

МЕЖГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Оборудование и технология сварочного производства»

# УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ В СВАРОЧНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

*Методические рекомендации к лабораторным работам  
для студентов направления подготовки  
15.03.01 «Машиностроение»  
очной формы обучения*



Могилев 2023

УДК 621.791.7  
ББК 30.61  
У55

Рекомендовано к изданию  
учебно-методическим отделом  
Белорусско-Российского университета

Одобрено кафедрой «Оборудование и технология сварочного производства»  
«31» августа 2023 г., протокол № 1

Составитель канд. техн. наук, доц. А. Н. Сеница

Рецензент канд. техн. наук, доц. М. Н. Миронова

Методические рекомендации к лабораторным работам по дисциплине  
«Управление качеством в сварочном производстве» предназначены для студентов  
направления подготовки 15.03.01 «Машиностроение» очной формы обучения.

Учебное издание

## УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ В СВАРОЧНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Ответственный за выпуск

А. О. Коротеев

Корректор

И. В. Голубцова

Компьютерная верстка

Е. В. Ковалевская

Подписано в печать . Формат 60×84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.  
Печать трафаретная. Усл. печ. л. . Уч.-изд. л. . Тираж 26 экз. Заказ №

Издатель и полиграфическое исполнение:  
Межгосударственное образовательное учреждение высшего образования  
«Белорусско-Российский университет».

Свидетельство о государственной регистрации издателя,  
изготовителя, распространителя печатных изданий  
№ 1/156 от 07.03.2019.

Пр-т Мира, 43, 212022, г. Могилев.

© Белорусско-Российский  
университет, 2023

## Содержание

Введение.....	4
1 Лабораторная работа № 1. Дефекты сварных соединений, выполненных сваркой плавлением.....	5
2 Лабораторная работа № 2. Измерительный контроль сварных соединений .....	16
3 Лабораторная работа № 3. Магнитопорошковый контроль .....	20
4 Лабораторная работа № 4. Цветной метод контроля материалов, изделий и сварных соединений.....	24
5 Лабораторная работа № 5 Освоение навыков расшифровки рентгеновских снимков и оформление полученных результатов.....	27
6 Лабораторная работа № 6. Изучение конструкции и функциональных возможностей ультразвукового дефектоскопа УД2-102.....	33
7 Лабораторная работа № 7. Изучение технологии ультразвукового контроля сварных соединений с применением дефектоскопа УД2-102 .....	40
Список литературы .....	44

## Введение

Повышение долговечности и надёжности сварных металлоконструкций в значительной степени зависит от применяемых методов и средств технического контроля качества сварных швов. Наибольший интерес для промышленности представляют физические методы контроля качества продукции без разрушения.

Под термином «неразрушающий контроль» понимают разработку и применение технических методов исследования материалов или деталей, узлов, компонентов изделий с целью оценки их целостности, свойств, состава и измерения геометрических характеристик путём обнаружения и локализации дефектов, измерения их параметров способами, не ухудшающими последующую эксплуатационную пригодность и надёжность.

За последние 100 лет разработано более сотни технологических методов неразрушающего контроля (НК), основанных на различных физических явлениях. В зависимости от последних эти методы принято объединять в группы, которые называют видами неразрушающего контроля: акустический; вихретоковый; магнитный; оптический; проникающими веществами; радиационный; радиоволновой; тепловой; электрический.

При контроле сварных соединений широко используются не все методы НК, а только те, которые обладают высокой чувствительностью, достоверностью и простотой в использовании. Их перечень приведён в ГОСТ 3242–79 *Соединения сварные. Методы контроля качества*. В Беларуси наиболее широко применяют визуальный и измерительный контроль, радиографический, акустический контроль эхо-методом, капиллярный и магнитопорошковый контроль. Для контроля герметичности конструкций используются методы течеискания.

При выполнении лабораторных работ студент на практике ознакомится с особенностями применения визуального, магнитопорошкового, капиллярного и акустического методов контроля. Кроме того, предусмотрены лабораторные работы по расшифровке радиографических снимков сварных швов и измерению толщины основного металла ультразвуковым методом.

# 1 Лабораторная работа № 1. Дефекты сварных соединений, выполненных сваркой плавлением

**Цель работы:** приобретение студентами практических навыков при идентификации дефектов сварных соединений.

## Применяемое оборудование и материалы:

- набор для визуального и измерительного контроля ВИК-2;
- образцы основного металла и сварных соединений с дефектами.

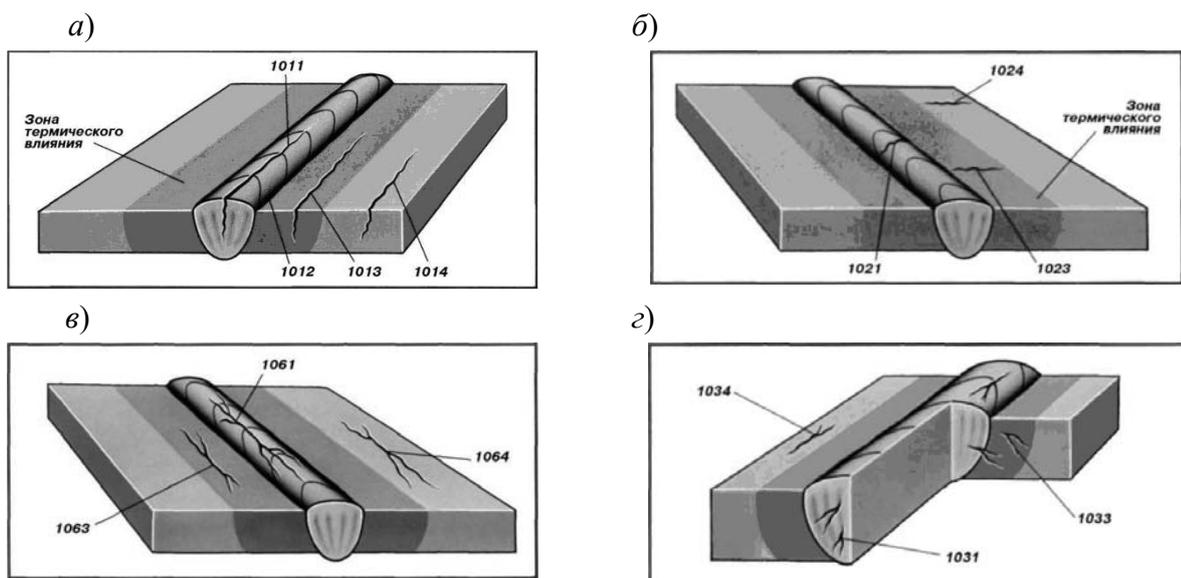
### 1.1 Краткие теоретические сведения

#### Основные дефекты сварки плавлением

Дефекты при сварке металлов плавлением образуются вследствие нарушения требований нормативных документов к сварочным материалам, подготовке, сборке и сварке соединяемых элементов, термической и механической обработке сварных соединений и конструкции в целом. Перечень дефектов сварки плавлением представлен в межгосударственном стандарте ГОСТ 30242–97.

**Трещиной** (код 100) называется несплошность, вызванная местным разрывом шва или околошовной зоны, которая может возникнуть в результате охлаждения или действия нагрузок (рисунок 1.1). Трещины могут быть продольными (101), расположенными в сварном шве (1011), рядом со швом (1012), в зоне термического влияния (1013), в основном металле (1014), поперечными (102), расположенными в этих же зонах, или радиальными (103). Продольные и поперечные трещины могут быть одиночными или разветвлёнными.

Трещина – наиболее опасный дефект и всегда недопустим.



а – продольные; б – поперечные; в – радиальные; г – разветвлённые

Рисунок 1.1 – Виды трещин и их расположения в сварном соединении

В зависимости от причин и механизма образования трещины сварных соединений делятся на две большие группы: горячие и холодные. Горячими называются трещины, которые образуются при высоких температурах в процессе кристаллизации сварного шва или сразу после его окончания. Холодные – это трещины, которые образуются в сварном соединении при относительно низких температурах (обычно ниже 200 °С).

Причины и механизм образования горячих и холодных трещин описан во многих учебниках по дисциплинам «Теория сварочных процессов» и «Технология сварки плавлением». Студентам предлагается самостоятельно подготовить ответы на вопросы о возникновении трещин в сварных швах и мерах по недопущению этих опасных дефектов. Прочие дефекты сварки плавлением и причины их возникновения приведены в таблице 1.1.

### ***Выполнение визуального контроля***

Визуальный контроль следует проводить при освещении не менее 500 лк.

При осмотре следует применять лупу с не менее чем четырёхкратным увеличением. Измерения размеров дефектов сплошности осуществляются с помощью лупы измерительной с увеличением 8...10 крат, шаблонов сварщика (УШС-3 или УШС-4), линейки, штангенциркуля, шаблонов и щупов.

Перед проведением контроля поверхность объекта в зоне контроля подлежит зачистке до чистого металла от ржавчины, окалины, грязи, краски, масла, шлака, брызг расплавленного металла, продуктов коррозии и других загрязнений, препятствующих проведению контроля (на контролируемых поверхностях, в случаях, когда это оговорено в нормативных документах (НД), допускается наличие цветов побежалости). Зона зачистки должна определяться НД на вид работ или на изготовление изделия. При отсутствии таких требований размеры зоны зачистки деталей и сварных швов должны составлять:

- при зачистке кромок деталей под дуговую и газовую сварку – не менее 20 мм с наружной стороны и не менее 10 мм с внутренней стороны от кромок разделки детали;

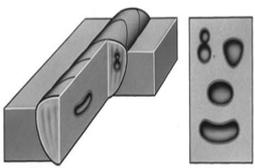
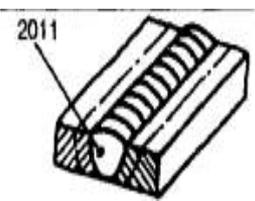
- при зачистке кромок деталей под электрошлаковую сварку –  $\geq 50$  мм;

- при зачистке кромок деталей угловых соединений труб (вварка штуцера в коллектор, трубу или барабан) – зачистке подлежит поверхность вокруг отверстия в трубе (коллекторе, барабане) на расстоянии 15...20 мм;

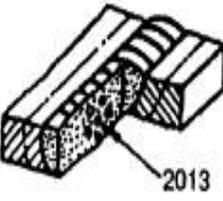
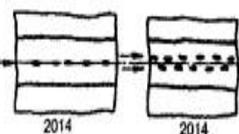
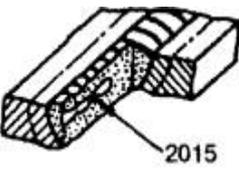
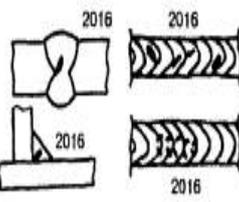
- при зачистке стыковых и угловых швов – не менее 20 мм в каждую сторону от шва при всех видах дуговой и газовой сварки и не менее 100 мм – при электрошлаковой сварке.

Зачистка поверхностей деталей (изделий) и сварных швов перед контролем производится металлическими щётками, напильником или абразивным кругом. При зачистке деталей и сварных швов из аустенитных сталей и высоконикелевых сплавов должны применяться щётки из нержавеющей нагартованной проволоки. Шероховатость зачищенных под контроль поверхностей деталей (сварных соединений) должна составлять не более  $Ra 12,5$  ( $Rz 80$ ).

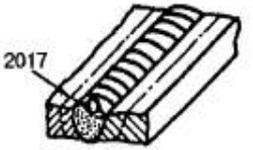
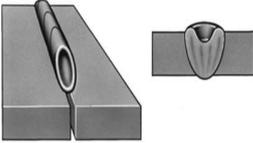
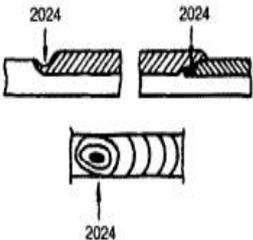
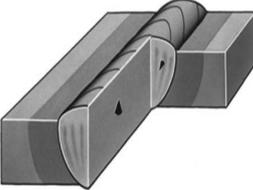
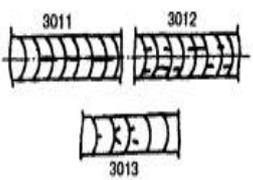
Таблица 1.1 – Дефекты сварки плавлением

Дефект (цифровое обозначение)	Определение и/или пояснение дефекта	Эскиз сварного соединения с дефектами	Причина возникновения
Газовая полость (200)	Полость произвольной формы, образованная газами, задержанными в расплавленном металле, которая не имеет углов		Плохая защита сварочной ванны от влияния воздуха. Неправильный выбор режима сварки. Сварка с большой длиной дуги. Недостаточное количество органических компонентов в составе электродного покрытия. Плохая прокатка электродов. Некачественная зачистка свариваемых кромок от ржавчины и загрязнений
Газовая пора (2011)	Газовая полость обычно сферической формы		Местные загрязнения свариваемых поверхностей органическими веществами или ржавчиной. Неправильный выбор покрытого сварочного электрода. Локальное нарушение оптимальных параметров режима сварки. Сварка электродом с увлажнённым покрытием. Повышенная вязкость металла сварочной ванны
Равномерно распределённая пористость (2012)	Группа газовых пор, распределённых равномерно в металле сварного шва. Следует отличать от цепочки пор (2014)		Плохая защита металла шва от растворения в нем водорода, азота и окиси углерода. Применение металла с большим количеством растворенных газов. Применение сварочных материалов, повышающих вязкость металла шва. Сварка с глубоким проплавлением. Однопроходная сварка толстостенных конструкций с большой скоростью

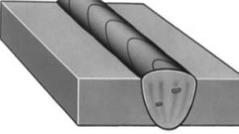
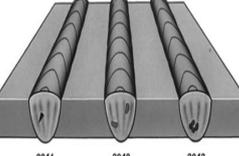
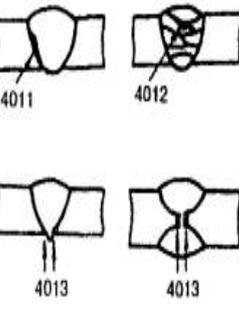
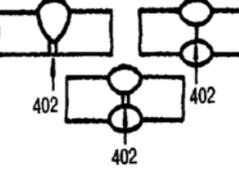
Продолжение таблицы 1.1

Дефект (цифровое обозначение)	Определение и/или пояснение дефекта	Эскиз сварного соединения с дефектами	Причина возникновения
Скопление пор (2013)	Группа газовых полостей (три или более), расположенных кучно с расстоянием между ними менее трех максимальных размеров большей из полостей		<p>Плохая газовая защита сварочной ванны, в частности, в начальный момент зажигания дуги (так называемая «стартовая пористость»).</p> <p>Сварка по окисленным поверхностям конструкции.</p> <p>Сварка длинной дугой.</p> <p>Плохая прокалка электродов.</p> <p>Покрытие электродов содержит избыток минеральных и органических пластификаторов</p>
Цепочка пор (2014)	Ряд газовых пор, расположенных в линию, обычно параллельно оси сварного шва, с расстоянием между ними менее трех максимальных размеров большей из пор		<p>Неоптимальная конфигурация сварного шва.</p> <p>Неправильный режим сварки.</p> <p>Сварка в узкую разделку.</p> <p>Сварка металла большой толщины на режимах с повышенной погонной энергией.</p> <p>Подсос воздуха через зазор между кромками.</p> <p>Подварка корня шва некачественными электродами.</p> <p>Плохая зачистка соединения</p>
Продолговатая полость (2015)	Несплошность, вытянутая вдоль оси сварного шва. Длина несплошности не менее чем в 2 раза превышает высоту		<p>Наличие на поверхности металла отдельных мест, которые насыщены газами.</p> <p>Остатки ржавчины на поверхности свариваемых кромок.</p> <p>Высокая вязкость металла сварочной ванны</p>
Свищ (2016)	Трубчатая полость в металле сварного шва, вызванная выделением газа. Форма и положение свища определяются режимом затвердевания и источником газа. Обычно свищи группируются в скопления и распределяются елочкой		<p>Неблагоприятная геометрия сварочной ванны при сварке угловых, тавровых и нахлесточных соединений.</p> <p>Высокая вязкость металла сварочной ванны при сварке в потолочном, вертикальном и горизонтальном положениях.</p> <p>Низкая пластичность металла шва.</p> <p>Образование закалочных структур.</p> <p>Внутренние напряжения от неравномерного нагрева</p>

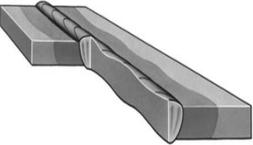
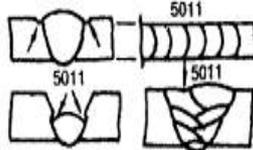
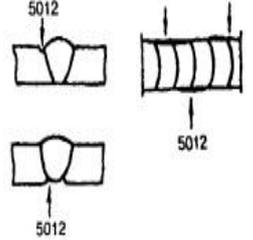
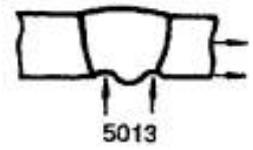
Продолжение таблицы 1.1

Дефект (цифровое обозначение)	Определение и/или пояснение дефекта	Эскиз сварного соединения с дефектами	Причина возникновения
Поверхностная пора (2017)	Газовая пора, которая нарушает сплошность поверхности сварного шва		Повышенная вязкость шлака, расположенного на поверхности жидкой сварочной ванны. Повышена влажность электрода. Грязь на сварочной проволоке. Плохая зачистка места соединения
Усадочная раковина (202)	Полость, образующаяся вследствие усадки во время затвердевания		Внезапный обрыв сварочной дуги. Некачественная заварка кратера
Кратер (2024)	Усадочная раковина в конце валика сварного шва, не заваренная до или во время выполнения последующих проходов		Внезапное прекращение процесса сварки без заварки кратера
Твердое включение (300)	Твердые инородные вещества металлического или неметаллического происхождения в металле сварного шва. Включения, имеющие хотя бы один острый угол, называются остроугольными включениями		Эрозия вольфрамового электрода при аргоно-дуговой сварке. Случайное попадание тугоплавких частиц извне в жидкий металл сварочной ванны
Шлаковое включение (301)	Шлак, попавший в металл сварного шва. В зависимости от условий образования такие включения могут быть: линейными (3011); разобщенными (3012); прочими (3013)		Сложные физико-химические процессы, протекающие в сварочной ванне при сварке покрытыми электродами. Грязь на кромках. Малый сварочный ток. Большая скорость сварки

Продолжение таблицы 1.1

Дефект (цифровое обозначение)	Определение и/или пояснение дефекта	Эскиз сварного соединения с дефектами	Причина возникновения
Флюсовое включение (302)	Флюс, попавший в металл сварного шва. В зависимости от условий образования такие включения могут быть: линейными (3021); разобщенными (3022); прочими (3023)	См. 3011–3013	Низкое качество флюса. Завышенная скорость сварки. Недостаточная сила тока. Случайное попадание гранул флюса в жидкий металл сварочной ванны
Оксидное включение (303)	Оксид металла, попавший в металл сварного шва во время затвердевания		Наличие в металле шва атомарного кислорода. Образование в расплавленном металле сварочной ванны зародышей оксидов: $Al_2O_3$ . $SiO_2$ . $MgO$ . $TiO_2$ . $CaO$ и др.
Металлическое включение (304)	Частица инородного металла, попавшая в металл сварного шва. Различают частицы из: вольфрама; меди; другого металла		Завышена сила тока. Недостаточная скорость сварки. Слишком остро заточен вольфрамовый электрод. Наличие тугоплавких частиц в основном и присадочном металле
Несплавление (401)	Отсутствие соединения между металлом сварного шва и основным металлом или между отдельными валиками сварного шва. Различают несплавления: между валиками (4011); по боковой стороне (4012); в корне сварного шва (4013)		Неправильная подготовка кромок под сварку (форма и угол разделки). Плохая зачистка свариваемых кромок. Плохая подготовка поверхности валиков при многослойной сварке. Химическая неоднородность металла. Недостаточная сила тока. Завышенная скорость сварки. Низкая квалификация сварщика
Непровар (неполный провар) (402)	Несплавление основного металла по всей длине шва или на участке, возникающее вследствие неспособности расплавленного металла проникнуть в корень соединения		Плохая зачистка свариваемых кромок. Недостаточная сила тока. Завышенная скорость сварки. Низкая квалификация сварщика. Неудобное пространственное положение шва

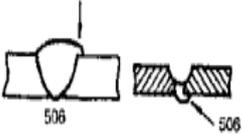
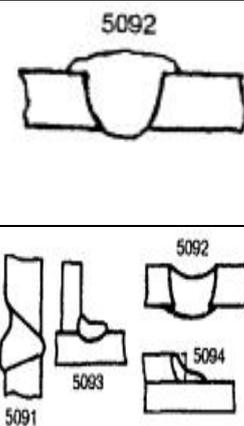
Продолжение таблицы 1.1

Дефект (цифровое обозначение)	Определение и/или пояснение дефекта	Эскиз сварного соединения с дефектами	Причина возникновения
Нарушение формы (500)	Отклонение формы наружных поверхностей сварного шва или геометрии соединения от установленного значения		<p>Низкая квалификация сварщика.  Плохое качество электродов (влажность, нарушение сплошности и неравномерность толщины покрытия).  Колебания напряжения питающей сети.  Сварка от источника с плогопадающей вольт-амперной характеристикой.  Сварка длинной дугой.  Химическая неоднородность основного металла</p>
Подрез непрерывный протяжённый (5011)	Углубление продольное на наружной поверхности валика сварного шва, образовавшееся при сварке		<p>Сварка при повышенном напряжении на дуге.  Чрезмерная скорость сварки.  Неточное ведение электрода по оси стыка.  Неудобное пространственное положение шва.  Недостаточная смачиваемость металла шва</p>
Подрез перемежающийся локальный (5012)			<p>Плохая зачистка свариваемых кромок.  Завышенная сила тока.  Низкая квалификация сварщика.  Нестабильность параметров режима сварки.  Химическая неоднородность основного металла</p>
Усадочная канавка (5013)	Подрез со стороны корня одностороннего сварного шва, вызванный усадкой по границе сплавления		<p>Нарушение геометрических размеров шва.  Неправильный выбор параметров режима сварки.  Низкая квалификация сварщика.  Неудобное пространственное положение шва</p>

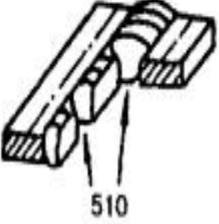
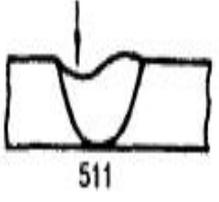
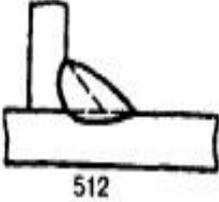
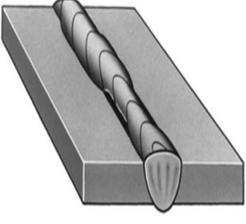
Продолжение таблицы 1.1

Дефект (цифровое обозначение)	Определение и/или пояснение дефекта	Эскиз сварного соединения с дефектами	Причина возникновения
Превышение выпуклости стыкового шва (502)	Избыток наплавленного металла на лицевой стороне стыкового шва сверх установленного значения		<p>Малая скорость сварки.          Низкая квалификация сварщика.          Сварка «углом назад» конструкций с малой толщиной стенки.          Неправильный выбор параметров режима сварки.          Неудобное пространственное положение при сварке.          Однопроходная сварка в узкую разделку</p>
Превышение выпуклости углового шва (503)	Избыток наплавленного металла на лицевой стороне углового шва (на всей длине или на участке) сверх установленного значения		<p>Неправильный выбор параметров режима сварки.          Низкая квалификация сварщика.          Неудобное пространственное положение при сварке.          Некачественная подготовка и сборка деталей под сварку</p>
Превышение проплава (504)	Избыток наплавленного металла на обратной стороне стыкового шва сверх установленного значения		<p>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</p>
Местное превышение проплава (5041)	Местный избыточный проплав сверх установленного значения		<p>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</p>
Неправильный профиль сварного шва (505)	Угол $\alpha$ между поверхностью основного металла и плоскостью, касательной к поверхности сварного шва, менее установленного значения		<p>Малая скорость сварки.          Сварка «углом назад» металла малой толщины.          Плохая жидкотекучесть металла сварочной ванны.          Неправильная геометрия шва.          Высокое поверхностное натяжение</p>

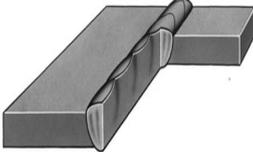
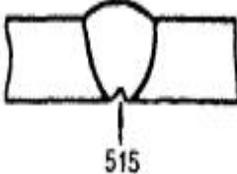
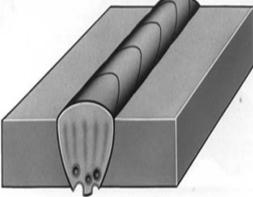
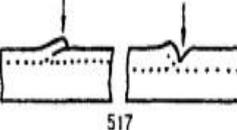
Продолжение таблицы 1.1

Дефект (цифровое обозначение)	Определение и/или пояснение дефекта	Эскиз сварного соединения с дефектами	Причина возникновения
Наплав (506)	Избыток наплавленного металла сварного шва, натекающий на поверхность основного металла, но не сплавленный с ним		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
Линейное смещение (507)	Смещение между двумя свариваемыми элементами, при котором их поверхности располагаются параллельно, но не на требуемом уровне		Нарушение технологического процесса изготовления конструкции. Неправильная сборка конструкции перед сваркой
Угловое смещение (508)	Смещение между двумя свариваемыми элементами, при котором их поверхности располагаются под углом, отличающимся от требуемого		Отсутствие приспособлений для жёсткой фиксации свариваемых деталей в горизонтальном положении. Нарушение технологического процесса изготовления конструкции. Чрезмерная тепловая мощность сварочной дуги при сварке первого шва
Натек (509)	Металл сварного шва, осевший вследствие действия силы тяжести и не имеющий сплавления с соединяемой поверхностью. В зависимости от условий это может быть: натек при горизонтальном положении сварки (5091); натек в нижнем или потолочном положении сварки (5092); натек в угловом сварном шве (5093); натекание в шве нахлесточного соединения (5094)		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

Продолжение таблицы 1.1

Дефект (цифровое обозначение)	Определение и/или пояснение дефекта	Эскиз сварного соединения с дефектами	Причина возникновения
Прожег (510)	Вытекание металла сварочной ванны, в результате которого образуется сквозное отверстие в сварном шве		<p>Химическая неоднородность свариваемого металла.</p> <p>Завышенная сила тока при недостаточной скорости сварки.</p> <p>Некачественная сборка стыка под сварку (под свариваемый шов плохо поджата флюсовая подушка или медная подкладка), чрезмерные зазоры.</p> <p>Низкая квалификация сварщика</p>
Неполностью заполненная разделка кромок (511)	Продольная непрерывная или прерывистая канавка на поверхности сварного шва из-за недостаточности присадочного металла при сварке		<p>Низкая квалификация сварщика.</p> <p>Неправильно выбраны марка и размеры присадочного материала.</p> <p>Нарушение технологии изготовления конструкции.</p> <p>Неправильно разделаны кромки.</p> <p>Неправильное пространственное положение, вызывающее стекание металла на одну сторону</p>
Чрезмерная асимметрия углового шва (512)	Чрезмерное превышение размеров одного катета над другим		<p>Неудобное пространственное положение для формирования шва.</p> <p>Низкая квалификация сварщика.</p> <p>Высокая жидкотекучесть металла сварочной ванны.</p> <p>Нарушение технологии изготовления конструкции.</p> <p>Различная теплопроводность свариваемых деталей</p>
Неравномерная ширина шва (513)	Отклонение ширины от установленного значения вдоль сварного шва		<p>Колебания напряжения питающей сети.</p> <p>Использование при ручной сварке источника питания с пологопадающей или жёсткой вольт-амперной характеристикой.</p> <p>Низкая квалификация сварщика.</p> <p>Плохая подготовка кромок.</p> <p>Сварка длинной дугой.</p> <p>Нарушение технологии сварки при изготовлении конструкции.</p> <p>Неточное направление электрода</p>

Окончание таблицы 1.1

Дефект (цифровое обозначе- ние)	Определение и/или пояснение дефекта	Эскиз сварного соединения с дефектами	Причина возникновения
Неровная поверх- ность (514)	Грубая неравномер- ность формы поверх- ности усиления шва по длине		Низкая квалификация сварщика. Нарушение технологии сварки при изготовлении конструкции. Применение сварочных материалов с низкой жидкотекучестью. Неравномерная скорость перемеще- ния источника нагрева
Вогну- тость одного корня шва (515)	Неглубокая канавка со стороны корня од- ностороннего свар- ного шва, образовав- шаяся вследствие усадки (см. также 5013)		Неправильно подготовлены и собраны стыкуемые кромки. Неправильно выбраны сварочные материалы. Низкая квалификация сварщика. Нарушение технологии сварки при изготовлении конструкции
Пори- стость в корне сварного шва (516)	Наличие пор в корне сварного шва вслед- ствие возникновения пузырьков во время затвердевания ме- талла		Оксиды, загрязнения, влажность на внутренней поверхности свариваемых кромки. Дефекты покрытия электродов. Нарушение режима прокали элект- родов. Низкая квалификация сварщика. «стартовые поры» при сварке леги- рованных сталей электродами с ос- новным покрытием. Малые размеры сварочной ванны, минимальная ширина шва
Возобнов- ление (517)	Местная неровность поверхности в месте возобновления сварки		Низкая квалификация сварщика. Низкое качество покрытых электро- дов. Нарушение режима прокали по- крытых электродов. Низкая жидкотекучесть металла сварочной ванны. Некачественная зачистка конца предыдущего шва

## **1.2 Порядок выполнения работы**

- 1 Получить у преподавателя контролируемый образец.
- 2 Проанализировать требования к параметрам детали, подлежащим контролю.
- 3 Составить перечень контролируемых параметров и дефектов сварного шва. Выполнить измерения параметров.
- 4 Произвести анализ результатов контроля. Сравнить результаты визуального контроля с допустимыми значениями, указанными в НД, выданных преподавателем. Дать заключение о годности контролируемого образца.
- 5 Получить у преподавателя бланк акта (заключения) визуального контроля сварного соединения и заполнить его.
- 6 Оформить отчёт о работе.

## **1.3 Содержание отчёта**

- 1 Название лабораторной работы и цели работы.
- 2 Заполненный акт (заключение) визуального контроля.

### **Контрольные вопросы**

Контрольные вопросы – по разделу 1.1 настоящей лабораторной работы.

## **2 Лабораторная работа № 2. Измерительный контроль сварных соединений**

**Цель работы:** приобретение практических навыков при измерительном контроле параметров сварных соединений.

### **Применяемое оборудование и материалы:**

- набор для визуального и измерительного контроля ВИК-2;
- образцы основного металла, подготовленные под сварку;
- образцы сварных соединений.

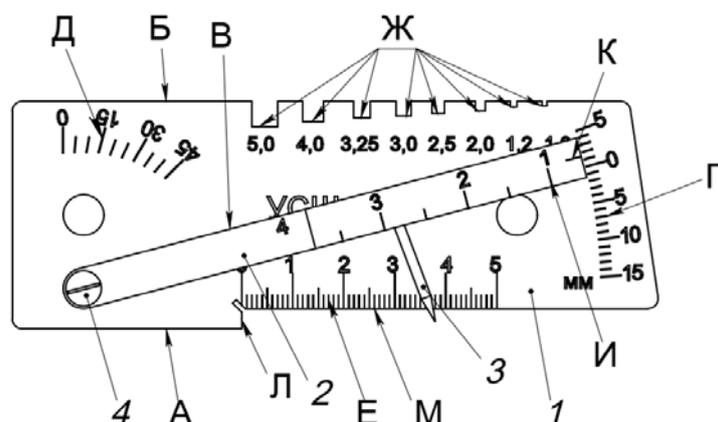
### **2.1 Выполнение измерений параметров сварного соединения**

Измерения размеров осуществляются с помощью универсального шаблона сварщика (УШС-3 или УШС-4), линейки, штангенциркуля, шаблонов и щупов. Линейки и штангенциркуль используются для контроля толщины детали.

**Универсальный шаблон сварщика (УШС-3)** предназначен для контроля размеров электродов, разделки кромок основного металла, а также размеров стыкового сварного соединения.

Шаблон состоит из основания и установленного на оси движка с закреплённым на нем указателем (рисунок 2.1). На лицевой поверхности основания

расположены три цифровых шкалы для измерения следующих параметров элементов шва: **Г** – глубины дефектов, глубины разделки до корневого слоя, превышения кромок, высоты усиления шва; **Д** – угла скоса кромок; **Е** – величины притупления разделки кромок и ширины выпуклости шва.



1 – основание; 2 – движок; 3 – указатель; 4 – ось; А, Б, В – установочные плоскости; Л – торцовая грань; М – продольное ребро линейки с цифровой шкалой Е для измерения величин притупления и ширины шва; Г – шкала для измерения высоты выпуклости сварного шва; К – риска-индекс для снятия отсчёта по шкале Г; Д – шкала для измерения углов скоса кромок; Ж – пазы для измерения диаметров электродов; И – шкала для измерения величины зазора

Рисунок 2.1 – Шаблон сварщика универсальный УШС-3

Один конец движка выполнен в виде клина. На клиновой части движка находится шкала **И**. Цифры шкалы соответствуют толщине движка в данном сечении (толщина меняется от 0,5 до 4 мм). Такой профиль движка позволяет измерять с помощью шкалы **И** зазор между свариваемыми деталями. На клиновом конце движка нанесена риска **К**, являющаяся индексом для шкалы **Г**.

Пазы **Ж** основания позволяют контролировать диаметр используемых электродов.

Для контроля глубины дефектов (подрезов, вмятин, забоин), смещения кромок, глубины разделки стыка до корневого слоя и высоты усиления шва шаблон следует установить на образующую поверхность изделия плоскостью **А** (рисунки 2.2–2.4). Затем повернуть движок вокруг оси до соприкосновения конца указателя с измеряемой поверхностью. Снять отсчёт по шкале **Г** с помощью риски **К**.

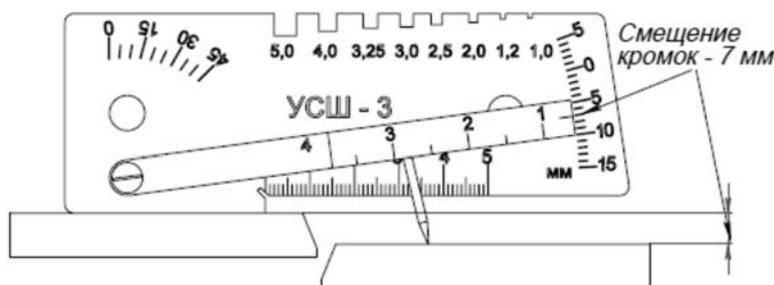


Рисунок 2.2 – Схема измерения смещения кромок деталей

Контроль притупления и ширины шва следует производить с помощью шкалы **Е**, пользуясь ею как измерительной линейкой (рисунки 2.5 и 2.6).

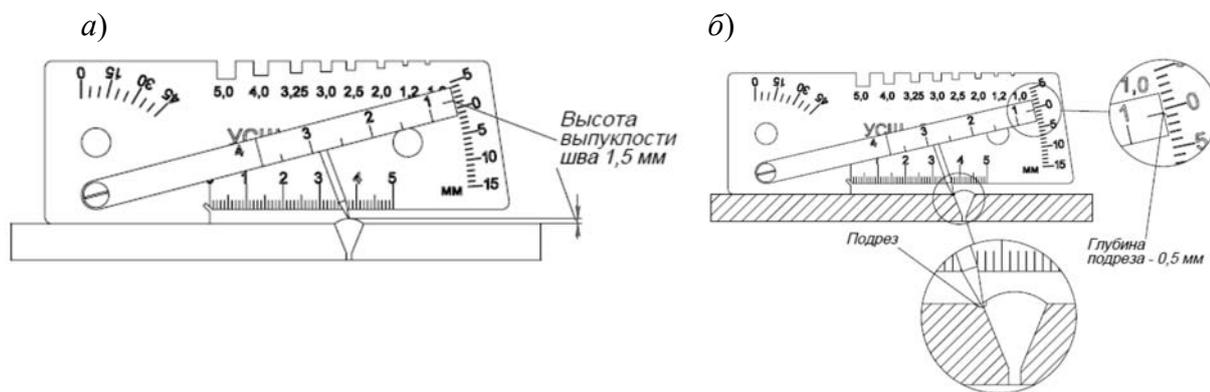


Рисунок 2.3 – Измерение высоты усиления (а) и глубины подреза шва (б)

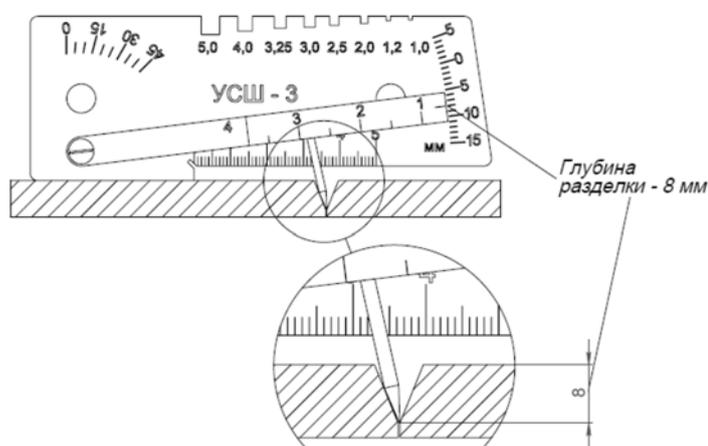


Рисунок 2.4 – Схема измерения глубины разделки стыка

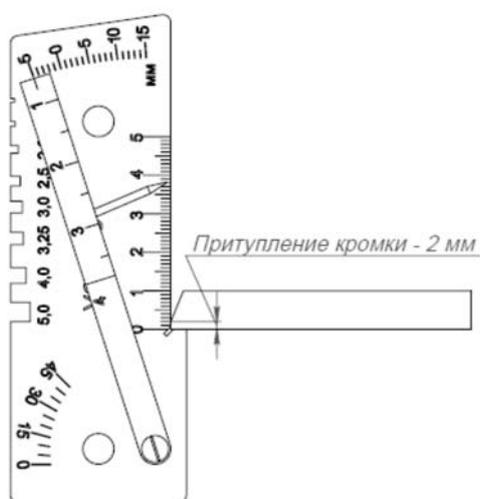


Рисунок 2.5 – Схема измерения размера притупления разделки

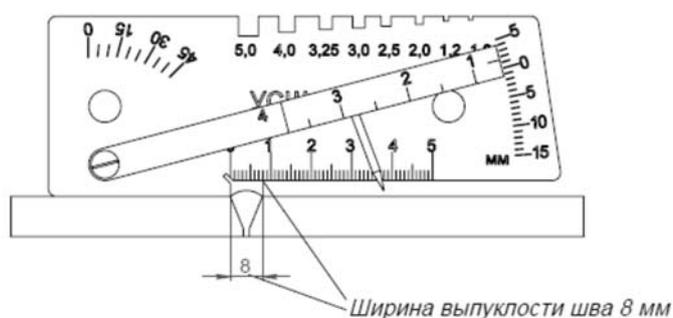


Рисунок 2.6 – Схема измерения ширины шва

Для контроля величины зазора между свариваемыми деталями следует ввести клиновую часть движка в контролируемый зазор до упора. Затем снять отсчёт по шкале **И** (рисунок 2.7).

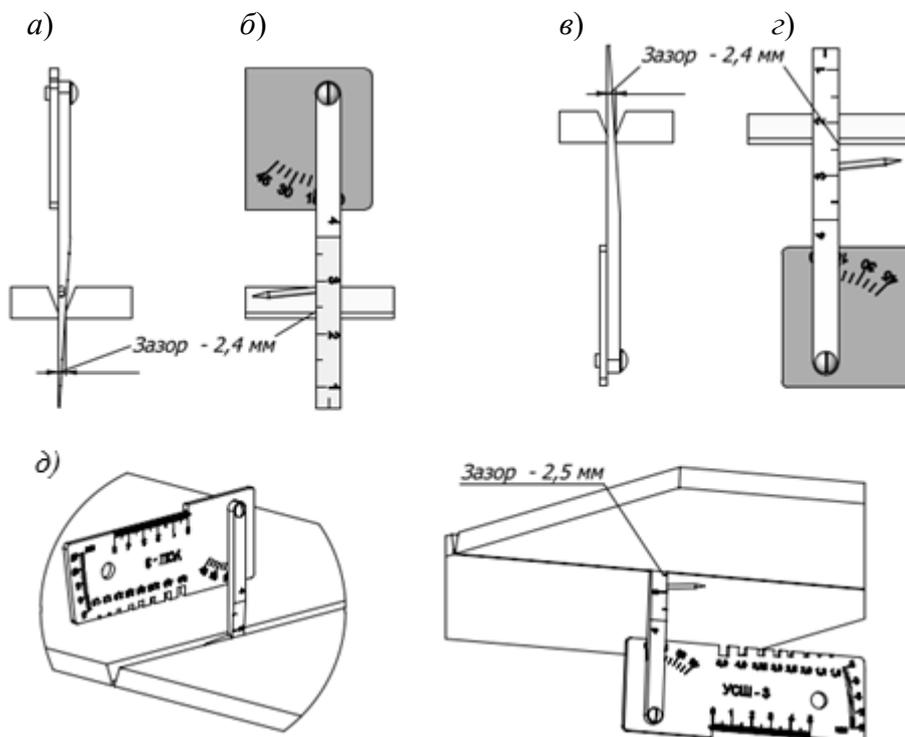


Рисунок 2.7 – Схема измерения зазора в стыковом соединении

Для контроля углов скоса кромок установить шаблон плоскостью **Б** на образующую поверхность изделия (рисунок 2.8). Повернуть движок до совмещения плоскости **В** движка с измеряемой поверхностью. Снять отсчёт по шкале **Д** основания, пользуясь плоскостью **В** движка с индексом.

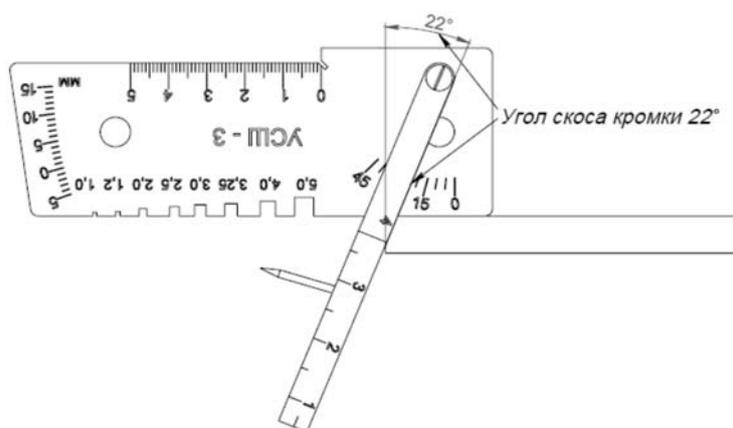


Рисунок 2.8 – Схема измерения угла скоса разделки

Для определения диаметра электрода (электронной проволоки) его вставляют в пазы **Ж** шаблона, используя пазы как калибры-скобы.

## ***2.2 Порядок выполнения работы***

- 1 Получить у преподавателя контролируемый образец.
- 2 Проанализировать требования к параметрам, подлежащим контролю.
- 3 Составить перечень контролируемых параметров и возможных дефектов сварного соединения.
- 4 Выполнить измерения параметров и дефектов сварного соединения.
- 5 Сравнить результаты контроля с допустимыми значениями, указанными в нормативных документах, выданных преподавателем. Дать заключение о годности контролируемого образца.
- 6 Получить у преподавателя бланк акта (заключения) измерительного контроля сварного соединения и заполнить его.
- 7 Оформить отчёт о работе.

## ***2.3 Содержание отчёта***

- 1 Название лабораторной работы и цели работы.
- 2 Заполненный акт (заключение) измерительного контроля.

## ***Контрольные вопросы***

- 1 Назначение и область применения измерительных инструментов, входящих в комплект ВИК-2.
- 2 Дефекты основного металла, подготовленного к сварке.
- 3 Перечислить основные дефекты подготовки узла к сварке.
- 4 Перечислить основные поверхностные дефекты сварного соединения и дефекты формы шва.

## **3 Лабораторная работа № 3. Магнитопорошковый контроль**

**Цель работы:** изучение физических основ и технологии магнитопорошкового контроля.

### **Применяемое оборудование и материалы:**

- электромагнит;
- образцы с дефектами различной величины;
- магнитный порошок и суспензия, аэрозоль;
- дефектоскоп 77ПМД-3М.

### ***3.1 Краткие теоретические сведения***

#### ***Сущность магнитопорошкового метода контроля***

Магнитопорошковый метод основан на обнаружении магнитных полей рассеяния над дефектами с помощью ферромагнитных частиц. Магнитопорошковой дефектоскопии подвергаются ферромагнитные материалы с относительной магнитной проницаемостью не менее 40 ед.

Для обнаружения дефектов применяют магнитные дефектоскопические материалы. Используют сухой порошок, магнитную суспензию или быстро высыхающую магнитогумированную пасту.

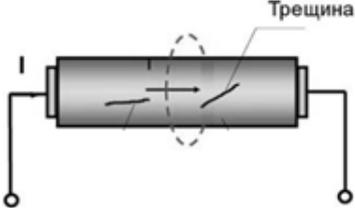
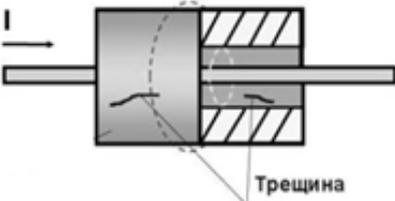
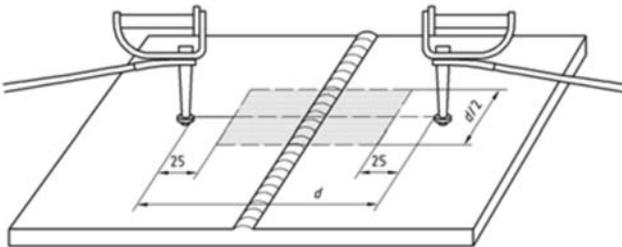
Сущность магнитопорошкового метода заключается в том, что на поверхность намагниченной детали наносится магнитный порошок. Под действием поперечной силы частицы порошка перемещаются по поверхности детали и скапливаются в виде валиков над дефектами.

В зависимости от последовательности выполнения операций различают два способа магнитопорошкового контроля: в приложенном поле (СПП) и по остаточной намагниченности (СОН). При первом способе изделие первоначально покрывается порошком, затем намагничивается. При втором способе, наоборот, – первоначально намагничивается до насыщения, а после выключения намагничивающего поля наносится магнитная суспензия.

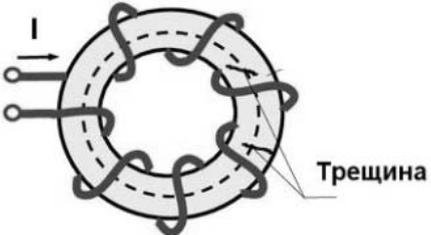
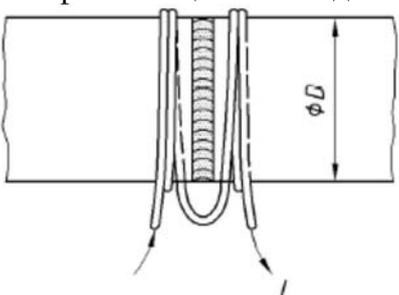
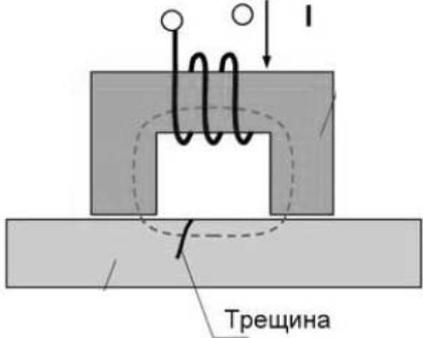
### **Схемы намагничивания и режимы контроля**

Намагничивание сварного соединения обычно осуществляют способами, представленными в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Способы и схемы намагничивания

Способ и схема намагничивания	Формула для расчёта силы намагничивающего тока
<p>Пропусканием тока по всему объекту</p> 	$I = 3dH,$ <p>где <math>d</math> – наружный диаметр объекта контроля</p>
<p>Пропусканием тока по проводнику, помещённому в сквозное отверстие в объекте</p> 	$I = \pi d'H,$ <p>где <math>d'</math> – наружный или внутренний диаметр объекта контроля</p>
<p>Пропусканием тока по части объекта</p> 	$I = 1,5H\sqrt{l^2 + c^2},$ <p>где <math>l</math> – расстояние между токоподводами; <math>c</math> – ширина контролируемого участка</p>

Окончание таблицы 3.1

Способ и схема намагничивания	Формула для расчёта силы намагничивающего тока
<p>Пропусканием тока по тороидальной обмотке</p> 	$I = \frac{\pi DH}{n},$ <p>где <math>D</math> – диаметр объекта контроля;  <math>n</math> – число витков обмотки</p>
<p>При помощи соленоида</p> 	$I = \frac{H\sqrt{L^2 + D^2}}{n},$ <p>где <math>D</math> – наружный диаметр объекта контроля;  <math>n</math> – число витков обмотки соленоида;  <math>L</math> – длина соленоида</p>
<p>При помощи электромагнита или постоянного магнита</p> 	<p>Значение силы намагничивающего тока определяется экспериментально</p>

*Примечание* – Формула для способа намагничивания при помощи соленоида справедлива только для соленоида без объекта контроля. При внесении с соленоид объекта из ферромагнитного материала указанной формулой можно пользоваться только в первом приближении, а требуемый ток намагничивания должен быть уточнён экспериментально для конкретного объекта контроля.

Основным параметром режима МПК является напряжённость намагничивающего поля  $H$ . Величина  $H$  зависит от магнитных характеристик объекта контроля, способа контроля, наличия (отсутствия) немагнитного покрытия.

При контроле СПП напряжённость магнитного поля определяют по коэрцитивной силе  $H_c$  материала объекта контроля при помощи номограмм, приведённых на рисунке 3.1, с учётом выбранного уровня чувствительности.

При контроле СОН величина  $H$  равна значению напряжённости технического насыщения материала объекта контроля.

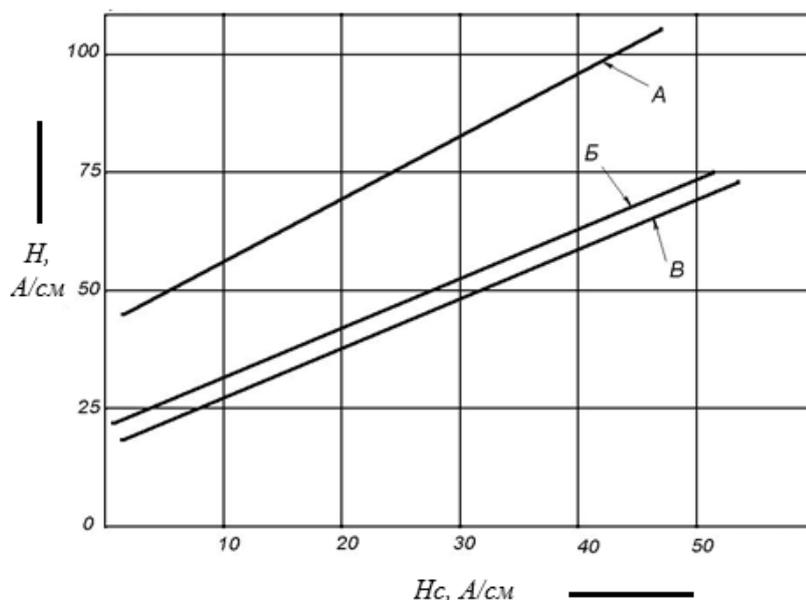


Рисунок 3.1 – Номограммы для выбора требуемого значения напряжённости намагничивающего поля

### ***Порядок выполнения работы***

- 1 Ознакомиться с заданием.
- 2 Определить условный уровень чувствительности.
- 3 Указать требуемую шероховатость поверхности объекта контроля.
- 4 Выбрать способ МПК, вид, способ и схему намагничивания.
- 5 Определить режимы намагничивания.
- 6 Выполнить контроль образца.
- 7 Указать типичные признаки дефекта по картине осаждения порошка.
- 8 Получить у преподавателя бланк акта (заключения) магнитопорошкового контроля сварного соединения и заполнить его.
- 9 Оформить отчёт о работе.

### ***3.3 Содержание отчёта***

- 1 Название лабораторной работы и цели работы.
- 2 Схема намагничивания и результаты расчёта режимов намагничивания.
- 3 Заполненный акт (заключение) МПК.

### ***Контрольные вопросы***

- 1 Уровни чувствительности МПК.
- 2 Факторы, влияющие на чувствительность МПК.
- 3 Виды, способы и схемы намагничивания.
- 4 Способы МПК.
- 5 Расчёт режимов МПК.
- 6 Способы размагничивания объектов контроля.

## 4 Лабораторная работа № 4. Цветной метод контроля материалов, изделий и сварных соединений

**Цель работы:** изучение и практическое освоение цветного метода контроля.

**Применяемое оборудование и материалы:**

- пенетрант;
- очиститель;
- проявитель;
- ветошь;
- лупа;
- осветитель LED UV LIGHT TRUE 365 nm.

### 4.1 Краткие теоретические сведения

#### *Сущность цветного метода контроля*

Цветной метод контроля входит в группу капиллярных методов, основанных на проникновении веществ в полости дефектов контролируемых объектов. Цветной метод основан на регистрации контраста цветного индикаторного следа на фоне поверхности контролируемого объекта в видимом излучении.

Также к группе капиллярных методов относят люминесцентный и люминесцентно-цветной методы неразрушающего контроля.

Люминесцентный метод основан на регистрации контраста люминесцирующего видимым излучением следа на фоне поверхности контролируемого объекта в длинноволновом ультрафиолетовом излучении.

Люминесцентно-цветной метод основан на регистрации контраста цветного или люминесцирующего индикаторного следа на фоне поверхности объекта контроля в видимом или длинноволновом ультрафиолетовом излучении.

Основным индикаторным средством при цветном методе контроля служит пенетрант – специальная жидкость ярко-алого цвета с высокой проникающей способностью.

Для поиска трещин с раскрытием менее 0,1 мм контролируемый участок очищают от загрязнений, обезжиривают растворителем (рисунок 4.1, *а*) и покрывают слоем пенетранта (рисунок 4.1, *б*). После выдержки (от 7 до 15 мин, для пропитки пенетрантом возможных дефектов) излишки пенетранта удаляют безворсовой хлопчатобумажной ветошью (рисунок 4.1, *в*). Далее контролируемую поверхность покрывают проявителем, представляющим собой пористое вещество белого цвета. В течение 10...15 мин проявитель адсорбирует оставшийся в полости дефекта пенетрант за счёт капиллярного эффекта. При этом пенетрант вследствие хаотичности пор расходится над дефектом по ширине. В результате красный след на белом фоне над дефектом становится достаточно широк, чтобы быть различимым человеческим глазом (рисунок 4.1, *г*).

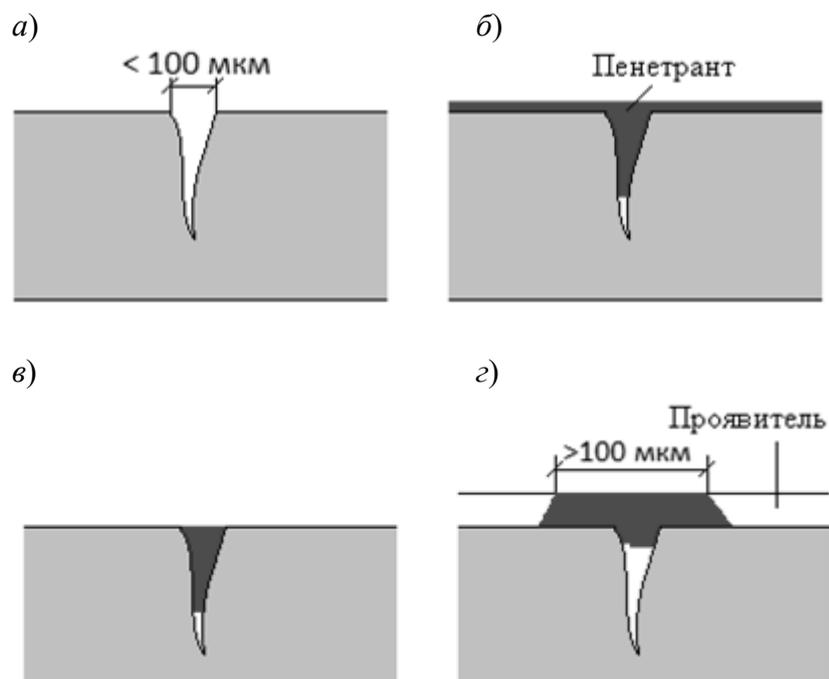


Рисунок 4.1 – Поиск поверхностных дефектов в металле цветным методом

### ***Стадии капиллярного контроля***

#### **1 Подготовка изделия к контролю.**

Подготовка к контролю включает предварительную очистку контролируемой поверхности и полостей несплошностей всевозможных загрязнений, жировых плёнок, лакокрасочных покрытий, моющих составов и дефектоскопических материалов, а также сушку поверхности объекта и полостей несплошностей.

**Механическая очистка.** Шлак, ржавчина, окалина и ряд других загрязнений удаляют механическим способом – струёй абразивного материала или механической обработкой контролируемой поверхности.

Этим способом эффективно удаляются загрязнения только с контролируемой поверхности, но не из дефектов. Кроме того, во всех случаях, особенно при использовании дробеструйной обработки, предварительную очистку нужно производить таким образом, чтобы устья дефектов не оказались закрытыми вследствие пластической деформации поверхностного слоя контролируемого материала или из-за попадания в них остатков абразивных материалов.

**Очистка растворением.** Очистка производится промывкой с применением проточной воды, моющих растворов или протиркой хлопчатобумажной салфеткой, смоченной растворителем, а также в парах органических растворителей.

**Химическая очистка.** Химическая очистка производится с использованием растворов химических реактивов, удаляющих остатки масел, жира, краски или травящих материалов. Вещества, оставшиеся после проведения химической очистки, могут вступать в реакцию с пенетрантом и значительно снизить эффективность контроля. Например, кислоты могут значительно уменьшить люминесценцию и цветовой контраст пенетрантов. Поэтому химические вещества

должны быть удалены с контролируемой поверхности объекта после очистки.

**Ультразвуковая очистка.** Это очистка растворителями, водой или водными растворами химических соединений в ультразвуковом поле с использованием ультразвукового капиллярного эффекта.

**Сушка.** В качестве заключительной стадии подготовки контролируемые поверхности должны быть полностью высушены, чтобы в дефектах не осталось следов моющих растворов или растворителей.

2 Нанесение на контролируемую поверхность проникающей индикаторной жидкости (пенетранта).

Пенетрант наносится на контролируемую поверхность распылением, кистью, обливанием или погружением в него объекта контроля.

3 Удаление излишков пенетранта с поверхности объекта контроля.

Избыток пенетранта должен удаляться с контролируемой поверхности в кратчайший промежуток времени от момента окончания заполнения полостей дефектов до момента начала проявления. Применение очистителя должно осуществляться способом, исключающим удаление пенетранта из полостей дефектов.

Избыток пенетранта удаляют одним из следующих способов:

- протирка – удаление пенетранта безворсовой хлопчатобумажной тканью с применением или без применения очищающего состава или растворителя;
- промывка – удаление пенетранта водой, специальным очищающим составом или их смесями (погружением или безворсовой хлопчатобумажной тканью, смоченной очищающим составом).

**Сушка.** Перед использованием проявителей влажную контролируемую поверхность объекта подвергают естественной сушке или сушке в потоке воздуха. Допускается сушка при повышенной температуре, в том числе обдув тёплым воздухом, а также протирка чистой безворсовой хлопчатобумажной тканью.

4 Нанесение проявителя.

Нанесение проявителя должно производиться в кратчайший срок после удаления избытка пенетранта с контролируемой поверхности объекта. Проявитель наносится распылением, электрораспылением, воздушной взвесью, погружением, обливанием, посыпанием, наклеиванием, кистью.

Продолжительность процесса проявления лежит в пределах 10...30 мин. Отсчёт времени проявления начинается после нанесения сухого порошкового проявителя или сразу после высыхания слоя суспензионного проявителя.

5 Анализ индикаторного рисунка и оформление результатов контроля.

При цветном методе следует применять комбинированное освещение (к общему освещению добавляется местное). Применять одно общее освещение допускается в случаях, когда по условиям технологии использовать местное освещение невозможно. На стационарных рабочих местах применение одного местного освещения недопустимо.

При использовании люминесцентных ламп дневного света общая освещённость рабочего места должна составлять 300...750 лк, а комбинированного – 750...2500 лк. При использовании ламп накаливания аналогичные диапазоны освещения составляют соответственно 200...500 и 500...2000 лк.

## ***4.2 Порядок выполнения работы***

- 1 Изучить СТБ 1172–99 и ознакомиться с заданием.
- 2 Определить условный уровень чувствительности.
- 3 Указать требуемую шероховатость поверхности объекта контроля.
- 4 Выбрать время выдержки пенетрант и время проявления.
- 5 Выполнить контроль образца.
- 6 Произвести осмотр контролируемого участка.
- 7 Указать типичные признаки дефекта по индикаторному рисунку.
- 8 Получить у преподавателя бланк акта (заключения) капиллярного контроля сварного соединения и заполнить его.
- 9 Оформить отчёт о работе.

## ***4.3 Содержание отчёта***

- 1 Название лабораторной работы и цели работы.
- 2 Эскиз объекта контроля с дефектами.
- 3 Заполненный акт (заключение) капиллярного контроля.

## ***Контрольные вопросы***

- 1 В чем заключается капиллярный метод контроля?
- 2 В каком порядке проводится капиллярный контроль?
- 3 Какие дефекты можно выявить капиллярным методом?
- 4 В чем отличие цветного и люминесцентного методов контроля?
- 5 Каковы преимущества капиллярного метода перед другими существующими методами неразрушающего контроля?
- 6 Перечислить технические ограничения цветного метода.

## **5 Лабораторная работа № 5. Освоение навыков расшифровки рентгеновских снимков и оформление полученных результатов**

**Цель работы:** приобретение навыков расшифровки рентгеновских снимков.

### **Применяемое оборудование и материалы:**

- маркировочные знаки;
- эталоны чувствительности;
- рентгеновские плёнки;
- негатоскоп.

### ***5.1 Основные сведения о расшифровке радиографических снимков***

Просмотр и расшифровку снимков следует производить после их полного высыхания в затемнённом помещении с применением специальных осветителей –

негатоскопов. Размеры освещённого поля должны регулироваться при помощи подвижных шторок или экранов-масок в таких пределах, чтобы освещённое поле полностью перекрывалось снимком.

Снимки, допущенные к расшифровке, должны удовлетворять следующим требованиям:

- на снимках не должно быть пятен, полос, загрязнений, повреждений эмульсионного слоя и других дефектов, затрудняющих их расшифровку;
- на снимках должны быть видны изображения ограничительных меток, маркировочных знаков и эталонов чувствительности.

Расшифровка и оценка качества сварных соединений по снимкам, не имеющим изображений эталонов чувствительности, допускается:

- при панорамном просвечивании кольцевых сварных соединений при одновременном экспонировании более четырёх плёнок. В этих случаях, независимо от общего числа снимков, допускается устанавливать по одному эталону чувствительности на каждую четверть длины окружности сварного соединения;
- при невозможности применения эталонов чувствительности. В этих случаях чувствительность определяется на имитаторах сварного соединения при отработке режимов контроля.

Оптическая плотность изображений контролируемого участка шва, околошовной зоны и эталона чувствительности должна быть не менее 1,5. Уменьшение оптической плотности изображения сварного соединения на любом участке этого изображения по сравнению с оптической плотностью изображения эталона чувствительности не должно превышать 1,0.

Чувствительность контроля не должна превышать значений, приведённых в таблице 5.1. Конкретные значения чувствительности (класса чувствительности) должны устанавливаться нормативной документацией на контролируемые изделия либо определяться по таблице 5.1 в зависимости от контролируемой толщины и класса чувствительности.

Таблица 5.1 – Предельные значения требуемой чувствительности контроля

Контролируемая толщина, мм	Класс чувствительности		
	I	II	III
До 5 включ.	0,10	0,10	0,20
Св. 5 до 9 включ.	0,20	0,20	0,30
Св. 9 до 12 включ.	0,20	0,30	0,40
Св. 12 до 20 включ.	0,30	0,40	0,50
Св. 20 до 30 включ.	0,40	0,50	0,60

Для сокращения записи вида и характера дефектов при расшифровке снимков и оформлении результатов контроля используют условные обозначения буквами русского или латинского алфавита в соответствии с таблицей 5.2.

Таблица 5.2 – Условные обозначения дефектов

Вид дефекта	Условное обозначение		Характер дефекта	Цифровое обозначение дефекта по ГОСТ 30242	Условное обозначение	
	Русский алфавит	Латинский алфавит			Русский алфавит	Латинский алфавит
Трещины	Т	Е	Трещина вдоль шва	101	Тв	Еа
			Трещина поперёк шва	102	Тп	Еб
			Трещина разветвленная	106	Тр	Ес
Непровары	Н	D	Непровар в корне	4013	Нк	Da
			Непровар между валиками	4012	Нв	Db
			Непровар по боковой стороне	4011	НР	DC
Поры	П	А	Отдельная пора	2011	П	Aa
			Цепочка	2014	ЦП	Ab
			Скопление	2013	СП	Ac
Шлаковые включения	Ш	В	Отдельное включение	301	Ш	Va
			Цепочка		ЦШ	Vb
			Скопление		СШ	Vc
Вольфрамовые включения	В	С	Отдельное включение	3041	В	Ca
			Цепочка		ЦВ	Cb
			Скопление		СВ	Cc
Оксидные включения	О	О		303		
Вогнутость корня шва	Вкш	Fa		515		
Превышение проплава	Ппр	Fb		504		
Смещение кромок	Скр	Fd		507		

При расшифровке снимков определяются размеры изображений трещин, непроваров, пор и включений, а при необходимости оценивается величина вогнутости корня шва и превышения проплава (если корень шва недоступен для внешнего осмотра).

Примеры сокращённой записи дефектов приведены на рисунке 5.1.

При оформлении результатов расшифровки снимков определённые по снимкам размеры следует округлять до ближайших значений из ряда: 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,8; 1,0; 1,2; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0 или ближайших целых значений (в миллиметрах), если определённый по снимку размер превышает 3,0 мм.

При измерении размеров дефектов до 1,5 мм применяется измерительная лупа с ценой деления 0,1 мм, свыше 1,5 мм – любое средство измерения с ценой деления 1,0 мм.

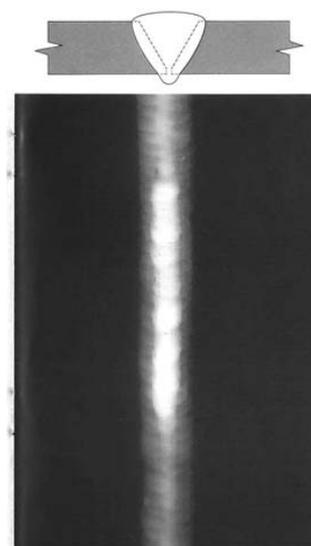
Наименование дефекта: выпуклость корня сварного шва.

Описание дефекта: избыток электродного металла в корне шва.

Выраженные особенности изображения: область с меньшей плотностью почернения вдоль центра сварного шва или отдельные светлые пятна круглой формы.

Расшифровка изображения: выпуклость корня шва длиной 80 мм; пора 1 мм; два шлаковых включения длиной 3 мм и шириной 1 мм.

Сокращённая запись:  
2ШЗх1; П1; Σ7; Впк80.



Наименование дефекта: вогнутость корня шва.

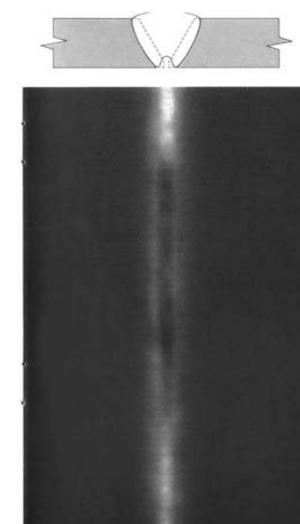
Описание дефекта: ослабление сварного шва со стороны корня из-за недостаточного количества электродного металла.

Выраженные особенности изображения: удлинённое, неравномерное почернение с неровными краями вдоль середины сварного шва.

Расшифровка изображения:

Вогнутость корня шва длиной 85 мм; пора 0,6 мм.

Сокращённая запись:  
П0,6; Вгк85.



Наименование дефекта: непровар в корне.

Описание дефекта: недостаточно проваренный сварной шов.

Выраженные особенности изображения: выраженная линия почернения в зоне дефекта.

Расшифровка изображения: непровар в корне длиной 70 мм; две поры по 0,8 мм.

Сокращённая запись:  
2П0,8; Нк70.

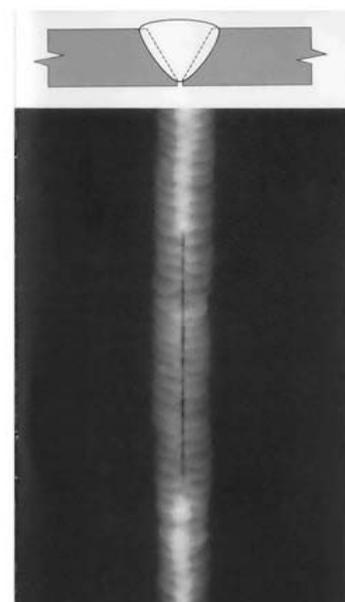


Рисунок 5.1 – Примеры сокращённой записи дефектов

По результатам контроля составляется заключение о качестве сварных соединений и справка о результатах радиографического контроля (выдаётся по требованию заказчика). Форма заключения о качестве сварных соединений приведена на рисунке 5.2.

Наименование организации, осуществляющей контроль  <p style="text-align: center;"><b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ №</b> <b>о результатах радиографического контроля</b></p> Заключение составлено в соответствии с СТБ, ЕН, ГОСТ, СНиП, ВСН, РД (ненужное зачеркнуть) По внешнему осмотру сварные соединения соответствуют требованиям нормативных документов  Способ сварки - _____, объем контроля - _____ %, диаметр Н толщина ( _____ Н _____ ) мм.  _____ (наименование, адрес объекта контроля)								
Номер заявки	-Ф.И.О. и клеймо сварщика	Номер сварного соединения	Номер участка сварного соединения	Номер снимка	Чувствительность контроля, мм	Обнаруженные дефекты	Оценка участка сварного соединения	Общая оценка сварного соединения
Контроль произвёл _____ (должность, подпись, фамилия) Заключение выдал _____ (должность, подпись, фамилия)  М. П.  Начальник лаборатории _____ (подпись, фамилия) Дата проведения контроля _____ 200 ____ г. Дата выдачи заключения _____ 200 ____ г.								

Рисунок 5.2 – Форма заключения о результатах радиографического контроля

В графе «Обнаруженные дефекты» после условного обозначения дефектов указываются их размеры в миллиметрах для:

- сферических пор – диаметр;
- удлиненных пор, шлаковых и вольфрамовых включений – длина и ширина (через знак умножения);
- цепочек, скоплений, окисных включений, непроваров и трещин – длина.

Для цепочек и скоплений пор, шлаковых и вольфрамовых включений после условного обозначения дефектов, входящих в цепочку или скопление, указываются максимальные ширина или диаметр и длина этих дефектов (через знак умножения).

При наличии на снимке изображений одинаковых дефектов (одного вида с одинаковыми размерами) допускается не записывать каждый из дефектов отдельно, а указывать перед условным обозначением дефектов их число.

Для сокращенной записи максимальной суммарной длины дефектов должно использоваться условное обозначение  $\Sigma$ . После условного обозначения максимальной суммарной длины дефектов указывается эта длина в миллиметрах.

Для непроваров, пор и шлаковых включений (если требует техническая документация на контроль) после указания линейных размеров через тире указывается высота дефекта.

За высоту пор принимается диаметр или ширина их изображения на снимке.

Высота дефектов указывается в процентах к наименьшей из толщин свариваемых элементов или в миллиметрах.

Для цепочек и скоплений пор и включений в заключении указывается высота максимального дефекта, входящего в цепочку или скопление.

При отсутствии на снимках изображений дефектов в графе «Обнаруженные дефекты» заключения (см. рисунок 5.2) делается прочерк.

При обнаружении на снимке изображений дефектов, не перечисленных в таблице 5.2, в заключении следует указывать полное наименование дефектов.

Оценка качества сварного соединения проводится по каждому снимку данного соединения. При отсутствии недопустимых дефектов на снимке в графе заключения «Оценка участка сварного соединения» производится запись «годен», а при наличии хотя бы одного недопустимого дефекта – «не годен». При положительной оценке качества всех участков сварного соединения в графе «Общая оценка сварного соединения» заключения следует производить запись «годен». При выявлении на одном или нескольких участках сварного соединения недопустимых дефектов в графе заключения «Общая оценка сварного соединения» делается запись «не годен» и указывается ремонтпригодность сварного соединения («вырезать» или «ремонт»).

Заключение о качестве сварных соединений должно быть оформлено в двух экземплярах. Оба экземпляра заверяются печатью лаборатории, проводившей контроль. Все выдаваемые лабораторией заключения должны быть зарегистрированы в журнале радиографического контроля.

## ***5.2 Порядок выполнения работы***

- 1 Изучить правила расшифровки радиографических снимков.
- 2 Получить у преподавателя не менее пяти радиографических снимков дефектных сварных швов и соответствующее количество бланков заключений о результатах радиографического контроля.
- 3 Провести расшифровку снимков и оформление результатов контроля.

### 5.3 Содержание отчёта

- 1 Название лабораторной работы и цели работы.
- 2 Заключение о результатах радиографического контроля.

#### Контрольные вопросы

- 1 Требования к снимкам, допущенным к расшифровке.
- 2 Что такое чувствительность радиографического контроля?
- 3 Условные обозначения дефектов, используемые при расшифровке снимков и оформлении результатов радиографического контроля.
- 4 Требования к заключению о качестве сварных соединений по результатам радиографического контроля.

## 6 Лабораторная работа № 6. Изучение конструкции и функциональных возможностей ультразвукового дефектоскопа УД2-102

**Цель работы:** получение практических навыков УЗ-контроля сварных соединений.

#### Применяемое оборудование и материалы:

- комплект стандартных образцов;
- комплект испытательных образцов;
- ультразвуковой дефектоскоп УД2-102.

#### 6.1 Описание дефектоскопа УД2-102

Дефектоскоп УД2-102 предназначен для контроля продукции на наличие дефектов типа нарушения сплошности и однородности материалов и готовых изделий, для измерения глубины и координат их залегания, измерения отношений амплитуд сигналов от дефектов. Некоторые технические характеристики дефектоскопа УД2-102 приведены в таблице 6.1.

Таблица 6.1 – Технические характеристики дефектоскопа УД2-102

Параметр	Значение
1 Значения номинальных частот дефектоскопа, МГц	0,4; 1,25; 2,5; 5,0
2 Диапазон рабочих температур окружающего воздуха	От минус 10 °С до плюс 50 °С
3 Питание дефектоскопа осуществляется от встроенной аккумуляторной батареи напряжением, В	12
4 Масса дефектоскопа с аккумуляторной батареей, не более	2,15 кг
5 Габаритные размеры дефектоскопа без ручки переноса, не более	190-270-60 мм

## Основные пункты меню дефектоскопа УД2-102.

1 Основными пунктами меню, которые используются дефектоскопистом при настройке прибора, являются:

- режим работы;
- настройка;
- общие параметры;
- зона развертки;
- поиск.

Описание этих пунктов меню, а также входящих в них подпунктов изложено в таблицах 6.2–6.6.

2 Из пункта меню «Режим работы» (см. таблицу 6.2) производится загрузка или просмотр настроек дефектоскопа.

Таблица 6.2 – Состав пункта меню «Режим работы»

Наименование подпункта	Краткое описание
Вызов блока настроек	Вызывается из памяти ранее созданный блок настроек
Создание-запись настройки	Осуществляется переход к пункту меню «Настройка»
Создание блока этапов	Переход к режиму создания блока этапов контроля
Просмотр блоков настроек	Просмотр ранее созданных блоков настроек
Просмотр настроек	Просмотр ранее созданных настроек
Просмотр протоколов	Просмотр ранее созданных протоколов контроля
Выбор номера протокола отчёта	Выбор номера ранее созданного протокола отчета

3 Из пункта меню «Настройка» (см. таблицу 6.3) производится переход к подпунктам, в которых задаются параметры конкретной настройки. Некоторые параметры настройки задаются непосредственно в данном пункте меню.

Таблица 6.3 – Состав пункта меню «Настройка»

Наименование подпункта	Краткое описание
Общие параметры	Переход к пункту меню «Общие параметры»
Зона, развёртка	Переход к пункту меню «Зона, развертка»
ВРЧ	Переход к пункту меню, в котором задаются параметры временной регулировки чувствительности
Настройка по СО-2	Включение/выключение режима настройки глубиномера по СО-2
Стоп кадр	Включение/выключение режима «замораживания» изображения на экране дефектоскопа
Требуемая чувствительность	Отображается/корректируется значение требуемой браковочной чувствительности
Фактическая чувствительность	Отображается значение браковочной чувствительности
Номер ПЭП	Отображается/корректируется заводской номер пьезоэлектрического преобразователя (ПЭП)
Код настройки	Пароль защиты от несанкционированного изменения параметров настройки
Запись настройки	Активизация записи настройки под указанным номером

4 В пунктах меню «Общие параметры» и «Зона, развёртка» (см. таблицы 6.4 и 6.5) задаются параметры конкретной настройки.

Таблица 6.4 – Состав пункта меню «Общие параметры»

Наименование подпункта	Краткое описание
Частота	Частота генератора импульсов возбуждения
Ампл. Зонд.	Амплитуда зондирующего импульса (высокая/низкая)
Вкл. ПЭП	Указывается способ подключения используемого ПЭП (совмещенный, отдельный, РС)
Угол ввода	Значение угла ввода ультразвука (для прямых ПЭП – 0,00)
Вр. ПЭП	Выбирается время между зондирующим и отраженным сигналами при настройке глубиномера
Скорость	Указывается скорость распространения ультразвуковых колебаний в материале объекта контроля (для стали и ПЭП с углом ввода 0° скорость равняется 5900 м/с)
Толщина	Указывается толщина объекта контроля при работе с наклонными ПЭП. Для прямых ПЭП вводится значение 0,00
Доп. Усил.	Указывается значение дополнительного усиления к браковочной чувствительности
Отсечка	Указывается значение степени подавления сигналов при временной селекции

Таблица 6.5 – Состав пункта меню «Зона, развертка»

Наименование подпункта	Краткое описание
Длительность развёртки	Указывается значение длительности развертки (в миллиметрах) на экране ЖКИ
Начало ВС1	Указывается значение начала метки индикации первой зоны контроля
Конец ВС1	Указывается значение конца метки индикации первой зоны контроля
Метод ВС1	Указывается способ УЗК для первой зоны контроля (эхо, теневой). При выборе НЕТ первая зона контроля не используется
Начало ВС2	Указывается значение начала метки индикации второй зоны контроля
Конец ВС2	Указывается значение конца метки индикации второй зоны контроля
Метод ВС2	Указывается способ УЗК для второй зоны контроля (эхо, теневой). При выборе НЕТ вторая зона контроля не используется
Начало АРУ	Указывается значение начала (автоматической) регулировки чувствительности (АРУ)
Конец АРУ	Указывается значение конца АРУ

5 В пункте меню «Поиск» (см. таблицу 6.6) производится включение/отключение некоторых сервисных режимов, упрощающих проведение контроля.

Таблица 6.6 – Состав пункта меню «Поиск»

Наименование подпункта	Краткое описание
Звуковой сигнал	Включение/выключение звукового сигнала о дефекте
Дополнительное усиление	Включение/выключение режима дополнительного усиления
АРУ	Включение/выключение режима АРУ
Чувствительность АРУ	Указывается значение чувствительности АРУ
Лупа	Указывается зона использования режима «Лупа» (BC1, BC2, BC1 + BC2). При выборе «НЕТ» режим «Лупа» не используется
Огибающая	Включение/выключение режима «Огибающая»
Стоп-кадр	Включение/выключение режима «Стоп-кадр»
Ход лучей	Включение/выключение режима индикации хода лучей (используется только для наклонных ПЭП)
В-развёртка	Включение/выключение режима «В-развёртка»
Запись отчета	Включение/выключение режима записи отчёта
Вызов отчёта	Включение/выключение режима вызова отчёта
Запись протокола	Включение/выключение режима записи протокола
Вызов протокола	Включение/выключение режима вызова протокола
Дл. Руч. Метки	Указывается значение длительности зоны измерения сигнала для ручной метки

## **6.2 Основные параметры контроля и стандартные образцы**

### **Основные параметры ультразвукового контроля.**

- 1 Длина волны или частота ультразвуковых колебаний.
- 2 Чувствительность (предельная и условная).

Предельная чувствительность контроля эхо-методом характеризуется минимальной эквивалентной площадью (в квадратных миллиметрах) отражателя, который ещё обнаруживается на заданной глубине в изделии при данной настройке аппаратуры.

Условная чувствительность характеризуется размерами и глубиной залегания выявляемых искусственных отражателей, выполненных в образце из материала с определёнными акустическими свойствами.

- 3 Положение точки выхода луча (стрела преобразователя).

Под стрелой преобразователя понимают расстояние от точки выхода наклонного преобразователя до его передней грани (рисунок 6.1).

В свою очередь точкой выхода называют точку пересечения акустической оси преобразователя с его рабочей поверхностью, а акустической осью – линию, соединяющую точки максимальной интенсивности акустического поля в дальней зоне преобразователя и её продолжения в ближней зоне.

- 4 Угол ввода ультразвукового луча в металл (см. рисунок 6.1).

Под углом ввода понимают угол между нормалью к поверхности ввода и линией, соединяющей центр цилиндрического отражателя с точкой выхода при установке преобразователя в положение, при котором амплитуда эхо-сигнала от отражателя наибольшая.





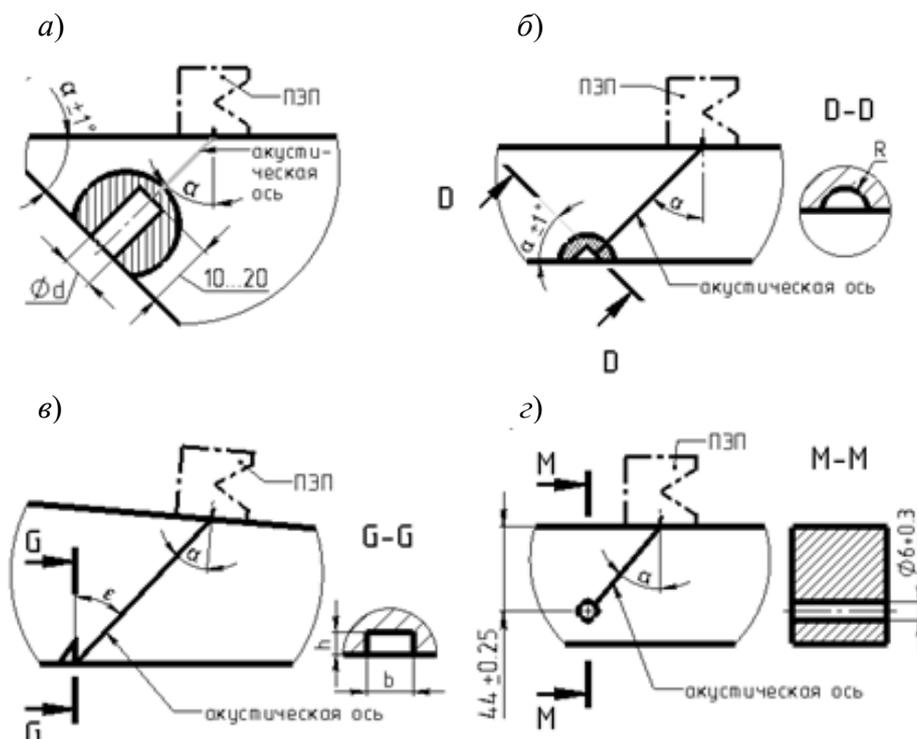


Рисунок 6.5 – Тест-образцы с эталонными отражателями

Тест-образцы изготавливаются той же толщины, кривизны и из материала той же марки, что и контролируемое изделие. На тест-образце не ближе 20 мм от краёв изготавливают искусственные эталонные отражатели, по эквивалентной площади соответствующие требуемому уровню чувствительности.

На практике нашли применение четыре типа эталонных отражателей (см. рисунок 6.5): плоскдонное отверстие (а); сегментный (б); угловой, или зарубка (в); боковое сверление (г).

### 6.3 Порядок выполнения работы

1 Настроить дефектоскоп с выбранным преобразователем на требуемую чувствительность.

2 Отметить на сварном соединении зону поиска, провести сканирование преобразователем сварного соединения.

### 6.4 Содержание отчёта

1 Название лабораторной работы и цели работы.

2 Порядок настройки дефектоскопа на стандартных образцах СО-1, СО-2 и СО-3.

### Контрольные вопросы

1 Описать пункт меню «Режим работы».

2 Описать пункт меню «Настройка».

3 Описать пункт меню «Общие параметры».

- 4 Описать пункт меню «Зона развёртки».
- 5 Описать пункт меню «Поиск».
- 6 Порядок настройки дефектоскопа.
- 7 Описать конструкции и назначение стандартных образцов СО-1, СО-2 и СО-3, а также тест-образцов.

## 7 Лабораторная работа № 7. Изучение технологии ультразвукового контроля сварных соединений с применением дефектоскопа УД2-102

**Цель работы:** получение практических навыков УЗ-контроля сварных соединений.

### Применяемое оборудование и материалы:

- комплект стандартных образцов;
- ультразвуковой дефектоскоп УД2-102 с комплектом преобразователей;
- стыковые, тавровые и угловые сварные соединения.

### 7.1 Общие положения

Методика УЗ-контроля сварных швов обуславливается типом и размером сварных соединений. При контроле необходимо обеспечить тщательное прозвучивание всего металла шва. Контроль сварных швов, как правило, осуществляют эхо-методом. Ультразвуковые колебания вводят в металл шва через основной металл с помощью наклонных преобразователей.

### 7.2 Порядок выполнения работы

Перед контролем необходимо: выбрать ПЭП; настроить дефектоскоп; на сварном соединении отметить зону поиска.

#### 1 Контроль стыкового сварного соединения.

Стыковые сварные соединения обычно контролируют эхо-методом наклонным ПЭП с двух сторон от шва и по одной поверхности стыка (рисунок 7.1). При этом применяют прямой ( $m = 0$ ) и однократно отражённый лучи ( $m = 1$ ).

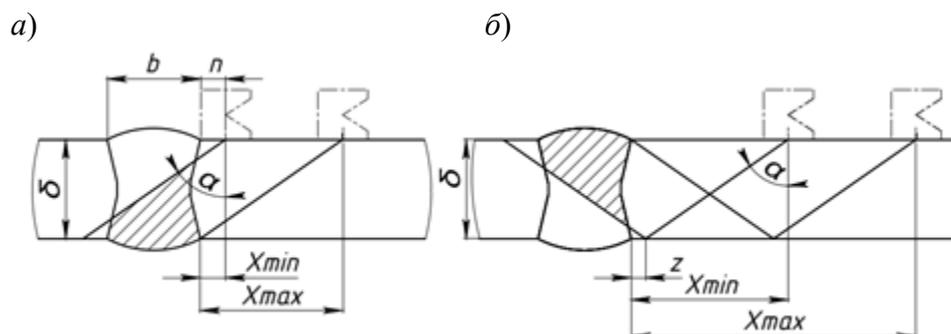


Рисунок 7.1 – Схемы контроля стыковых сварных соединений прямым (а) и однократно отражённым (б) лучом

При контроле стыкового сварного соединения (см. рисунок 7.1) следует:

- включить дефектоскоп на требуемую частоту;
- определить угол ввода акустического луча  $\alpha$ . Угол ввода луча  $\alpha$  при любом значении  $m$  выбирают из условия пересечения оси симметрии шва акустической осью ПЭП на глубине  $0,5\delta$ ;
- проверить правильность выбора угла ввода ПЭП по следующим соотношениям:

$$\operatorname{tg}\alpha \geq (b + 2n) / \delta \quad \text{при } m = 0;$$

$$\operatorname{tg}\alpha \geq (b + 2z) / \delta \quad \text{при } m = 1.$$

Если это условие не выполняется, то необходимо выбрать преобразователь с большим углом ввода  $\alpha$ ;

- измерить принятый угол ввода  $\alpha$  преобразователя на образце СО-2;
- определить пределы перемещения преобразователя (см. рисунок 7.1) по следующим формулам:

$$X_{\min} = n; X_{\max} = \delta \cdot \operatorname{tg}\alpha \quad \text{при } m = 0;$$

$$X_{\min} = z + \delta \cdot \operatorname{tg}\alpha; X_{\max} = 2\delta \cdot \operatorname{tg}\alpha \quad \text{при } m = 1;$$

- при поиске дефектов установить условную чувствительность  $K = 30$  дБ относительно данного сигнала;
- если при контроле сварного соединения на экране дефектоскопа наблюдается сигнал в пределах рабочего участка развёртки, то необходимо зафиксировать место расположения дефекта;
- убедившись в наличии дефекта, установить браковочную чувствительность  $K = 24$  дБ;
- если на браковочной чувствительности сигнал сохраняется, то такое изделие считается негодным, при отсутствии сигнала – годным.

## 2 Контроль таврового и углового сварных соединений.

При контроле угловых швов с К-образной разделкой или без неё, но с полным проплавлением стенки возможно применение трёх схем (рисунок 7.3). В зависимости от доступа к швам контроль ведут наклонными (см. рисунок 7.3, схемы I и II), а также прямыми (см. рисунок 7.3, схема III) преобразователями.

Наиболее эффективной является схема ввода УЗК через основной металл привариваемого листа (схема I), т. к. она позволяет выявить все виды внутренних дефектов в угловых швах при минимальном уровне ложных сигналов.

Одним из основных условий, обеспечивающих выявление дефектов по сечению шва, является правильный выбор угла ввода УЗ-луча  $\alpha$ .

Целесообразно использовать ПЭП с такими углами  $\alpha$  и стрелой преобразователя  $n$ , при которых обеспечивается контроль нижней части шва прямым, а верхней – однократно отражённым лучом. Это возможно, если центральный луч преобразователя при расположении его вплотную к шву проходит через середину шва или выше её (при толщинах шва менее 10 мм допускается прохождение центрального луча ниже середины сечения шва не более чем на 1 мм).

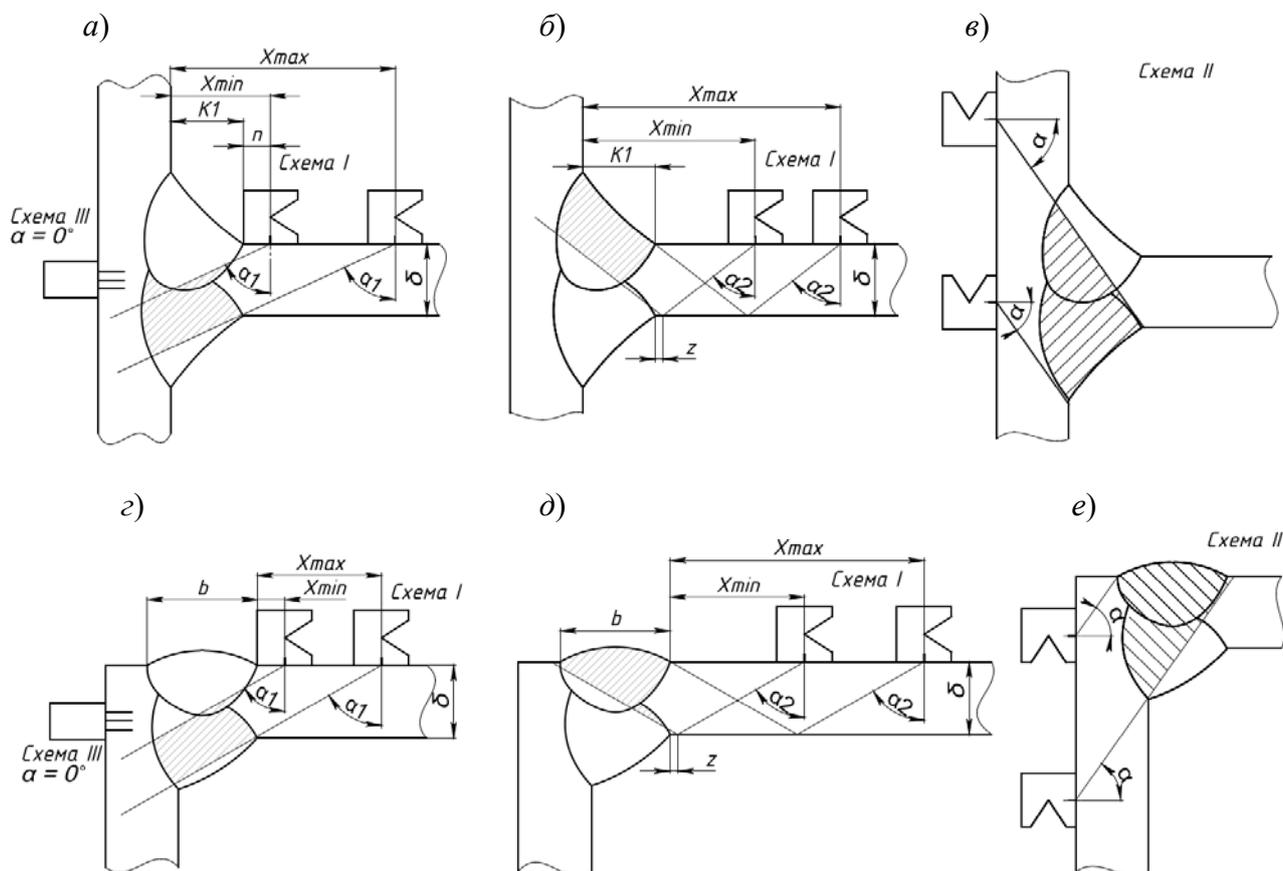


Рисунок 7.3 – Схемы контроля тавровых (а–в) и угловых (з–е) сварных соединений

При контроле нижней части шва (см. рисунок 7.3, а, з) это условие может быть проверено:

– для таврового соединения по формуле

$$\alpha_1 \geq \operatorname{arctg} \frac{2K_1 + 2n}{\delta}; \quad (7.1)$$

– для углового соединения по формуле

$$\alpha_1 \geq \operatorname{arctg} \frac{b + 2n}{\delta}. \quad (7.2)$$

При контроле верхней части шва (см. рисунок 7.3, б, д) значения углов ввода ПЭП выбирают:

– для таврового соединения по формуле

$$\alpha_2 \geq \operatorname{arctg} \frac{2K_1 + 2z}{\delta}; \quad (7.3)$$

– для углового соединения по формуле

$$\alpha_2 \geq \operatorname{arctg} \frac{b + 2z}{\delta}. \quad (7.4)$$

Наилучшее выявление подповерхностных дефектов при контроле верхней части шва таврового соединения достигается в случае, если

$$\alpha_2 \geq 90 - \left[ \operatorname{arctg} \frac{K_2}{K_1} + 7 \right].$$

Если контроль прямым и однократно отражённым лучом невозможен, то необходимо увеличить угол ввода или производить контроль однократно и двукратно отражённым лучом.

После нахождения оптимальных углов ввода рассчитывают пределы перемещения преобразователя от  $X_{\min}$  до  $X_{\max}$ .

При контроле таврового соединения прямым и однократно отражённым лучом  $X_{\min} = K_1 + n_0$ ;  $X_{\max} = 2\delta \operatorname{tg} \alpha_2 + K_1$ .

При контроле углового соединения  $X_{\min} = n_0$ ;  $X_{\max} = 2\delta \operatorname{tg} \alpha_2$ .

При контроле таврового и углового сварных соединений следует:

- 1) включить дефектоскоп на требуемую частоту;
- 2) определить угол ввода  $\alpha$  принятого преобразователя по СО-2;
- 3) проверить правильность выбора угла преобразователя по формулам (7.1)–(7.4);
- 4) определить предельные значения перемещения преобразователя  $X_{\min}$  и  $X_{\max}$ ;
- 5) установить рабочий участок на экране дефектоскопа;
- 6) выполнить контроль сварного соединения.

### **7.3 Содержание отчёта**

- 1 Название лабораторной работы и цели работы.
- 2 Задание на УЗ-контроль стыкового или таврового соединения.
- 3 Схема определения зоны поиска дефектов на экране прибора.
- 4 Схема контроля сварного соединения с указанием пределов перемещения преобразователя на поверхности соединения.
- 5 Полученные результаты УЗ-контроля сварного соединения.

### **Контрольные вопросы**

- 1 Что должно быть указано в инструкции по УЗ-контролю?
- 2 Как устанавливается браковочный уровень чувствительности?
- 3 Определить по заданию преподавателя параметры УЗ-контроля стыкового, углового и таврового сварных соединений.

## Список литературы

- 1 **СТБ ЕН 970–2003**. Контроль неразрушающий сварных соединений. Визуальный метод. – Минск: Госстандарт, 2003. – 16 с.
- 2 **СТБ 1133–98**. Соединения сварные. Метод контроля внешним осмотром и измерением. Общие требования. – Минск : Госстандарт, 1999. – 10 с.
- 3 **СТБ ISO 23277–2013**. Контроль неразрушающий сварных соединений. Контроль капиллярный сварных швов. Границы допустимости. – Минск : Госстандарт, 2013. – 14 с.
- 4 **СТБ 1172–99**. Контроль неразрушающий. Контроль проникающими веществами. Общие положения. – Минск: Госстандарт, 1999. – 16 с.
- 5 **ГОСТ 21105–89**. Контроль неразрушающий. Магнитопорошковый метод. – Москва: ИПК Изд-во стандартов. 2003. – 15 с.
- 6 **ГОСТ 34509–2019**. Транспорт железнодорожный. Магнитопорошковый метод неразрушающего контроля деталей вагонов. – Москва: Стандартинформ, 2019. – 84 с.
- 7 **СТБ ISO 23278–2013**. Контроль неразрушающий сварных соединений. Метод контроля сварных швов магнитопорошковый. Границы допустимости. – Минск : Госстандарт, 2013. – 15 с.
- 8 **ГОСТ ISO 17638–2018**. Неразрушающий контроль сварных соединений. Магнитопорошковый контроль. – Москва: Стандартинформ, 2019. – 17 с.
- 9 **СТБ 1428–2003**. Контроль неразрушающий. Соединения сварные трубопроводов и металлоконструкций. Радиографический метод. – Минск : Госстандарт, 2003. – 33 с.
- 10 **СТБ ЕН 1435–2004**. Контроль неразрушающий сварных соединений. Радиографический метод контроля сварных соединений, выполненных сваркой плавлением. – Минск : Госстандарт, 2004. – 48 с.
- 11 **ГОСТ ISO 17636-1–2017**. Неразрушающий контроль сварных соединений. Радиографический контроль. Ч. 1: Способы рентгено- и гаммаграфического контроля с применением плёнки. – Москва: Стандартинформ, 2018. – 36 с.
- 12 **ГОСТ ISO 17636-2–2017**. Неразрушающий контроль сварных соединений. Радиографический контроль. Ч. 2: Способы рентгено- и гаммаграфического контроля с применением цифровых детекторов. – Москва: Стандартинформ, 2018. – 41 с.
- 13 **СТБ 1714–2002**. Контроль неразрушающий сварных соединений. Ультразвуковой метод. – Минск: Госстандарт, 2002. – 25 с.
- 14 **СТБ 1713–2005**. Контроль неразрушающий сварных соединений. Ультразвуковой метод. Классификация дефектов сварных швов. – Минск: Госстандарт, 2005. – 30 с.