине.

Всецело, разрешающая способность определяет возможность метода судить о форме объекта отражения. О характеристике дефекта судят также по фактуре его поверхности благодаря разной степени рассеяния на ней волн.

Немного познакомимся с лучевой и фронтальной разрешающей способностью:

1. Достижение максимальной лучевой разрешающей способности ограничивается теми же факторами, что и достижение минимальной "мертвой" зоны. Сигнал от дефекта, расположенного ближе к преобразователю, действует подобно зондирующему импульсу и мешает выявлению дефекта, импульс которого приходит позднее.

Конечная величина лучевой разрешающей способности мешает иногда выявлению дефектов вблизи противоположной поверхности изделия на фоне интенсивного донного сигнала. В связи с этим у противоположной поверхности изделия имеется неконтролируемая зона (ее также иногда называют "мертвой"), величина которой, однако, в 2 – 3 раза меньше минимальной глубины прозвучивания. [9]

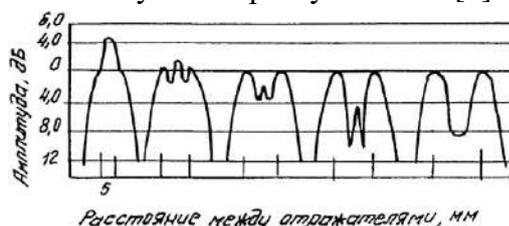


Рисунок 58 – К оценке фронтальной разрешающей способности

Основным средством повышения лучевой разрешающей способности служит уменьшение длительности импульса. При контроле изделий большой толщины иногда бывает трудно разделить на экране два близко расположенных импульса. Это ограничение устраняют введением задержанной развертки.

2. Для теоретической оценки фронтальной разрешающей способности рассчитывают амплитуду эхо-сигнала от двух одинаковых точечных дефектов, залегающих на глубине  $g$  и расположенных на расстоянии  $\Delta l$  друг от друга. На рисунке 58 показаны соответствующие графики. Обращает на себя внимание появление дополнительного (центрального) максимума, соответствующего положению преобразователя посередине между отражателями. В этом случае эхо-сигналы от обоих отражателей приходят к преобразователю в одно время и взаимно усиливаются.

Таким образом, для улучшения разрешающей способности в дальней зоне следует улучшать направленность преобразователя путем увеличения его диаметра и частоты. В ближней зоне целесообразно применение фокусирующих преобразователей. При контроле наклонным преобразователем фронтальную разрешающую способность определяют по двум дефектам, расположенным на одной глубине, а не вдоль фронта волны.

**Определение образа выявленного дефекта.** Целью НК является не только обнаружение дефектов, но и распознавание их образа для оценки потенциальной опасности дефекта. Методы визуального представления дефектов эффективны, когда размеры объектов (дефекта в целом или его фрагментов) существенно превышают длину волны УЗК. Кроме того, эти методы требуют применения довольно сложной аппаратуры. Вот некоторые из методов определения образа дефекта.

**Обегание дефекта волнами** [3]. Падающая волна возбуждает волны различного типа, распространяющиеся вдоль поверхности дефекта. Например, когда на округлый дефект (цилиндр) падает поперечная волна  $T$  (рисунок 59), возникают головные продольные волны  $L$ , головные поперечные и квазирэлеевские волны. Последние две волны практически неотличимы по скорости и показаны как волна  $R$ . Скорость распространения этих волн зависит от диаметра цилиндра и расстояния от его поверхности.

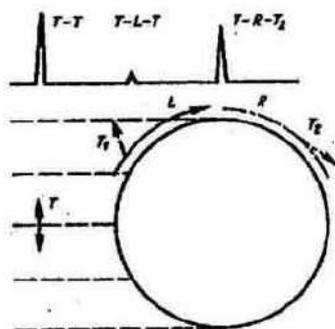


Рисунок 59– Обегание дефекта волнами

Волны L и R порождают боковые поперечные волны и быстро затухают. Боковые поперечные волны могут быть обнаружены различными способами и использованы для оценки формы и размера дефекта.

**Условная ширина  $\Delta X_d$  и протяженность  $\Delta L_d$  дефекта** определяются расстояниями между такими крайними положениями преобразователя, в которых амплитуда эхо-сигнала от дефекта уменьшается до определенного уровня.

**Условная высота  $\Delta H_d$  дефекта** определяется как разность показаний глубиномера в положениях преобразователя, расстояние между которыми равно условной ширине дефекта. Условные размеры дефектов измеряются двумя способами. При первом способе крайними положениями преобразователя считают такие, в которых, амплитуда эхо-сигнала от выявленного дефекта уменьшается до значения, составляющего определенную часть (обычно 1/2) от максимальной. При втором способе крайними положениями преобразователя считают такие, в которых амплитуда эхо-сигнала достигает величины, соответствующей минимальному регистрируемому дефектоскопом значению.

**Ультразвуковой эхо-импульсный дефектоскоп.** Ультразвуковой эхо-дефектоскоп – это прибор, предназначенный для обнаружения несплошностей и неоднородностей в изделии, определения их координат, размеров и характера путем излучения импульсов ультразвуковых колебаний, приема и регистрации отраженных от неоднородностей эхо-сигналов. Рассмотрим его составляющие[8].

На рисунке 60 приведена принципиальная схема импульсного ультразвукового дефектоскопа. Генератор радиоимпульсов 3 возбуждает, пьезопластину передающей искательной головки 1. Ультразвуковые колебания распространяются в контролируемой детали, отражаются от ее противоположной стенки ("донный сигнал") и попадают на пьезопластину приемной искательной головки 2. Отраженные ультразвуковые колебания возбуждают колебания пьезопластины приемной искательной головки 2. При этом на гранях пьезопластины возникает переменное напряжение, которое детектируется и усиливается в усилителе 4, а затем поступает на вертикальные отклоняющие пластины электронно-лучевой трубки (ЭЛТ) 5 осциллографа. Одновременно генератор горизонтальной развертки 6 подает пилообразное напряжение на горизонтальные отклоняющие пластины ЭЛТ 5. Генератор радиоимпульсов 3 возбуждает пьезопластину передающей искательной головки 1 короткими импульсами, между которыми получаются продолжительные паузы. Это позволяет четко различать на экране ЭЛТ 5 сигнал начального (зондирующего) импульса I, сигнал от дефекта III и донный сигнал II. При отсутствии дефекта в контролируемом участке детали на экране осциллографа импульс III будет отсутствовать. Перемещая передающую и приемную искательные головки по поверхности контролируемой детали, обнаруживают дефекты и определяют их местоположение. В некоторых конструкциях ультразвуковых дефектоскопов имеется только одна совмещенная искательная головка, которая используется как для передачи, так и для приема ультразвуковых колебаний. Места прилегания искательных головок к контролируемой детали смазывается тонким слоем трансформаторного масла или вазелина для обеспечения непрерывного акустического контакта искательных головок с поверхностью контролируемого изделия.

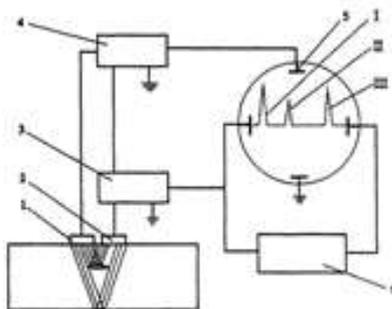


Рисунок 60 – Блок схема импульсного ультразвукового дефектоскопа

### 3. Магнитная дефектоскопия

Физические основы контроля. При контроле качества сварки магнитными методами используется явление электромагнетизма. Магнитные методы контроля позволяют обнаружить дефекты сварных соединений типа несплошностей – трещины, непровары, шлаковые включения, газовые поры как поверхностные так и внутренние на глубине до 25 мм, а также дефекты основного металла в виде волосовин. Данные методы основаны на регистрации и анализе магнитных полей рассеяния, возникающих в местах расположения дефектов [5].

Возможность применения магнитных методов контроля ферромагнитных материалов основана на их свойствах. Магнитный поток в ферромагнитном материале распространяется по сечению равномерно, если этот материал сплошной и его магнитная проницаемость имеет постоянное значение. В местах, где имеются дефекты, сплошность материала нарушается. Магнитный поток в этом месте отклоняется, как бы обтекая дефект. Магнитное поле в этом месте сгущается, частично выходит за границы изделия, распространяется по воздуху и входит в изделие за пределами дефекта. Магнитное поле над дефектом называют полем рассеяния. Таким образом, контроль магнитными методами заключается в обнаружении полей рассеяния, образуемых дефектами, последующей фиксацией этих мест и расшифровке характера и величины выявленных дефектов.

Магнитопорошковый метод. При этом методе контроля дефекты сварных швов обнаруживают при помощи магнитных порошков. Ферромагнитные частицы этих порошков, попадая в неоднородное магнитное поле, стремятся под его воздействием сосредоточиться в тех местах, где силовые линии сгущаются, то есть у кромок дефектов. 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 зёрнами. Размер частиц порошков от 0,1 до 60 мкм.

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

1. Порошки, получаемые термическим разложением пентакарбонила железа  $Fe(CO)_5$ ;
2. Порошки, получаемые размельчением окалина в шаровых мельницах;
3. Порошки технического и синтетического магнетита;
4. Порошки ферромагнитной окиси железа, получаемые окислением магнетита.

*Для лучшего выявления дефектов применяют порошки чёрного или кирпично – красного цвета. Хороших результатов достигают, используя магнитно – люминесцентные порошки. 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**. При сухом способе порошок напыляют с помощью пульверизатора или сита.



Рисунок 61 - Проверка качества сварных швов магнитопорошковой дефектоскопией (сухим способом)

При мокром способе магнитные частицы смешивают с водой, керосином, маслом и готовят суспензии или пасты. Суспензия наносится путём полива или погружения в неё контролируемого изделия.

Магнитопорошковым методом могут быть обнаружены дефекты с раскрытием на поверхности до 1 мкм и глубиной более 10 мкм (**приложение 8**).



*Более совершенный магнитографический способ предполагает наложение на шов ферромагнитной ленты, на которой после пропускания ее через прибор (дефектоскоп) проявляются имеющиеся дефекты. Этот метод был разработан в СССР в 1952 году, а с 1955-1956 годов нашел широкое применение при контроле сварных стыков трубопроводов.*

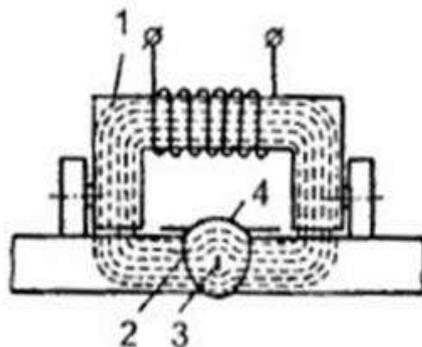


Рисунок 62 - Проверка качества сварных швов магнитографической дефектоскопией: 1 - магнит, 2 - сварной шов, 3 - дефект, 4 - магнитная пленка.

Методика выполнения магнитографического контроля предусматривает осуществление следующих операций:

1. Производят подготовку изделия к контролю – очищают поверхность сварного соединения от грязи, воды, брызг металла, остатков шлака;
2. Укладывают предварительно размагниченную ленту на контролируемое изделие и плотно прижимают её к поверхности;
3. Производят намагничивание изделия электромагнитом, перемещаемым вдоль шва, при этом магнитные поля рассеивания, появляющиеся в местах расположения дефектов, фиксируются на магнитной ленте;
4. Считывают информацию о качестве сварного соединения с помощью дефектоскопа и определяют местонахождение дефектов.

Магнитным способам контроля могут подвергаться только ферромагнитные металлы. Хромоникелевые стали, алюминий, медь, не являющиеся ферромагнетиками, контролю не подлежат [6].

#### 4. Вихретоковая дефектоскопия



**Вихретоковый контроль** основан на анализе взаимодействия внешнего электромагнитного поля с электромагнитным полем вихревых токов, наводимых в объекте контроля этим полем. Вихревые токи возникают в проводящих телах как вследствие магнитного потока во времени, так и в результате относительного перемещения проводящего тела и магнитного потока.

Вихревые токи замыкаются непосредственно в проводящих изделиях, образуя вихреобразные контуры, сцепляющиеся с индуктирующим их магнитным потоком, они вызывают неравномерное распределение напряженности магнитного поля в проводящем изделии, в котором они возникают. Возникает магнитный поверхностный эффект, заключающийся в том, что происходит вытеснение магнитного потока из середины изделия к его поверхности, которое будет тем больше, чем выше угловая частота

переменного тока возбуждающей катушки вихретокового преобразователя (ВТП) и чем больше абсолютная магнитная проницаемость  $\mu$  материала объекта контроля. Форма кривых распределения вихревых токов повторяет форму витков обмотки возбуждения ВТП с учётом формы объекта контроля (ОК). В результате действия вихревых токов в ОК изменяется результирующее магнитное поле.

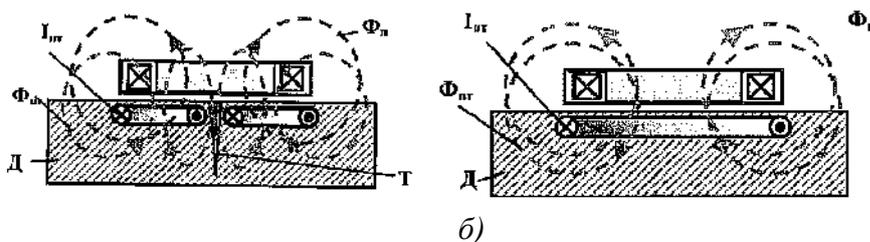
Распределение плотности вихревых токов в проводящем ОК определяется источником электромагнитного поля, геометрическими и электромагнитными параметрами ОК, а также взаимным расположением ВТП и ОК.

**Принцип действия неразрушающего контроля.** В качестве источника электромагнитного поля чаще всего используется индуктивная катушка с синусоидальным током, называемая вихретоковым преобразователем. При наличии вблизи ОК такой катушки, являющейся генератором (рисунок 1), в результате действия вихревых токов в ОК, изменяются активное  $R$ , индуктивное  $X_L$  и, следовательно, комплексное сопротивление  $Z$  индуктивной катушки. Вихревые токи вносят изменения в электрические параметры катушки и соответствующие изменения этих величин принято обозначать так  $R_{вн}$  вносимое в катушку активное сопротивление, обусловленное потерями энергии за счет нагрева ОК вихревыми токами;  $X_L$  - вносимое индуктивное сопротивление, обусловленное изменением потокоцепления катушки (и, как следствие, изменением ее индуктивности  $L$ ),  $Z$  - соответствующее изменение полного сопротивления (импеданса) катушки.



Рисунок 63 - Принцип устройства вихретокового контроля; 2 график распределения плотности вихревых токов

По графику распределения плотности вихревых токов в ОК видно, что максимального значения плотности вихревых токов в ОК достигает под витками возбуждающей обмотки ВТП. Под центром возбуждающей обмотки ВТП вихревые токи отсутствуют, а следовательно, обнаружить дефект в этом месте ОК не предоставляется возможным. Вихревые токи вызывают выделение тепла, которое называют потерями энергии на вихревые токи. Эти потери определяют вносимое активное сопротивление ВТП, которое может быть одним из информативных параметров ВТП при контроле изделий.



Д – деталь;  $\Phi_n$  - магнитный поток ВТП;  $\Phi_{вт}$  - магнитный поток вихревых токов;  $I_{вт}$  - вихревой ток; Т – трещина.

Рисунок 64 - Взаимодействие параметрического ВТП с деталью при наличии трещины (а); при отсутствии трещины (б)

**Средства вихретокового неразрушающего контроля.** Вихретоковый преобразователь-устройство, состоящее из одной или нескольких индуктивных обмоток, предназначенных для возбуждения в объекте контроля вихревых токов и преобразования зависящего от параметров объекта электромагнитного поля в сигнал преобразователя, электромагнитное поле вихревых ЭДС воздействует на катушки преобразователя, наводя в них ЭДС (трансформаторные преобразователи) или изменяя их полное электрическое сопротивление (параметрические), регистрируя напряжение на зажимах катушки или их сопротивление, получают информацию о свойствах объекта и о положении преобразователя относительно него.

**Конструкция вихретоковых преобразователей.** Конструкция ВТП определяется их назначением, условиями применения, диапазоном частот тока возбуждения и другими факторами. При этом размеры катушек ВТП колеблются от нескольких миллиметров до 300- 500 мм в диаметре, а масса ВТП – от десятков граммов до сотен килограммов.

Конструкция ВТП обычно содержит следующие составные части: одну или несколько катушек; корпус для размещения в нем катушек и других узлов приборов; средства стабилизации положения катушек относительно ОК в процессе контроля; средства для размещения ВТП в заданном положении относительно ОК; соединительные разъемы и кабели.

Основные требования, предъявляемые к конструкции ВТП, - прочность, износоустойчивость, защищенность от внешних воздействий, возможность доступа к зоне контроля, удобство эксплуатации и соответствие требованиям технической эстетики, надёжность. Успешное решение этих задач во многом определяет эффективность прибора.

**Приборы вихретокового неразрушающего контроля.** Дефектоскопы - наиболее распространенный вид вихретоковых приборов неразрушающего контроля, они предназначены для обнаружения несплошностей в объектах из электропроводящих материалов.

Толщинометры - это приборы для измерения толщины объекта контроля и покрытий на них.

Вихретоковые универсальные приборы решают задачи дефектоскопии, толщинометрии и структуроскопии в широком диапазоне как размеров и форм изделий, так и марок сталей и сплавов. Для этого они выполняются с широкими возможностями измерительных каналов, набором ВТП различных конструкций. Универсальность достигается благодаря выпуску электронного блока с широкими измерительными возможностями по частотному диапазону, коэффициенту усиления, набору способов обработки сигналов, набору полосовых низкочастотных фильтров, применению встроенных микропроцессоров с высокими техническими характеристиками, жидкокристаллических дисплеев, набором возможностей представления информации на экранах.

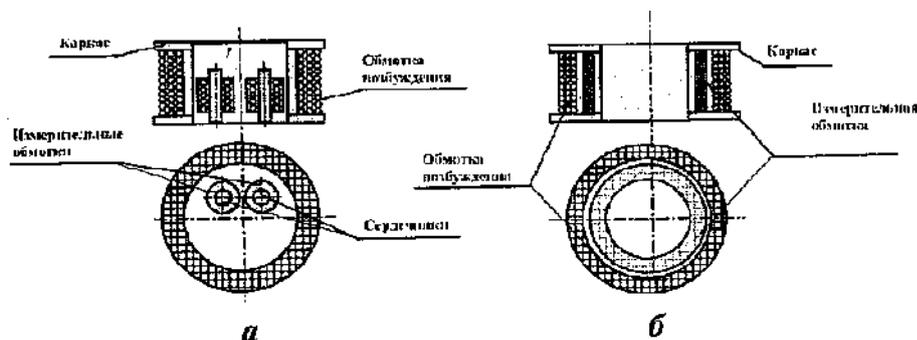


Рисунок 65 - Конструкция трансформаторных ВТП с двумя измерительными катушками с сердечником (а) и с одной измерительной катушкой без сердечника (б)

Область применения вихретокового контроля. Вихретокового контроля - контроль качества электропроводящих объектов: металлов, сплавов, графита, полупроводников и т.д. Вихретоковый контроль зарекомендовал себя на практике как безопасный и надежный метод, приемлемый для производств, где предъявляются высокие требования к качеству контроля состояния оборудования в рамках жестких ограничений норм и условий.

Как в России, так и за рубежом, в технологических процессах химических, нефтехимических, фармацевтических и других предприятий широко применяются теплообменные аппараты с большим количеством труб в трубных пучках. В настоящее время контроль состояния трубных пучков, как правило, производится путем гидравлических испытаний. Другой способ заключается в тестировании труб с наружной стороны с помощью портативных ультразвуковых дефектоскопов. В обоих случаях процедура тестирования требует значительного времени и обычно не дает полной и достоверной картины состояния труб.

Эффективное решение этой проблемы - использование вихретокового метода с использованием датчиков, движущихся внутри трубы. Так в ядерной промышленности достаточно давно применяют вихретоковый способ контроля с внутренним перемещающимся датчиком. При контроле теплообменных аппаратов датчик вводится в трубу с помощью толкателя, позволяющего развивать скорость до 8 м/с. В приборе возможна последовательная генерация различных частот. Контроль состояния труб на нескольких частотах значительно расширяет разрешающую способность и диапазон использования метода, обеспечивая возможность обнаружения самых разнообразных дефектов - от поверхностных трещин до неоднородностей материала в более глубоких областях - с высокой скоростью и надежностью [7].

## 5. Капиллярная дефектоскопия

**Физическая сущность контроля.** Капиллярный контроль основан на капиллярной активности жидкостей - их способности втягиваться, проникать в мельчайшие каналы (капилляры), имеющиеся на поверхности материалов, в том числе поры и трещины сварных швов. Чем выше смачиваемость жидкости и чем меньше радиус капилляра, тем больше глубина и скорость проникновения жидкости.



С помощью капиллярного контроля можно контролировать материалы любого вида и формы - ферромагнитные и неферромагнитные, цветные и черные металлы и их сплавы, керамику, пластмассы, стекло. В основном, капиллярный метод применяют для обнаружения невидимых или слабонвидимых невооруженным глазом поверхностных дефектов с открытой полостью. Однако с помощью некоторых материалов (керосина, например) можно с успехом обнаруживать и сквозные дефекты.

Для капиллярного контроля разработан ГОСТ 18442-80 "Контроль неразрушающий. Капиллярные методы. Общие требования".

**Контроль сварных швов с помощью пенетрантов.** К наиболее распространенным способам контроля качества сварных швов с использованием явления капиллярности относится контроль пенетрантами (англ. penetrant - проникающий) - веществами, обладающими малым поверхностным натяжением и высокой световой и цветовой контрастностью, позволяющей легко их увидеть. Сущность метода состоит в окраске дефектов, заполненных пенетрантами.

Существуют десятки рецептур пенетрантов, обладающих различными свойствами. Есть пенетранты на водной основе и на основе различных органических жидкостей (керосина, скипидара, бензола, уайт-спирита, трансформаторного масла и пр.). Последние (на основе различных органических жидкостей) особенно эффективны и обеспечивают высокую чувствительность выявления дефектов.

Если в рецептуру пенетрантов входят люминесцирующие вещества, то их называют люминесцентными, а способ контроля - люминесцентной дефектоскопией.

Наличие таких пенетрантов в трещинах определяется при облучении поверхности ультрафиолетовыми лучами. Если в состав смеси входят красители, видимые при дневном свете, пенетранты называются цветными, а метод контроля - цветной дефектоскопией. Обычно в качестве красителей используются вещества ярко-красного цвета.

У разных пенетрантов разная чувствительность. Самые чувствительные (1-й класс чувствительности) способны выявлять капилляры с поперечным размером 0,1-1 мкм. Верхний предел капиллярного метода - 0,5 мм. Глубина капилляра должна быть минимум в 10 раз больше ширины.

Пенетрант может храниться в любой емкости и наноситься на контролируемый шов любым способом, но наиболее удобная форма выпуска - аэрозольные баллончики, с помощью которых смесь распыляется на поверхность металла. Обычно в комплект средства контроля швов входят три баллончика:

- сам пенетрант;
- очиститель, предназначенный для очистки поверхности от загрязнений перед проведением контроля и удаления излишков пенетранта с поверхности перед проявлением;
- проявитель - материал, предназначенный для извлечения пенетранта из дефекта и создания фона, для образования четкого индикаторного рисунка.

Баллончики могут быть разборными, позволяющими заряжать их на специальном зарядном стенде, входящем в комплект.

Методы контроля сварных соединений с использованием разных пенетрантов могут незначительно отличаться друг от друга, но в основном они сводятся к трем операциям - очистке поверхности, нанесению на неё пенетранта и проявлению дефектов с помощью проявителя. В деталях это выглядит следующим образом.

Поверхность шва и околошовной зоны очищается от загрязнения, обезжиривается и сушится. При очистке важно не внести в дефекты новых загрязнений, поэтому механический способ очистки, при котором повреждения могут забиться посторонними включениями, использовать нежелательно. Обычно рекомендуется заканчивать операцию очистки очистителем, идущим в комплекте, - протерев им поверхность материалом не оставляющим волокон. Если сварной шов перед контролем подвергался травлению, травящий состав нужно нейтрализовать 10-15% раствором соды ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ).

При контроле в условиях минусовых температур (если свойства используемого пенетранта допускают это), поверхность изделия рекомендуется протереть чистой тканью, смоченной в этиловом спирте.

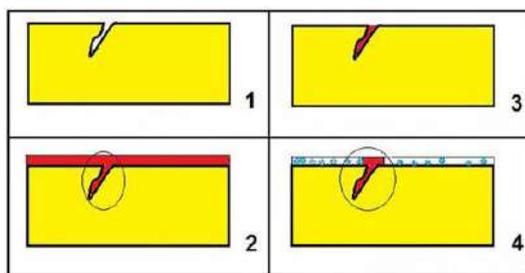


Рисунок 66 - Контроль сварных соединений пенетрантом: 1 - очищенная поверхность с трещиной, 2 - нанесенный на поверхность пенетрант (пенетрант заполнил трещину), 3 - очищенная от пенетранта поверхность (пенетрант остался в трещине), 4 - нанесенный на поверхность проявитель (проявитель вытягивает пенетрант из трещины на поверхность, и может создавать светлый фон)

Затем на поверхность распыляют пенетрант и дают выдержку в течение 5-20 минут (в соответствии с инструкций для конкретного состава). Это время необходимо на проникновение жидкости в имеющиеся дефекты.

После выдержки излишки пенетранта удаляются с поверхности. Способ удаления может различаться в зависимости от используемого состава. Водорастворимые смеси удаляют тканью без волокон, смоченной в воде, но обычно излишки пенетранта удаляются очистителем, входящим в состав комплекта. Независимо от способа удаления, нужно добиться того, чтобы поверхность была полностью очищена от препарата.

В заключительной стадии операции, из третьего баллончика наносится индикаторная жидкость, которая вытягивает пенетрант из полостей дефектов по принципу промокашки, отображая их расположение и форму в виде цветового рисунка. В случае необходимости, при осмотре применяют лупу с двукратным увеличением.



Рисунок 67 - Контроль сварных швов пенетрантом

**Проверка качества сварных швов с использованием пенетрантов (приложение 6)** имеет как достоинства, так и недостатки. В числе первых - простота использования, высокая чувствительность и достоверность обнаружения дефектов, многообразие контролируемых по виду и форме материалов, высокая производительность, относительная дешевизна. К основным недостаткам относится возможность обнаружения только поверхностных дефектов, необходимость тщательной очистки шва, невозможность применения после механической обработки поверхностного слоя. Применяя пенетранты, следует также иметь в виду, что широко раскрытые дефекты (более 0,5 мм) могут не проявиться - из-за особенности капиллярного явления [8].

## 6. Контроль течей сканением



**Контроль швов на непроницаемость с помощью керосина.** Несмотря на свою простоту, контроль качества сварных соединений с помощью керосина достаточно эффективен и к тому же не требует сколько-нибудь значительных материальных затрат. Недаром им продолжают широко пользоваться и в наше время, богатое на различные высокофункциональные устройства и приборы.

Керосин способен проникать сквозь мельчайшие трещины в сварных швах, благодаря чему позволяет обнаруживать мельчайшие дефекты. По своей эффективности способ контроля керосином эквивалентен гидравлическому испытанию с давлением 3-4 кгс/мм<sup>2</sup>. Он основан на том же явлении капиллярности, что и контроль пенетрантами. К слову сказать, в некоторые пенетранты фирменного изготовления керосин входит в качестве составляющего компонента.

Проверка керосином сводится к ряду последовательных операций:

- Очистка шва с двух сторон от шлака, грязи и ржавчины.

- *Покрытие одной из сторон (той, за которой удобнее наблюдать) водной суспензией каолина или мела (350-450 г на 1 л воды). После нанесения суспензии необходимо подождать, пока она высохнет. Для ускорения процесса покрытие можно просушить горячим воздухом.*

- *Обильное смачивание обратной стороны керосином - 2-3 раза в течение 15-30 минут, в зависимости от толщины металла. Это можно делать струей из краскопульта или паяльной лампы, а также с помощью кисти или кусочка ветоши.*

- *Наблюдение за стороной, на которую нанесена меловая или каолиновая суспензия, и маркирование проявляющихся дефектов.*

*Негерметичность швов обнаруживает себя появлением темных полос или точек на меловом или каолиновом покрытии, которые с течением времени расплываются в более обширные пятна. Именно поэтому наблюдать за обратной стороной нужно сразу после нанесения керосина - чтобы зафиксировать первые проявления керосина, точно указывающие на место и форму дефекта. Проявляющиеся точки свидетельствуют о порах и свищах, полосы - о сквозных трещинах.*

*Продолжительность испытания при комнатной температуре должна составлять несколько часов. Скорость проникновения керосина в дефекты зависит от его вязкости, которая уменьшается с повышением температуры.*

*Контроль сварных швов с помощью керосина предназначен в основном для стыковых соединений, в отношении нахлесточных он менее эффективен. Повысить его действенность в этом случае можно, просверлив отверстие и закачав или залив керосин между швами. Применяя этот прием нужно иметь в виду, что керосин, попавший в стык деталей, может впоследствии вызвать коррозию, поэтому его необходимо удалить после испытания подогревом детали горелкой или паяльной лампой.*

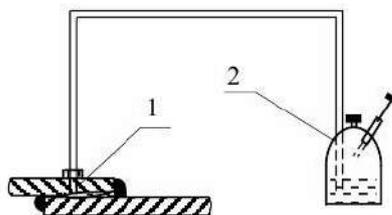


Рисунок 68 - Схема контроля керосином качества швов в нахлесточном соединении: 1 - испытываемое соединение, 2 - емкость с керосином

**Керосино-пневматический способ** повышает производительность и чувствительность метода испытания керосином. В этом 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.

**Керосино-вакуумный способ.** В этом случае на покрытое меловой суспензией сварное соединение устанавливают вакуум-камеру и создают разрежение, которое способствует ускорению проникания керосина через течи.

**Керосино-вибрационный способ** отличается тем, что сварные соединения опрыскивают керосином в процессе вибрации.

**Газоаналитический (галоидный) метод** применяют для контроля герметичности замкнутых гидравлических газовых и топливных систем и их элементов, а так же агрегатов и отсеков изделий авиации, судостроительной промышленности, ядерного реакторостроения, химической промышленности и других изделий машиностроения.

Сущность метода заключается в регистрации пробного газа, проходящего через локальные неплотности контролируемого изделия, находящиеся на его поверхности. С контролируемой поверхности воздух захватывается щупами - течеискателями и подается в контрольный прибор, где и определяется наличие пробного газа. В качестве

контрольных приборов применяются катарометрические и галоидные датчики, а также масс-спектрометры. Контрольные приборы устроены таким образом, что по теплофизическим свойствам пробных газов они регистрируют не только их наличие, но и захваченное количество в отобранной пробе. В качестве пробных газов применяются водород, гелий, аргон, углекислый газ и галоиды - фреон, четыреххлористый углерод и др. Чувствительность этих методов колеблется в очень широких пределах от  $(2 - 4) \cdot 10^{-4}$  мм<sup>3</sup>·МПа/с у катарометрических течеискателей, до  $6,65 \cdot 10^{-12}$  мм<sup>3</sup>·МПа/с у масс-спектрометрических.

**Химический метод контроля сварных швов.** В основе химического метода контроля лежит использование свойства индикаторного вещества изменять свою окраску за счет химического взаимодействия с контрольным веществом.

Сущность этого метода состоит в том, что в контролируемый сварной сосуд, подвергнутый предварительно гидравлическому или пневматическому испытанию, подаётся контрольный газ, который под давлением выходит через неплотности и в местах течей окрашивает индикаторное вещество, предварительно нанесённое 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 давление контрольного газа обычно составляет 0,1-0,15 МПа, время выдержки – 1-15 мин.

Контроль химическим методом могут подвергаться открытые ёмкости при двухстороннем доступе к сварным соединениям. В этом случае используют камеры с 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.



**Гидравлические 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.

При испытании гидравлическим давлением изделие заполняют контрольным веществом (рабочей жидкостью или водой), герметизируют и с помощью насоса создают в нём необходимое давление, при котором выдерживают некоторое время, предусмотренное ТУ, затем обстукивают молотком с круглым бойком и осматривают все сварные соединения с целью выявления мест утечек. В качестве индикатора течи применяют фильтровальную бумагу, которая под воздействием контрольной жидкости темнеет. 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.

Испытания наливом воды проводят для контроля плотности соединений открытых сооружений – вертикальных цилиндрических резервуаров, газгольдеров, цистерн, отсеков сосудов и др. Сварные швы протирают и сушат, обдувая воздухом. Заполняют сооружения водой до уровня, предусмотренного ТУ и по истечении определённого времени все соединения подвергают внешнему осмотру. Этот контроль проводят, как правило, при положительных температурах.

Испытания поливом водой проводят в тех случаях, когда есть возможность свободного доступа к сварным соединениям с двух сторон. С одной стороны соединения

поливают струёй воды из брандспойта (давления 0,1 – 1 МПа). Одновременно с другой стороны производят осмотр с целью выявления течей. Вертикальные соединения поливают в направлении снизу вверх.



**Пневматический способ контроля.** Чувствительность контроля при гидравлических испытаниях несколько ниже, чем при испытании давлением. Этот способ позволяет выявить течи диаметром 0,5 мм. Пневматические методы испытаний применяют для контроля сварных швов замкнутых систем – трубопроводов, сосудов и аппаратов, а также открытых листовых конструкций типа резервуаров.

При пневматическом способе проверяемая емкость надувается воздухом, азотом или инертным газом до давления, составляющего 100-150% от рабочего (в зависимости от технических условий на изделие). Наружные швы смачиваются пенообразующим составом, который представляет собой раствор туалетного или хозяйственного мыла в воде (50-100 г мыла на 1 литр воды).

Если испытания проводятся при минусовой температуре, часть воды (до 60%) заменяется спиртом. Появившиеся на поверхности швов пузырьки свидетельствуют о наличии сквозных дефектов.

Рекомендуется подключать к емкости манометр и предохранительный клапан. По показаниям манометра контролируется давление и его падение - в случае наличия сквозных дефектов. Предохранительный клапан обеспечивает безопасность испытаний, сбросом давления при превышении его значения выше допустимого уровня.

Небольшие сосуды можно не промазывать мыльным раствором, а помещать в ванну с водой. Дефекты обнаружат себя появлением воздушных пузырьков. Этот способ проверки даже более прост и надежен, чем промазка швов пенообразующим раствором.

**Проверка аммиаком.** К разновидностям пневматического испытания относится контроль качества сварки с помощью аммиака, который подают под давлением в проверяемую емкость в количестве сотой части всего объема воздуха. Перед подачей аммиачно-воздушной смеси, швы, подлежащие контролю, покрывают бумажной лентой или медицинским бинтом, пропитанными фенолфталеином. Проходя через сквозные дефекты, аммиак оставляет на ленте или бинте красные пятна. Метод проверки с помощью аммиака очень достоверен.

**Обдув сварных соединений воздухом.** В тех случаях, когда изделие нельзя накачать воздухом, можно применить упрощенный вариант пневматического испытания, обдувая шов с одной стороны струей воздуха под давлением, а с другой - обмазав его мыльным раствором. В этом случае в зоне обдува создается подпор воздуха, который проявляет себя появлением пузырьков с обратной стороны (при наличии сквозных дефектов).

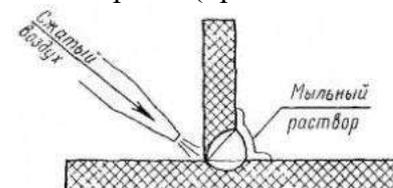


Рисунок 69 - Проверка обдувом сварных соединений воздухом

Чтобы получить необходимый эффект, необходимо соблюдать определенные условия: давление воздуха должно быть до 2,5 кгс/см<sup>2</sup>, струя должна направляться перпендикулярно шву, конец шланга должен оканчиваться ниппелем с отверстием 10-15 мм. Ниппель удерживают на расстоянии 50-100 мм от шва. Как и в случае пневматического испытания, наличие сквозных дефектов определяется по появлению пузырьков воздуха на обратной стороне шва. Способ наиболее эффективен при проверке угловых швов, поскольку в этом случае создается большой подпор.

**Испытание вакуумированием** проводят с помощью переносных вакуумных камер. Камера состоит из отрезка оргстекла прямоугольной формы, с одной стороны которого приклеена резина для уплотнения. Для испытания участка шва на прочность его покрывают пенообразующим составом, затем накладывают вакуумкамеру, прижимают её к поверхности изделия и включают вакуум – насос, создающий 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 краской. С помощью крана впускают атмосферный воздух в полость камеры, снимают её и перемещают на соседний участок шва. Последовательно повторяя операцию, можно контролировать швы любой длины. Вакуумный метод контроля позволяет выявить неплотности минимальным диаметром 0,006 мм [6].

### Контрольные вопросы:



1. Какие сварные конструкции и с какой целью подвергают гидравлическим испытаниям?
2. Что представляют собой испытания поливом водой?
3. Сущность пневматического способа контроля.
4. Что представляет собой вакуумная камера?
5. Какие материалы можно контролировать с помощью капиллярного метода?
6. В чем заключается керосино-вакуумный способ?
7. Где применяется галоидный метод контроля?
8. Что лежит в основе химического метода контроля?
9. Опишите физическую сущность радиографического метода контроля?
10. В чем преимущество ультразвукового метода контроля перед радиографическим?
11. Назначение вихретокового метода контроля?
12. Сущность магнитографического метода контроля.
13. Перечислите основное оборудование для осуществления радиационного контроля.
14. Опишите устройство и принцип работы импульсного ультразвукового дефектоскопа.



**Видеоролик «Проведение ультразвукового контроля сварных швов»**



**Видеоролик «Проведение рентгенографического контроля»**



**Видеоролик «Проведение магнитопорошкового контроля сварных соединений»**



## Презентация «Капиллярный метод контроля сварных соединений»

### Задания для закрепления изученной темы:



#### Задание №1

На предприятии проводилась оценка качества сварных соединений путем радиографического контроля, в соответствии с требованиями ГОСТ 751282, ГОСТ 23055-80, по результатам которого было выдано заключение. Воспользовавшись указанными ГОСТ расшифруйте приведенные в заключении дефекты и относящиеся к ним геометрические параметры.

#### Заключение № 2101/1

#### о качестве сварных швов на основании радиографического контроля

Оценка качества сварных соединений проводилась в соответствии с требованиями ГОСТ 7512-82, ГОСТ 23055-78.

Наименование источника излучения	Тип и номер эталона чувствительности		Тип экрана	Тип пленки, размер, см.	Объем контроля, %		
1	2		3	4	5		
РУП-150/300-10	Канавочный №1		Pb	D7; 10×30	100		
Наименование сборочной единицы или детали	№ шва по карте контроля	№ снимка	Толщина изделия, мм.	Чувствительность снимка, мм.	Обнаруженные дефекты	Соответствие требованиям НД	№ схемы контроля
6	7	8	9	10	11	12	13
Образец	—	1	16	0,4	Ц150П2,0×1,0; Н15; Н8; Н4	нет	4
Образец	—	2	16	0,4	Ц150П1,5; Н5; П3,0×2,0	нет	4

Дефектоскопист РГГ *И.М.Чернышов* 14.11.18  
подпись, дата

Начальник лаборатории РГГ *И.М.Чернышов* 14.11.18  
подпись, дата

И.М.Чернышов и.о.о.  
И.М.Чернышов и.о.о.

место штампа ЦЗЛ

#### Пример выполнения расшифровки снимка:

Ц100П1,5×1,0;Н18 – цепочка пор длиной 100 мм, неравномерной округлости размерами 1,5×1,0 мм. Непровар длиной 18 мм.

#### Задание № 2

Ответьте на предложенные вопросы.

1. Вставьте пропущенное слово:

Отклонения от установленных норм и технических требований, приводящих к ухудшению работоспособности сварных конструкций, в процессе образования сварных соединений в металле шва и зоне термического влияния называют .....

2. *Выбрать правильные ответы:*

**К неразрушающим методам контроля сварных соединений относятся:**

- а) внешний осмотр и измерение сварных швов;
- б) металлографические исследования;
- в) механические испытания;
- г) УЗК;
- д) радиационные методы контроля.

3. *Установить соответствие между видом контроля на герметичность и её сущностью:*

<b>Вид контроля на герметичность</b>	<b>Сущность контроля</b>
1 Контроль керосином	а) - изделие заполняют водой под избыточным давлением, в 1,5-2 раза превышающим рабочее, и выдерживают в течении заданного времени
2 Контроль гидравлическим давлением	б) - основаны на перепаде давления, создаваемого откачкой воздуха из изделия
3 Контроль воздушным давлением	в) - основан на подаче воздуха под давлением на 10-20% превышающим рабочее
4 Вакуумные методы	г) - основан на физическом явлении капиллярности, которое заключается в способности керосина подниматься по капиллярным ходам

1	2	3	4

4. *Выбрать правильный ответ:*

**Контроль, основанный на обнаружении полей магнитного рассеяния, образующихся в местах дефектов при намагничивании контролируемых изделий, называется:**

- а) магнитный метод;
- б) акустический метод;
- в) радиационный метод;
- г) гидравлические испытания.

5. *Выбрать правильный ответ:*

**Контроль, основанный на разном поглощении рентгеновского или гамма-излучения участками металла с дефектами и без них, называется:**

- а) магнитный метод;
- б) акустический метод;
- в) радиационный метод;
- г) гидравлические испытания

6. *Выбрать правильный ответ:*

**Контроль, основанный на способности ультразвуковых волн проникать в металл на большую глубину и отражаться от находящихся в нем дефектных участков, это:**

- а) магнитный метод;
- б) акустический метод;
- в) радиационный метод;
- г) гидравлические испытания.

7. *Выбрать правильный ответ:*

**Трещины и поры относятся к дефектам:**

- а) наружным;
- б) внутренним;
- в) наружным и внутренним.

8. *Выбрать правильный ответ:*

**Водород способствует образованию в металле шва при сварке**

- а) пор;
- б) непроваров;
- в) кратеров.

9. *Установить правильную последовательность контроля керосином:*

- а) выявить дефекты;
- б) отбить шлак;
- в) обратную сторону шва смочить керосином;
- г) доступную для осмотра сторону покрыть водным раствором мела.

1	2	3	4

10. *Установить правильную последовательность контроля вакуумом:*

- а) выявить дефекты;
- б) отбить шлак;
- в) смочить участок сварного соединения мыльным раствором;
- г) промыть растворителем мест контроля;
- д) установить вакуум-камеру.

1	2	3	4	5

11. *Установить правильную последовательность проведения гидравлических испытаний:*

- а) выдержать в течение заданного времени;
- б) сварное изделие загерметизировать;
- в) заполнить водой под давлением;
- г) выявить дефекты.

1	2	3	4

12. *Выбрать правильный ответ:*

**Дефект, обнаруженный с помощью радиационного метода контроля, отображается на:**

- а) пленке;
- б) магнитной ленте;
- в) бумажной ленте.

13. *Расшифровку дефектограмм выполняют в проходящем свете на:*

- а) осциллографе;
- б) негатоскопе;
- в) дефектограф.

14. Минимальный размер дефекта, находящийся на максимальной глубине и четко регистрируемый прибором при ультразвуковом контроле называется:

- а) погрешностью метода;
- б) определяемостью метода;
- в) чувствительностью метода

15. Установите правильную последовательность при магнитографическом контроле:

5. Подготовка изделия к контролю	а) с помощью дефектоскопа и определяют местонахождение дефектов
6. Считывание и обработка информации	б) укладывают предварительно размагниченную ленту на контролируемое изделие и плотно прижимают её к поверхности
7. Осуществление контроля	в) очищают поверхность сварного соединения от грязи, воды, брызг металла, остатков шлака
8. Подготовка оборудования к контролю	г) намагничивание изделия электромагнитом, перемещаемым вдоль шва, при этом магнитные поля рассеивания, появляющиеся в местах расположения дефектов, фиксируются на магнитной ленте


16. Для контроля качества по этому способу в качестве источника электромагнитного поля чаще всего используется индуктивная катушка с синусоидальным током:

- а) магнитографический метод;
- б) метод точечискания;
- в) вихретоковая дефектоскопия.

17. Вещества, обладающие малым поверхностным натяжением и высокой световой и цветовой контрастностью, позволяющей легко их увидеть называются:

- а) пенетранты;
- б) проявители;
- в) реагенты;
- г) красители.

18. Как называется метод контроля качества суцность которого состоит в том, что в контролируемый сварной сосуд, подвергнутый предварительно гидравлическому или пневматическому испытанию, подаётся контрольный газ, который под давлением выходит через неплотности и в местах течей окрашивает индикаторное вещество, предварительно нанесённое на поверхность сварных соединений:

- а) гидравлические испытания;
- б) пневматические испытания;
- в) химический метод контроля качества.

19. Вставьте название метода:

..... подвергают трубопроводы, резервуары, технологические аппараты и другие сооружения с целью проверки, как плотности, так и

прочности сварных швов.

20. Дополните определение:

Очиститель, входящий в набор средств контроля сварных швов предназначен для  
.....  
.....

## **ТЕМА 1.4. Разрушающие методы контроля качества сварных соединений**

*Перечень вопросов подлежащих рассмотрению:*

1. Механические испытания.
2. Металлографический анализ.
3. Химический анализ и коррозионные испытания.
4. Свариваемость металла и методы ее оценки.

### **1. Механические испытания**



***Механические испытания сварных соединений проводят с целью:***

- проверки соответствия их механических свойств требованиям ГОСТов, технических условий и норм,
- контроля качества сварочных материалов (электродов, проволоки и флюсов),
- проверки квалификации сварщиков, допускаемых к ответственным сварочным работам.

*Порядок проведения механических испытаний, нормы и размеры образцов определяются в соответствии с ГОСТ 6996-66 и ГОСТ Р 57180-2016 Соединения сварные. Методы определения механических свойств, макроструктуры и микроструктуры.*

*Механические испытания сварных соединений являются основными для определения прочности и надежности сварного соединения.*

*Механические свойства в соответствии с ГОСТ 6996-66 определяются при следующих видах испытаний:*

- испытание металла различных участков шва на статическое растяжение;
- испытание на ударный изгиб;
- испытания на стойкость против механического старения;
- измерение твердости металлов и сплавов;
- испытания сварного соединения на статическое растяжение;
- испытание сварного соединения на статический изгиб;
- испытание сварного соединения на ударный разрыв.

*Выбор метода и температуры испытаний, типа образца предусматривается в нормативно-технической документации на контролируемое изделие, устанавливающей технические требования на нее.*

*При определении характеристик механических свойств сварного соединения в целом и его отдельных участков, а также наплавленного металла в качестве испытательных машин и приборов применяется испытательное оборудование всех систем при условии соответствия их требованиям ГОСТ 7855-74.*

*Проведение испытаний на статический изгиб.*

*Испытание на статический изгиб проводится для определения способности металла выдерживать заданную пластическую деформацию, характеризуемую углом изгиба, или для оценки предельной пластичности металла при изгибе. Предельная пластичность характеризуется углом изгиба до образования первой трещины.*

*Испытание на изгиб проводят на универсальных испытательных машинах или прессах.*

Образцы толщиной менее 4 мм разрешается испытывать на изгиб вокруг жестко закрепленной на тисках оправки.

Отбор заготовок для изготовления образцов на статический изгиб производится в соответствии с ГОСТ 7564-73, ГОСТ 6996-66, а испытание образцов - с ГОСТ 14019-80.

При изготовлении образца на его гранях после механической обработки не должно быть поперечных рисок от режущего инструмента. Шероховатость поверхности образца после механической обработки - не ниже требований ГОСТ 14019-80, ГОСТ 6996-66.

**Испытание на статический изгиб может проводиться:**

- до определенного угла;

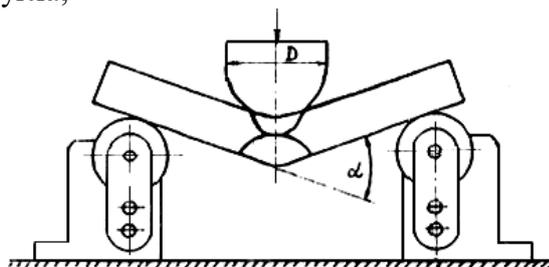


Рисунок 70 - Схема испытания на изгиб до определенного угла

- до параллельности сторон;

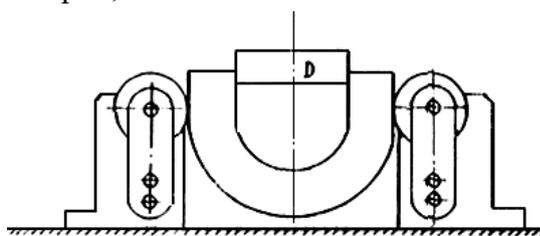


Рисунок 71 - Схема испытания на изгиб до параллельности сторон

- вплотную до соприкосновения сторон.

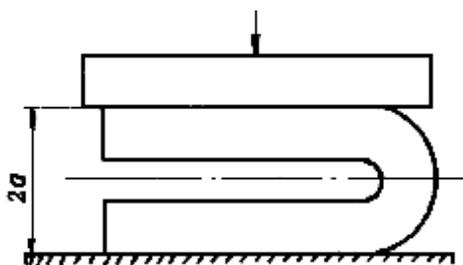


Рисунок 72 - Схема испытания на изгиб вплотную до соприкосновения сторон

**Вид изгиба** должен быть оговорен в нормативно-технической документации на контролируемое изделие.

Обязательным условием проведения испытаний на статический изгиб является плавность нарастания нагрузки на образец. Испытания проводят со скоростью деформации не более 15 мм/мин.

При испытании на статический изгиб до определенного угла образец, лежащий в горизонтальной плоскости на двух параллельных цилиндрических опорах, при помощи оправки изгибают до заданного угла  $\alpha$  (внешний угол между одной стороной образца и продолжением другой). При установке на опоры продольная ось образца должна быть перпендикулярна оси изгиба. Угол изгиба измеряют без снятия нагрузки.

Ширина оправки и опор должна быть больше ширины образца. Расстояние между опорами, если оно не оговаривается в нормативно-технической документации на изделие, принимают равным  $D+2,5$  с округлением до 1 мм в большую сторону.

Испытание на статический изгиб до появления первой трещины проводят по той же методике, что и изгиб до определенного угла. Угол изгиба измеряют после

Испытание на статический изгиб до параллельности сторон производят после предварительного изгиба образца на угол не менее  $150^\circ$ . Догиб продолжают между параллельными плоскостями до соприкосновения сторон образца с прокладкой толщиной, равной толщине (диаметру) оправки [9].

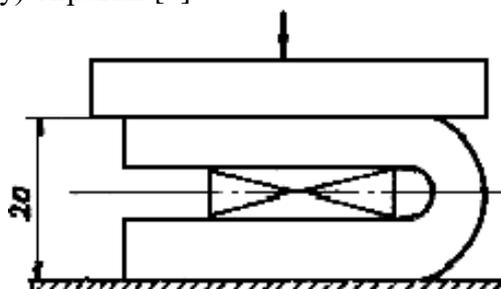


Рисунок 73 - Схема испытания на изгиб до соприкосновения сторон с прокладкой

Определение результатов испытаний на статический изгиб производят в соответствии с требованиями нормативно-технической документации на контролируемое изделие. Если таких указаний не имеется, то признаком того, что образец выдержал испытание на изгиб, служит отсутствие излома, а также расслоений, надрывов и трещин, видимых невооруженным глазом.

**Методика механических испытаний сварных соединений.** Испытания сварного соединения на статическое растяжение следует проводить на образцах типа XII или XIII (ГОСТ 6996-66). Форма образца представлена на рисунке. Размеры образца указаны в таблице.

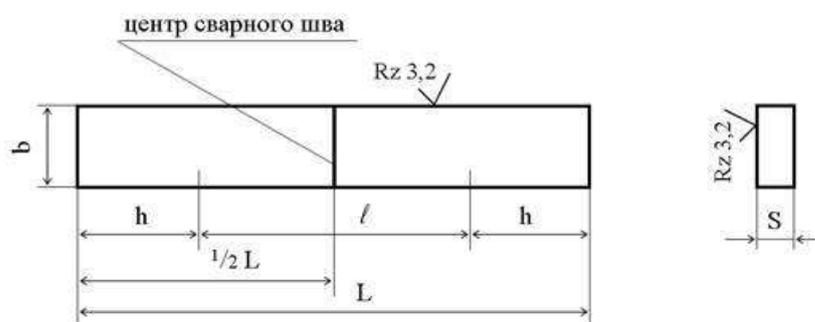


Рисунок 74 - Форма образца: (тип XII) для испытаний сварного соединения на статическое растяжение

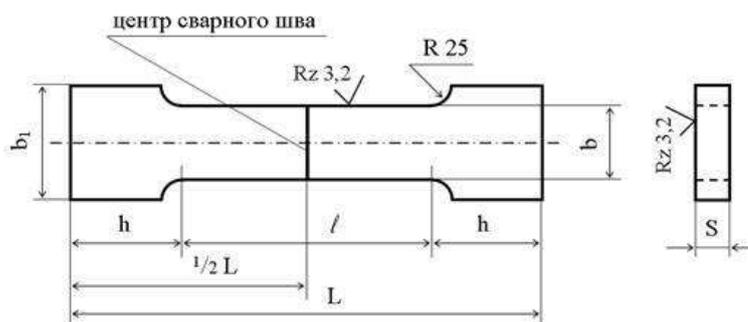


Рисунок 75 - Форма образца: (тип XIII) для испытаний сварного соединения на статическое растяжение

Таблица 1 - Размеры плоских образцов для испытаний на статическое растяжение (тип XII и XIII по ГОСТ 6996-66)

Толщина стенки трубы, мм	Толщина образца а, мм	Ширина рабочей части образца, b, мм	Ширина захватной части образца, b1, мм	Длина рабочей части образца, L, мм	Общая длина образца, L, мм
До 6 вкл.	Равна толщине стенки листа ли трубы	15 ± 0,5	25	50	l + 2h
Свыше 6 до 10 вкл.		20 ± 0,5	30	60	
Свыше 10 до 25 вкл.		25 ± 0,5	35	100	
Свыше 25 до 50 вкл.		30 ± 0,5	40	160	

Примечания:  
 1) Длину захватной части образца h устанавливают в зависимости от конструкции испытательной машины.  
 2) Скорость нагружения образцов в процессе испытаний должна составлять не более 15 мм/мин.

Усиление шва на образцах должно быть снято механическим способом до уровня основного металла, при этом допускается удалять основной металл по всей поверхности образца на глубину до 15% от толщины стенки листа (трубы), но не более 4 мм. Удаление основного металла с поверхности образца производят только с той стороны, с которой снимают усиление шва. Строгать усиление следует поперек шва. Острые кромки плоских образцов в пределах рабочей части должны быть закруглены радиусом не более 1,0 мм путем сглаживания напильником вдоль кромки. Разрешается строгать усиление вдоль продольной оси шва с последующим удалением рисок. Шероховатость поверхности Rz в местах удаления усиления должна быть не более 6,3 мкм.

Перед проведением испытаний сварных соединений, выполненных с применением самозащитной порошковой проволокой типа Иннершилд следует провести дефлокирующую термическую обработку образцов при температуре 250 °С в течение 6 часов.

Временное сопротивление разрыву, определяемое на плоских образцах со снятым усилением, должно быть не ниже нормативного значения временного сопротивления разрыву основного металла листов (труб), регламентированного техническими условиями на их поставку или ГОСТ.

**Испытания металла шва на статическое растяжение** следует проводить на стандартных цилиндрических образцах диаметром 6,0 мм с пятикратной базой, составляющей 30 мм (тип II согласно ГОСТ 6996-66, раздел 4). Форма и размеры образца приведены на рисунке.

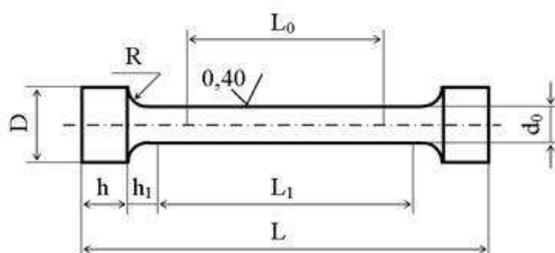


Рисунок 76 - Цилиндрический образец (тип II по ГОСТ 6996) для испытаний металла шва на статическое растяжение:  $d_0 = 6 \pm 0,1$  мм;  $D = 12$  мм;  $L_0 = 30$  мм;  $L = 61 \pm 1$  мм

Заготовки для изготовления образцов следует вырезать вдоль продольной оси шва из его центральных слоев. Скорость нагружения при испытаниях должна составлять не более 10 мм/мин.

Перед проведением испытаний сварных соединений, выполненных с применением самозащитной порошковой проволоки типа Иннершилд следует провести дефлокирующую термическую обработку образцов при температуре 250 °С в течение 6 часов.

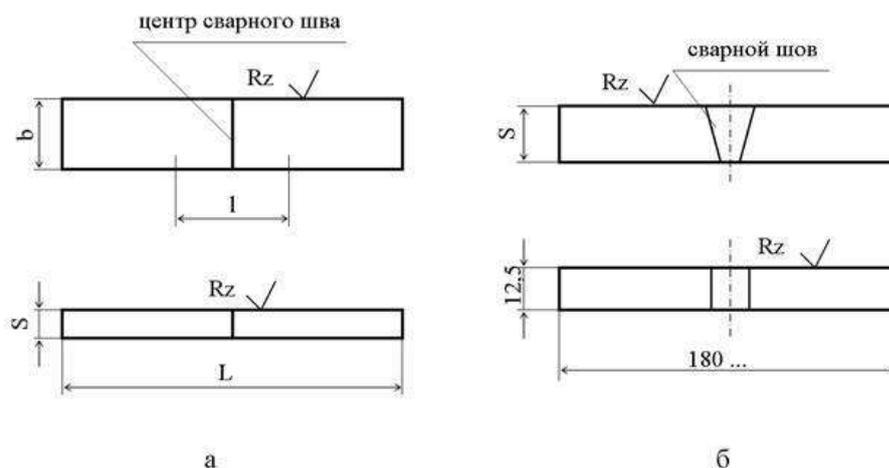
**Испытания сварного соединения на статический изгиб.** При испытаниях стыковых соединений определяют способность сварных соединений принимать заданный по размеру и форме изгиб. Эта способность характеризуется углом изгиба  $\alpha$ , при котором в растянутой зоне образца появляется первая трещина, развивающаяся в процессе испытаний. Если длина трещин, возникающих в растянутой зоне образца в процессе испытания, не превышает 20% его ширины, но не более 5 мм, то такие трещины не являются браковочным признаком. Определяется также место образования трещины или разрушения (металл шва, металл околошовной зоны или основной металл). Форма и размеры образцов представлены в таблице и на рисунке.

Таблица 2 - Размеры образцов для испытаний на статический изгиб

Вид изгиба	Толщина основного металла, $S$ , мм	Ширина образца, $b$ , мм	Общая длина образца, $L$ , мм	Расстояние между опорами, мм
Корнем шва наружу или внутрь	До 12,0 вкл.	$1,5S$ , но не менее 10	$2,5D + 80$	$2,5D$
На ребро	Свыше 12,0	$12,5 \pm 0,2$	180 - 200	80

Примечание –  $D$  - диаметр нагружающей оправки (мм), устанавливается в соответствии с требованиями таблицы Б.2.2 настоящего приложения.

Тип XXVII



*a* – образец для изгиба корнем шва наружу или внутрь; *б* – образец для изгиба на ребро.  
Рисунок 77 - Форма образцов для испытаний на статический изгиб

Таблица 3 - Определение диаметра нагружающей оправки ( $D$ ) для испытаний на статический изгиб

Класс прочности трубной стали	Вид испытания на изгиб	Диаметр нагружающей оправки $D$ , мм
До К50 вкл.	Корнем шва наружу или внутрь	$2S \pm 2$
	На ребро	$30 \pm 2$
Свыше К50 до К54 вкл.	Корнем шва наружу или внутрь	$3S \pm 2$
	На ребро	$40 \pm 2$
От К55 до К65 вкл.	Корнем шва наружу или внутрь	$4S \pm 2$
	На ребро	$50 \pm 2$

Примечание:  $S$  – толщина основного металла

Толщина образцов должна равняться толщине основного металла. Усиление шва по обеим сторонам образца снимается механическим способом до уровня основного металла. Разрешается строгать усиление шва в любом направлении с последующим удалением рисок. Кромки образцов в пределах их рабочей части должны быть закруглены

радиусом  $\geq 0,1$  толщины образца (но не более 2 мм) путем сглаживания напильником вдоль кромки.

Перед проведением испытаний сварных соединений, выполненных с применением самозащитной порошковой проволокой типа Иннершилд следует провести дефлокирующую термическую обработку образцов при температуре 250 °С в течение 6 часов.

Обязательным условием проведения испытаний является плавность возрастания нагрузки на образец. Испытания проводят со скоростью не более 15 мм/мин. до достижения нормируемого угла изгиба или угла изгиба, при котором образуется первая являющаяся браковочным признаком трещина. Угол изгиба при испытании до образования первой трещины замеряют в ненапряженном состоянии с погрешностью  $\pm 2$  град.

Среднее арифметическое значение угла изгиба образцов должно быть не менее  $120^\circ$ , а минимальное значение угла изгиба одного образца должно быть не ниже  $100^\circ$ . При подсчете среднего арифметического значения угла изгиба все углы более  $150^\circ$  следует принимать равными  $150^\circ$ .

**Испытания различных участков сварного соединения на ударный изгиб.** При испытании на ударный изгиб определяют энергию удара и ударную вязкость металла шва на образцах с острым надрезом (Шарпи) типа IX (для толщины основного металла 11 мм и более) и типа X (для толщины основного металла 6-10 мм) по ГОСТ 6996-66. Форма и размеры образцов, схема нанесения надреза на образцах приведена на рисунке.

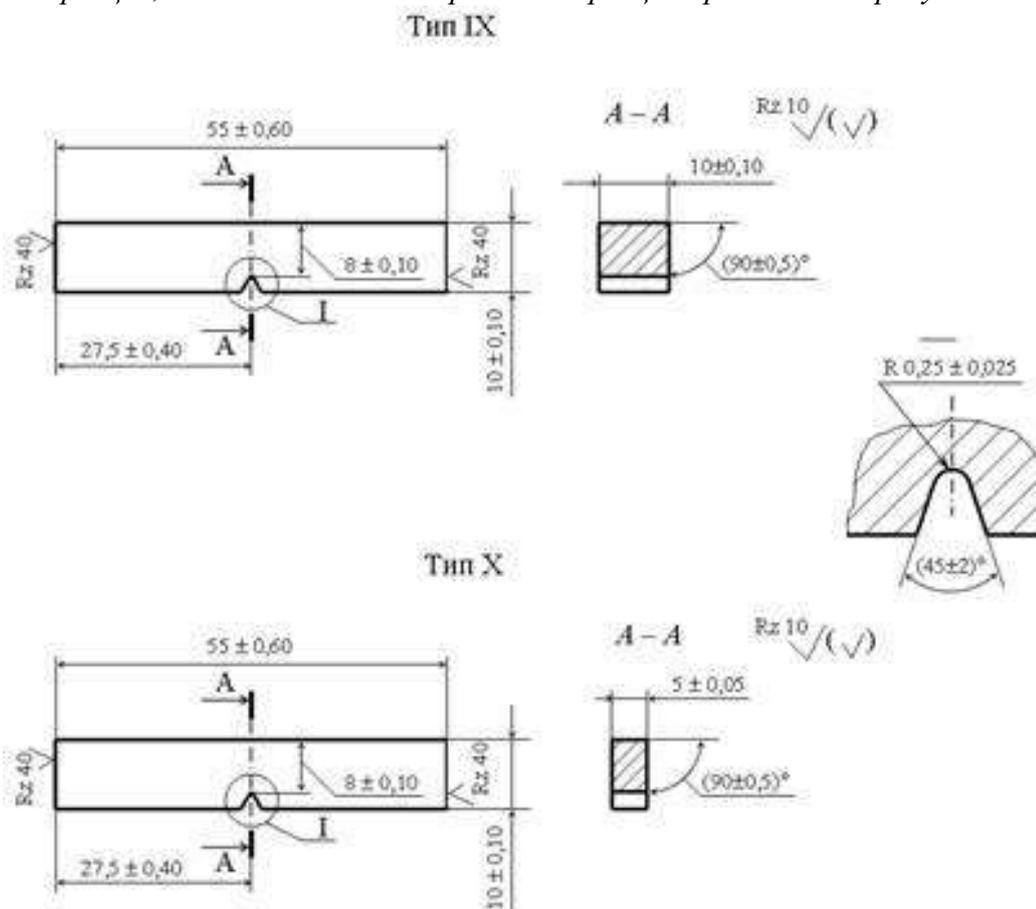


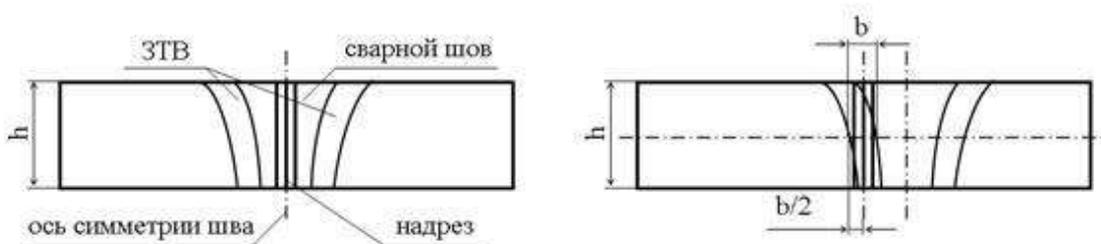
Рисунок 78 - Форма и размеры образцов для испытаний на ударный изгиб по ГОСТ 6996-66

Вырезку и изготовление образцов следует производить таким образом, чтобы одна из чистовых поверхностей каждого образца (после окончательной обработки) располагалась на расстоянии 1-2 мм от наружной поверхности листа (трубы). При

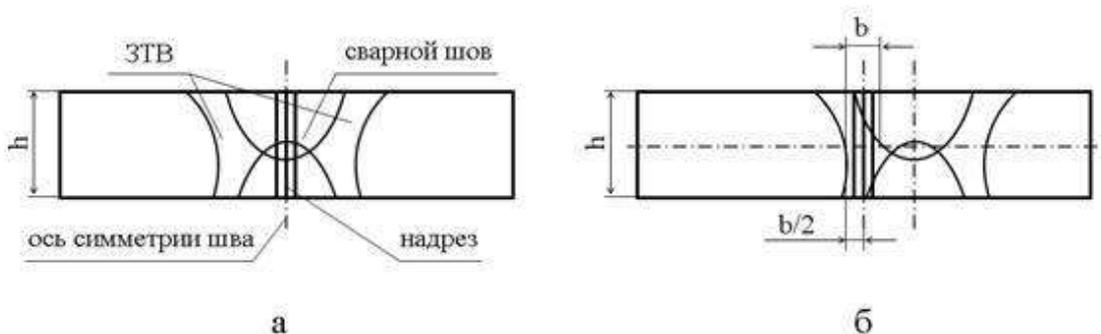
вырезке образцов из соединений с толщиной основного металла 11 мм и 6 мм допускается наличие необработанного основного металла на двух поверхностях образца. Надрез наносят перпендикулярно поверхности трубы.

При номинальной толщине стенки листа (трубы) более 19 мм для испытаний на ударный изгиб следует изготовить дополнительно два комплекта образцов (по шву и по ЗТВ), одна из чистовых поверхностей которых расположена на расстоянии 1-2 мм от внутренней поверхности листа (трубы). Каждый комплект должен включать в себя не менее 3 образцов.

### ОДНОСТОРОННЯЯ СВАРКА



### ДВУХСТОРОННЯЯ СВАРКА



а) по металлу сварного шва (по оси шва); б) по металлу в зоне термического влияния  
Рисунок 79 - Схема выполнения надреза на образцах для испытаний на ударный изгиб

## 2. Металлографический анализ



Металлографическому исследованию подвергаются стыковые, тавровые и угловые соединения для выявления возможных внутренних дефектов (трещин, непроваров, шлаковых и металлических включений и др.), а также для установления глубины проплавления и структуры металла шва.

Контроль производится путем исследования поверхности шлифа, вырезанного поперек сварного шва. Контролируемая поверхность должна включать в себя сечение шва с зоной термического влияния и прилегающей к ней участком основного металла.

Вырезка заготовок для шлифов производится режущим (фрезеровка, строгание) или абразивным инструментом. Допускается газовая или плазменная резка, если при этом будут исключены структурные изменения металла в исследуемом сечении.

К металлографическим относятся макроструктурные и микроструктурные исследования.

Макроисследование проводится визуально или при увеличении до 30 раз. Макроструктурный анализ выявляет форму и размеры шва, площадь и форму провара основного металла, направленность, рост и размеры кристаллитов, размеры и форму околошовной зоны, наличие в соединении непроваров, трещин, пор, шлаковых

включений, химической неоднородности и т. п. Объектами макрокопического анализа являются:

- поверхность неразрушенного изделия;
- изломы;
- макрошлифы.

При исследовании поверхности сварных соединений, по внешнему виду можно определить способ сварки, поверхностные дефекты, качество формирования сварного шва. **Изломы** могут быть различными по форме, виду и различаться в зависимости от состава металла, его строения, отдельных дефектов, условий обработки и состояния при котором произошло разрушение. Метод состоит в исследовании поверхностей, которые образовались при разрушении металлических образцов. С помощью этого метода определяют: форму и размер зерна, вид излома характер разрушения. Изучение излома позволяет оценить качество металла, а область материаловедения, которая этим занимается, называют фраттографией. Мелкозернистый излом свидетельствует о более высоких механических свойствах, чем крупнозернистый. По излому можно определить характер разрушения: вязкое, хрупкое или вызванное усталостью металла. Различают такие виды изломов:



**Вязкий излом** [3] имеет бугристо-сглаженный рельеф с выступлениями или чашечками, которые свидетельствует о значительной пластической деформации перед разрушением. Поверхность матовая, о форме и размерах зерен металла по виду вязущего излома судить нельзя.

**Хрупкий излом** характеризуется наличием на поверхности блестящих участков (фасеток). Разрушение в этом случае проходит без заметной пластической деформации. Форма зерна не искажается, что позволяет судить об их размерах. Хрупкий излом делится на межкристаллитный и транскристаллитный. При межкристаллитном изломе разрушение происходит по границам зерен металла вследствие присутствия на границах неметаллических включений (сульфидов, оксидов, карбидов, нитридов), при транскристаллическом изломе - через зерно по плоскости скольжения кристаллической решетки. Хрупкое разрушение очень опасно, так как происходит часто при напряжениях ниже границы текучести.

Вид излома зависит не только от материала, но и от условий разрушение (температура, скорость приложения нагрузки и т.д.). Разновидностями хрупкого излома является нафталиновый, камневидный, фарфоровый.



**Нафталиновый излом** - транскристаллический с крупным зерном и избирательным блеском, как у кристаллов нафталина. Такой излом свидетельствует о повышенной хрупкости стали, и наблюдается в легированных инструментальных сталях. Камневидным изломом называют крупнозернистый межкристаллический излом. Причиной такого разрушения есть примеси, которые концентрируются при перегреве металла в приграничных областях или непосредственно на границах зерен. Фарфоровый излом характерен для правильно закаленной стали, вид излома матовый, мелкозернистый. Обычно изломы бывают смешанными, то есть на поверхности излома есть участки вязкого и хрупкого разрушения.

**Излом от усталости металла** образовывается при циклических нагрузках. Он состоит из трех зон: зарождения трещины, распространения трещины и долома. Первая зона плоская и гладкая. Увеличиваясь при работе изделия, трещина образует зону излома от усталости с характерными концентрическими бороздами или дугами и мелкозернистым фарфоровидным изломом. Долом проходит внезапно и может быть вязким или хрупким.

Перед травлением поверхность темплетов шлифуется на плоскошлифовальных станках или вручную. Окончательная обработка макрошлифа осуществляется шлифовальной шкуркой марки К-3 зернистостью 240-280. Для травления шлифов

применяют различные реактивы в зависимости от материала сварного соединения и предполагаемых особенностей макроструктуры.

Данные макроструктурного анализа совместно с измерениями твердости дают довольно точное представление о качестве сварного соединения и об изменениях, которые нужно ввести в технологию сварки для улучшения качества швов.

Для выявления структуры сварных швов на углеродистых и легированных сталях применяют реактив из хлористого железа (20 г на 100 г воды) или раствор соляной кислоты (10 мл на 100 мл воды). Травят образцы в растворе, подогретом до 60 °С. После травления шлиф осветляется в 10 %-ном водном растворе азотной кислоты.

Универсальным раствором для выявления структуры сварных швов практически на всех сталях является раствор хлористого железа (200 г) и азотной кислоты (300 мл) в 100 мл воды. Образец травят протиранием ватным тампоном, смоченным в растворе.

Микроструктурный анализ позволяет изучить строение металлов и сплавов с помощью микроскопа. Он определяет: структуру наплавленного металла, основного металла и зоны термического влияния, примерное содержание углерода в наплавленном металле, перегрев и пережог, выгорание отдельных элементов, микротрещины, микропоры, шлаковые включения и т. п.

Размер поверхности микрошлифа обычно не превышает 20×20 мм. Поверхность микрошлифа обрабатывается более тщательно, чем макрошлифа, и заканчивается полировкой на сукне алмазными пастами или растворами окиси хрома или окиси алюминия.

Для травления сталей применяют 4 % раствор азотной кислоты в этиловом спирте - травят до 1 мин, 4 % раствор пикриновой кислоты в этиловом спирте - травят от 20 с до 15 мин. После травления микрошлифы обследуют под микроскопом при увеличении от 150 до 1000 раз и более.



*И макро- и микроструктурный анализ сварных соединений осуществляется в соответствии с ГОСТ Р 57180-2016 Соединения сварные. Методы определения механических свойств, макроструктуры и микроструктуры.*

### **3. Химический анализ и коррозионные испытания**

При исследовании сварных соединений, а также при разработке и освоении новой сварочной технологии необходимо знать химический состав основного, присадочного (электродов или электродной проволоки) и наплавленного металлов. Этот состав определяют с помощью химического анализа.



*Химический состав свариваемой стали должен соответствовать определенным ГОСТ. Так, например: сталь углеродистая обыкновенного качества - ГОСТ 380-60, углеродистая качественная конструкционная - ГОСТ 1050-60, легированная конструкционная - ГОСТ 4543-61, низколегированная конструкционная - ГОСТ 5058-65, сталь и сплавы высоколегированные коррозионностойкие, жаростойкие и жаропрочные - ГОСТ 5632-61.*

Фактическое содержание основных элементов в свариваемом металле указывается в сопровождающем его сертификате.

*Химический состав присадочного материала также должен соответствовать стандартам: например, проволока стальная сварочная - ГОСТ 2246-70, сварочная из алюминия и алюминиевых сплавов - ГОСТ 7871-63, стальная наплавочная - ГОСТ 10543-63, прутки чугунные сварочные - ГОСТ 2671-70.*

Иногда перед изготовлением ответственных сварных конструкций делают проверочный химический анализ как основного, так и присадочного материала, чтобы удостовериться, соответствуют ли они требованиям ГОСТа.

Химический анализ наплавленного металла шва позволяет определить, содержатся ли основные химические элементы в шве в пределах, рекомендованных для тех или иных

способов сварки в зависимости от марки основного и присадочного материалов и режима сварки.

Сварные соединения из углеродистых сталей обычно подвергают химическому анализу на углерод, марганец и кремний. Кроме того, устанавливают содержание таких вредных примесей, как сера и фосфор. В отдельных случаях, особенно при разработке новой технологии сварки, проводят химический анализ металла шва на содержание газов - азота, кислорода и водорода. Для сварных соединений из легированных и высоколегированных сталей выполняют дополнительный анализ на содержание легирующих элементов.



*Пробы для химического анализа отбирают согласно ГОСТ 7122-54. По этому стандарту пробу берут из шва сварного соединения или шва специальных пластин, сваренных при тех же режимах и условиях, что и сварное соединение.*

Перед взятием пробы поверхность металла тщательно очищают от антикоррозионных покрытий, ржавчины, окалина и других загрязнений. Образцы-пробы вырезают механическим способом или газовой резкой, а торцы их шлифуют и протравливают реактивами или электролитическим способом для установления границ металла шва.

В тех случаях, когда невозможно вырезать образцы, границы шва устанавливают, рассверливая наплавленный металл в двух точках на расстоянии 150-200 мм по продольной оси шва.

Для рассверловки используют сверло, диаметр которого перекрывает шов в поперечном направлении. Для четкого выявления границ шва места засверловки протравливают.

Пробу в этом случае отбирают сверлением, а также строганием или фрезерованием. Стружка при отборе проб должна быть возможно мельче, а применяемый инструмент быть сухим, чистым и не крошиться.

Отобранную для анализа стружку размельчают, перемешивают и для удаления возможных неметаллических включений обрабатывают магнитом. Кроме того ее обезжиривают спиртом или эфиром.

Количество отобранной стружки зависит от числа элементов, на которые проводится анализ. Так, для анализа на углерод достаточно 3-5 г стружки, а для полного анализа на углерод, марганец, кремний, серу и фосфор требуется около 30 г. В случаях дополнительного анализа на никель, хром, молибден, титан, ванадий, медь ее потребуется до 50 г. При определении количества азота и кислорода необходимо брать не менее 60 г стружки.

Отобранную пробу направляют в лабораторию, где, действуя на нее соответствующими реактивами, определяют содержание тех или иных химических элементов в сварном шве.

Сварные соединения из углеродистых, легированных и высоколегированных сталей, работающие в условиях химически активной среды, подвержены коррозии (разъеданию).

По своему действию на металл коррозию разделяют на химическую и электрохимическую.

Химическая коррозия представляет собой процесс непосредственного химического взаимодействия между металлом и средой, как, например, окисление железа на воздухе при высоких температурах с образованием окалины.

Электрохимическая коррозия - это разрушение металла с участием электрического тока, который возникает при работе металла в воде, растворах кислот, солей и щелочей.

Различают **два вида коррозии**: общая и межкристаллитная.

При *общей коррозии* вся поверхность металла или часть его химически взаимодействует с агрессивной средой. С течением времени поверхность разъедается и толщина металла соответственно уменьшается.

При *межкристаллитной коррозии* происходит разрушение металла по границам зерен. Внешне металл не меняется, но связь между зёрнами значительно ослабевает, и при испытании на изгиб в растянутой зоне образца образуются трещины по границам зерен.

Испытывая сварные соединения на коррозионную стойкость, сварные образцы (для ускорения процесса испытания) подвергают действию более сильных коррозионных сред, чем те, в которых конструкцию будут эксплуатировать.

Оценку стойкости сварных соединений против общей коррозии проводят несколькими методами.

Весовой метод заключается во взвешивании сварных образцов размером 80 × 120 мм и толщиной 6-10 мм со швом посередине до и после испытания и определении потерь в весе (в г/м<sup>2</sup>) за определенное время. Усиление шва снимают. Перед испытанием образцы взвешивают с точностью до 0,01 г и замеряют их общую поверхность по всем шести граням. Затем образцы кипятят несколькими циклами по 24-48 ч в азотной или серной кислоте соответствующей концентрации в зависимости от условий работы сварного соединения.

После кипячения с образцов мягкими скребками из дерева, алюминия или меди полностью удаляют продукты коррозии и образцы снова взвешивают. Вычитая вес образца после испытания из первоначального веса и отнеся разность к общей площади поверхности образца (в м<sup>2</sup>) и одному часу испытания, получают показатель коррозии по потере веса в г/м<sup>2</sup>·ч и пересчитывают его на потерю веса в г/м<sup>2</sup>·год.

Скорость проникания коррозии П в мм/год определяют по формуле:

$$П = (К/δ) \cdot 10^{-3} \quad (6)$$

где К - потеря веса, г/м<sup>2</sup>·год;

δ - плотность металла, г/см<sup>3</sup>.

Полученные расчетные данные сравнивают с данными ГОСТ. По ГОСТ 13819-68 оценку коррозионной стойкости черных и цветных металлов, а также их сплавов при условии их равномерной коррозии проводят по десятибалльной шкале коррозионной стойкости (таблица 4).

Таблица 4 - Десятибалльная шкала коррозионной стойкости

Группа стойкости	Скорость коррозии металла, м/год	Балл
Совершенно стойкие	Менее 0,01	1
Весьма стойкие	0,001-0,05	2
	0,05-0,01	3
Стойкие	0,01-0,05	4
	0,05-0,1	5
Пониженно стойкие	0,1-0,5	6
	0,5-0,1	7
Малостойкие	1-5	8
	5-10	9
Нестойкие	свыше 10	10

Коррозионную стойкость металлов при скорости коррозии 0,5 мм/год и выше оценивают по группам стойкости, а при скорости ниже 0,5 мм/год - по баллам.

*Этой шкалой нельзя пользоваться при наличии в металле межкристаллитной коррозии и коррозионного растрескивания.*

Профилографический метод состоит в определении степени коррозирования (глубины разъедания) различных участков сварного соединения (основного металла, зоны термического влияния и металла шва). Образцы испытывают в среде, аналогичной по действию той, в которой будет работать сварное соединение, но более быстродействующей с определенным коэффициентом ускорения. Глубину разъедания измеряют с помощью специальных профилографов и профилометров (рисунок 80), после чего на бумаге вычерчивают профиль сварного соединения после коррозии.

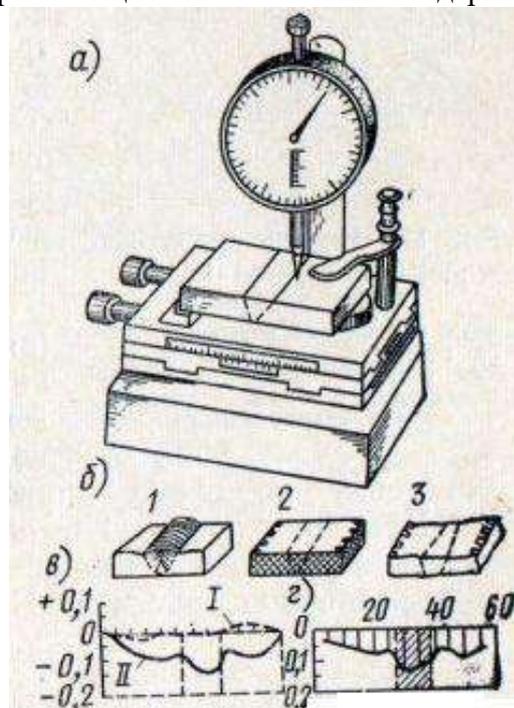
При электрохимическом (потенциометрическом) методе определяют разность потенциалов в той или иной коррозионной среде между сварным швом, зоной термического влияния и основным металлом. Это дает довольно правильные представления о направлении процесса коррозии.

Объемный метод применяют для коррозионных испытаний только основного металла. Он заключается в определении количества газов, образующихся в результате коррозии.

При методе определения коррозионной стойкости по изменению механических свойств для испытания подбирают сильно действующую среду, как, например, раствор серной или соляной кислоты. Образцы выдерживают в коррозионной среде определенное время, а затем подвергают механическим испытаниям, по результатам которых судят о стойкости сварных швов против коррозии.

Качественную оценку коррозионных поражений проводят внешним осмотром, а также исследованием с помощью лупы или микроскопа сварных соединений после коррозионных испытаний. Эта оценка служит дополнением к методам количественной оценки коррозионных поражений.

Межкристаллитной коррозии подвержены главным образом аустенитные и аустенитно-ферритные нержавеющие стали с большим содержанием хрома.



*Рисунок 80 - Определение коррозионной стойкости шва профилометром  
а - общий вид профилометра; б - образцы для испытаний: 1 - после сварки; 2 - перед испытанием; 3 - после испытания; в - профиль сварного соединения: I - до испытания; II - после испытания; z - глубина проникания коррозии*

При сварке этих сталей отдельные участки основного металла, расположенные по обе стороны от шва, подвергаются действию температур, которые могут вызвать распад твердого раствора и выпадение карбидов железа и хрома на границах зерен. Снижение содержания хрома приводит к потере коррозионной стойкости металла и развитию межкристаллитной коррозии (рисунок 81), которая может поразить также участки шва, подверженные повторному воздействию сварочного нагрева.

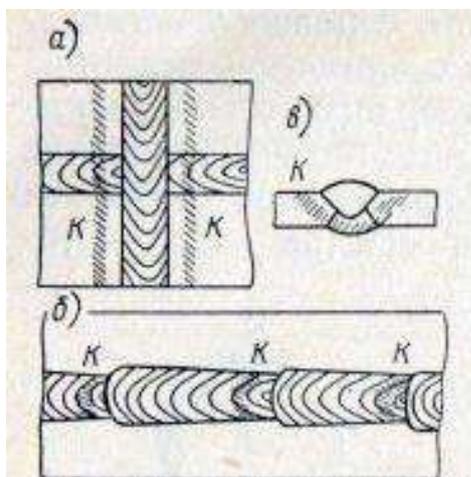


Рисунок 81 - Межкристаллитная коррозия в результате выпадения карбидов а - при сварке пересекающихся швов; б - при возобновлении сварки шва после смены электрода; в - при двустороннем сварном шве

Испытания на межкристаллитную коррозию аустенитных, аустенитно-ферритных и аустенито-мартенситных коррозионноустойчивых сталей проводят по ГОСТ 6032-58.

Образцы (рисунок 82) вырезают механическим способом. Контрольную поверхность толщиной до 10 мм состругивают на глубину до 1 мм. Образцы толщиной более 10 мм вырезают поперек шва с таким расчетом, чтобы толщина его была 5 мм, а ширина равнялась толщине основного металла. Чистота поверхности образцов перед испытанием должна быть не ниже  $\Delta 7$ .

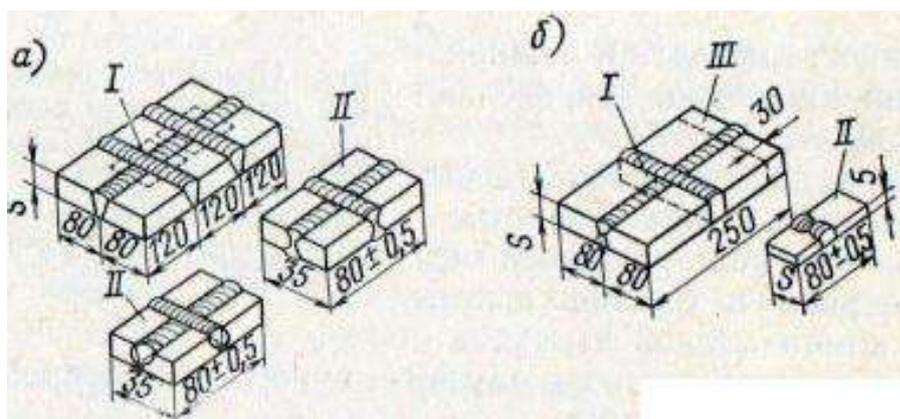


Рисунок 82 - Образцы для испытания на межкристаллитную коррозию а - при толщине металла до 10 мм; б - при толщине металла более 10 мм; S - толщина металла; I - место вырезки образца; II - контрольная поверхность; III - отход

Склонность металла к межкристаллитной коррозии определяют по методам А, АМ, В:

А - в водном растворе медного купороса и серной кислоты;

АМ - в водном растворе медного купороса и серной кислоты в присутствии медной стружки;

В - в водном растворе медного купороса и серной кислоты с добавкой цинковой пыли.

Все испытания проводят в колбе или специальном бачке из хромоникелевой стали с обратным холодильником. В реакционный сосуд загружают образцы и заполняют его соответствующим раствором на 20 мм выше образцов. Затем образцы кипятят в растворе: для метода А - 24 ч, АМ - 15 или 24 ч; В - 144 ч.

После кипячения образцы промывают, просушивают и загибают на угол 90°. При этом радиус закругления губок или оправки должен быть равен: при толщине образцов до 1 мм - 3 мм, от 1 до 3 мм - не более трехкратной толщины образца и свыше 3 мм - 10 мм.

Поверхность в зоне изгиба образца тщательно осматривают с помощью лупы при увеличении в 8-10 раз. Если на поверхности будут обнаружены поперечные трещины, то это значит, что металл склонен к межкристаллитной коррозии и непригоден для эксплуатации [1].

Кроме методов А, АМ и В существуют еще методы Б и Д.

При методе Б производят анодное травление участков поверхности деталей или зоны термического влияния. Металл сварного шва этим методом не контролируют. Метод Б основан на анодной поляризации и состоит в воздействии коррозионной среды и электрического тока на поверхность испытуемой детали.

Сосуд для коррозионной среды (рисунок 83) состоит из свинцовой воронки с резиновой манжетой, плотно прилегающей к поверхности контролируемой детали. Для испытаний собирают установку по схеме, приведенной на рисунок 84.

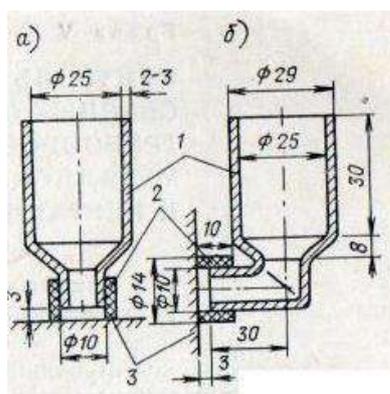


Рисунок 83 - Сосуд для испытания анодным травлением  
а - горизонтальных поверхностей; б - вертикальных поверхностей; 1 - свинцовая воронка; 2 - резиновая манжетка; 3 - поверхность контролируемой детали

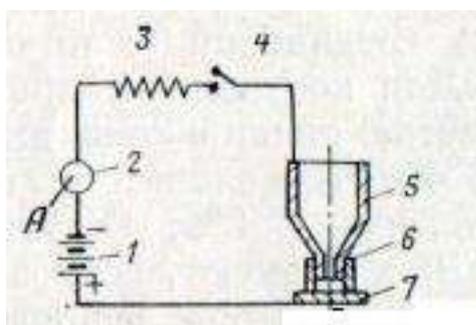
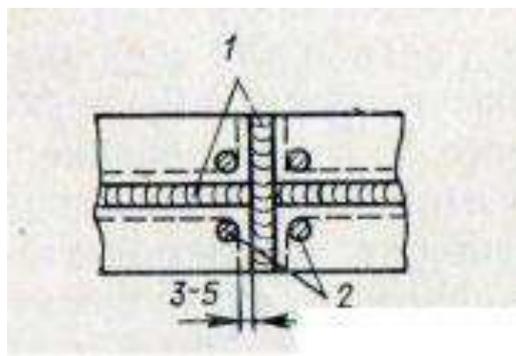


Рисунок 84 - Электрическая схема для испытания методом анодного травления  
1 - источник постоянного тока; 2 - амперметр с ценой деления не более 0.1 а; 3 - реостат или магазин сопротивлений; 4 - выключатель; 5 - свинцовый сосуд; 6 - резиновая манжетка; 7 - контролируемый образец

Испытания проводят по обеим сторонам сварного шва в шахматном порядке, а в случае перекрытых швов - во всех местах перекрещивания (рисунок 85). Поверхность

контролируемых участков шлифуют наждачной бумагой и промывают чистым авиационным бензином и спиртом. На отшлифованную поверхность плотно устанавливают сосуд и наливают в него 3-5 мл электролита (60% серной кислоты и 0,5% уротропина), включают электрический ток и в течение 5 мин подвергают металл коррозии. Полярность устанавливают таким образом, чтобы испытуемое изделие служило анодом, а свинцовый сосуд - катодом. С помощью реостата устанавливают ток плотностью  $0,65 \text{ а/см}^2$  при напряжении 5-9 в.



1 - сварной шов; 2 - место анодного травления

Рисунок 85 - Схема проведения контроля перекрывающихся сварных швов методом анодного травления.

По прошествии 5 мин ток выключают, детали промывают водой и протирают спиртом. Образовавшиеся пятна на поверхности образца рассматривают под микроскопом при увеличении не менее чем в 30 раз. При контроле готовых сварных конструкций, когда применение микроскопа невозможно, допускается применение бинокулярной лупы или оптических трубок с 20-кратным увеличением. Если пятно анодного травления имеет однородный светлый или темный цвет, то это значит, что металл не склонен к межкристаллитной коррозии. Браковочным признаком является образование в нем непрерывной сетки.

По методу Д образцы испытывают в кипящей 65% ной азотной кислоте. Перед испытанием образцы взвешивают на аналитических весах с точностью до 0,1 мг. Затем их помещают в стеклянную колбу с обратным холодильником, заливают кислотой из расчета не менее 9 мл кислоты на  $1 \text{ см}^2$  поверхности образца и кипятят в течение 48 ч.

Всего проводят три цикла кипячения (каждый раз в новом растворе), промывая, просушивая, обезжиривая и взвешивая образцы после каждого цикла. Коррозионную стойкость определяют по скорости коррозии образцов, выраженной в мм/год за каждые 48 ч. Если скорость коррозии превысит 2 мм/год или будет иметь место ножевая коррозия, металл бракуют.

#### 4. Свариваемость металла и методы ее оценки



**Под свариваемостью металлов** понимают их свойство, характеризующее способность образовывать при установленной технологии сварки соединения с требуемым комплексом свойств, обусловленным условиями эксплуатации конструкции.

Различают понятия физической и технологической свариваемости. Физическая свариваемость определяет свойство материалов образовывать монолитное неразъемное соединение с установлением в нем химических связей. Способность металлов свариваться является важной характеристикой, определяющей принципиальную возможность образования сварного соединения. Физической свариваемостью практически обладают все однородные металлы и большинство их сочетаний. Однако она не полностью определяет возможность получения качественного и

экономичного соединения, обладающего необходимым комплексом свойств, определяющих работоспособность изделия в определенных условиях эксплуатации. Достижение этих свойств во многом будет зависеть от применяемой технологии сварки. Поэтому вводится понятие технологической свариваемости металлов, определяющей их реакцию на воздействие конкретных условий сварки и способность при этом образовывать соединение с требуемыми свойствами. Свариваемость не является неизменным свойством материала, подобно его физическим характеристикам. Она зависит от способа и режимов сварки, состава присадочного металла, флюса, покрытия, защитного газа и сопровождающих условий (например, подогрев) и т. п. Понятие свариваемости является комплексным и характеризуется совокупностью свойств в зависимости от природы Металла и условий эксплуатации. Поэтому для оценки свариваемости применяют ряд испытаний, каждое из которых характеризует ту или другую сторону этого вопроса [1].

**Основными показателями свариваемости** металлов и их сплавов являются окисляемость металла в условиях сварки, сопротивляемость образованию горячих и холодных трещин, чувствительность металла к тепловому воздействию сварки, к образованию пор, соответствие свойств сварного соединения заданным эксплуатационным требованиям. При оценке технологической свариваемости целесообразно использовать дифференцированный подход: с одной стороны, рассматривая поведение металла в сварочной ванне и изменение его свойств в результате взаимодействия с окружающей средой (газами и ишаками), а также кристаллизации в условиях сварочного процесса (металлургическая свариваемость); с другой стороны, оценивая реакцию металла на тепловые воздействия в тех или иных условиях сварки (тепловая свариваемость). Оценка с металлургических позиций необходима для выбора способа и средств защиты и металлургической обработки ванны. Оценка тепловой свариваемости важна для выбора оптимального термического цикла сварки, т. е. источника нагрева и режима. Такой дифференцированный подход к оценке свариваемости позволяет упростить выбор наиболее целесообразного технологического варианта выполнения сварного соединения.



*Оценка свариваемости металлов. В зависимости от свойств свариваемого металла, требований, предъявляемых к сварному соединению, оценку свариваемости можно проводить по различным показателям: по данным изменения структуры металла, механических свойств соединения, склонности к образованию определенных дефектов и др.*

*Оценку структуры металла различных областей сварного соединения проводят по равновесным диаграммам состояния и термокинетическим графикам структурно-фазовых превращений в свариваемых материалах. Получаемые данные дополняют результатами специальных исследований механических свойств металла по методике и на специальных машинах, позволяющих нагревать и охлаждать по программе с заданной скоростью образцы металла и подвергать их механическим испытаниям на любом этапе выполнения термической обработки. Такие испытания позволяют проводить имитацию сварочных термических циклов любого участка сварного соединения и получать результаты по воздействию их на структуру и свойства металла [2].*

*Для этой же цели используют и специальные технологические пробы, например, так называемую валиковую пробу (ГОСТ 13585-68). Для этого на пластины металла толщиной 14 - 30 мм наплавляют валики на режимах с различной погонной энергией.*

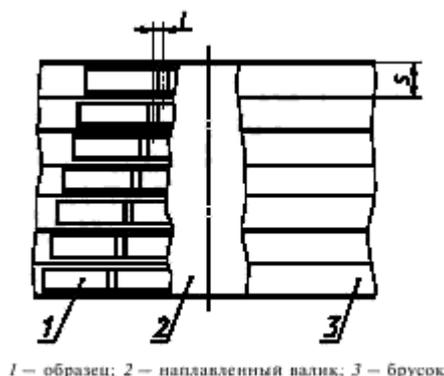
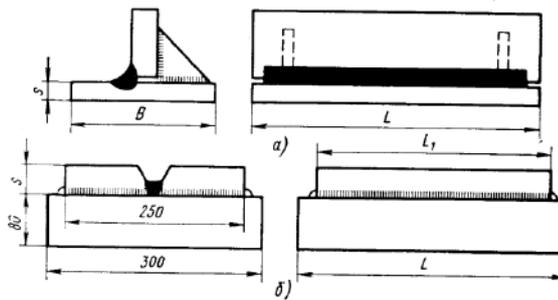


Рисунок 86 – Валиковая проба для определения свариваемости

Из пластин вырезают поперечные образцы для испытаний на статический и ударный изгиб, определение твердости и структуры. Валиковая проба позволяет оценить влияние технологии сварки на свойства и структуру металла в соединении. Оценку свариваемости проводят и по данным определения механических свойств металла сварного соединения и отдельных его участков по ГОСТ 6996-66. Стандарт предусматривает испытания на статическое растяжение, ударный изгиб, старение, твердость. О свариваемости судят или по нормативным значениям соответствующих свойств, или по отношению их к аналогичному свойству основного металла. Горячие трещины представляют собой хрупкие межкристаллические разрушения металла шва и околошовной зоны, возникающие в твердо-жидком состоянии в процессе кристаллизации. При кристаллизации жидкий металл шва переходит в жидко-твердое, затем в твердо-жидкое и, наконец, в твердое состояние. В твердо-жидком состоянии образуется скелет из кристаллитов затвердевшего металла (твердой фазы), в промежутках которого находится еще жидкий расплав. Металл в таком состоянии обладает очень низкой деформационной способностью и малой прочностью. Когда металл полностью закристаллизуется, его пластичность и прочность возрастут. Температурный интервал, в котором металл находится в твердо-жидком состоянии с низкой пластичностью и прочностью, называют температурным интервалом хрупкости. При охлаждении одновременно с кристаллизацией в этом интервале начинаются усадка и линейное сокращение шва, ведущее к возникновению внутренних напряжений и деформаций, которые приводят к образованию горячих трещин. Горячие трещины могут образовываться как вдоль, так и поперек шва. Для оценки свариваемости металлов по критерию сопротивляемости горячим трещинам применяют два основных вида испытаний: на машинах и сварку технологических проб. При машинных испытаниях свариваемый образец растягивают или изгибают во время сварки. Эта деформация имитирует сварочную деформацию. Склонность материала к горячим трещинам оценивают по критической величине или скорости деформирования образца, при которых в нем возникают трещины. Чем выше скорость Деформации или ее величина для образования трещины, тем выше сопротивляемость материала к трещинообразованию при сварке [3].

Для качественной характеристики склонности к трещинам используют технологические пробы, имитирующие сварное соединение с угловыми или стыковыми швами. Оценку производят по наличию и протяженности образующейся трещины в контрольном шве. Существуют и другие виды технологических проб.



а) тавровое соединение; б) стыковое соединение.

$s$  – толщина металла;  $L_1 = L - 40$  мм;  $B = 180$  мм

Рисунок 87 – Образцы для определения стойкости металла шва против образования горячих трещин



Холодные трещины свое название получили в связи с тем, что их появление наблюдается при относительно низкой температуре. Для оценки свариваемости металлов по критерию сопротивляемости холодным трещинам также применяют два вида испытаний: технологические пробы и методы количественной оценки с приложением к образцам внешней механической нагрузки. Пробы представляют собой жесткие сварные соединения. Стойкость материала оценивают качественно по наличию или отсутствию трещин. Примерами проб могут служить крестовая проба (рис. 8).

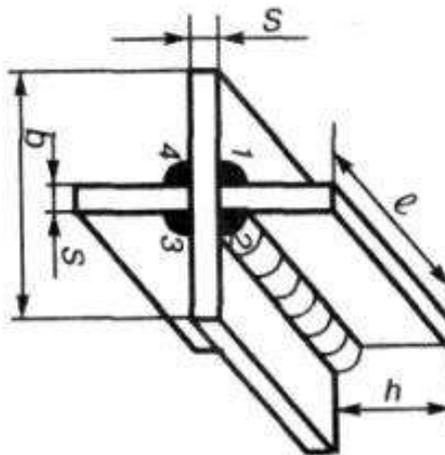


Рисунок 88 – Метод крестовой пробы

В крестовой пробе цифрами показана последовательность наложения швов. В наиболее жестких условиях находится последний шов - 4-й, где и возможно образование трещин. В пробе, изменяя толщину металла в зоне выточки, меняют скорость охлаждения металла и степень его подкладки. По этим показателям судят о сопротивляемости металла образованию холодных трещин.

Количественными показателями оценки сопротивляемости сварного соединения образованию холодных трещин являются минимальные внешние нагрузки, при которых начинают возникать холодные трещины при выдержке образцов под нагрузкой, прикладываемой сразу же после сварки. В качестве показателя сопротивляемости служит минимальная нагрузка, при которой происходит разрушение с образованием трещины.

**Расчетно-статистический метод оценки стойкости сплавов против образования горячих трещин.** Этот метод является косвенным, так как основан на использовании параметрических уравнений, составленных с помощью регрессионного анализа.

Так же используя этот метод невозможно учесть аномалии по примесям, не входящим в используемые параметрические уравнения, а так же аномалий по технологическим параметрам сварки, выходящим за исследованные пределы. Метод рекомендуется только для приближенных экспресс-оценок.

Рекомендуемые параметрические уравнения приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Параметрические уравнения для оценки стойкости сплавов против образования горячих трещин

Параметрическое уравнение	Вид оценки	Область применения
$HCS = \frac{C(S + P + Si/25 + 0,01Ni) \cdot 10^3}{3Mn + Cr + Mo + V}$	<4 – не склонная <2 – не склонная	Для сталей с $\sigma_B < 700 \text{ МПа}$ Для сталей с $\sigma_B > 700 \text{ МПа}$
$UCS^* = 230C + 190S + 75P + 45Nb - 12,3Si - 5,4Mn - 1$	<10 – стойкая $\geq 30$ – склонная	Nb-микролегированные стали
$V_{кр} = 19 - 42C - 41S - 3,3Si + 5,6Mn + 6,7Mo$ [мм/мин]	>6 – стойкая <1,8 – склонная	Легированные стали
$\frac{Cr_3}{Ni_3} = \frac{Cr + 1,37Mo + 1,5Si + 2Nb + 3Ti}{Ni + 0,31Mn + 22C + 14,2N + Cu}$	>1.5 при P+S=0,02-0,035 – стойкая <1.5 при P+S>0.02 – склонная	Cr-Ni – аустенитные стали
$L = 299C + 8Ni + 142Nb - 5,5(\% \delta - Fe)^2 - 105$	L>0 склонные	Аустенитно-ферритные стали

**Расчетно-статистический метод оценки стойкости сплавов против образования холодных трещин.** В основе этого метода лежат параметрические уравнения, полученные статистической обработкой экспериментальных данных. Эти уравнения связывают выходные параметры (в данном случае склонность к образованию горячих трещин) с входными параметрами (химический состав стали, толщина конструкции и т.д) без анализа физических и химических процессов, происходящих в металлах при сварке. Эти уравнения используются в рамках значений параметров, исследовавшихся в экспериментах, хотя данные уравнения выражают зависимости, экстраполяция которых даст, в случае выхода за пределы изученных композиций, с большой долей вероятности верный результат исследования.

Основными параметрами оценки склонности сталей к образованию холодных трещин являются эквивалент углерода ( $C_{эkv}$ ) и параметр трещинообразования  $R_{cm}$

Для определения значения эквивалента углерода в мировой практике используется несколько различных параметрических уравнений, ниже приведены основные из них:

-рекомендуемые Международным Институтом Сварки (МИС)

$$C_{эkv} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{15} \quad (7)$$

-предложенный японскими исследователями

$$C_{эkv} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Si}{24} + \frac{Ni}{40} + \frac{Cr}{5} + \frac{Mo}{4} \quad (8)$$

-по ГОСТ 27772-88 для проката, предназначенного для конструкций

$$C_{\text{ЭКВ}} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Si}{24} + \frac{Ni}{40} + \frac{Cr}{5} + \frac{V}{14} + \frac{Cu}{13} + \frac{P}{2} \quad (9)$$

-по нормативным документам ОАО «Газпром»

$$C_{\text{ЭКВ}} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + \sum(V + Ti + Nb)}{4} + \frac{Ni + Cu}{15} + 15 \cdot B \quad (10)$$

-по APL 5L для труб класса PSL2

$$C_{\text{ЭКВ}} = C + \frac{Mn}{20} + \frac{Si}{30} + \frac{Ni}{60} + \frac{Cr}{20} + \frac{Cu}{20} + \frac{Mo}{15} + \frac{V}{10} + 5 \cdot B \quad (11)$$

-предложенный Британской ассоциацией (BWRA)

$$C_{\text{ЭКВ}} = C + \frac{Mn}{20} + \frac{Cr + Mo + V}{10} + \frac{Ni}{15} \quad (12)$$

-для трубных сталей категории прочности X70

$$C_{\text{ЭКВ}} = C + \frac{Si}{7} + \frac{Mn + Mo}{5} \quad (13)$$

$$C_{\text{ЭКВ}} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr}{20} + \frac{Ni + Cu}{40} + \frac{Mo}{50} + \frac{V}{10}$$

-для бесперлитных сталей

$$C_{\text{ЭКВ}} = C + \frac{Mn + Cu}{16} + \frac{Si}{25} + \frac{Ni}{60} + \frac{Cr}{20} + \frac{Mo}{40} + \frac{V}{15} \quad (14)$$



Пределы значения эквивалента углерода при использовании различных методик варьируется, однако для всех перечисленных формул считается, что если  $C_{\text{ЭКВ}} \geq 0,45$ , то сталь трудно свариваемая.

Однако эквивалент углерода не учитывает наличие в металле сварного соединения водорода, а так же влияние растягивающих напряжений, и как следствие его использование применимо только для примерной оценки свариваемости при выборе материала, используемого в конструкции.



**Электронный справочник сталей и сплавов**



**РД 24.200.04-90. Металлографический метод контроля основного металла и сварных соединений**

**Контрольные вопросы:**



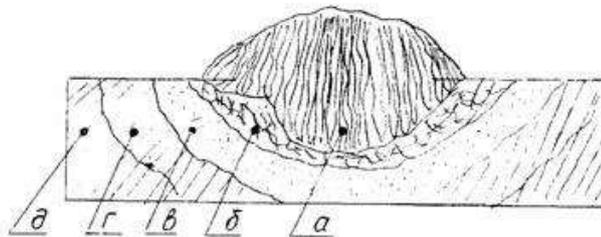
1. Назовите виды механических испытаний сварных соединений.
2. Каковы отличительные особенности макро- и микроанализа?
3. Для чего выполняется химический анализ?
4. Как отбирают образцы для металлографического исследования?
5. В чем заключается подготовка образцов к шлифованию?
6. Какие основные показатели характеризуют свариваемость стали?
7. Как осуществляется оценка стойкости металлов к коррозии?



**Задания для закрепления изученной темы:**

**Задание №1**

Подпишите на рисунке участки макроструктуры сварного шва. Сопоставьте макро- и микро-структурные составляющие. Опишите изменение механических свойств и твердости по сечению сварного шва; в чем заключается опасность анизотропии свойств? Как она влияет на качество сварных конструкций.



1



3



2



4



5

а	б	в	г	д

### Задание №2

Оцените скорость проникания коррозии для указанных марок сталей. Сделайте вывод об их коррозионной стойкости в соответствии с ГОСТ 13819-68.

Марка стали	Плотность стали, г/см <sup>3</sup>	Потеря веса, потеря веса, г/м <sup>2</sup> ·год
09Г2С	7,85	1300
ВстЗсп	7,7	25000
10ХСНД	7,85	1000
08Х18Н10Т	7,9	130
16Г2АФ	7,85	1200
15кп	7,7	27000

### Задание №3

Выполнить оценку свариваемости различных марок сталей.

#### Расчетные формулы:

- рекомендуемые Международным Институтом Сварки (МИС)

$$C_{ЭКВ} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{15} \quad (1)$$

- предложенный японскими исследователями

$$C_{ЭКВ} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Si}{24} + \frac{Ni}{40} + \frac{Cr}{5} + \frac{Mo}{4} \quad (2)$$

- по ГОСТ 27772-88 для проката, предназначенного для конструкций

$$C_{ЭКВ} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Si}{24} + \frac{Ni}{40} + \frac{Cr}{5} + \frac{V}{14} + \frac{Cu}{13} + \frac{P}{2} \quad (3)$$

- по нормативным документам ОАО «Газпром»

$$C_{ЭКВ} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + \sum(V + Ti + Nb)}{4} + \frac{Ni + Cu}{15} + 15 \cdot B \quad (4)$$

- предложенный Британской ассоциацией (BWRA)

$$C_{ЭКВ} = C + \frac{Mn}{20} + \frac{Cr + Mo + V}{10} + \frac{Ni}{15} \quad (5)$$

Марка стали	Эквивалент углерода, $C_{\text{ЭКВ}}$					Оценка свариваемости	Склонность к образованию холодных трещин
	1	2	3	4	5		
Сталь 70							
09Г2С							
10ХСНД							
16Г2АФ							
ВстЗсп							
Сталь 20							
08Г2Ю							
08Х18Н10Т							
40ХН							
20ГС							

**Пример выполнения оценки свариваемости стали 09Г2С:**

Для оценки свариваемости стали 09ГС воспользуемся расчетной формулой, рекомендуемой Международным Институтом Сварки (МИС). Определим эквивалент углерода. Химический состав стали 09Г2С приведен в таблице 1. В расчетах примем нижний предел содержания элемента.

$$C_{\text{ЭКВ}} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{15} \quad (1)$$

Таблица 1 – Химический состав сталей и ГОСТ, указанные поставщиком

Марка стали	ГОСТ	Химический состав, %									
		C	Si	Mn	Cr	S	P	Ni	Cu	As, N	V
09Г2С	19281	до	0,5	1,3	до	до	до	до	до	до	до
	-	0,12	-	-	0,3	0,035	0,03	0,3	0,3	0,08	0,12
	2014		0,8	1,7							

$$C_{\text{ЭКВ}} = 0,12 + \frac{1,3}{6} + \frac{0,3 + 0 + 0,12}{5} + \frac{0,3 + 0,3}{15} = 0,46$$

Для оценки свариваемости стали 09ГС воспользуемся расчетной формулой, предложенной японскими исследователями:

$$C_{\text{ЭКВ}} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Si}{24} + \frac{Ni}{40} + \frac{Cr}{5} + \frac{Mo}{4} \quad (2)$$

$$C_{\text{ЭКВ}} = 0,12 + \frac{1,3}{6} + \frac{0,5}{24} + \frac{0,3}{40} + \frac{0,3}{5} + \frac{0}{4} = 0,43$$

Для оценки свариваемости стали 09ГС воспользуемся расчетной формулой по ГОСТ 27772-88 для проката, предназначенного для конструкций

$$C_{\text{ЭКВ}} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Si}{24} + \frac{Ni}{40} + \frac{Cr}{5} + \frac{V}{14} + \frac{Cu}{13} + \frac{P}{2} \quad (3)$$

$$C_{\text{ЭКВ}} = 0,12 + \frac{1,3}{6} + \frac{0,5}{24} + \frac{0,3}{40} + \frac{0,3}{5} + \frac{0,12}{14} + \frac{0,3}{13} + \frac{0,03}{2} = 0,47$$

Для оценки свариваемости стали 09ГС воспользуемся расчетной формулой, нормативным документам ОАО «Газпром»

$$C_{\text{ЭКВ}} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + \sum(V + Ti + Nb)}{4} + \frac{Ni + Cu}{15} + 15 \cdot B \quad (4)$$

$$C_{\text{ЭКВ}} = 0,12 + \frac{1,3}{6} + \frac{0,3 + 0 + 0,12 + 0 + 0}{4} + \frac{0,3 + 0,3}{15} = 0,48$$

Для оценки свариваемости стали 09ГС воспользуемся расчетной формулой, предложенной Британской ассоциацией (BWRA).

$$C_{\text{ЭКВ}} = C + \frac{Mn}{20} + \frac{Cr + Mo + V}{10} + \frac{Ni}{15} \quad (5)$$

$$C_{\text{ЭКВ}} = 0,12 + \frac{1,3}{20} + \frac{0,3 + 0 + 0,12}{10} + \frac{0,3}{15} = 0,247$$

Склонность к образованию холодных трещин определим по формуле:

$$HCS = \frac{C(S + P + Si/25 + 0,01Ni) \cdot 10^3}{3Mn + Cr + Mo + V} \quad (6)$$

$$HCS = \frac{0,12 \cdot (0,035 + 0,03 + \frac{0,5}{25} + 0,01 \cdot 0,3) \cdot 10^3}{3 \cdot 1,3 + 0,3 + 0 + 0,12} = 2,39$$

Результаты расчета сведем в таблицу 2.

Таблица 2 - Результаты расчета

Марка стали	Эквивалент углерода, $C_{\text{ЭКВ}}$					Оценка свариваемости	Склонность к образованию холодных трещин
	1	2	3	4	5		
09Г2С	0,46	0,43	0,47	0,48	0,25	а) согласно результатам расчета по формулам (1) – (4) сталь относится к ограниченно свариваемым сталям; б) согласно расчету по формуле (5) сталь относится к хорошо свариваемым сталям.	Исходя из расчета $HCS = 2,39$ , так как $HCS < 4$ , то сталь 09Г2С не склонна к образованию холодных трещин.

## ТЕМА 1.5. Методы устранения дефектов сварных соединений

### Перечень вопросов, подлежащих рассмотрению:

1. Исправление внутренних и наружных дефектов.
2. Заварка дефектных мест.
3. Безопасность при контроле качества сварных соединений.

### 1. Исправление внутренних и наружных дефектов



Все недопустимые дефекты сварного шва подлежат обязательному устранению, а если это невозможно, сварное изделие бракуется.

В конструкциях из стали допускается устранение дефектов плазменно-дуговой или воздушно-дуговой строжкой с последующей обработкой поверхности абразивами. Можно устранять наружные дефекты шлифовкой.

Если производится заварка выборок в швах, подлежащих обязательной термической обработке (из легированных и хромистых сталей), то приступать к исправлению дефектов следует только после отпуска сварного соединения (при 450...650°C). При удалении дефектных мест целесообразно соблюдать определённые условия.

Длина удаляемого участка должна быть равна длине дефектного места плюс 10...20 мм с каждой стороны, а ширина разделки выборки должна быть такой, чтобы ширина шва после заварки не превышала его двойной ширины до заварки. Форма и размеры подготовленных под заварку выборок должны обеспечивать возможность надёжного провара в любом месте. Поверхность каждой выборки должна иметь плавные очертания без резких выступов, острых углублений и заусенцев.

При заварке дефектного участка должно быть обеспечено перекрытие прилегающих участков основного металла[6].

После заварки участок необходимо зачистить до полного удаления раковин и рыхлости в кратере, выполнить на нём плавные переходы к основному металлу. Удаление заглубленных наружных и внутренних дефектов (дефектных участков) в соединениях из алюминия, титана и их сплавов следует производить только механическим способом - вышлифовкой абразивным или выборкой режущим инструментом, а также вырубкой с последующей зашлифовкой.

### 2. Заварка дефектных мест

В таблице 6 приведены основные дефекты сварных соединений и способы их устранения.

Таблица 6 - Дефекты сварных соединений и методы их устранения

<i>Название дефекта</i>	<i>Способ устранения</i>
<i>Возобновление шва</i>	зачистить наплывы шлифовальным инструментом. При необходимости выполнить подварку.
<i>Пористость в корне шва.</i>	зачистить корень шва в месте образования пор и подварить заново.
<i>Вогнутость корня шва.</i>	зачистить корень шва от шлака, оксидов и выполнить подварку.
<i>Неровная поверхность</i>	удалить поверхностные дефекты шлифовальным инструментом. Выполнить подварку облицовочный швом.
<i>Неравномерная ширина шва</i>	узкие места шва подваривают, а уширения устраняют сошлифовыванием.
<i>Чрезмерная асимметрия сварного шва</i>	зачистить места сплавления меньшего катета с основным металлом и выполнить подварку.

<i>Неполное заполнение разделки кромок</i>	зачистить места углублений, а затем подварить их.
<i>Прожоги</i>	место прожога очистить от окалины и натеков, подготовить с помощью шлифовального инструмента и подварить повторно.
<i>Натек</i>	недостающий металл поверхности шва наплавить дополнительно. Натек удалить шлифовальным инструментом.
<i>Угловое смещение</i>	сварное соединение разрезать и сварить заново.
<i>Линейное смещение (депланация свариваемых листов)</i>	сварное соединение разрезать, зачистить и сварить заново.
<i>Подрезы</i>	Способ устранения: место возникновения подреза зачищают и подваривают шов.
<i>Усадочная канава</i>	место образования усадочной канавы зачищают и подваривают корень шва.
<i>Выпуклость сварного шва</i>	чрезмерную выпуклость шва удаляют шлифовальным инструментом.
<i>Превышение проплава</i>	чрезмерную выпуклость удалить шлифовальным инструментом.
<i>Местное превышение проплава</i>	чрезмерную выпуклость удалить шлифовальным инструментами.
<i>Неправильный профиль сварного шва</i>	чрезмерную выпуклость удалить шлифовальным инструментом.
<i>Наплыв</i>	удалить излишек металла шлифовальным инструментом, сделав плавный переход от металла шва к основному металлу.
<i>Трещины</i>	вырезка, вышлифовка до полного удаления дефекта с последующей заваркой.
<i>Свищи</i>	высверловка, вышлифовка до полного удаления с последующей заваркой.
<i>Поры</i>	- для плоских элементов - вышлифовка, механическая строжка или фрезеровка, воздушно-дуговая строжка угольными электродами с последующей заваркой. - для трубных элементов - выборка дефектов на токарном станке с последующей заваркой.
<i>Непровар</i>	- при небольших объемах работ - вышлифовка; - при больших объемах работ - механическая строжка, фрезеровка на станке или воздушно-дуговой сторожкой, выплавка газовой резкой с последующей заваркой.
<i>Шлаковые включения</i>	- для плоских элементов - вышлифовка (отдельно стоящий и скопление шлака) механическая и воздушно-дуговая строжка (ВДС) (цепочки шлака) с последующей заваркой. - для трубных элементов - вышлифовка (отдельно стоящий или скопление шлака), выборка на токарном станке (цепочки шлака) с последующей заваркой.
<i>Брызги</i>	срубить зубилом и молотком, с последующей зашлифовкой мест удаления.

*Поверхностное окисление*

если нет особых требований к окисной пленке на чертеже, допускается не удалять. В противном случае - зачистка вручную металлической щеткой или с помощью шлифовальной машины



### **3. Безопасность при контроле качества сварных соединений**

**Общие требования.** Лаборатория, проводящая радиографический контроль, должна иметь радиационно-гигиенический паспорт.

Специалисты, выполняющие контроль качества, должны быть аттестованы, иметь квалификацию не ниже II уровня по применяемым методам неразрушающего контроля.

При производстве работ по неразрушающему контролю сварных соединений методами рентгенографической, ультразвуковой дефектоскопии должны соблюдаться требования инструкций завода-изготовителя.

Аппаратура, используемая для дефектоскопии различными методами неразрушающего контроля, должна быть работоспособна, иметь свидетельство государственной поверки и инструкцию по эксплуатации.

Все приборы и настроечные образцы, применяемые для проведения контроля сварных соединений на объектах, должны быть аттестованы и сертифицированы.

Оборудование с питанием от сети напряжением 220 В, должно быть заземлено.

К работе с дефектоскопами, толщиномерами при контроле качества изоляции допускаются лица, обученные правилам безопасности и имеющие допуск к работе с высоковольтным (свыше 1000 В) оборудованием.

Запрещается производить работы по дефектоскопическому обследованию на открытых площадках во время грозы.

При возникновении аварийных ситуаций персонал, производящий работы по дефектоскопии должен выключить аппаратуру, покинуть опасную зону.

К работе с аппаратурой по физическим методам контроля качества сварных стыков (ультразвук, рентгенодефектоскопия, гамма-дефектоскопия) допускаются лица не моложе 18 лет, окончившие специальные курсы, имеющие квалификационные удостоверения, обученные безопасным способам работ, прошедшие инструктаж по охране труда и обеспеченные средствами индивидуальной защиты.

Допускать к самостоятельной работе с аппаратурой по физическим методам контроля лиц, не имеющих специальной подготовки и не обученных безопасным методам труда, запрещается. Аппаратура и приборы по физическим методам контроля, во избежание соприкосновения с токоведущими частями, должны быть защищены кожухами и футлярами. Аппаратура, работающая от источников электропитания, должна быть надежно заземлена.

Ремонтировать аппаратуру со снятием кожухов или футляров разрешается только после отключения сети питания и только обученным работникам (электромонтер). Материалы, используемые дефектоскопистом (сосуды с контактирующей жидкостью, ветошь, бумага и др.), должны храниться в металлических ящиках.

**Промышленная рентгенодефектоскопия.** Перед включением рентгеновского аппарата необходимо проверить соответствие положения переключателя напряжению сети. Включение и вывод на режим, а также выключение установки следует производить только в порядке, изложенном в инструкции завода-изготовителя, прилагаемой к установке. Не разрешается на рентгеновскую установку давать нагрузку большую, чем предусмотрено паспортом или актом технического осмотра. При работе с электроннолучевой трубкой переносных рентгеновских аппаратов пульт управления следует располагать вне зоны первичного излучения и от блока трансформатора на максимальном расстоянии, определяемом по расчету. При просвечивании стыков изнутри

трубы после выключения высокого напряжения необходимо отключать аппарат от источника питания. Рентгеновский аппарат должен подвергаться ежегодному техническому осмотру с составлением акта, в котором указываются техническое состояние установки в целом, а также отдельных его частей, особенности и допустимые режимы работы.

*При работе с дефектоскопом необходимо соблюдать правила безопасности указанные в паспорте на эксплуатацию аппарата. При работе с рентгеновскими аппаратами соблюдать требования радиационной защиты, установленные Федеральным законом «О радиационной безопасности населения», СанПиН 2.6.1.2523-09 и СП 2.6.1.2612-10 Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99/2010).*

При проведении работ по рентгенодефектоскопии должен постоянно контролироваться уровень дозы излучения.

Индивидуальный контроль дозы внешнего облучения ведут при помощи индивидуальных дозиметров. Данные о дозах облучения (переоблучения) персонала и эффективности средств защиты необходимо ежемесячно сообщать администрации организации, а также контролирующему санитарному врачу (по его требованию) для принятия мер по уменьшению доз облучения. Приборы индивидуального контроля получает каждый работающий.

Требования к обеспечению радиационной безопасности:

- допуск к работе лиц не моложе 18 лет и не имеющих медицинских противопоказаний;
- знание и соблюдение правил работы с источником излучения;
- применением индивидуальных средств защиты (спецбелье, комбинезон, спецобувь, - шапочка или шлем, перчатки из хорошо дезактивируемых материалов);
- организация радиационного контроля с занесением данных в специальный журнал учета.



*Все лица, постоянно работающие с рентгенаппаратами, должны относиться к персоналу группы А по СанПиН 2.6.1.2523-09, иметь допуск к работе на электроустановках свыше 1000 В не ниже IV группы.*

Перед началом работы проверить исправность всех зажимов, соединительных клемм и пульта управления рентгенаппаратом. Заземлить рентгенаппарат. Выставить знаки радиационной безопасности.

Постоянно следить за зоной действия рентгенаппарата во избежание попадания в нее людей. Контролировать время работы рентгенаппарата по контрольному секундомеру.

Лицам, работающим с рентгенаппаратом, иметь при себе индивидуальные дозиметры. Во время работы аппаратов оператор должен находиться на расстоянии не менее 20 м от рентгеновского блока в направлении, противоположном выходу излучения, в пределах конуса с углом раствора 150°, ось которого совпадает с осью рентгеновского блока, а вершина расположена на торце рентгеновской трубки.

Людей, не связанных с работой рентгенаппарата, необходимо удалить на расстояние 100 м от рентгеновского блока.

Включать рентгенаппарат только после прихода всех работающих дефектоскопистов к пульта управления рентгенаппаратом.

По окончании дефектоскопии доложить ответственному за проведение работ и убрать знаки радиационной безопасности.

В целях обеспечения радиационной безопасности персонала и населения следует:

- направлять ионизирующее излучение в сторону земли или туда, где отсутствуют люди;
- удалять источники излучения от обслуживающего персонала и других лиц на возможно большее расстояние;
- ограничивать время пребывания людей вблизи источников излучения;

- вывешивать знак радиационной опасности и предупредительные плакаты, которые должны быть отчетливо видны с расстояния не менее 3 м.

**Ультразвуковой контроль.** При выполнении контроля должны соблюдаться требования

**СанПиН 2.2.4/2.1.8.582-96 и требования безопасности, изложенные в технической документации на применяемую аппаратуру, утвержденной в установленном порядке.**

Запрещается непосредственный контакт работающих с рабочей поверхностью оборудования в процессе его обслуживания, жидкостью и обрабатываемыми деталями во время возбуждения в них ультразвука.

Для исключения контакта с источниками ультразвука необходимо применять:

- дистанционное управление оборудованием;
- автоблокировку, т.е. автоматическое отключение оборудования при выполнении вспомогательных операций (загрузке и выгрузке продукции, нанесении контактных смазок и т.д.);
- приспособления для удержания источника ультразвука или обрабатываемой детали.

Для защиты рук от возможного неблагоприятного воздействия контактного ультразвука в твердой или жидкой средах, необходимо применять две пары перчаток – резиновые (наружные) и хлопчатобумажные (внутренние) или только хлопчатобумажные.

Для защиты работающих от неблагоприятного воздействия воздушного ультразвука следует применять противошумы.



**Методы предотвращения образования дефектов сварных соединений**

### Контрольные вопросы:



1. Какие правила безопасности необходимо соблюдать при проведении магнитографического контроля?
2. Какие правила безопасности необходимо соблюдать при проведении ультразвукового контроля?
3. Назовите способы защиты при радиационных методах контроля?
4. Перечислите основные операции по устранению дефектов сварных соединений?



### Задания для закрепления изученной темы:

#### Задание №1

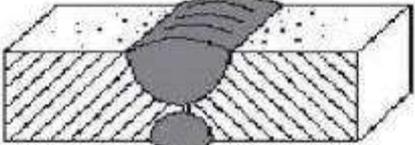
Воспользовавшись ГОСТ Р ИСО 6520-1-2012 Сварка и родственные процессы. Классификация дефектов геометрии и сплошности в металлических материалах. Часть 1. Сварка плавлением, заполните таблицу:

Название, код и схематическое изображение дефекта	Причина возникновения	Способ устранения
<i>Возобновление шва</i>		

<i>Пористость в корне шва</i>		
<i>Вогнутость корня шва</i>		
<i>Неровная поверхность</i>		
<i>Неравномерная ширина шва</i>		
<i>Чрезмерная асимметрия сварного шва</i>		
<i>Неполное заполнение разделки кромок</i>		
<i>Прожог</i>		
<i>Натек</i>		
<i>Угловое смещение</i>		
<i>Линейное смещение (депланация свариваемых листов)</i>		
<i>Подрезы</i>		
<i>Усадочная канава</i>		
<i>Выпуклость сварного шва</i>		
<i>Превышение проплава</i>		
<i>Местное превышение проплава</i>		
<i>Неправильный профиль сварного шва</i>		
<i>Наплыв</i>		
<i>Трещины</i>		
<i>Свищи</i>		
<i>Поры</i>		

<i>Непровар</i>		
<i>Шлаковые включения</i>		
<i>Брызги</i>		
<i>Поверхностное окисление</i>		

**Пример выполнения задания №1:**

<b>Название, код и схематическое изображение дефекта</b>	<b>Причина возникновения</b>	<b>Способ устранения</b>
 <p><i>Брызги</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Неправильно настроенный параметр подачи проволоки</li> <li>2. Недостаточная подача газа при механизированной сварке</li> <li>3. Сварка «высокой дугой»</li> </ol>	<p>Зачистить брызги слесарным инструментом (сбить зубилом и молотком; зачистить болгаркой)</p>
 <p><i>Пористость</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Отсыревшие электроды</li> <li>2. Недостаточная подача газа при механизированной сварке</li> <li>3. Сварка «высокой дугой»</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Вырубка дефектного участка сварного шва</li> <li>2. Зачистка и подготовка кромок</li> <li>3. Заварка зачищенного участка.</li> <li>4. Удаление шлака (при РДС)</li> </ol>

**Задание №2**

Ответьте на вопросы теста (один или несколько верных вариантов ответа):

1. Какой вид дефекта подлежит устранению наплавкой?
  - а) Заусенцы.
  - б) Раковины.
  - в) Задиры.
2. Какого размера дефекты визуального обнаружения подлежат устранению?
  - а) Скопление раковин размером менее 1,5 мм в количестве 3 штук на 1 см<sup>2</sup>.
  - б) 2 мм.
  - в) 3 мм и более.
3. Какова ширина зоны зачистки окрестности дефектного участка?
  - а) 5 мм.
  - б) 10 мм.

в) 25 мм.

4. *Какие материалы не должны находиться в зоне наплавки?*

- а) Окалина.
- б) Масла.
- в) Ржавчина.

5. *На какую глубину производят разделку дефектного участка?*

- а) Сквозная выборка.
- б) 5 мм.
- в) До «здорового» металла.

6. *Металл прогревается быстрее, когда пламя направлено к поверхности разделки под углом:*

- а) 30°.
- б) 60°.
- в) 90°.

7. *Каким пламенем ведут обработку наплавкой?*

- а) Окислительным.
- б) Нормальным.
- в) Науглероживающим.

8. *В какую часть пламени помещается присадочная проволока?*

- а) В среднюю зону пламени.
- б) В ядро.
- в) В факел.

9. *До какого уровня заполняют разделку дефекта наплавленным слоем?*

- а) Заподлицо с поверхностью детали.
- б) Ниже уровня поверхности детали.
- в) Выше уровня поверхности детали.

10. *Какой инструмент сварщик обязательно применяет при всех видах зачистки?*

- а) Зубило;
- б) Стальную щетку;
- в) Напильник.

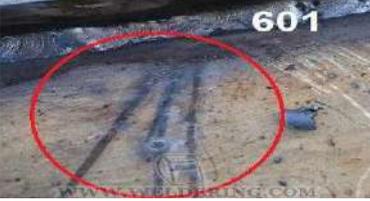
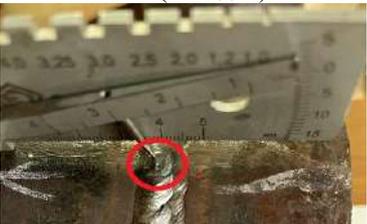
***Впишите ответы на тест в бланк:***

№ п/п	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ответ										

## ПРИЛОЖЕНИЯ

### Протоколы для проведения визуального и измерительного контроля (далее - ВИК) в рамках учебного занятия по теме 1.2

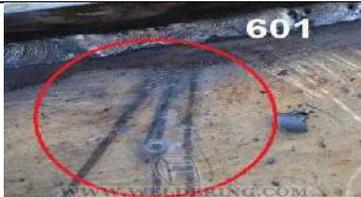
#### Приложение 1. ВИК трубного образца

<i>ВИК трубного образца толщиной 8 мм по ГОСТ Р ИСО 5817-2009</i>				
Критерий оценивания	Обозначение в соответствии с ГОСТ	Пояснение	Балл макс.	Балл факт
Протяженность и глубина подреза соответствует допуску?	5011-5012 (показаны стрелками) 	Сплошной подрез не допустим. Глубина единичного прерывистого подреза не более 0,5 мм.	0,40	
Разделка кромок заполнена полностью?	 <i>на рисунке заполнена полностью: незабранных участков нет</i>	Незаполнение не допускается	0,30	
Выпуклость стыкового шва не превышает допустимых размеров?	502 	$\pm 2$ мм согласно ТК	0,60	
Ширина шва		Согласно ТК $\pm 2$ мм от толщины металла (6-10 мм.)	0,50	
Обнаружены ли на поверхностях пластин следы ожога дугой?	601 	Не допустимо	0,30	
Кратерные усадочные раковины отсутствуют?	2024 (обведен) 	Допускается до 0,5 величины усиления (выпуклости) сварного шва	0,40	

Отсутствуют видимые поры?	<p style="text-align: center;">2017; 2018</p> 	Видимая пора или поверхностная пористость не допускаются. Обнаруженные с применением лупы $\times 10$	0,30	
Сварной шов сформирован правильно?	<p style="text-align: center;">506 /509 (обозначены стрелками)</p> 	Отсутствуют такие дефекты как наплыв /натек	0,35	
Выпуклость корня шва не превышает допустимое значение?	<p style="text-align: center;">504</p> 	Согласно ТК не более 2 мм. При наличии прерывистого корня шва не оценивается.	0,40	
Вогнутость корня шва не превышает допустимое значение?	<p style="text-align: center;">515</p> 	Согласно ТК не более 0,5 мм. При наличии прерывистого корня шва не оценивается.	0,45	
Сумма баллов			4,0	

***\*Если критерий не нарушен, ставится макс. балл, если нарушен – ставится ноль.***

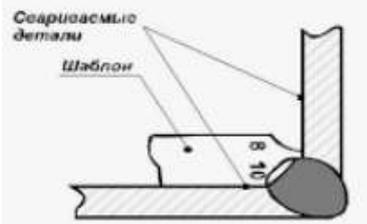
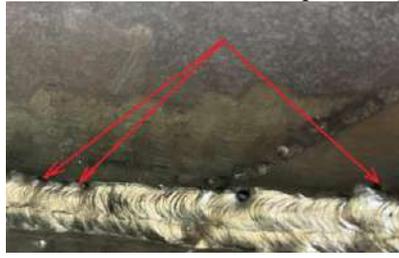
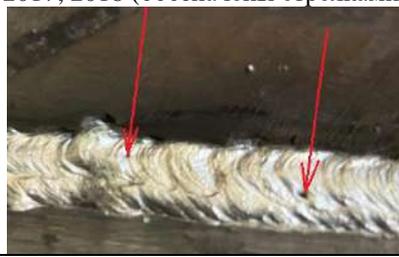
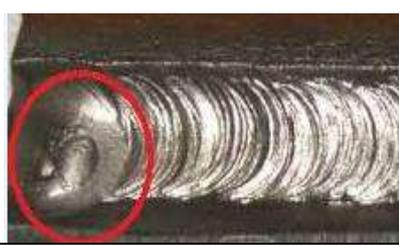
## Приложение 2. ВИК пластины

<i>ВИК пластины, толщиной 10 мм по ГОСТ Р ИСО 5817-2009</i>				
Критерий оценивания	Обозначение в соответствии с ГОСТ	Пояснение	Балл макс.	Балл факт.
Протяженность и глубина подреза соответствует допуску?	5011-5012 (показаны стрелками) 	Сплошной подрез не допустим. Глубина единичного прерывистого подреза не более 0,5 мм.	0,40	
Разделка кромок заполнена полностью?	на примере заполнена полностью 	Незаполнение не допускается	0,30	
Выпуклость стыкового шва не превышает допустимых размеров?	502 	±2 мм согласно ТК	0,60	
Ширина шва		Согласно ТК ±2 мм от толщины металла (8-12 мм.)	0,50	
Обнаружены ли на поверхностях пластин следы ожога дугой?	601 	Не допустимо	0,30	
Кратерные усадочные раковины отсутствуют?	2024 	Допускается до 0,5 величины усиления (выпуклости) сварного шва	0,40	
Отсутствуют видимые поры?	2017; 2018	Видимая пористость не допускаются. Обнаруженные с применением лупы ×10	0,30	

				
Сварной шов сформирован правильно?	506 /509 (обозначены стрелками) 	Отсутствуют такие дефекты как наплыв /натек	0,35	
Выпуклость корня шва не превышает допустимое значение?	504 	Согласно ТК не более 2 мм При наличии прерывистого корня шва не оценивается.	0,40	
Вогнутость корня шва не превышает допустимое значение?	515 	Согласно ТК не более 0,5 мм При наличии прерывистого корня шва не оценивается.	0,45	
Сумма баллов			4,0	

*\*Если критерий не нарушен, ставится макс. балл, если нарушен – ставится ноль.*

### Приложение 3. ВИК Таврового соединения

<i>ВИК Таврового соединения по ГОСТ Р ИСО 5817-2009</i>				
<i>Критерий оценивания</i>	<i>Обозначение в соответствии с ГОСТ</i>	<i>Пояснение</i>	<i>Балл макс.</i>	<i>Балл факт.</i>
Катет углового шва соответствует ТК и Чертежу?		Катет равен 8-10мм	0,60	
Протяженность и глубина подреза соответствует допуску?	5011-5012 (обозначены стрелками) 	Сплошной подрез не допустим. Глубина единичного прерывистого подреза не более 0,5 мм.	0,35	
Отсутствуют видимые поры?	2017; 2018 (обозначены стрелками) 	Видимая пора или поверхностная пористость. Обнаруженные с применением лупы ×10	0,30	
Сварной шов сформирован правильно?	506 /509/5213 (обозначены стрелкой) 	Отсутствуют такие дефекты как наплыв /натек, выпуклость углового шва, вогнутость шва не допустима.	0,30	
Обнаружены ли на поверхностях пластин следы ожога дугой?	601 (обозначен стрелкой) 	Не допустимо	0,40	
Равномерность шва в облицовочном проходе, отсутствие кратеров и усадочных раковин		Не допустимо	0,60	
Сумма баллов			2,55	

*\*Если критерий не нарушен, ставится макс. балл, если нарушен – ставится ноль.*

## СПРАВОЧНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

**Дефекты** – любые *нарушения качества сварного шва*, отклоняющиеся от норм ГОСТ, либо иные отклонения от нормативов регламентируемых ГОСТ 6520-1-2012 и технических требований.

**Дефекты** по обнаружению при контроле изделий разделяются на *внешние* (наружные) и *внутренние* (скрытые).

Для определения внешних дефектов используется **визуальный и измерительный контроль - ВИК**. Цель любого контроля – *определение качества* сварного соединения (шва).

**Визуально** – определяют *наличие дефекта*, при помощи *измерений* его *размеры* или *параметры*.

**КСС** – контрольное сварное соединение.

**Виды работ, необходимые для самостоятельной оценки качества сварной конструкции:**

- внешний осмотр и определение наличия дефектов сварки;
- применение оборудования для определения геометрических параметров сварных соединений;
- оценка качества сварных соединений в соответствии эталоном и требованиями ГОСТ;
- оформление результатов контроля.

### ТЕХНОЛОГИЯ ПРОВЕДЕНИЯ ВИЗУАЛЬНОГО И ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО КОНТРОЛЯ:

1. **Определение зоны проведения ВИК** (необходимо отмерить 20 мм от сварного шва влево и вправо и отчертить зону контроля. Внимание: 20 мм от начала и окончания шва – не оценивается!).
2. **Определение внешних дефектов.**
3. **Определение размеров дефектов, основных параметров сварного шва.**
4. **Заключение о качестве сварного шва.**

## Внешние дефекты сварных соединений

неравномерность/  
неровность сварного шва



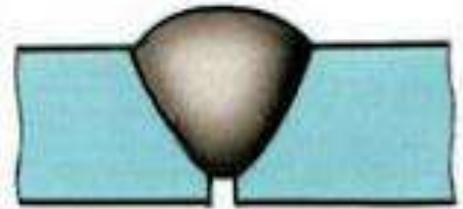
поры



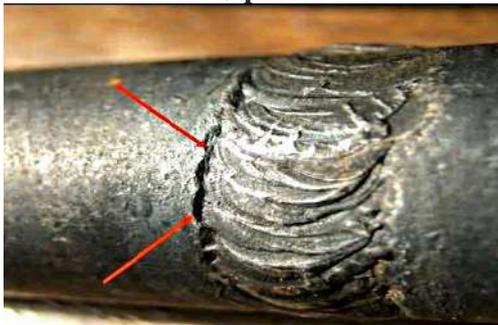
кратерная усадочная раковина (кратер)



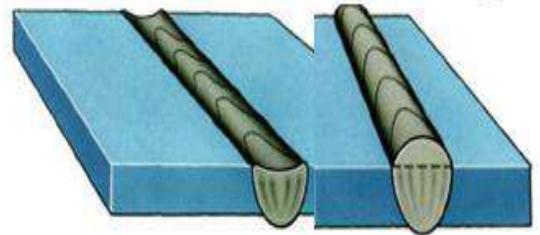
непровар



подрезы



вогнутость/выпуклость  
сварного шва



трещины



наплыв

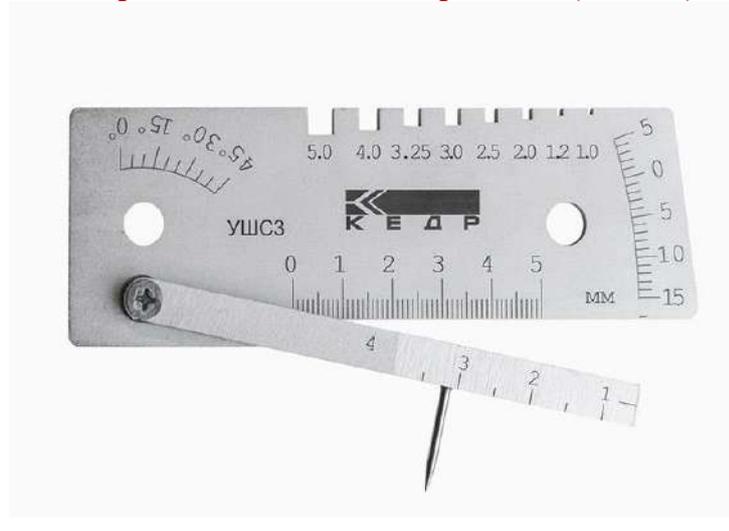


прожог



## ИНСТРУМЕНТЫ ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО КОНТРОЛЯ

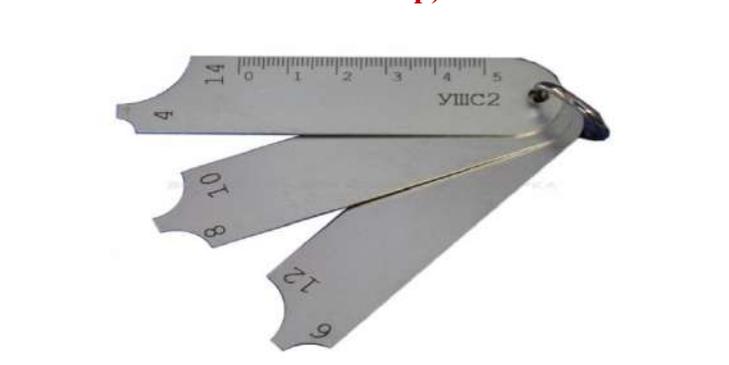
### Универсальный шаблон сварщика 3 (УШС 3)



### Назначение:

1. Контроль и измерение размеров **стыкового сварного шва**: высота и ширина шва, глубина подреза, величина западений между валиками шва
2. Измерение смещения (скосов) наружных кромок деталей
3. Измерение зазоров в соединениях
4. Контроль углов скоса разделки
5. Определение диаметров проволоки и сварочных электродов (используя технологические пазы на верхней стороне инструмента).

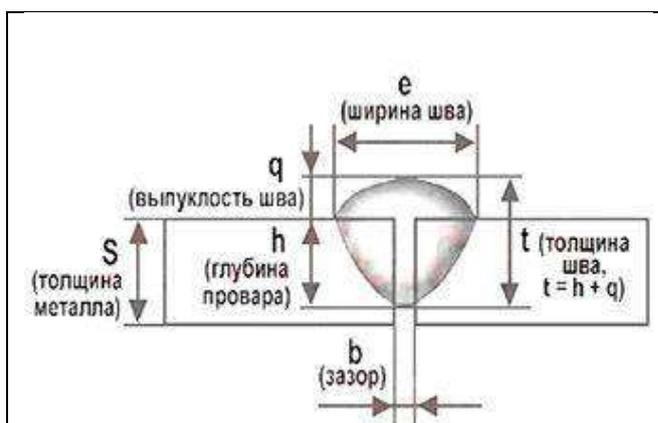
### Универсальный шаблон сварщика 2 (УШС 2/ катетомер)



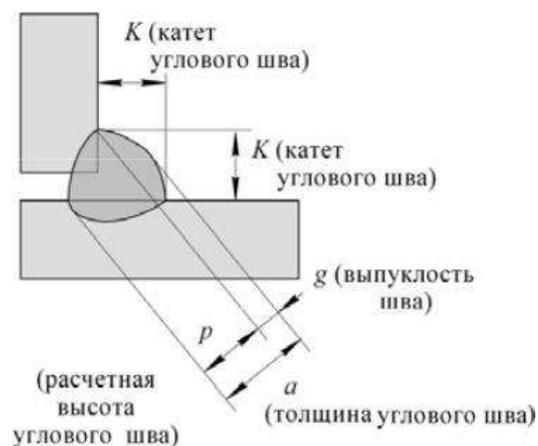
### Назначение:

Контроль катетов **угловых швов** в диапазоне 4-14 мм

## Геометрические параметры сварных швов



**СТЫКОВОЙ ШОВ**



**УГЛОВОЙ ШОВ**

## БЛАНК ПРОТОКОЛА УЛЬТРАЗВУКОВОГО КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

### ПРОТОКОЛ № \_\_\_\_\_ ультразвукового контроля сварных соединений

Наименование аппарата \_\_\_\_\_  
 Регистрационный № \_\_\_\_\_  
 Заказчик \_\_\_\_\_  
 Тип прибора \_\_\_\_\_  
 Рабочая частота прибора \_\_\_\_\_  
 Угол ввода \_\_\_\_\_  
 Условная чувствительность \_\_\_\_\_

№ п/п	Объект контроля	№ по схеме	Толщина, мм	Оценка дефектов согласно ГОСТ	Дата	Примечание

Приложение. Схема расположения объектов контроля.

Ультразвуковой контроль проводили:

Ф. И. О. \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_ (квалификационный уровень, № удостоверения)

## БЛАНК ПРОТОКОЛА КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА СВАРНЫХ ШВОВ ЦВЕТНОЙ ДЕФЕКТОСКОПИЕЙ

### ПРОТОКОЛ № \_\_\_\_\_ контроля качества сварных швов цветной дефектоскопией

Наименование аппарата \_\_\_\_\_  
 Регистрационный № \_\_\_\_\_  
 Заказчик \_\_\_\_\_  
 Тип дефектоскопического комплекта \_\_\_\_\_  
 Оценка качества по \_\_\_\_\_  
 (наименование и номер технической документации)  
 Чувствительность \_\_\_\_\_

№ п/п	Номер сварного шва по схеме	Вид контроля (первич, вторич)	Дата	Описание дефектов	Оценка качества

Приложение. Схема расположения сварных швов, контролируемых методом цветной дефектоскопии.

Цветную дефектоскопию проводили:

Ф. И. О. \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_ (квалификационный уровень, № удостоверения)

**БЛАНК ПРОТОКОЛА РАДИОГРАФИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ  
СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ**

**ПРОТОКОЛ № \_\_\_\_\_  
радиографического контроля сварных соединений**

Наименование аппарата \_\_\_\_\_  
Регистрационный № \_\_\_\_\_  
Заказчик \_\_\_\_\_  
Тип прибора \_\_\_\_\_

**Результаты испытаний**

№ п/п	№ шва	Клеймо сварщика	Пленка		Чувствительность снимка	Обнаружено дефектов	Соответствие требованиям ГОСТ
			№	Размер			

Приложение. Схема расположения сварных швов, контролируемых радиографическим методом.

Руководитель работ \_\_\_\_\_  
Испытания производили \_\_\_\_\_

(квалификационный уровень, № удостоверения)

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 200\_\_ г.

**БЛАНК ПРОТОКОЛА МАГНИТОПОРОШКОВОГО КОНТРОЛЯ  
СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ШАРОВОГО РЕЗЕРВУАРА**

**ПРОТОКОЛ № \_\_\_\_\_  
магнитопорошкового контроля поверхности материала оболочки шарового резервуара**

Наименование аппарата \_\_\_\_\_  
Регистрационный № \_\_\_\_\_  
Заказчик \_\_\_\_\_  
Дефектоскоп \_\_\_\_\_  
Магнит, способ намагничивания, способ нанесения порошка, чувствительность, образец, освещенность и т.д. \_\_\_\_\_

**Результаты контроля**

Расположение контрольного участка	№ схем	Обозначение по схеме	Описание дефектов

Приложение. Схема расположения контрольных участков.

Контроль проводили:

Ф. И. О. \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_ (квалификационный уровень, № удостоверения)

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 200\_\_ г.

## **Список использованных источников:**

### **Основная литература:**

1. Овчинников, В.В. Контроль качества сварных соединений: учебник для студ. учреждений средн. проф. образования / В.В. Овчинников. – М.: «Академия», 2018. – 208 с.
2. Овчинников, В.В. Контроль качества сварных соединений: практикум для студ. учреждений средн. проф. образования / В.В. Овчинников. – М.: «Академия», 2018. – 224 с.
3. 224 с.
4. Овчинников, В.В. Дефектация сварных швов и контроль качества сварных соединений: учебник для студ. учреждений средн. проф. образования / В.В. Овчинников. – М.: «Академия», 2017. – 224 с.
5. Компетенция «Сварочные технологии»[Электронный ресурс]: техническое описание // Союз «Ворлдскиллс Россия»: офиц. сайт. – Электрон. дан. – М., 2017. – Режим доступа: <https://www.tpk-tver.ru/attachments/article/0/%D0%A2%D0%9E.pdf>

### **Дополнительная литература:**

1. Сварка и свариваемые материалы. В 3 т. Т.1. Свариваемость материалов: Справ.изд. /под ред. Э.Л.Макарова. – М. :Металлургия, 1991. – 528с.: ил.
2. Гривняк, И. Свариваемость сталей / И.Гривняк. – М.: Машиностроение, 1984. – 216с.
3. Сварка в машиностроении: Справочник. В 4-х т. / Редкол. Г.А. Николаев. – М.: Машиностроение, 1978. – 504с.: ил.
4. Еремин, Е.Н. Свариваемость сталей: Учебное пособие / Е.Н. Еремин. – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2005г. – 160с.: ил.
5. Дубов, А. А. Диагностика трубопроводов, оборудования и конструкций с использованием магнитной памяти металла / А. А. Дубов // Сборник докладов четвертой международной научно-технической конференции. – М.: Энергодиагностика, 2007.

### **Нормативные документы:**

1. ГОСТ 18353-79. Контроль неразрушающий. Классификация видов и методов. – Введ.1980-07-01. – М.,1980.
2. Правила аттестации персонала в области неразрушающего контроля: ПБ 03-440-02: утв. Ростехнадзором России 23.01.02. – М.,2002.
3. Правила аттестации лабораторий неразрушающего контроля: ПБ 03-372-00: утв. Ростехнадзором России 02.06.2000. – М.,2000.
4. СДА-01. Сборник документов по аккредитации. Ч. 1 : Общие требования к аккредитации органов оценки соответствия. М.,2008.
5. РД 03-606-03. Инструкция по визуальному и измерительному контролю. М.,2003.
6. ГОСТ 23479-79. Контроль неразрушающий. Методы оптического вида. Общие требования. – Введ.1980-01-01.Продлен с 1.01.90. – М.,1990.
7. ГОСТ 18442-80. Качество продукции. Неразрушающий контроль. Капиллярные методы. Общие требования. Действует - Взамен. Ограничение срока действия снято: Постановление Госстандарта № 857 от 13.06.91. – М.,1991.
8. ГОСТ 21105-87. Контроль неразрушающий. Магнитопорошковый метод. – Взамен ГОСТ 21105-75; введ.87-23-01. – М.,1987.
9. ГОСТ Р 52005-2003. Контроль неразрушающий. Метод магнитной памяти металла. Общие требования. – Введен впервые; введ.2004-01-01. – М.,2003.
10. ГОСТ 7512-82. Контроль неразрушающий. Радиографический метод. – Взамен ГОСТ 7512-75; введ. 1984-01-01. – М.,1982.
11. СП 2.6.1.758-99. Ионизирующие излучения, радиационная безопасность. Нормы радиационной безопасности: утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 2

июля 1999 г. – М.,2000.

12. ГОСТ 20415-82. Контроль неразрушающий. Методы акустические. Общие положения. – Взамен ГОСТ 20415-75; введ. 1983-07-01. – М.,1982.

13. ГОСТ 14782-86. Контроль неразрушающий. Соединения сварные. Методы ультразвуковые. – Взамен ГОСТ 14782, ГОСТ 22368; введ. 1988-01-01. – М.,1986.

14. Неразрушающий контроль : справ. : в 8 т. / под ред. В. В.Клюева. – 2-е изд., испр. – М. : Машиностроение, 2008.

15. ГОСТ 30242-97. Дефекты соединений при сварке металлов плавлением. – Введен впервые; введ. 2003-01-01. – М.,2003.

16. ГОСТ 23055 – 78. Классификация сварных соединений по результатам радиографического контроля. – Введен впервые; введ. 1979-07-01; Ограничение срока действия снято по протоколу N 3-93 Межгосударственного совета по стандартизации, метрологии и сертификации (ИУС 5-6-93). – М.,2004.

17. ГОСТ Р 55724-2013. Контроль неразрушающий. Соединения сварные. Методы ультразвуковые. – Введен впервые; введ.2015-07-01. – М.,2015.

18. ГОСТ Р ИСО 17637-2014. Контроль неразрушающий. Визуальный контроль соединений, выполненных сваркой плавлением. – Введен впервые; введ. 2016-01-01. – М.,2016.

19. ГОСТ 6996-66. Сварные соединения. Методы определения механических свойств. – Взамен ГОСТ 6996-54; введ. 1967-01-01. – М.,1967.

28. ГОСТ 3242-79. Соединения сварные. Методы контроля качества. – Взамен ГОСТ 3242-69; введ. 01.01.81. – М.,2002.

20. ГОСТ 3285-77. Корпуса металлических сосудов. Методы испытаний на непроницаемость и герметичность. – Взамен ГОСТ 3285-65; введ.1978-07-01. – М.,1983.

21. ГОСТ 6032-89 (ИСО 3651/1-76, ИСО 3651/2-76). Стали и сплавы коррозионно-стойкие. Методы испытания на стойкость против межкристаллитной коррозии. – Взамен 6032-84; введ.17.11.89. – М.,1989.

22. ГОСТ 22761-77. Металлы и сплавы. Метод измерения твердости по Бринеллю переносными твердомерами статического действия. – Введ. 1979-01-01. – М.,2003.

23. ГОСТ Р ИСО 10042-2009 Сварка. Сварные соединения из алюминия и его сплавов, полученные дуговой сваркой. Уровни качества. – Введен впервые ; введ. 2011-01-01. – М.,2011.

24. ОСТ 36-75-83. Контроль неразрушающий. Сварные соединения трубопроводов. Ультразвуковой метод. – Введен впервые; введ. 1 января 1984 г. – М.,1984.

25. ГОСТ Р ИСО 6520-1-2012. Сварка и родственные процессы. Классификация дефектов геометрии и сплошности в металлических материалах. Часть 1. Сварка плавлением. – Введен впервые ; введ.2014-01-01. – М.,2014.

26. ГОСТ Р ИСО 5817-2009. Сварка. Сварные соединения из стали, никеля, титана и их сплавов, полученные сваркой плавлением (исключая лучевые способы сварки). Уровни качества. – Введен впервые ; введ.2011-01-01. – М.,2011.

27. ISO5817–1992(E)(EN 25817). Стальные соединения, выполненные Дуговой сваркой. Руководство по определению уровней качества стальных сварных соединений в зависимости от дефектов шва. – М.,1992.

28. ГОСТ Р ИСО 6520-2-2009. Классификация дефектов геометрии и сплошности в металлических материалах. – Введен впервые; введ. 2011-01-01. – М.,2011.

