

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

Институт Машиностроения

(наименование института полностью)

Кафедра «Сварка, обработка материалов давлением и родственные
процессы»

(наименование кафедры)

22.04.01 «Материаловедение и технологии материалов»

(код и наименование направления подготовки)

«Сварка и пайка новых металлических и неметаллических неорганических
материалов»

(направленность (профиль))

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

на тему «Анализ методов контроля, требований к качеству и дефектности
сварных соединений при аттестации сварщиков»

Студент

О.Н. Липанова

(И.О. Фамилия)

_____ (подпись)

Научный

руководитель

О.В. Шашкин

(И.О. Фамилия)

_____ (подпись)

Консультанты

_____ (И.О. Фамилия)

_____ (подпись)

_____ (И.О. Фамилия)

_____ (подпись)

Руководитель программы

д.т.н., проф.

А.И. Ковтунов

(ученая степень, звание И.О. Фамилия)

_____ (подпись)

«__» _____ 20__ г.

Допустить к защите

Заведующий кафедрой

д.т.н., проф.

В.В. Ельцов

(ученая степень, звание И.О. Фамилия)

_____ (подпись)

«__» _____ 20__ г.

Тольятти 2019

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
1. Системы сертификации и управления качеством в сварочном производстве	6
1.1. Общие понятия о системах сертификации.....	6
1.2. Системы обеспечения качества отдельных элементов сварочного производства.....	6
1.2. Факторы, определяющие качество сварных соединений	9
1.4. Система аттестации персонала в области сварочного производства в РФ	12
1.5. Методы неразрушающего контроля, применяемые при аттестации ...	21
1.6. Выбор методов неразрушающего контроля при аттестации сварщиков	39
1.7. Распространенные дефекты сварных соединений, определение и причины образования	41
1.8. Задачи диссертации	47
2. Методика проведения исследования	48
2.1. Исследуемые исходные данные для анализа	48
2.2. Исследуемые параметры данных для анализа.....	48
3. Результаты исследования дефектности сварных соединений.....	51
4. Причины возникновения дефектов в сварных соединениях и рекомендации по их минимизации.....	57
5. Нормативные документы, регламентирующие требования к сварочному производству	66
5.1. Общие требования к элементам сварочного производства.....	66
5.2. Анализ нормативных документов по сварке и контролю опасных производственных объектов.....	68
5.3. Разработка обобщенных требований к контролю сварных соединений при аттестации сварщиков.....	93
5.4. Пути повышения эффективности проведения радиографического контроля качества	98
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	108
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ	110
Приложения.....	115
Приложение 1	116
Приложение 2	118
Приложение 3	121

ВВЕДЕНИЕ

Сварка и наплавка, является одним из основных способов создания неразъемных соединений в конструкциях, устройствах, оборудовании которые используются на опасных производственных объектах, подведомственных Ростехадзору. Этот способ может применяться при монтаже, изготовлении, ремонте и реконструкции самых различных объектов.

Для допуска к сварочно-наплавочным работам на опасных производственных объектах уделяется повышенное внимание, и в основном допускаются сварщики прошедшие процедуру аттестации по системе аттестации сварочного производства (САСв) Национального Агентства Контроля Сварки (НАКС). Аттестация сварщиков НАКС и работников, осуществляющих руководство процессами сварочного производства (специалистов СП) – сложный процесс установления и подтверждения уровня их готовности к выполнению соответствующей трудовой функции. При аттестации проверяется теоретическая и практическая подготовка кандидатов, осуществляется скрупулёзная проверка знаний и умений, и предоставление права аттестованным сварщикам и специалистам сварочного производства проводить работы по сварке и руководству сварочными работами на опасных производственных объектах. Аттестация сварщиков НАКС включает в себя проверку теоретических значений и практических навыков, последняя является приоритетной для аттестации [21,22].

Как известно в процессе сварки в сварном шве и прилегающей к ней зоне, называемой областью термического влияния, могут возникать различные отклонения от заданных нормативными документами параметров соединений при сварке, приводящие к снижению надежности изделия. Такие отклонения называют дефектами [13,14].

Дефекты в основном образуются вследствие нарушения требований к сварочным материалам, подготовке, сборке и сварке соединяемых элементов.

Главным этапом технологического процесса является неразрушающий контроль, целью которого является отслеживание качества готовой продук-

ции и обнаружение недопустимых отклонений в сварных соединениях при производстве конструкций, их ремонте в процессе эксплуатации. Особенно это актуально для устройств, входящих в группы опасных производственных объектов.

При этом акцентируют внимание на допуск в таких соединениях всевозможных дефектов: шлаковые включения, подрезы; поры и их скопления, неметаллические включения, непровары и т.д.

Неразрушающий контроль сварных соединений является наиболее эффективным при комплексном подходе к проведению этой процедуры и формировании единого подхода и развитии системы, включающей в себя контроль качества на всех этапах производства сварной конструкции. Для этого необходимо подготовить комплекс обеспечивающих средств, включающих в себя единые требования к системе подготовки персонала, процедурам проведения контрольных мероприятий. Немаловажным также является обеспечение высокого уровня технического и нормативного оснащения, а также технического состояния применяемых средств контроля.

Так оценка практических навыков при аттестации сварщиков осуществляется на основе требований ГОСТ, ОСТ, СНиП и документации НАКС.

При выполнении контроля важно руководствоваться нормами (ГОСТ, СНиП, СП, РД) допустимости дефектов. Нормы дефектности, изложенные в нормативных документах, обычно сформулированы таким образом, что учитывают требования и возможности конкретной технологии сварки. Такой подход приводит к тому, что такие требования зачастую являются излишними и не оправданы с позиций обеспечения необходимой прочности [16]. В связи с этим при аттестации сварщиков к качеству выполняемых ими контрольных соединений (КСС) предъявляются завышенные необоснованные требования. Такие требования при аттестации являются нецелесообразными, как с позиций экономических, так и с технических, поскольку неудовлетворительное качество КСС приводит к тому, что сварщик считается не сдавшим практи-

ческую составляющую аттестации, и в результате чего его нельзя допускать до выполнения сварных работ на опасных производственных объектах.

Таким образом, становится актуальным вопрос повышения качества сварных соединений за счет проведения анализа дефектности и причин их появления, разработки рекомендаций по снижению появления дефектов в сварных соединениях при аттестации сварщиков, а также унификации и обоснования норм дефектности при проведении контроля качества контрольных сварных соединений, выполняемых при аттестации сварщиков.

Цель: повышение качества сварных соединений за счет анализа причин появления дефектов и унификации требований к дефектности контрольных соединений, выполняемых сварщиками при аттестации.

1. Системы сертификации и управления качеством в сварочном производстве

1.1. Общие понятия о системах сертификации

Основной процедурой, обеспечивающей безопасность продукции, выпускаемой в обращение на рынок, а также обеспечивающей нормальные механизмы конкуренции на рынке является *подтверждение соответствия*.

Подтверждение соответствия – документальное удостоверение соответствия продукции или иных объектов, процессов проектирования (включая изыскания), производства, строительства, монтажа, наладки, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации, выполнения работ или оказания услуг требованиям технических регламентов, положениям стандартов, сводов правил или условиям договоров.

Продукция – результат деятельности, представленный в материально-вещественной форме и предназначенный для дальнейшего использования в хозяйственных и иных целях.

Основопологающим нормативным актом, регламентирующим деятельность в области подтверждения соответствия является Федеральный закон № 184-ФЗ «О техническом регулировании».

Требования к продукции, услугам, процессам проектирования и пр. предъявляются законодательными и нормативными актами.

Подтверждение соответствия на территории Российской Федерации может носить *добровольный или обязательный характер*.

1.2. Системы обеспечения качества отдельных элементов сварочного производства

Рассматривая вопросы, связанные с качеством сварного соединения, необходимо в первую очередь чётко понимать, что имеется в виду под качеством сварного соединения, и чем обусловлена возможность достижения требуемого качества.

В общем случае, по определению ГОСТ 15467-79 [2], под качеством

продукции понимается «совокупность свойств продукции, обуславливающих ее пригодность удовлетворять определенные потребности в соответствии с ее назначением». Согласно ГОСТ Р ИСО 9000-2001 [2], качество - это степень соответствия присущих характеристик требованиям.

Требования к качеству сварных соединений, или по другому показатели качества, могут быть различны: это надёжность и прочность, макро- и микрогеометрия соединения и шва, дефектность соединения, герметичность, коррозионная стойкость, жаропрочность и пр. [12] В конкретном случае требования к качеству изделия предъявляет его заказчик, исходя из назначения изделия, требований к его конструкции и условий его работы.

Качество сварного шва зависит от множества факторов, начиная от квалификации аттестуемых заканчивая используемым для сварки оборудованием и оснасткой.

Сварочный процесс – это обширная система, отражающая достаточно много аспектов, которые могут влиять на качество соединения. В состав данной системы включен обширный перечень элементов, который, как правило, напрямую зависит от применяемого способа сварки и технологических особенностей проведения этого процесса. С учетом того, что большое количество различных факторов и составляющих, входящих в любую технологическую систему сварки, могут изменяться в широких пределах под воздействием различного рода возмущений, вызванных внешними или внутренними воздействиями, сварочный процесс в итоге можно и рассматривать как большую, сложнопрогнозируемую систему.

Аналогичный подход к описанию сварочных процедур является общепринятым и используется во всем мире. Организацией в области международной сертификации и стандартизации сварка, в соответствии с ISO9000 определяется, как «специальный процесс», результаты которого не могут быть достоверно проверены и подтверждены только последующим внешним осмотром и испытанием сварной конструкции.

Согласно этому стандарту для доказательства качества соединения необходимо реализовать процедуру валидации. Валидация – подтверждение на основе представления объективных свидетельств того, что требования, предназначенные для конкретного использования или применения выполнены. Валидация предполагает наличие записей, подтверждающих качество самого процесса сварки. В условиях сварочного процесса эта процедура, например, может быть обеспечена непрерывным контролем параметров процесса и их записью, с целью подтвердить, что параметры процесса в течение всего времени его протекания находились в пределах, регламентируемых технологической документацией.

Такой своеобразный подход к сварочному процессу обоснован тем, что при реализации процесса сварки, который протекает на режимах, заложенных в технологические карты и инструкции, может оказывать действие огромное количество внешних факторов, которые оказывают возмущающее действие на формирование сварного шва. В результате такого воздействия характеристики сварного соединения, его качество могут отличаться от тех, которые определили технолог и инженер при разработке конструкции и технологии ее изготовления.

Очень часто, в различных нормативных документах, особенно международных, можно встретить однозначное трактование сварочного процесса как очень сложно поддающегося прогнозированию. Это подводит к пониманию того, что процесс контроля качества должен охватывать все аспекты сварочного производства – т.е. в процессе производства на каждом его этапе должны проводиться выборочные или сплошные мероприятия по контролю организации процесса сварки, изделий и полуфабрикатов, сварочных материалов, готовых изделий неразрушающими или механическими испытаниями. Это необходимо для обеспечения высокого уровня качества продукции сварочного производства, его стабильности независимо от внешних возмущений. Также это позволяет оперативно вносить изменения в процедуры сварки, устраняя вредные действия внутренних и внешних факторов.

1.2. Факторы, определяющие качество сварных соединений

На процесс формирования сварного соединения действует множество возмущающих факторов. Качество формирования сварного соединения определяется качеством основных материалов, сварочных материалов, квалификацией сварщика, эффективностью сварочного оборудования, точностью параметров подготовки и сборки кромок под сварку и влияния внешних воздействий (рис. 1). [5]



Рисунок 1 - Факторы, влияющие на качество формирования сварного соединения

Рассмотрим более подробно, как каждое из перечисленных возмущений влияет на процесс формирования сварного соединения.

В качестве основных возмущающих факторов, связанных с качеством основного металла можно выделить: изменение химического состава металла относящегося к одной марке стали или сплава, изменение геометрических характеристик основного металла, изменение состояния поверхности свариваемого металла.

К возмущающему фактору в виде изменения геометрических характеристик основного металла, можно отнести отклонение толщины проката от номинальной по ГОСТ или ТУ, отклонение диаметра труб от номинального по ГОСТ, овальность труб и деформацию листов.

К возмущающим факторам в виде изменения состояния поверхности свариваемого металла относят наличие на поверхности металла слоя ржавчины, масла, окалины, грязи, влагу на поверхности, которые не были убраны с поверхности металла при подготовке кромок под сварку. Перед сваркой с поверхности металла необходимо удалить рыхлый слой ржавчины и окалины, и пр. загрязнения. Однако ржавчина, масло, грязь случайным образом, например, после плохой зачистки поверхности, могут остаться на поверхности металла. В результате этого в процессе сварки дуга может изменять пространственное положение, так как ржавчина имеет более низкую электропроводность. Также попадание данных загрязнений в сварочную ванну может привести к образованию пор, трещин и нарушению нормального формирования швов. [15].

В качестве основных возмущающих факторов, связанных с качеством сварочных материалов можно выделить изменение геометрических параметров материалов по длине или во времени, изменение химического состава сварочных материалов (для проволоки), изменение состояния поверхности, изменение физико-химических показателей по ГОСТ или ТУ, влажность защитного газа.

К основным возмущающим факторам, связанным с квалификацией сварщика относят факторы связанные с изменением текущей квалификации сварщика по различным причинам. Под текущей квалификацией понимается набор качеств и физиологических функций сварщика (степень концентрации внимания, моторные функции и пр.), определяющих его способность к качественному выполнению сварочных работ определённой сложности. К таким возмущающим факторам можно отнести зависимость текущей квалификации сварщика от его физиологического состояния (болезненное состояние, состо-

яние возбуждённости и т.п.), ухудшение текущей квалификации сварщика в течении периода выполнения работы, связанное с:

1. физическими перегрузками статического (зависят от массы сварочного инструмента, длительности непрерывной работы и рабочей позы (стоя, сидя, полусидя, стоя на коленях, лёжа на спине)) и динамического (связанные с выполнением тяжёлых вспомогательных работ, что приводит к утомляемости сварщика в течении рабочей смены) характера;

2. нервно-психическими перегрузками (монотонность труда, эмоциональные перегрузки).

Влияние этих возмущений на сварщика, приводит к ухудшению техники сварки, в результате чего ухудшается качество выполнения сварных швов, что приводит к увеличению дефектов в сварном соединении. [110-112].

Для оценки квалификации сварщика в настоящее время существует система аттестация сварщиков [21,22] (рис.2), которая реализуется в целях установления достаточности их теоретической и практической подготовки, проверки их знаний и навыков и предоставления права сварщикам осуществлять сварочные работы на производственных объектах, подведомственные Ростехнадзору.

Параллельно с системой аттестации, в организациях реализуется система выполнения сварщиков допускных стыков. Эта система позволяет оценивать текущую квалификацию сварщика в межаттестационных периодах, непосредственно на рабочем месте. Проверка проводится на рабочем месте сварщика путем сварки и контроля допускных (пробных) стыков.

Существующая система позволяет достаточно эффективно выполнять оценку текущей квалификации сварщика, и не допускать к сварочным работам тех сварщиков, чей текущий уровень квалификации не позволяет им качественно выполнять сварочные работы.

1.4. Система аттестации персонала в области сварочного производства в РФ

1.4.1 Описание системы аттестации сварочного производства (САСв) в РФ

В конце прошлого века в связи со значительным расширением связей России на международном рынке стала актуальной проблема гармонизации в российских условиях стандартов и нормативных документов, которые приняты в ведущих странах Западной Европы. Такая интеграция позволила бы дать толчок в области научно-технического сотрудничества в различных сферах, в том числе в области машиностроения.

В области легкого и тяжелого машиностроения очень большой объем работ приходится на выполнение неразъемных соединений, основным способом получения которых является сварка.

«В настоящее время сварка заняла одно из первых мест среди технологических процессов в изготовлении большого числа металлоконструкций опасных производств, подведомственных органам технического надзора. Это и магистральные трубопроводы для транспортирования нефти и газа, трубопроводы пара и горячей воды, сосуды, эксплуатируемые под высоким давлением, резервуары для хранения нефтепродуктов, подъемно-транспортное оборудование; стальные строительные и мостостроительные конструкции и многое другое производится с применением современных способов сварки» [21].

«Многочисленные деловые контакты российских специалистов-сварщиков с европейскими коллегами показали, что Россия существенно отстала в области сертификации (аттестации) специалистов по сварочному производству» [21].

Повысить качество выполнения сварочных работ и выйти на совершенно новый уровень из выполнения на устройствах, входящих в перечень опасных производственных объектов, подведомственных Федеральной службе по экологическому, технологическому и атомному надзору (Ростех-

надзору) является актуальной задачей. Решить эту задачу можно путем проведения обязательной аттестации сварщиков и специалистов сварочного производства (ССП).

«При этом под словом аттестация понимают оценку пригодности специалиста к выполнению конкретного вида работ. Нельзя сказать, что на российских предприятиях вообще не проводится аттестация лиц, занятых в сварочном производстве. Однако система аттестации персонала в те годы распространялась только на аттестацию лиц, непосредственно выполнявших сварочные работы (т.е. сварщиков), и проводилась внутренними комиссиями, создаваемыми из должностных лиц тех промышленных предприятий, где эти сварщики работали. Но такая система, ни в коей мере не могла обеспечить объективность и достоверность результатов аттестации, а система аттестации сотрудников ИТР отсутствовала вообще» [21].

«Инициатором создания в России системы независимой от работодателя аттестации персонала в сфере сварочного производства выступила группа ведущих специалистов, возглавляемая заведующим кафедрой сварки МВТУ им. Н.Э. Баумана акад. Алёшиным Н.П.» [21].

«Следуя мировым тенденциям развития систем сертификации в области сварочного производства, в России в 1992 г. по инициативе МГТУ им. Н.Э. Баумана, совместным решением президиума Российской академии наук. Министерства науки, Высшей школы и технической политики Российской Федерации, Госгортехнадзора России, Госатомнадзора России и Госстандарта России был создан Национальный аттестационный комитет по сварочному производству (Национальное агентство контроля и сварки — НАКС). Перед ним были поставлены задачи разработки правил и процедур сертификации (аттестации) сварочного производства, а также создания системы независимых аттестационных центров во всех регионах России» [21].

В основе, разработанной Национальным Агентством Контроля Сварки системы аттестации элементов сварочного производства (САСв), лежат принципы, позволяющие объективно оценивать уровень готовности к вы-

полнению сварочных работ. Это обеспечивается за счет независимости системы аттестации и приоритетности требований, установленных надзорными органами, действующими на территории России.

Для обеспечения функционирования САСв были приняты «Правила аттестации сварщиков и специалистов сварочного производства» (ПБ 03-273-99, утв. Постановлением №63 Ростехнадзора от 30.10.1998 г.).

В связи с тем, что сварочное производство представляет собой сложную технологическую систему, остро встал вопрос обеспечения единства требований и повсеместного распространения требований созданной системы аттестации персонала по сварочному производству (САСв) на другие, новые способы сварки, не регламентированные действующими документами, а также иные опасные производственные объекты, не приведенные в ПБ 03-273-99.

Для реализации поставленной задачи инициативным коллективом был разработан и внесен на утверждение новый нормативно-методический документ - «Технологический регламент проведения аттестации сварщиков и специалистов сварочного производства» (РД 03-495-02, утв. постановлением №36 Ростехнадзора от 25.06.2002 г., зарег. за №3587 Министерством Юстиции, 1707.2002 г.). В новом нормативном документе намного подробнее описаны процедуры аттестации сварщиков и специалистов сварочного производства. Принятие этого документа имело важную роль для развития системы технического регулирования в законодательной области применения сварочных технологий что особенно важно для документальной регулируемой области применения сварочных процессов.

В 2003 году Госгортехнадзор России ввел в действие новые нормативные документы, расширяющие область аттестации на опасных производственных объектах РД 03-613-03, РД 03-614-03, РД 03-615-03, определяющие порядок применения сварочных материалов, оборудования и технологий. НАКС разработал «Рекомендации по применению...» этих документов, определяющие методику выполнения и оформлению работ по аттестации

сварочных материалов, сварочного оборудования и сварочных технологий [21].

«Так появилась «Система аттестации сварочного производства на объектах, подконтрольных Федеральной службе по экологическому, технологическому и атомному надзору» (САСв Ростехнадзора)». Схематично структура САСв изображена на рисунке 2.

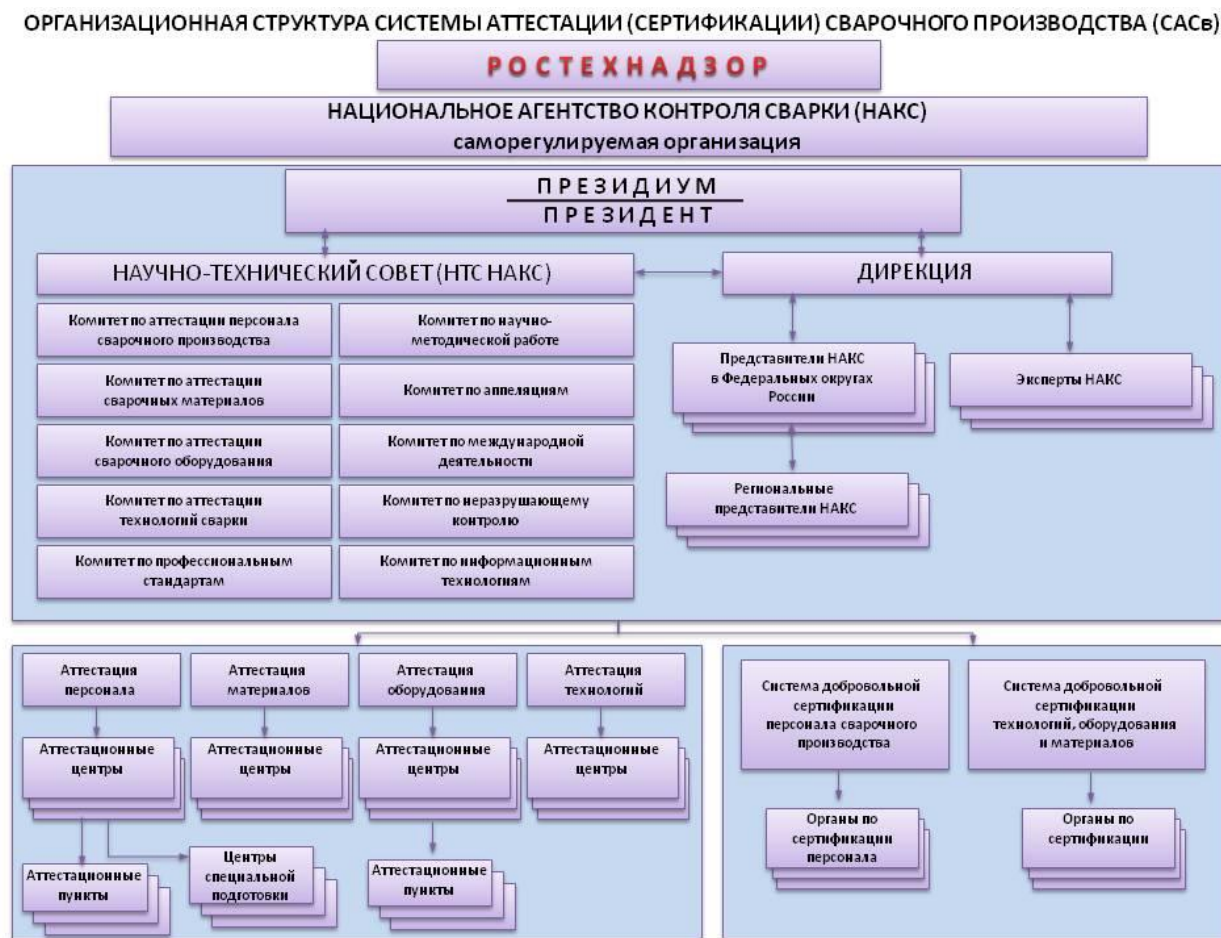


Рисунок 2 - Структура САСв

1.4.2. Краткое описание системы аттестации персонала в области сварочного производства в РФ

«Система аттестации САСв в соответствии с ПБ 03-273-99 представляет собой сложную, иерархическую систему. Многоуровневость этой системы подразумевает наличие четырех уровней, на которые могут претендовать кандидаты на аттестацию:

- специалист сварочного производства I уровня (аттестованный сварщик) – непосредственно выполняет сварочные работы;
- ССП II уровня (аттестованный «мастер-сварщик») – осуществляет контроль за выполнением сварочных работ;
- ССП III уровня (аттестованный «технолог-сварщик») наряду с руководством осуществляют разработку технологической документации на проведение сварочных работ;
- ССП IV уровня (аттестованный «инженер-сварщик») – осуществляет разработку нормативно-технической документации, определяющей условия применения конкретных способов сварки на предприятии. [21]

«В правилах отражены основные требования к кандидатам на аттестацию в части общего и специального образования и стажа работы, а также порядок проведения аттестации» [21].

Сварщики подлежат аттестации на право выполнения сварочных и наплавочных работ конкретными видами (способами) сварки плавлением, осуществляемыми вручную, механизированными (полуавтоматическими) и автоматизированными методами при работах на объектах, подконтрольных Госгортехнадзору России.

Что касается проведения процедуры аттестации специалистов ССП II, III и IV уровней, то она выполняется по видам их производственной деятельности при изготовлении, монтаже, реконструкции и ремонте оборудования, трубопроводов и конструкций, подконтрольных Госгортехнадзору России.

Видами производственной деятельности специалистов сварочного производства, по которым проводится их аттестация, являются:

– руководство и технический контроль за проведением сварочных работ, включая работы по технической подготовке производства сварочных работ, разработку производственно - технологической и нормативной документации;

– участие в работе органов по подготовке и аттестации сварщиков и специалистов сварочного производства.

Перечень специалистов сварочного производства, подлежащих аттестации, и требуемый уровень профессиональной подготовки определяются территориальными органами Ростехнадзора по представлению работодателя или кандидата на аттестацию [21,22].

Аттестации подлежат следующие специалисты:

– на II уровень: специалисты, чьи письменные или устные указания являются обязательными для исполнения сварщиками при проведении сварочных работ (мастера, прорабы и т.п.);

– на III уровень: специалисты, являющиеся руководителями отдельных подразделений предприятия, обеспечивающих выполнение сварочных работ, и чья подпись необходима и достаточна для использования на предприятии документов, определяющих технологию проведения сварочных работ (начальники отделов, лабораторий, секторов, технических бюро, руководители рабочих групп и т.п.);

– на IV уровень: специалисты, являющиеся руководителями службы сварки предприятия (организации), чья подпись необходима и достаточна для утверждения руководством предприятия (организации) руководящих и нормативных документов по выполнению всех видов сварочных работ (главные сварщики, заместители главных сварщиков и т.п.).

В соответствии с требованиями Правил и Регламента претендующий на получение уровня ССП сдает в Аттестационном центре три основных экзамена: общий экзамен, практический (для сварщиков, для специалистов – практическое задание включенное в специальный экзамен) и теоритический, проводимый в форме тестирования.

Практический экзамен для

Аттестация сварщиков начинается с проведения проверки его практических навыков (практического экзамена), которая включает в себя демонстрацию практических навыков сварщика путем сварки контрольных свар-

ных соединений (КСС). Надо отметить, что при аттестации сварщик уже имеет допуск к выполнению сварочных работ в целом, а при целью аттестации является проверка его готовности к выполнению сварочных работ на конкретных опасных производственных объектах, конкретным способом (видом) сварки. При этом также учитываются группы основных и сварочных материалов, диапазонов толщин и диаметров и много другое. Также учитывается направление производственной деятельности аттестуемого – изготовление, ремонт, монтаж сварных конструкций. [21].

При подаче документов на аттестацию кандидат на получение уровня ССП (II, III и IV уровень) должен пройти проверку знаний правил промышленной безопасности на тех опасных производственных объектах, на которые он аттестуется, в территориальных органах Ростехнадзора и предоставит в аттестационный центр соответствующие документы. [21]

По результатам прохождения аттестации сварщикам и специалистам сварочного производства выдается аттестационное удостоверение установленного образца (форма утверждена Регламентом НАКС). Удостоверения соответствуют искомому уровню аттестации, с ограниченным времени их действия в соответствии с присвоенным уровнем: 2, 3 или 5 лет. Сведения об аттестации вносятся в единый общедоступный реестр НАКС [21].

«Настоящими правилами предусмотрены четыре вида аттестации, это первичной, периодической, дополнительной и внеочередной аттестаций» [21].

«Первичная аттестация проводится для ранее неаттестованных лиц, периодическая аттестация - при истечении сроков действия аттестационных удостоверений. Дополнительная аттестация необходима для расширения области действия ранее выданных удостоверений (новые группы объектов, материалы и т.п.). Внеочередную аттестацию проходят лица, отстраненные от работы за производственные нарушения» [21].

Таким образом, система аттестации персонала сварочного производства способствует постоянному совершенствованию специалиста сварочного

производства и формирование у него знаний и профессиональных навыков на высоком уровне, соответствующему современному развитию сварочного производства. Так же «специалистами НАКС был разработан комплекс требований к профессиональной подготовке специалистов всех уровней, программы подготовки к определенным видам деятельности, сборники аттестационных вопросов для общего и специального экзаменов аттестуемых лиц, виды и формы аттестационных документов, требования к центрам и их пунктам, а так же порядок их аккредитации для проведения аттестационной деятельности и другие организационно-методические документы» [21].

1.4.3. Описание процедуры проведения аттестации сварщика

Аттестация сварщиков проводится в целях установления достаточности их теоретической и практической подготовки, проверки их теоретических знаний и практических навыков и допуска их к выполнению сварочных и наплавочных работ конкретными способами (видами) на объектах, подконтрольных Ростехнадзору, конкретными видами (способами) сварки плавлением, осуществляемыми вручную, механизированными (полуавтоматическими) и автоматизированными методами.

Как было сказано выше, процедура аттестации предусматривает сдачу кандидатом на аттестацию (сварщиком) следующих обязательных экзаменов:

- при первичной и внеочередной аттестациях: сварщик сдает практический, общий и специальные экзамены;
- при дополнительной и периодической аттестациях: сварщик сдает практический и специальный экзамены. [21]

Для проведения процедур аттестации, включающий в себя сдачу практических и теоретических экзаменов системой аттестации сварочного производства создана сеть Аттестационных центров по всей России. Аттестационные экзамены проводятся в аттестационном центре или на базе аттестационного пункта, созданного при АЦ и зарегистрированного в реестре САСВ

НАКС. Кандидат, претендующий на аттестацию может обратиться в любой аттестационный центр или пункт на территории РФ.

Соответственно, проверка практических навыков является основным моментом при аттестации сварщика, поэтому процедуру начинают именно с проведения практического экзамена согласно РД 03-495-02 по программе практического экзамена, разрабатываемой АЦСП. Если сварщик не выдерживает практический экзамен, то к дальнейшим экзаменам он не допускается и считается не прошедшим аттестацию [22].

Сварщик считается аттестованным при успешной сдаче теоретических и практического экзаменов.

На практическом экзамене при сварке контрольного сварного соединения (наплавки) сварщик должен выполнить все требования карты технологического процесса. Типовая форма карты технологического процесса сварки (наплавки) контрольного сварного соединения приведена в приложении 1.

Подготовку и сборку деталей под сварку, а также сварку осуществляет сварщик, проходящий аттестацию, в присутствии члена (членов) аттестационной комиссии. Детали перед сваркой должны быть замаркированы. Разрешение на сварку контрольного соединения выдает член аттестационной комиссии после приемки качества его сборки, о чем делается отметка в "Журнале учета работ при аттестации сварщиков".

После сварки контрольные сварные соединения (КСС) проверяют на предмет наличия в них дефектов, для чего их подвергают контролю качества различными методами неразрушающего контроля, основными из которых являются визуально-измерительный (ВИК) и радиографический (РГК). При необходимости могут быть использованы другие методы контроля. Контроль проводят для выявления недопустимых дефектов в КСС.

1.5. Методы неразрушающего контроля, применяемые при аттестации

Как известно надежность сварных конструкций зависит от качества сварных соединений. Иногда сварные соединения могут отклониться от требуемых параметров, а любое отклонение от параметров это есть дефект. Дефекты в сварных конструкциях могут приводить к разрушению в процессе эксплуатации. Поэтому после выполнения сварочных работ, сварное изделие обязательно должно подвергаться контролю, чтобы обнаружить и исправить отклонение от нормативных документов и как следствие повысить надежность конструкции в целом/

Существуют большое множество методов контроля сварных соединений, которые различаются [7,10,11,42]:

1. по способности к обнаружению различных видов дефектов,
2. по принципу действия,
3. техническому оснащению.

Известно, что методы контроля сварных соединений делятся на два вида:

1. разрушающие (*destructive testing, DT*);
2. неразрушающие (*non-destructive testing, NDT, или non-destructive examination, NDE* [42]).

К разрушающим методам контроля относятся способы испытания контрольных образцов с целью получения необходимых характеристик сварного соединения. Эти методы могут применяться как на контрольных образцах, так и на отрезках, вырезанных из самого соединения. Данный метод проводится в соответствии с ГОСТ 6996-66.

В промышленности, в основном, получили распространение следующие методы (способы) неразрушающего контроля сварных соединений, которые также используются и при аттестации сварщиков:

- визуально-измерительный контроль (ВИК);
- контроль радиографическим излучением (РГК);
- контроль ультразвуковыми колебаниями (УЗК)».

1.5.1. Визуальный и измерительный контроль

Основным традиционным методом неразрушающего контроля является визуально-измерительный. Этот способ можно отнести к самым простым методам, при котором можно получить максимум информации о сварном соединении при его внешнем осмотре. При этом можно обойтись без специализированного оборудования с применением элементарных средств измерения.

Этот метод позволяет выявлять дефекты, находящиеся на поверхности сварного шва и околошовной зоны – это такие дефекты как свищи, наплывы поры, незаваренные кратеры, трещины, прожоги, подрезы и многие другие поверхностные дефекты. Основным недостатком визуального контроля – это требования к органам зрения контролера и освещенности зоны контроля, но даже при соблюдении всех требований невозможно вывить мелкие дефекты, даже если они находятся на поверхности. Также к недостаткам этого метода можно отнести субъективность этого метода – результаты зависят от опыта работы контролера, усталости и др. Несмотря на это, благодаря своей простоте, низкой трудоемкости и наглядности этот метод является обязательным и, как правило, предшествует всем другим методам контроля.

Требования практически всех нормативных документов, несмотря на то какие методы контроля применяются, любой контроль начинается именно с проведения визуального осмотра и измерений. Первоначально визуальный контроль проводится невооруженным глазом (с расстояния около 250 мм можно различить дефекты размером до 0,15 мм). Следует учитывать, что для выявления более мелких дефектов можно использовать лупы различного увеличения.

Первоначальные результаты контроля могут позволить спрогнозировать наличие внутренних дефектов и оценить места возможного разрушения конструкции – на это может указывать наличие грубых наружных дефектов (подрезы, чешуйчатость, трещины). Результаты визуально-измерительного контроля могут позволить оценить стабильность протекания технологического процесса сварки и соблюдение его параметров, поскольку каждый дефект

имеет характерные причины возникновения (дефекты подготовки, несоблюдение режимов и т.д.).

Как уже было сказано выше, по результатам внешнего осмотра можно сделать достаточно точное заключение о наличии внутренних дефектов. Так, например:

- увеличенная высота сварного шва, как правило, свидетельствует о наличии такого дефекта, как несплавление (или неполное проплавление) по кромкам;
- наличие одновременно подреза с одной стороны шва и наплава на противоположной стороне сварного с высокой долей вероятности указывает на наличие непровара (или неполного сплавления) по разделке со стороны натека;
- наличие пор, выходящих на поверхность, а также чешуйчатости, превышающей 1 мм, как правило, говорит о нарушении техники сварки (несоблюдение режимов, длинная дуга) и о наличии, как следствие, внутренних пор.

Освещение в зоне осмотра должно быть достаточным для проведения контроля. В дополнение к имеющемуся свету может быть добавлен дополнительный источник освещения. Проверяющий должен быть осведомлен, что несоответствующее освещение может привести к возникновению проблем с глазами [42] (Lighting of the weld joint should be sufficient for good visibility. In addition to ambient light, auxiliary lighting may be needed. The inspector should be aware that improper lighting may cause eye problems).

Измерения производятся с использованием приборов и инструментов (рисунок 3):

1. штангенциркули;
2. лупы измерительные;
3. линейки измерительные металлические;
4. шаблоны и др.



1 - универсальный шаблон сварщика УШС-3; 2 - зеркало поворотное $d=32$ мм; 3 - Зупа ЛПК-471 (x2); 4 - лупа ЛП-6 (x6); 5 - лупа измерительная ЛИ-10 (x10) или ЛИ-8(x8); 6 - штангенциркуль ШЦ-1-125-0,1 с глубиномером; 7 - линейка металлическая Л-150 (150 мм); 8 - набор радиусных шаблонов №1 ($R=1...6$ мм); 9 - набор радиусных шаблонов №3 ($R=7...25$ мм); 10 - набор щупов №4 (0,1...1 мм); 11 - угольник поверочный УШ-100x60 мм (100x160 мм); 12 - фонарь миниатюрный; 13 - маркер по металлу Edding 8750 (белый); 14 - рулетка 5 м.

Рисунок 3 – Набор для визуально-измерительного контроля

Проведение визуально-измерительного контроля регламентируется требованиями различных нормативных документов. Одним из первых подобных документов, регламентирующим требования к проведению визуального и измерительного контроля был введенный АНТЦ «Энергомонтаж» руководящий. Особенностью этого документа являлось то, что он, в основном, распространялся на опасные производственные объекты. Указанный документ оказал важную роль на развитие неразрушающего контроля на этапе интеграции экономики России за счет высокой практической ценности и своевременности. Однако, несмотря на все положительные стороны, этот документ имел определенные недостатки, связанные, в первую очередь, с его

узкой направленностью – в нем не учитывались требования к отдельным объектам опасных производств, а также особенности проведения контроля для тавровых, нахлесточных и угловых соединений, выполняемых различными способами сварки. Для устранения указанных недостатков в 2003 году была разработана обновленная Инструкция по визуальному и измерительному контролю (РД 03-606-03). В указанном документе были устранены все замечания и учтен накопленный опыт проведения визуально-измерительного контроля. Указанный документ на данный момент является единственным и основным документом, регламентирующим методику проведения визуально-измерительного контроля сварных швов в конструкциях самого различного назначения. Следует отметить, что при разработке этой Инструкции были учтены положения ведущих европейских стандартов, в частности осуществлена гармонизация с EN 970:1997 «Неразрушающий контроль сварных швов, выполненных плавлением. Визуальный контроль» [11].

1.5.2. Радиационный контроль

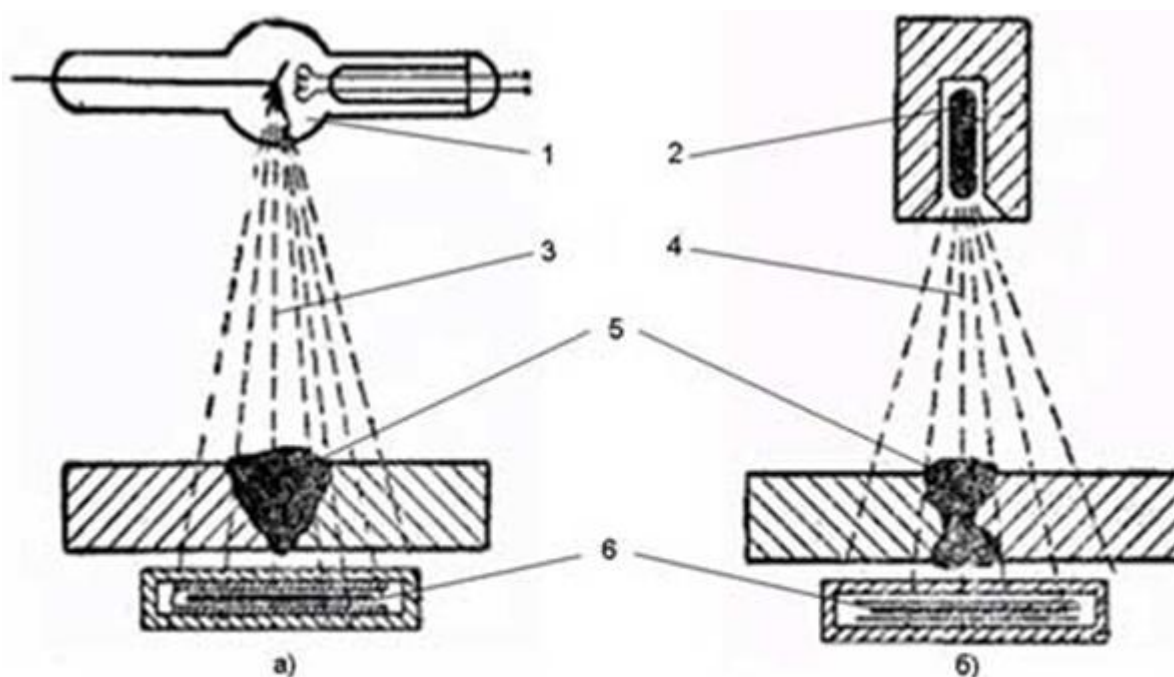
«Радиационный контроль (РГК, Radiographic Inspection, RT [35]) служит для выявления как внутренних дефектов, так и недоступных для визуального контроля поверхностных дефектов. Чувствительность контроля зависит от плотности материала и толщины просвечиваемого объекта, характера дефекта, его формы и ориентации, режима и условий просвечивания, метода регистрации результатов контроля. Радиационный контроль проводится в целях выявления в сварных соединениях: внутренних дефектов в виде трещин, непроваров, раковин, пор и шлаковых (окисных и других) включений; недоступных для визуального контроля поверхностных дефектов в виде прожогов, подрезов, превышения проплава и т.п.»

Этот метод неразрушающего контроля широко применяется для проведения неразрушающего контроля качества сварных швов в соединениях в самых разных отраслях легкого и тяжелого машиностроения. Методика про-

ведения радиографического контроля качества сварных соединений регламентируется требованиями ГОСТ 7212-82.

В основе радиографического контроля (рисунок 4) лежит способность некоторых видов излучения, в частности радиографического, проходить сквозь материалы. Излучение, прошедшее сквозь сварное соединение, взаимодействует с рентгеночувствительным материалом (пленкой), который располагается с противоположной от направления излучения стороне.

При прохождении излучения через дефекты-полости (поры, трещины, непровары, включения шлака и т.п.) оно будет ослабляться в меньшей степени и, соответственно, сильнее воздействовать на расположенную с обратной стороны чувствительную пленку. При наличии в металле шва областей с большей плотностью (например, вольфрамовые включения) излучение будет ослабляться и воздействие на пленку под этим участком будет значительно менее интенсивным.



а – просвечивание сварного шва рентгеновскими лучами; б – просвечивание сварного шва гамма-лучами; 1 – рентгеновская трубка; 2 – ампула с радиоактивным веществом в защитном свинцовом кожухе; 3 – рентгеновские лучи; 4 – гамма-лучи; 5 – сварной шов; 6 – кассета с рентгеновской пленкой.

Рисунок 4 – Схема проведения радиографического контроля качества

После проведения контроля радиографическим методом, рентгеночувствительные пленки подвергаются воздействию химических реактивов (проявляются). После проявки осуществляется интерпретация результатов путем расшифровки изображения с пленки. Для повышения точности регистрации дефектов и их описания, как правило, используют специальные установки для подсветки – негатоскопы.

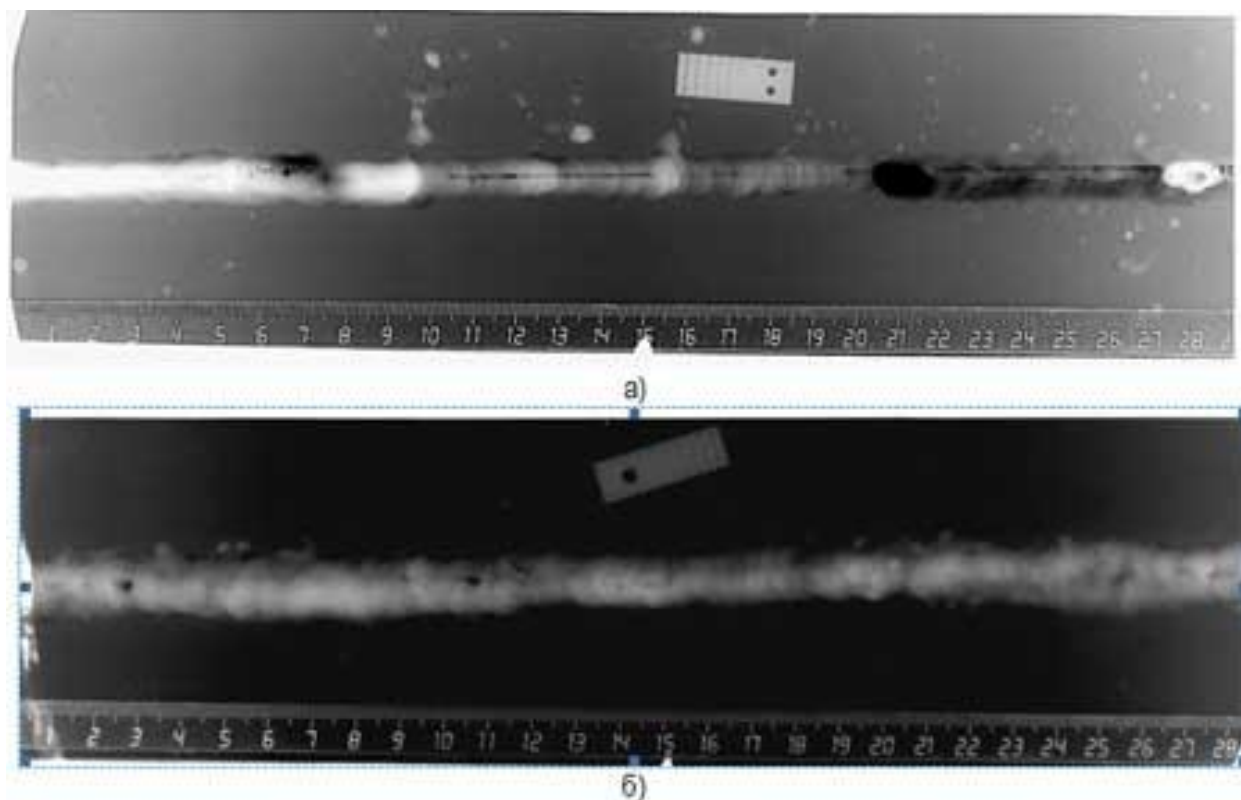


Рисунок 5 - Рентгенографическое изображение стыковых сварных швов с дефектами

«Основные возможности рентгеновского контроля:

- выявление внутренних дефектов (раковин, шлаковых включений и т.п.);
- обнаружение точного расположения дефектов, что дает возможность быстрого его исправления;

Проведение данного метода контроля является наиболее достоверным методом контроля сварных швов, позволяющим наглядно определять вид и характер выявленных дефектов», а также достаточно точно определять их месторасположение.

К недостаткам РГК относится ионизирующее излучение, оказывающее воздействие на оператора, и может послужить причиной лучевой болезни и рака. Поэтому при работе необходимо соблюдать защитные меры, а организациям, осуществляющим проведение радиационных методов контроля необходимо соблюдать целый комплекс мер и получить специальное разрешение на выполнение работ по контролю. При проведении работ с источниками радиационного излучения, в первую очередь, необходимо предусмотреть комплекс специальных мер по обеспечению безопасности персонал и окружающих людей. Особенно следует отметить, что радиографическим контролем очень плохо выявляются дефекты-несплошности различной природы (включения, трещины, несплавления) размеры которых менее чувствительности, который обеспечивает данный метод контроля при использовании конкретных источников излучения и рентгенографических материалов. Как правило выявляемость практически отсутствует при размерах дефектов менее чем удвоенная восприимчивость контроля. Также плохо выявляются плоскостные (непровары, трещины) и острые дефекты в сварных швах, особенно если их направление не совпадает с направлением просвечивания, а границы закрыты или совпадают с посторонними элементами (перепады толщин, острые углы), попавшими на пленку при проведении контроля.

Радиационный контроль наиболее эффективен для выявления достаточно крупных объемных дефектов (пор, шлаковых включения, раковин и т.п.). Вследствие высокой чувствительности и простоты операций контроля самым распространенным методом радиационной дефектоскопии является радиография.

При этом методе контроля возможно выявление типа (объемный или плоскостной) и вида (пора, шлаковое включение, непровар или трещина) дефекта, что является важным преимуществом радиографического контроля. Однако, широко распространенных и значительных по величине объемных дефектов в сварных швах конструкций промышленного назначения, подъем-

но-транспортных машин, технологического оборудования, как правило, не содержат, что подтверждено результатами металлографического анализа.

Просвечивание по основной схеме (рис. 5, а) в большинстве случаев затруднено конструктивными особенностями изделия, сложной его формой, что не позволяет качественно провести радиографический контроль. В этих случаях, не гарантируя хорошую выявляемость плоскостных дефектов, приходится использовать другие схемы (рис. б, б, в, г).

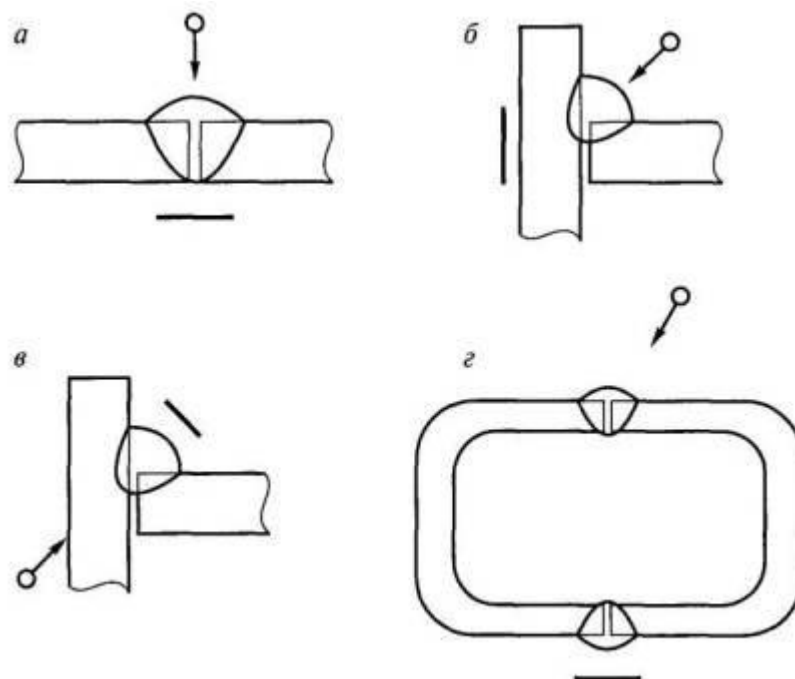


Рисунок 6 - Схемы просвечивания при радиографическом контроле

Как показали многочисленные исследования, в том числе [6], точность и достоверность выявления при радиографическом контроле объемных дефектов при просвечивании стыковых сварных швов может достигать 92%, однако, при этом достоверность и надежность нахождения дефектов типа трещин и несплавлений (плоскостных) зачастую не превышает 30%.

1.5.3. Ультразвуковой контроль

Ультразвуковой контроль (УЗК, ultrasonic testing, UT [35]) наиболее распространенный физический метод неразрушающего контроля. Этот метод контроля сварных соединений выполняется в соответствии с требованиями ГОСТ Р 55724-2013.

Сущность УЗК (рисунок 7) «заключается в излучении в изделие и последующем принятии отраженных ультразвуковых колебаний с помощью специального оборудования – ультразвукового дефектоскопа и пьезоэлектропреобразователя(-ей) и дальнейшем анализе полученных данных с целью определения наличия дефектов, а также их эквивалентного размера, формы (объемный/плоскостной), вида (точечный/протяженный), глубины залегания и пр.».

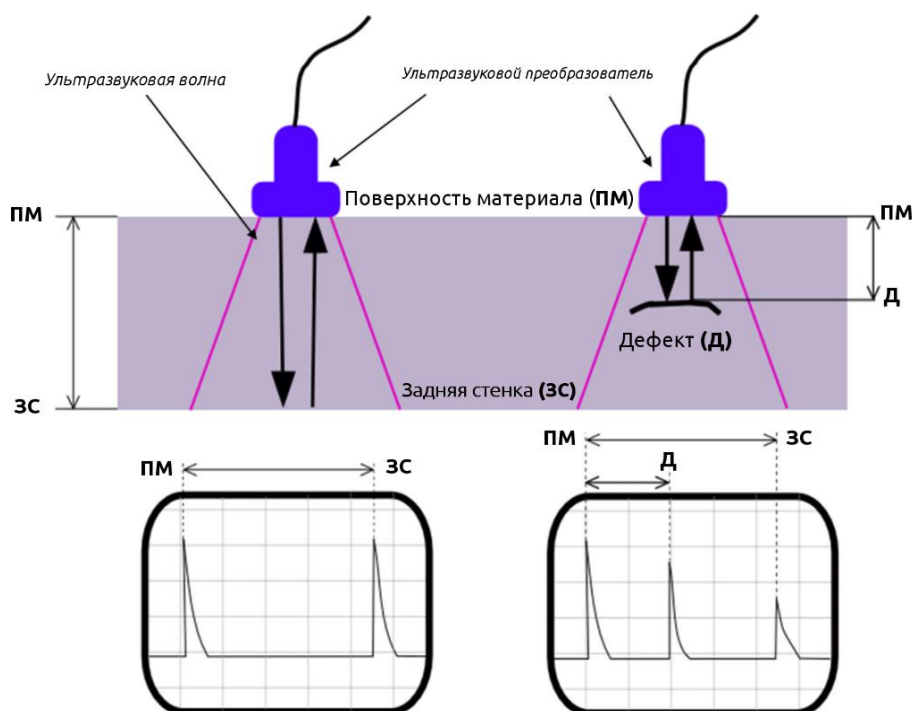


Рисунок 7 – Ультразвуковой метод контроля

«Параметры выявленных дефектов определяются с помощью ультразвуковых дефектоскопов. Так например, по времени распространения ультразвука в изделии (если известна скорость ультразвука скорость распространения ультразвуковых волн в различных материалах) в данном металле) определяют расстояние до дефекта, а по амплитуде отраженного импульса – его относительный размер».

«Для проведения ультразвукового контроля в зависимости от конкретных условий (марки материала, его толщины, геометрических особенностей

поверхностей контроля, минимально выявляемых размеров дефектов и др.) имеется достаточно широкий ассортимент средств контроля».

В настоящее время используются пять основных методов УЗК: зеркально-теневой, теневой, дельта-метод, зеркальный и «эхо-метод. В промышленности ультразвуковой контроль металла проводят, как правило, в диапазоне ультразвуковых волн от 0,5 МГц до 10 МГц. В отдельных случаях неразрушающий контроль сварных швов проводится ультразвуковыми волнами с частотой до 20 МГц, что позволяет выявлять очень небольшие дефекты. Ультразвук низких частот применяют при: работе с объектами большой толщины (ультразвуковой контроль отливок, поковок, сварных соединений выполненных электрошлаковой сваркой); контроле металлов, имеющих крупнозернистую структуру (чугун, медь, аустенитные стали) и большое затухание» – ультразвуковые колебания плохо распространяются в этих материалах..

Достоинствами УЗК являются:

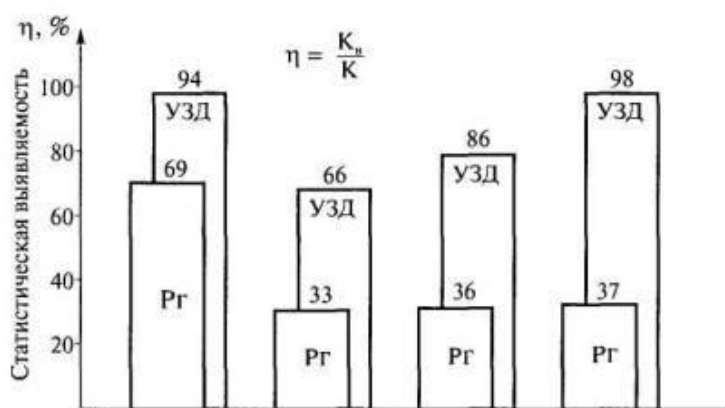
1. основным достоинством УЗК можно считать высокую скорость исследования сварных соединений, при этом следует отметить его низкую стоимость и высокую точность;
2. применение портативных установок для проведения радиографического контроля позволяет достичь существенной мобильности метода;
3. «возможность проведения ультразвукового контроля (в отдельных случаях) на действующем объекте, т.е. на время проведения УЗК не требуется выведения контролируемой детали/объекта из эксплуатации».

Недостатками УЗК являются:

1. в связи с тем, что реальный размер дефекта определяется на основании его отражательной способности отмечается определённая сложность и субъективность при определении этих размеров, и поэтому результатом УЗК является «эквивалентный размер дефекта (например: имеющиеся в изделии два реальные дефекта одного размера и формы, расположенные на одной глубине, но один из которых заполнен воздухом, а другой шла-

- ком будут давать отраженные импульсы различной амплитуды и, соответственно оценены как дефекты, имеющие различные размеры));
2. из-за повышенного рассеяния и сильного затухания ультразвука имеются затруднения при проведении УЗК металлов и сплавов, которые имеют грубую структуру с крупным зерном;
 3. трудоемкие подготовительные операции контролируемой поверхности к УЗК, для ввода ультразвуковых волн в металл: очистка от загрязнений, ржавчины, расплавленного металла, брызг и т.п., обеспечение шероховатости поверхности не ниже Rz40 и чешуйчатости не более 0,015;
 4. для проведения УЗК на контролируемые поверхности «изделия после его зачистки непосредственно перед выполнением контроля необходимо нанесение контактных жидкостей (специальные гели, глицерин, машинное масло, и др.) для обеспечения стабильного акустического контакта», что усложняет процесс при отрицательных температурах и требует последующей очистки.

Что касается вероятности выявления наиболее опасных плоскостных дефектов (рис. 8, 9), то использование ультразвукового контроля позволяет существенно повысить качество нахождения таких дефектов, что является важнейшим преимуществом этого метода неразрушающего контроля (в отличие от радиографии). Также в различных исследованиях показано, что ультразвуковой контроль отличается высокой производительностью (выше, чем РГК до 10 раз) и низкой стоимостью проведения УЗК (до 8 раз ниже, чем РГК).



(K - общее количество дефектов; K_в - количество выявленных дефектов)

Рисунок 8 – «Статистическая выявляемость плоскостных дефектов в сварных соединениях ультразвуковой дефектоскопией (УЗД) и радиографией (Рг)» [4,6]

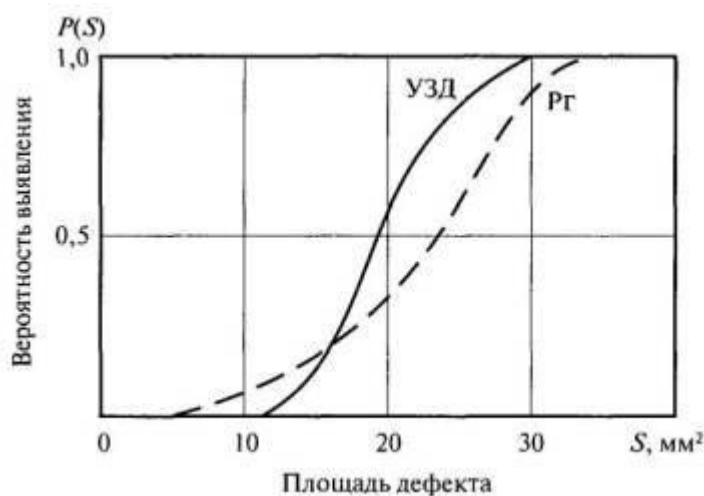


Рисунок 9 – «Вероятность выявления плоскостных дефектов разной площади в сварных соединениях ультразвуковой дефектоскопией (УЗД) и радиографией (Рг)» [12]

Следует также отметить высокую эффективность ультразвукового контроля при проверке сварных соединений большой толщины (свыше 40 мм), при этом, определив коэффициент формы дефекта можно с высокой достоверностью (порядка 0,95) установить тип обнаруженного дефекта. К сожалению, определить тип обнаруженного дефекта при проведении контроля качества сварных швов малой толщины с достаточной степенью вероятности крайне затруднено, а зачастую вовсе невозможно. В связи с этим, дублирующим методом контроля большинством нормативных документов рекомендуется применение радиографического метода контроля в дополнение к УЗК. В зависимости от опасного производственного объекта соотношение объемов контроля может варьироваться.

Ультразвуковой контроль позволяет осуществлять контроль практически любых сварных швов в конструкции (свыше 95% от общей протяженности), поскольку при проведении этого метода контроля нет необходимости в доступе к сварному шву с обеих сторон, что существенно повышает универ-

сальность и область применимости этого метода, особенно при контроле состояния объекта в процессе эксплуатации.

1.5.4. Капиллярный контроль

Капиллярный контроль (КК) используют для нахождения в сварных швах дефектов, которые выходят на поверхность. Также КК позволяет выявлять сквозные дефекты и дает возможность определять форму, размеры, направление характер нарушения сплошности в обнаруженных отклонениях. Чувствительность этого метода достаточно высока – при регистрации результатов контроля невооруженным взглядом можно обнаружить дефекты, имеющие характерный размер до 1 мкм при глубине дефекта свыше 20 мкм.

Особенностью капиллярного контроля является то, то его можно применять для выявления дефектов в сварных швах абсолютно любых форм и размеров, на материалах, являющихся как магнитными, так и не магнитными, сплавах, а также не металлических материалах. Основным условием в данном случае является толь то, чтобы исследуемые конструкционные материалы не вступали во взаимодействие в материалах для капиллярного контроля.

Основным достоинством КК по сравнению радиографическим и УЗ контролем являются:

- высокая достоверность полученных результатов, полученных в наглядном, доступном виде;
- возможность использования при контроле сварных швов большой протяженности (площади) за один цикл;
- при соблюдении требований к методике КК можно добиться высокой чувствительности метода;
- КК является эффективным методом выявления наиболее опасных дефектов в сварном шве – трещин;
- относительно невысокая себестоимость КК (материалы и оборудование), доступность технологии проведения неразрушающего контроля и, как следствие, относительно невысокие требования к квалификации персонала.

К недостаткам метода капиллярного контроля можно отнести следующее:

- метод КК может выявлять только те дефекты, которые выходят на поверхность, но при этом отсутствует возможность определения их максимальной глубины;
- капиллярный контроль требует достаточно габаритного оборудования, а также имеют место проблемы при попытке автоматизировать или механизировать процесс;
- технологический процесс КК имеет достаточно большую длительность (при условии соблюдения всех требований) и сильно зависит от температуры окружающего воздуха – чувствительность метода снижается при отрицательных температурах;
- поверхность, подлежащую контролю, необходимо предварительно подготовить: очистить от загрязнений, брызг расплавленного металла, а также удаление остатков дефектоскопических материалов (пенетранта, проявителя) по окончании КК;
- нескорые вещества, применяемые для КК, являются вредными и могут нанести вред здоровью персоналу, проводящему контроль (предъявляются особые требования к обеспечению безопасных условий труда – применение средств защиты и эффективной вентиляции помещений);
- материалы, применяемые для КК, имеют относительно короткий срок годности (определяется условиями хранения);
- необходимость обеспечения прямого доступа к контролируемой поверхности – это необходимое условие для нанесения на нее материалов для проведения контроля;

Для проведения КК требуется обеспечить хорошую освещенность объекта контроля (возможно применение ультрафиолетового излучения) и четкое и неукоснительное соблюдение условий контроля: температурных и временных.

Эффективное выявление дефектов при КК возможно только при наличии скрытой полости, выходящей на поверхность, доступную для проведения контроля. Причем поверхность этой полости должна хорошо смачиваться реактивами (веществами) для проведения капиллярного контроля и заполняться ими – т.е. дефект должен иметь капиллярные размеры: заполнение и выявление дефектов, имеющих величину свыше 0,5 мм крайне затруднено. Важным требованием к проведению контроля является температурный режим – проведение КК возможно только в интервале не ниже -40 и не выше $+40^{\circ}\text{C}$, влажность окружающей среды не должна превышать 90%. В случае необходимости проведения КК в условиях, отличных от указанных – для этого необходимо подобрать необходимые материалы для проведения капиллярного контроля, обеспечивающие возможность проведения КК с заданной чувствительностью при заданных условиях. В соответствии с требованиями нормативных документов КК, как правило, применяется как дополнительный при использовании иных методов, а также может использоваться отдельно. [34]

Препятствием для проведения КК сварных швов может являться только неудовлетворительное качество поверхности, подвергаемой контролю, а также существенные геометрические неоднородности в сварном соединении (изломы, подрезы, резкие переходы). Для того, чтобы избежать появления на контролируемой поверхности фонового светящегося слоя, препятствующего фиксации результатов контроля, необходимо проводить тщательную предварительную подготовку контролируемой поверхности – обеспечение необходимой шероховатости, отсутствие брызг, окалины и т.п.

1.5.5. Магнитопорошковый контроль

Для выявления дефектов в сварных соединениях конструкций из сталей, являющихся ферромагнетиками (стали конструкционные обыкновенного качества, низколегированные и углеродистые стали) часто применяют магни-

топорошковый контроль (МПК). Этот метод служит для обнаружения дефектов, которые выходят на поверхность и (или) залегают под ней на глубине до 10 мм. [40,41].

Трещины – наиболее эффективно выявляемые при МПК дефекты, причем эффективно обнаруживаются трещины глубиной свыше 10 мкм и шириной свыше 0,001 мм. Кроме этого при МПК эффективно обнаруживаются такие дефекты как: расслоения, поры, неметаллические включения, непровары, раковины, волосовины, закаты, надрывы и многие другие.

У магнитопорошкового контроля есть ограничения на его применение. Такими ограничениями являются:

- изделия (элементы конструкции и детали) изготовлены из немагнитного материала;
- на контролируемой поверхности не обеспечены условия для осуществления ввода электромагнитных полей в изделие, а также нанесения материалов, которые индицируют и визуализируют дефекты;
- затруднено обнаружение дефектов в изделиях, имеющих сильную структурную неоднородность, а также в конструкциях, характеризующихся резкими переходами и наличием геометрических неоднородностей;
- если плоскость раскрытия дефектов-неплотностей при намагничивании контролируемого изделия совпадает с направлением магнитного поля, или же отклоняется от него угол $<30^\circ$.

Уровень выявления дефектов при МПК зависит от множества факторов. Эти факторы связаны с методикой проведения магнитопорошкового контроля, а также свойствами объекта (сварного шва). К этим факторам можно отнести:

- характеристики контролируемого объекта (неоднородности структуры контролируемого материала, ферромагнитные свойства, качество поверхности и форма контролируемого объекта, его массовые и геометрические характеристики);

- наличие на поверхности различных загрязнений и покрытий (учитывается их толщина и стойкость к внешним воздействиям);
- методика проведения контроля и режимы технологии МПК (схема введения магнитного поля, его характер, напряженность или сила намагничивающего тока, схема намагничивания);
- технологические особенности (способ) МПК.

Если на контролируемой поверхности имеются немагнитные покрытия (кадмий, хром и пр.) то контроль таких изделий не вызывает существенных сложностей при толщине покрытия не более 0,02 мкм – такая толщина практически не влияет на чувствительность контроля. При больших толщинах немагнитного покрытия свыше 0,15 мкм чувствительность контроля снижается в геометрической прогрессии, а выявляемость дефектов снижается (выявляются дефекты размером не менее 0,15 мм).

Широкая распространенность МПК, как метода неразрушающего контроля, обусловлена высокой производительностью этого метода, сравнительно высокой чувствительной и доступным представлением результатов проведения контроля качества.

Отличительной чертой этого метода является то, что при соблюдении параметров и режимов технологической карты МПК сварных швов конструкций можно обнаружить очень мелкие дефекты, в частности микротрещины на самой начальной стадии их зарождения. Обнаружить подобные дефекты другими методами неразрушающего контроля без использования специализированных дорогостоящих средств контроля практически невозможно.

К достоинствам метода магнитопорошкового контроля можно отнести то, что область использования данного метода существенно не зависит от качества состояния поверхности контролируемого объекта. Выявлять дефекты в сварных швах можно с высокой эффективностью и при наличии на поверхности брызг наплавленного металла, грубой чешуйчатости сварного шва, а также других дефектов формы и размеров сварных соединений (резкие пере-

ходы к основному металлу и другие). Несмотря на то, в этих случаях создаются дополнительные магнитные потоки и дополнительные случайные индикаторные следы, МПК достоверно и эффективно обнаруживает в сварных соединениях большинство поверхностных и подповерхностных дефектов, в том числе и трещины.

1.6. Выбор методов неразрушающего контроля при аттестации сварщиков

«При выборе методов неразрушающего контроля конкретных элементов конструкций необходимо учитывать следующие основные факторы: характер (вид) возможных дефектов и их расположение; возможности методов контроля; виды деятельности, при которых применяется неразрушающий контроль (изготовление, ремонт, техническое диагностирование); формы и размеры контролируемых элементов конструкций; материалы, из которых изготовлены контролируемые элементы; состояние и шероховатость контролируемых поверхностей конструкций».

При аттестации сварщиков контрольные сварные соединения, выполненные на практическом экзамене, подвергаются контролю качества методами, приведенными в таблице 1.

Таблица 1 – «Методы контроля и испытаний контрольных сварных соединений и наплавов» [22]

«Метод контроля»	«Стыковое соединение листов»	«Стыковое соединение труб»	«Угловое соединение»	«Наплавка»	«Соединение деталей с закладными нагревателями»
«Визуальный и измерительный (ВИК)»	*	*	*	*	*
«Радиографический (РГК) «	*1	*1	*2	—	—
«Ультразвуковой (УЗК)»	*3	*3	*4	*9	—
«Испытание на статический изгиб (сплющивание)»	*5	*5	—	—	*10
«Испытание на излом»	*1	*1	*1;8	—	*11
«Анализ макрошлифов (без полирования)»	—	—	*6	*6	—

«Магнитопорошковый (МПК)** или капиллярный (КК)»**	*7	*7	*7	*7	—
Испытание на осевое растяже- ние»	*12	*12	—	—	—
Обозначения:					
* - контроль является обязательным, с учетом примечания:					
1. Выполняют радиографический контроль или испытания на излом, но не оба метода кон- троля вместе. Для сварных соединений из полимерных материалов радиографический кон- троль или испытания на излом не применяют .					
2. Кроме контрольных угловых сварных соединений приварки труб (патрубков, штуцеров) к листам или трубам при номинальном внутреннем диаметре привариваемой трубы менее 30 мм и соединений вварки труб в трубные решетки; для сварных соединений из полимерных материалов не применяется .					
3. Контроль выполняют в случаях, предусмотренных нормативными документами, указан- ными в заявке, взамен или в дополнение к радиографическому контролю, при этом испыта- ния на излом не выполняют. Для сварных стыковых соединений полиэтиленовых труб систем газоснабжения ультразвуковой контроль является обязательным.					
4. Кроме контрольных сварных соединений при номинальном внутреннем диаметре прива- риваемой трубы (патрубка, штуцера) менее 100 мм, а также контрольных сварных соедине- ний трубных решеток.					
5. Контроль является обязательным для контрольных сварных соединений, выполненных газовой сваркой и сваркой плавящимся электродом в активных газах и смесях. Для сварных стыковых соединений полимерных материалов не применяется.					
6. Испытаниям подлежат не менее 2 макрошлифов.					
7. Контроль выполняют по решению аттестационной комиссии с учетом заявки на проведе- ние аттестации.					
8. Испытания выполняют для соединений листов.					
9. Ультразвуковой контроль выполняют на отслоение наплавки.					
10. Для сварных соединений полиэтиленовых труб трубопроводов систем газоснабжения, выполненных с помощью муфт с закладными нагревателями, обязательным является испыта- ние на сплющивание .					
11. Для сварных соединений седловых отводов полиэтиленовых труб трубопроводов систем газоснабжения обязательным является испытание на отрыв .					
12. Для стыковых сварных соединений полиэтиленовых трубопроводов систем газоснабже- ния, выполненных сваркой нагретым инструментом, обязательным является испытание на осевое растяжение .					
** - для сварных соединений из полимерных материалов не применяют;					
— - контроль не является обязательным.					

Контролю неразрушающими методами подлежит каждое контрольное сварное соединение по всей его длине (периметру).

1.7. Распространенные дефекты сварных соединений, определение и причины образования

Сварочный процесс, как и любой другой способ металлообработки, сопровождается образованием дефектов. Дефекты при сварке возникают «вследствие нарушения требований нормативных документов к сварочным материалам, подготовке, сборке и сварке соединяемых элементов, термической и механической обработке сварных соединений и конструкции в целом». Так же кристаллизация металла при формировании сварного шва, химическая неоднородность металла, взаимодействие жидкого металла сварочной ванны с твердым металлом детали, с газами и шлаком, влияют на образование сварочных дефектов.

В соответствии с ГОСТ Р ИСО 6520-1-2012 дефекты делятся на 6 групп [1,29,30,32]:

- 1 – трещины (cracks);
- 2 - полости, поры (porosity);
- 3 - твердые включения (slag inclusions);
- 4 - несплавления и непровары (incomplete fusion and penetration)[32];
- 5 - нарушение формы шва;
- 6 - прочие дефекты, не включенные в вышеперечисленные группы (брызги металлов, поверхностные задиры, риски и т.д., дефекты не вошедшие в группы 1-5).

Трещина (рисунок 10) - несплошность, вызванная местным разрывом шва или околошовной зоны, которая, как правило, возникает в результате влияния значительных напряжений, причиной которых может являться действие внешних нагрузок или быстрого охлаждения сварного соединения. Они могут быть расположены в металле сварного шва, в зоне термического влияния, в основном металле.



Рисунок 10 – Трещина в сварном шве

Причины появления дефектов:

1. высокое напряжение в жестко закрепленных конструкциях;
2. резкое переохлаждение конструкции;
3. выполнение сварочных работ при низких температурах;
4. повышенное содержание серы и фосфора в основном металле;
5. несоблюдение режимов сварки и её технологии

Кратер (рисунок 11) - это дефект в виде воронкообразного углубления в конце сварного шва, образовывается из-за резкого обрыва дуги. Дефект сопровождается усадкой и трещинами усадочного происхождения. Неправильные действия сварщика при обрыве дуги.

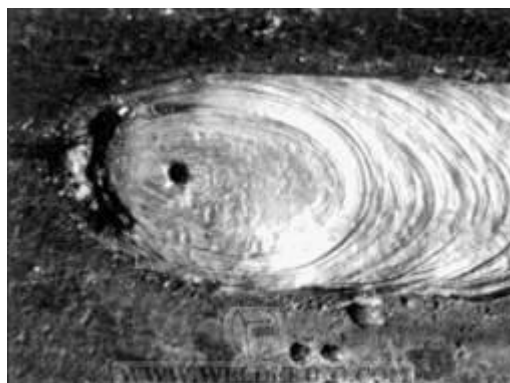


Рисунок 11 – Кратер сварного соединения

Поры (рисунок 12) - полость в металле шва заполненная газом. В большинстве случаев имеет сферическую форму, также может быть удлиненной формы. Самой частой причиной дефекта является загрязнение во время сварки. Как правило, пористость не рассматривается в качестве дефекта, несущего такие же негативные последствия как другие дефекты, кратеры

и непровары [34], (*The discontinuity formed is generally spherical, but it may be elongated. A common cause of porosity is contamination during welding. Generally, porosity is not considered to be as detrimental as other discontinuities, such as cracks or incomplete fusion*), однако наличие пористости в сварном соединении снижает механические свойства металла (прочность, ударную вязкость и т.п.).

Пористость в сварочном шве ведет к появлению трещин, иногда видимых, иногда нет. Для обнаружения дефекта часто используют РГК или УЗК (*Porosity in welds leads to cracks, sometimes visible, sometimes not. Certified welding inspectors often find these little holes in X-rays and ultrasound testing*) [40].

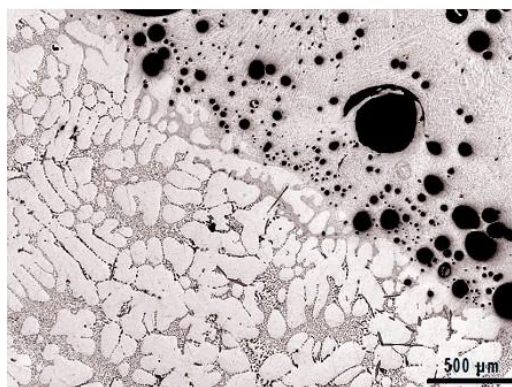


Рисунок 12 – Поры в сварном шве

Причины появления пор:

1. влажные не просушенные сварочные материалы;
2. плохое качество подготовки свариваемых поверхностей;
3. большая скорость сварки

Шлаковые включения (slag inclusion, рисунок 13) - неметаллические вещества в металле сварного соединения. Наличие шлаковых включений влияет на прочность и свариваемость данного материала. Также уменьшает структурные качества свариваемого материала (*If there is any slag in the weld, then it affects the toughness and metal weldability of the given material. This decreases the structural performance of the weld material*) [36].

Причинами для появления дефектов служит длинная дуга, малый сварочный ток, плохая зачистка предыдущих слоев (при многослойной сварке).



Рисунок 13 – Включения

Непровар (рисунок 14) - дефект в виде отсутствия сплавления между металлом сварного шва и соединяемыми поверхностями.

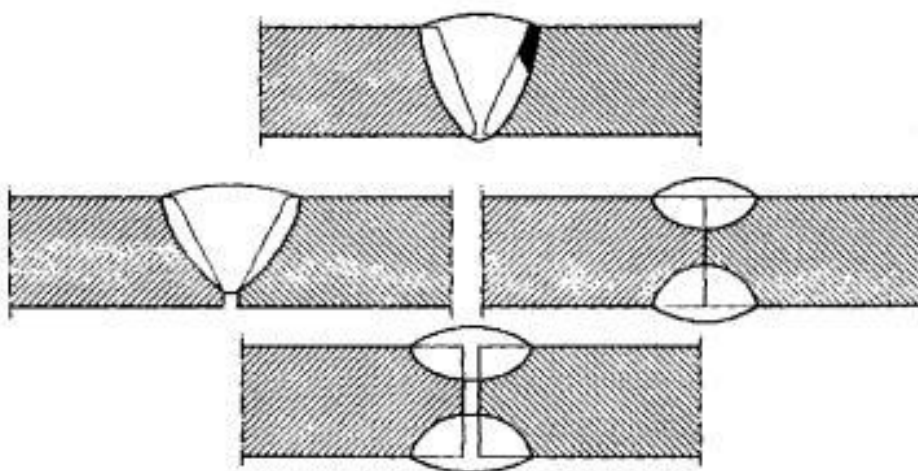


Рисунок 14 – Виды непроваров в сварных соединениях.

Основными причинами возникновения непроваров в сварных соединениях можно считать:

1. неправильная разделка кромок свариваемых поверхностей;
2. плохая подготовка свариваемых поверхностей;
3. малые зазоры между свариваемыми поверхностями;
4. большая величина притупления;
5. неправильно подобраны режимы сварки (низкая скорость и малый ток)

Прожог (рисунок 15) - дефект в виде сквозного проплавления кромок соединяемых деталей, и как следствие вытекания сварочной ванны.

Причины образования прожога:

1. большой зазор между соединяемыми поверхностями;
2. неправильно подобраны режимы сварки (низкая скорость и высокий ток)
3. неправильное расположение электрода относительно зенита



Рисунок 15 – Прожог сварного соединения

Подрезы (undercut, рисунок 16) – это дефекты в виде углубления в основном металле вдоль края сварного соединения. Дефект обычно вызван неправильно подобранной скоростью ведения сварки и напряжением на дуге.

Исправление: дефект устраняют наплавкой.



Рисунок 16 – Подрез.

Неравномерная ширина шва (рисунок 17)- чрезмерное колебание ширины шва.



Рисунок 17 – Неравномерная ширина шва

Из практики выявлено, что данные дефекты встречаются довольно часто при выполнении сварочных работ, а также при аттестации сварщиков.

Известно, что дефекты могут приводить к снижению надежности сварной конструкции. Поэтому после сварки для выявления дефектов используют методы неразрушающего контроля.

1.8. Задачи диссертации

1. Разработать методику статистического исследования дефектности сварных соединений.
2. Провести статистическое исследование и осуществить выявление причин появления дефектности сварных соединений по результатам неразрушающего контроля
3. Обработать результаты исследования и сформулировать причины их появления и рекомендации по уменьшению дефектности сварных соединений, выполняемых как при аттестации сварщиков, так и в производстве сварных конструкций.
4. Провести анализ требований к качеству сварных соединений конструкций опасных производственных объектов и сформулировать обобщенные требования к допускаемому уровню дефектности.
5. Предложить пути повышения производительности и эффективности основного метода контроля – радиографического.

2. Методика проведения исследования

Цель исследований – повышения качества сварных соединений за счет проведения анализа дефектности и причин их появления.

2.1. Исследуемые исходные данные для анализа

1. Объем данных за 1 год.
2. Количество аттестуемых сварщиков в первый раз 64 человека.
3. Способ сварки для анализа РД - ручная дуговая сварка покрытым электродом.
4. Наименование объектов опасных производственных объектов: газовое оборудование; нефтегазодобывающее оборудование; строительные конструкции.
5. Документы регламентирующие контроль по ВИК: РД 03-606-03, ГОСТ 16037-80, РД 01-001-06, ВСН 012-88, СНиП 3.05.03-85; по РГК: ГОСТ 7512-82, РД 01-001-06, ВСН 012-88, СНиП 3.05.03-85
6. Тип сварного соединения – стыковое
7. Тип сварного соединения С2 и С17 по ГОСТ 16037-80
8. Используемый основной материал – сталь 20, 09Г2С
9. Количество сваренных образцов (стыков) за 1 год – 338 шт.

2.2. Исследуемые параметры данных для анализа

1. Характеристика сварных соединений.
2. Диаметр труб
3. Толщина стенки труб
4. Сварщик – стаж по профессии сварщик
5. Выявленные в ходе проведения контроля дефекты, при наличии.

После сбора исследуемой информации выполнить группировку данных в соответствии с предложенными таблицами – Таблицы 2- 4.

Таблица 2 - Данные по диаметрам

Диаметр образцов	Количество образцов	Количество дефектов	Наименование дефекта	Процентное соотношение	Среднее значение дефектности
			Поры		
			Трещины		
			Подрезы		
			Прожоги		
			Включения шлаковые		
			Непровары		
			Кратер шва		
			Геометрические размеры формы шва		

Таблица 3 - Данные по толщинам

Толщина образцов	Количество образцов	Количество дефектов	Наименование дефекта	Процентное соотношение	Среднее значение дефектности
			Поры		
			Трещины		
			Подрезы		
			Прожоги		
			Включения шлаковые		
			Непровары		
			Кратер шва		
			Геометрические размеры формы шва		

Таблица 4 - Данные по стажу по профессии

Стаж по профессии	Количество образцов	Количество дефектов	Наименование дефекта	Процентное соотношение	Среднее значение дефектности
			Поры		
			Трещины		
			Подрезы		
			Прожоги		
			Включения шлаковые		
			Непровары		
			Кратер шва		

			Геометрические размеры формы шва		
--	--	--	--	--	--

После занесения данных в таблицы анализа провести обработку с последующим построением графиков по каждой из групп.

На основании полученных данных и их обобщений сформулировать вывод и закономерности появления некачественных сварных швов, дать рекомендации по снижению дефектности при аттестации сварщиков

3. Результаты исследования дефектности сварных соединений

На основе задач диссертации была собрана информация о дефектах, которые возникли при сварке образцов при аттестации сварщиков, которые имеют различный стаж по профессии. Также отбирались образцы с различными величинами диаметров и толщины стенок; сваренных ручной дуговой сваркой.

Статистические исследования по качеству формирования сварных соединений при аттестации сварщиков на ручную дуговую сварку осуществлялись проводились по данным, предоставляемым лабораторией неразрушающего контроля аттестационного центра СВР-10АЦ (ООО «ССДЦ Дельта») с применением неразрушающих методов контроля (ВИК и РК).

Полученные данные были сгруппированы в соответствующие таблицы п. 2.2 и приведены в таблицах 5-7 и на рисунках 18,19,20.

Таблица 5 – Результаты исследования по диаметрам КСС

Диаметр образцов	Количество образцов	Количество дефектов	Наименование дефекта	Процентное соотношение	Среднее значение дефектности
42, 57	92	7	Поры	7,6	9,77
		0	Трещины	0	
		8	Подрезы	8,7	
		0	Прожоги	0	
		12	Включения шлаковые	13	
		0	Непровары	0	
		0	Кратер шва	0	
		0	Параметры формы шва	0	
159, 219	66	4	Поры	6,6	4,7
		0	Трещины	0	
		3	Подрезы	4,5	
		0	Прожоги	0	
		2	Включения шлаковые	3	
		0	Непровары	0	
		0	Кратер шва	0	
		0	Параметры формы шва	0	
530	22	0	Поры	0	6,75
		0	Трещины	0	

Диаметр образцов	Количество образцов	Количество дефектов	Наименование дефекта	Процентное соотношение	Среднее значение дефектности
		1	Подрезы	4,5	
		0	Прожоги	0	
		2	Включения шлаковые	9	
		0	Непровары	0	
		0	Кратер шва	0	
		0	Параметры формы шва	0	

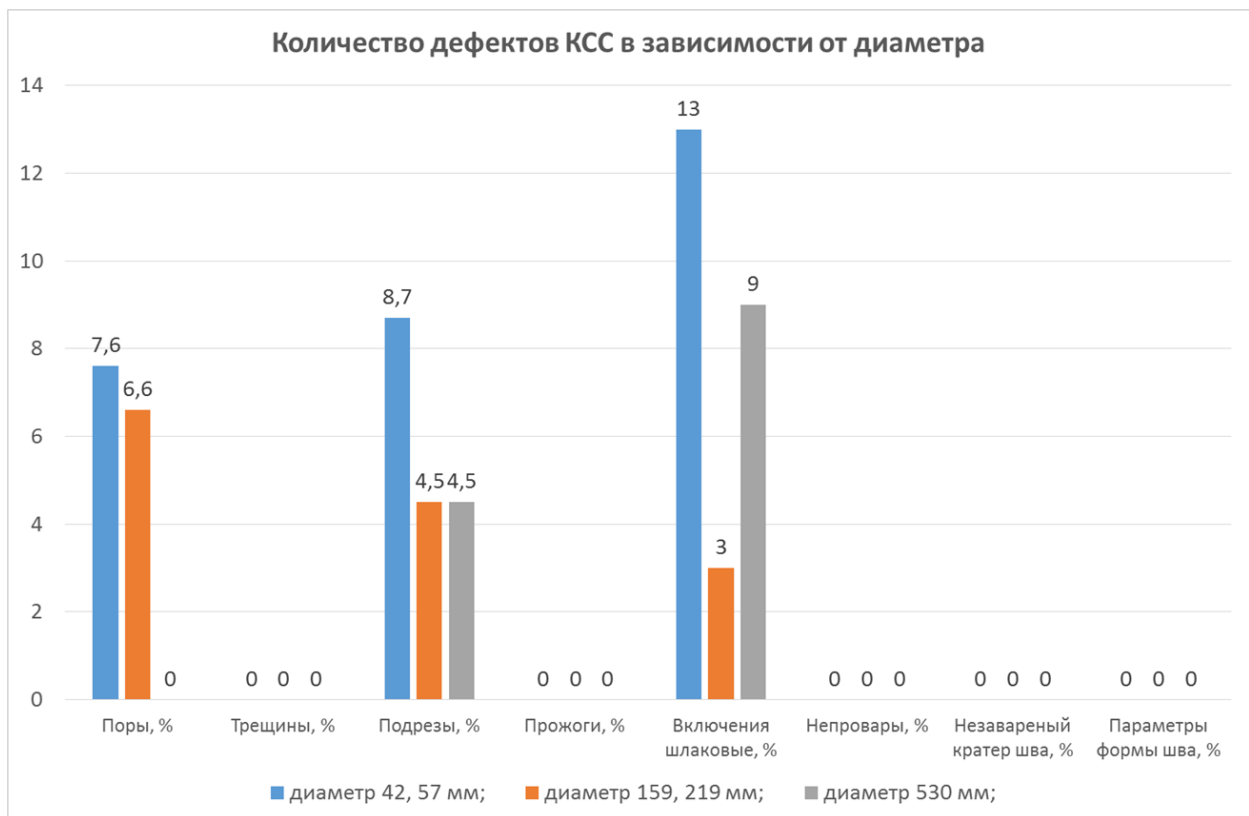


Рисунок 18 - Количество дефектов КСС в зависимости от диаметра.

По результатам видно, что количество брака снижается с увеличением диаметра, наиболее частые дефекты – поры, шлаковые включения, подрезы.

Таблица 6 – Результаты исследования по толщинам

Толщина образцов	Количество образцов	Количество дефектов	Наименование дефекта	Процентное соотношение	Среднее значение дефектности
3,4	92	7	Поры	7,6	9,77
		0	Трещины	0	
		8	Подрезы	8,7	
		0	Прожоги	0	

Толщина образцов	Количество образцов	Количество дефектов	Наименование дефекта	Процентное соотношение	Среднее значение дефектности
		12	Включения шлаковые	13	
		0	Непровары	0	
		0	Кратер шва	0	
		0	Параметры формы шва	0	
6, 10	72	3	Поры	4,1	4,76
		0	Трещины	0	
		4	Подрезы	5,6	
		0	Прожоги	0	
		3	Включения шлаковые	4,6	
		0	Непровары	0	
		0	Кратер шва	0	
		0	Параметры формы шва	0	
12, 14	16	1	Поры	6,25	6,25
		0	Трещины	0	
		0	Подрезы	0	
		0	Прожоги	0	
		1	Включения шлаковые	6,25	
		0	Непровары	0	
		0	Кратер шва	0	
		0	Параметры формы шва	0	

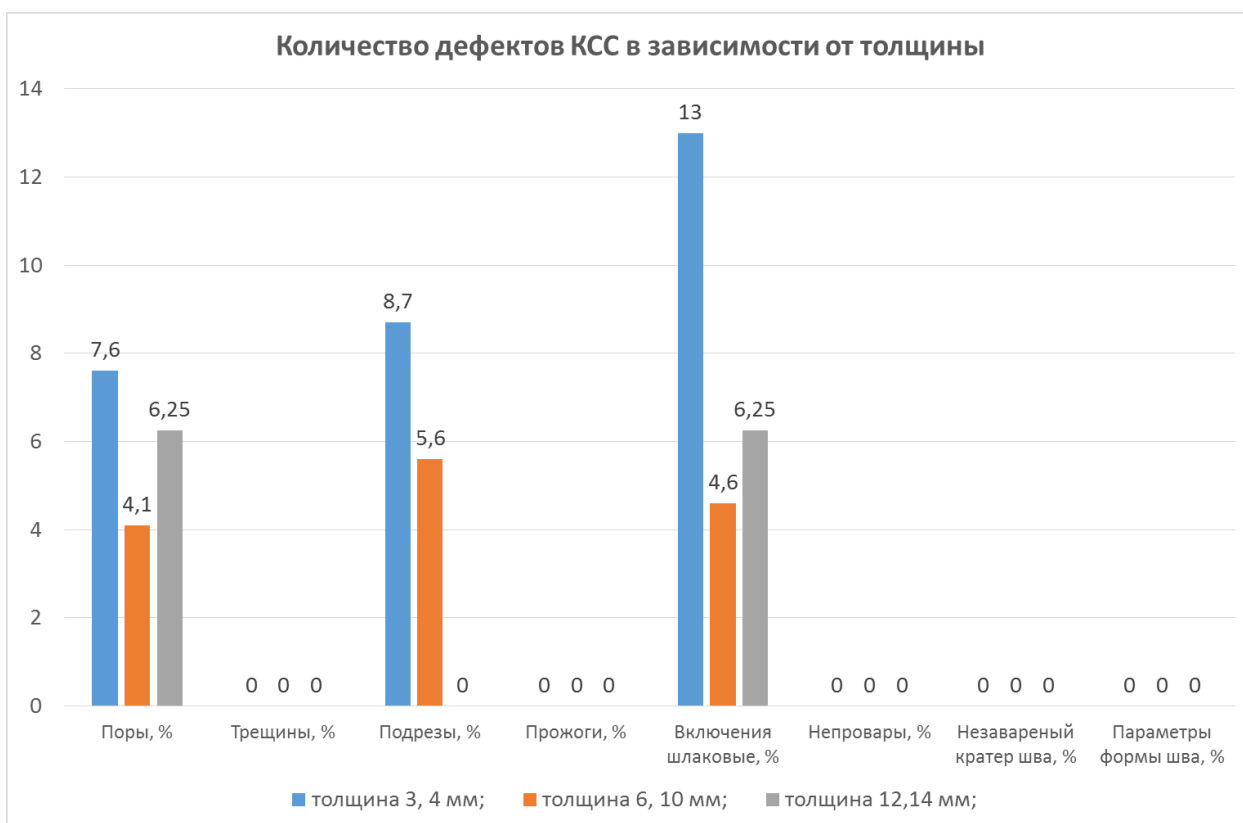


Рисунок 19 - Количество дефектов КСС в зависимости от толщины.

По результатам видно, что на маленькие толщины приходится наибольший процент брака. В целом при различных толщинах стенок наблюдаются дефекты - поры, шлаковые включения, подрезы.

Таблица 7 – Результаты исследования по стажу по профессии

Стаж по профессии	Количество образцов	Количество дефектов	Наименование дефекта	Процентное соотношение	Среднее значение дефектности
От 1 года до 5 лет	39	4	Поры	10,25	14,53
		0	Трещины	0	
		6	Подрезы	15,38	
		0	Прожоги	0	
		7	Включения шлаковые	17,95	
		0	Непровары	0	
		0	Кратер шва	0	
От 5 лет до 15 лет	73	3	Поры	4,1	5,93
		0	Трещины	0	
		4	Подрезы	5,48	
		0	Прожоги	0	

Стаж по профессии	Количество образцов	Количество дефектов	Наименование дефекта	Процентное соотношение	Среднее значение дефектности
		6	Включения шлаковые	8,22	
		0	Непровары	0	
		0	Кратер шва	0	
		0	Параметры формы шва	0	
От 15 лет до 25 лет	68	4	Поры	5,88	13,23
		0	Трещины	0	
		2	Подрезы	2,94	
		0	Прожоги	0	
		3	Включения шлаковые	4,41	
		0	Непровары	0	
		0	Кратер шва	0	
		0	Параметры формы шва	0	



Рисунок 20 - Количество дефектов КСС в зависимости от стажа сварщика.

Результаты показали, что независимо от стажа появляются дефекты - поры, шлаковые включения, подрезы.

Причинами появления дефектов это плохое качество зачистки поверхности сварного образца и его кромок перед сваркой, нарушение техники сварки сварщиком, не выдержаны режимы сварки, некачественная зачистка шва при многослойной сварке металлов большой толщины.

Проанализировав полученные результаты и статистику дефектности контрольных сварных соединений, выполненных при аттестации сварщиков, можно сделать вывод, что качество КСС находится на достаточном уровне. Однако, если повысить требования к контролю за технологическим процессом сварки и обеспечить соблюдение всех рекомендаций и требований технологического процесса сварки, можно заметно снизить вероятность образования дефектов.

Подрезы – слишком высокая скорость сварки и повышенное напряжение.

Поры, шлаковые включения – плохая подготовка поверхности основного металла и сварного шва при многопроходной сварке, сварка длинной дугой.

4. Причины возникновения дефектов в сварных соединениях и рекомендации по их минимизации

Так для повышения качества сварных соединений за счет проведения анализа дефектности и причин их появления был проведен анализ появления дефектов и выявлены причины возможных появлений при сварке.

В качестве основных возмущающих факторов, связанных с качеством основного металла можно выделить: изменение химического состава металла относящегося к одной марке стали или сплава, изменение геометрических характеристик основного металла, изменение состояния поверхности свариваемого металла.

В качестве возмущения в виде изменения химического состава металла можно отнести сварку металла одной марки, но разных партий, особенно разных заводов-изготовителей. Такой металл в общем случае соответствует требованиям ГОСТ по химическому составу, но конкретная партия может иметь химический состав отличный от другой партии. При этом химический состав обеих партий находится в допустимых пределах в соответствии с требованиями ГОСТ. Изменение химического состава может привести к изменению температурной картины в кромке и вызвать изменение размеров шва при выполнении процесса на одинаковых режимах.

Так, например, автором работы [19] проведены исследования, в результате которых выявлено, что при сварке неплавящимся и плавящимся электродами, происходит изменение зоны проплавления при изменении содержания серы в основном металле, что приводит к изменению геометрии сварного шва. Было установлено, что чем меньше содержание серы в основном металле, тем меньше при сварке неплавящимся электродом глубина и ширина зоны проплавления. С другой стороны, при сварке плавящимся электродом наблюдается обратная зависимость: чем больше содержание серы в основном металле, тем больше глубина проплавления. Ширина и выпуклость шва при

сварке плавящимся электродом с содержанием серы в основном металле от 0,021% до 0,001% практически не изменяется.

К возмущающему фактору в виде изменения геометрических характеристик основного металла, можно отнести отклонение толщины проката от номинальной по ГОСТ или ТУ, отклонение диаметра труб от номинального по ГОСТ, овальность труб и деформацию листов.

Отклонение толщины металла или диаметра трубы от номинально указанных значений в ГОСТ, РД или ТУ приводит к отклонению геометрических параметров сварного соединения. Например, если по ГОСТу на лист толщиной 10 мм предельные отклонения могут быть в пределах ± 1 мм, то годным будет считаться лист с толщинами от 9 до 11 мм. Однако такое отклонение по толщине будет являться возмущением при сварке. Если варить листы с номинальной толщиной с листом, который имеет предельные отклонения от номинальной толщины (например, 10 мм с 11 мм) или листы с предельными отклонениями противоположными по знаку (например, 9 мм и 11 мм), то произойдет отклонение геометрических размеров сварного шва от проектных, поскольку параметры технологического процесса сварки конструкции рассчитывалась исходя из сварки листов номинальной толщины (т.е. 10 мм).

Отклонение от допустимой овальности труб и деформация листов нарушают геометрические параметры сборки, что приводит к отклонению значения геометрических параметров сварного соединения от требуемых ГОСТом и к образованию дефектов, таких как непровар, несплавление, прожоги и т.д.

К возмущающим факторам в виде изменения состояния поверхности свариваемого металла относят наличие на поверхности металла слоя ржавчины, масла, окалины, грязи, влагу на поверхности, которые не были убраны с поверхности металла при подготовке кромок под сварку. Перед сваркой с поверхности металла необходимо удалить рыхлый слой ржавчины и окалины, и пр. загрязнения. Однако ржавчина, масло, грязь случайным образом, напри-

мер, после плохой зачистки поверхности, могут остаться на поверхности металла. В результате этого в процессе сварки дуга может изменять пространственное положение, так как ржавчина имеет более низкую электропроводность. Также попадание данных загрязнений в сварочную ванну может привести к образованию пор, трещин и нарушению нормального формирования швов. [1].

В качестве основных возмущающих факторов, связанных с качеством сварочных материалов можно выделить изменение геометрических параметров материалов по длине или во времени, изменение химического состава сварочных материалов (для проволоки), изменение состояния поверхности, изменение физико-химических показателей по ГОСТ или ТУ, влажность защитного газа.

Например, при сварке в защитном газе неплавящимся электродом наиболее актуальной проблемой является изменение геометрии рабочего конца вольфрамового электрода. По данным ряда исследователей основными возмущениями, связанными с изменением геометрических характеристик неплавящегося электрода являются следующие возмущения:

1. Изменение геометрической формы рабочей части электрода в процессе сварки.
2. Изменение диаметра вольфрамового электрода, вследствие уноса вольфрама с боковых поверхностей электрода.

Геометрия рабочей части вольфрамового электрода характеризуется следующими параметрами: длина конусной части, угол заточки конуса, величина притупления конусной части электрода.

Изменение формы рабочей части вольфрамового электрода в процессе сварки происходит из-за катодного распыления, а также уноса массы вследствие окисления вольфрама. Изменение формы, как правило, выражено в увеличении величины притупления вольфрамового электрода со временем, скруглении конца электрода, образовании на конце электрода наростов грибовидной формы (так называемая «корона»), а также отклонении части кону-

са от оси симметрии. Скорость этих изменений характеризует стойкость вольфрамовых электродов, и зависит от тепловой нагрузки на вольфрамовый электрод. Именно нерациональное сочетание геометрических характеристик электрода с применяемыми режимами сварки, ведёт к увеличенной тепловой нагрузке на рабочую часть вольфрамового электрода, и быстрому износу рабочей поверхности (малой стойкости электродов). Так, образование «короны» на конце электрода происходит при некотором критическом значении силы сварочного тока, свойственной для конкретного диаметра электрода. Также существенное влияние на скорость изменения размеров (т.е. эрозии) вольфрамового электрода имеет состав защитного газа, так например, при использовании для сварки аргона высшего сорта скорость эрозии в 3- 5 раз меньше, чем при использовании аргона первого сорта. [25,19]

Изменение геометрических характеристик рабочего конца электрода приводит, во-первых, к изменению характеристик дугового разряда, а во-вторых к потере пространственной устойчивости сварочной дуги. [19]. Под изменением характеристик дугового разряда подразумевается изменение сосредоточенности теплового потока в анодном пятне нагрева дуги и изменение градиента давлений дуги на сварочную ванну, вызванных изменением формы столба дуги. При увеличении размеров катодного пятна (т.е. росте притупления конца электрода) происходит уменьшение концентрации катодного пятна, вследствие чего уменьшается коэффициент сосредоточенности теплового потока на анодном пятне и уменьшение величины катодного потока, обуславливающего давление дуги на жидкий металл. Это вызывает изменение формы и размеров сварного шва: изменяется глубина проплавления и ширина шва. Потеря пространственной устойчивости дугового разряда может происходить из-за образования «короны» на конце электрода, или при отклонении части конуса от оси симметрии электрода. Образование «короны» приводит к перемещению на неё центра привязки дуги (с притупления электрода) и блужданию сварочной дуги. [25] Это приводит к изменению ширины шва и отклонению шва от линии стыка. Отклонение части конуса от

оси симметрии электрода вызвано жидкой прослойки и кольцевым наростом на конце электрода, который приводит к искривлению конуса, в результате чего дуга отклоняется от оси симметрии электрода и начинает гореть в сторону. Это приводит к отклонению шва от оси стыка, и появлению непроваров и несплавлений.

Изменение диаметра вольфрамового электрода, вследствие уноса вольфрама с боковых поверхностей электрода происходит из-за выгорания вольфрама при взаимодействии с кислородом воздуха. Данный процесс не оказывает существенного влияния на изменение размеров и формы сварного шва в процессе сварки. Изменение диаметра сказывается в основном на времени работы вольфрамового электрода. Значительный унос массы с боковых поверхностей приводит к уменьшению диаметра электрода и может привести к разрушению электрода в средней части.

В качестве возмущения связанного с защитным газом можно выделить отклонение физико-химических показателей от ГОСТ или ТУ, а также повышенную влажность защитного газа. Отклонение физико-химических показателей от требований ГОСТ или ТУ приводит к изменению свойств защитной среды, а также к изменению свойств дуги. Влажность защитного газа приводит к образованию пор в сварном соединении. [19].

В качестве возмущения связанного со сварочной проволокой можно выделить изменение химического состава проволоки и изменение состояния её поверхности.

Изменение химического состава проволоки приводит к изменению химического состава, структуры и свойств металла шва.

К возмущениям состояния поверхности сварочной проволоки относятся окалина, масло, ржавчина и другие загрязнения на поверхности сварочной проволоки. Изменение состояния поверхности сварочных материалов в процессе сварки приводит к изменению пространственной устойчивости дуги, что влияет на процесс формирования сварного шва, а также влияет на химический состав и на качество сварного соединения.

К основным возмущающим факторам, связанным с квалификацией сварщика относят факторы связанные с изменением текущей квалификации сварщика по различным причинам. Под текущей квалификацией понимается набор качеств и физиологических функций сварщика (степень концентрации внимания, моторные функции и пр.), определяющих его способность к качественному выполнению сварочных работ определённой сложности. К таким возмущающим факторам можно отнести зависимость текущей квалификации сварщика от его физиологического состояния (болезненное состояние, состояние возбуждённости и т.п.), ухудшение текущей квалификации сварщика в течении периода выполнения работы, связанное с:

1. Физическими перегрузками статического (зависят от массы сварочного инструмента, длительности непрерывной работы и рабочей позы (стоя, сидя, полусидя, стоя на коленях, лёжа на спине)) и динамического (связанные с выполнением тяжёлых вспомогательных работ, что приводит к утомляемости сварщика в течении рабочей смены) характера.
2. Нервно-психическими перегрузками (монотонность труда, эмоциональные перегрузки).

Влияние этих возмущений на сварщика, приводит к ухудшению техники сварки, в результате чего ухудшается качество выполнения сварных швов, что приводит к увеличению дефектов в сварном соединении. [39].

В качестве основных возмущающих факторов, связанных с качеством сварочного оборудования выделяют: ухудшение сварочно-технологических свойств оборудования, связанное с рабочим износом и старением его элементов; изменение напряжения питающей сети; зависимость сварочно-технологических свойств оборудования от условий эксплуатации (температурные условия, влажность, пыль и грязь); зависимость сварочно-технологических свойств на дуге от длины и сечения первичного и вторичного кабелей сварочного оборудования; зависимость сварочно-технологических свойств на каждом сварочном посту от одновременности работы нескольких постов; зависимость сварочно-технологических свойств от правильности

настройки специальных функций сварочного оборудования. Стандартно, сварочно-технологические свойства оборудования характеризуются «начальным зажиганием дуги, стабильностью процесса сварки, разбрызгиванием металла, качеством формирования шва и эластичностью дуги». [33]

Ухудшение сварочно-технологических свойств оборудования в связи с рабочим износом и старением его элементов, приводит к снижению работоспособности или выхода из строя сварочного оборудования в процессе сварки. [2]

Изменение напряжения питающей сети, приводит к изменению параметров режима сварки (изменение напряжения дуги, изменение силы сварочного тока, изменение скорости сварки), что влияет на устойчивость горения дуги, в результате чего это влияет на изменение геометрических размеров сварного соединения и на его качество. Иногда изменения напряжения питающей сети приводит к обрыву дуги, и невозможности технологического процесса сварки. [25]

Изменение условий эксплуатации оборудования может вызывать ухудшение его сварочно-технологических свойств. Так, например, повышенная влажность вызывает коррозию металлических частей и электрических контактов оборудования и снижает электрическую проницаемость изоляции. В автоматических выключателях, пускателях при горении дуги образуются окислы азота, которые в присутствии влаги превращаются в азотистую кислоту, являющуюся сильным окислителем и быстро ухудшающую качество изоляции. В условиях эксплуатации сварочного оборудования пыль и влага оседают на поверхности электроизоляционных деталей электрооборудования, благодаря чему появляются токи утечки, которые при определенных условиях перерастают в токи короткого замыкания.

При одних и тех же, настроенных на сварочном оборудовании параметрах режима сварки, сварочно-технологические свойства дуги будут сильно зависеть от длины и сечения первичного и вторичного кабелей сварочного оборудования. Чем длиннее сварочный кабель, тем больше потери напряже-

ния в нём и ниже напряжение на сварочной дуге. В результате чего снижается проплавляющая способность сварочной дуги, и при одних и тех же режимах настроенных на источнике, мы можем получить совершенно разные размеры и форму шва. Сечение сварочного кабеля, присоединяющего источник питания к сварочной горелке, подбирают в зависимости от наибольшей величины сварочного тока:

- при токе до 240 А - 25 мм²;
- до 300 А - 35 мм²,
- до 400 А - 50 мм²,
- до 500 А - 70 мм².

При меньшем значении сечения сварочного кабеля происходит его перегрев, что ведёт к повышению электросопротивления кабеля, повышению падения напряжения в нём и влечёт за собой снижение напряжения на дуге и её проплавляющей способности. [38]

Зависимость сварочно-технологических свойств на каждом сварочном посту от одновременности работы нескольких постов (только для многопостовых источников питания), выражена в том, что при постепенном подключении к источнику новых сварочных постов происходит снижение напряжения на всех остальных постах, что приводит к изменению параметров режима сварки, влияет на устойчивость горения дуги, в результате чего это влияет на изменение геометрических размеров сварного соединения и на его качество. [4].

Для современного сварочного оборудования актуальным становится зависимость сварочно-технологических свойств от правильности настройки специальных функций сварочного оборудования (например, правильный выбор синергетической программы, настройка горячего старта, настройка функций мощности и баланса дуги и т.д.). В этом случае проявляется связь между квалификацией персонала и качеством работы оборудования, т.к от квалификации персонала, т.е. от его знания оборудования, зависит правильность и оптимальность настройки сварочного оборудования.

В качестве основных возмущающих факторов, связанных с параметрами подготовки кромок под сварку можно выделить следующие факторы плохая зачистка свариваемых кромок, наличие локальных дефектов на поверхности кромок в виде забоин, задиров, фасок, непостоянная величина угла скоса кромок по длине стыка, непостоянная величина притупления по длине стыка, непостоянство формы разделки по длине стыка (для сложных форм разделок типа «ломаный скос» и ли криволинейная разделка).

В качестве основных возмущающих факторов, связанных с параметрами сборки кромок под сварку можно выделить не постоянный зазор в стыке и смещение кромок.

«Плохая зачистка свариваемых кромок от грязи, масла и окислов приводит к образованию в сварных швах пор, трещин, шлаковых включений, что ведет к снижению прочности и плотности сварного соединения». Эти же факторы могут вызывать изменение пространственного положения сварочной дуги и отклонение размеров и формы сварного шва от проектных значений.

Наличие локальных дефектов на поверхности кромок в виде забоин, задиров, фасок ведет к пространственной неустойчивости дуги в процессе сварки.

Отклонение параметров подготовки и сборки кромок под сварку (таких как притупление кромок, величина зазора и смещение кромок) влияют только на качество формирования корневого слоя шва, угол разделки кромок влияет только на формирование корневого и заполняющего слоев шва. [14].

На основании результатов анализа можно предложить следующие рекомендации для снижения вероятности появления дефектности и как следствие повышения качества сварки и прохождению практического экзамена.

1. При сварке контрольных сварных соединений малых диаметров (до 57 мм) с толщинами до 4 мм для снижения количества дефектов в сварных швах особое внимание необходимо уделять на технологические операции подготовки поверхности свариваемых образцов и сборки КСС под сварку.

2. Для всех возрастных групп сварщиков необходимо проводить перед сваркой консультации по подготовке сборки под сварку, манипуляции с электродом, а также тренировку и отработку особенностей сварки с применением конкретных сварочных материалов и источников сварочного тока.

5. Нормативные документы, регламентирующие требования к сварочному производству

5.1. Общие требования к элементам сварочного производства

Применение сварочных технологий сегодня имеет доминирующую позицию в большинстве отраслей машиностроения, строительства и, особенно, в нефтегазодобывающем секторе экономики. Сварочные процессы, в конечном итоге, определяют качество готовой продукции и себестоимость ее изготовления или ремонта. Исходя из этого очень важной задачей является обеспечение и поддержание высокого и эффективного уровня сварочных технологий и неукоснительное исполнение полного комплекса контрольных процедур на всем технологическом цикле изготовления сварной конструкции.

Различные способы сварки (сварка покрытым электродом, аргонодуговая сварка, механизированная и автоматическая сварка в защитных газах и др.) успешно применяются практически во всех отраслях современной промышленности для изготовления сварных конструкций самого различного назначения.

Как уже было сказано выше, большая доля сварочных операций при изготовлении различных металлоконструкций в значительной степени оказывает решающее влияние как на качество готовой продукции в целом, так и на себестоимость ее изготовления. С этой позиции очень важным является применение на этих операциях высокопроизводительных и эффективных методов сварки с обеспечением соответствующего входного, операционного и выходного контроля. Только комплекс мер по недопущения различного рода

отклонения позволить обеспечить требуемый уровень качества готовой продукции и ее безопасность. Основной задачей при контроле качества реализуемых сварочных технологий является определение соответствующих требований к ним и качеству выпускаемой продукции. К сожалению, проверить соблюдение всех требований сварочных технологий только выходным контролем невозможно, поэтому важно сформулировать требования и контролировать к всему процессу. С учетом этого, в международной практике применяется системный подход к организации и контролю сварочных технологий, которые относят, к так называемым, «специальным технологиям».

Применение даже самых современных, высокотехнологичных и имеющих широкие возможности технологий неразрушающего контроля не позволит улучшить качество готовых сварных соединений или исправить их.

При производстве сварных конструкций с целью обеспечения соответствия их качества установленным техническим требованиям, производителю недостаточно ограничиться контролем готовой продукции – необходимо разработать инструменты для проведения технического надзора при разработке и реализации производственно-технологического процесса, а также возможность управления этим процессом с проведением соответствующих корректирующих действий. При этом, технический надзор должен охватывать все этапы подготовки и производства: начиная от этапа представления технико-коммерческого предложения, анализа проекта, включая его разработку и технологический процесс изготовления, и заканчивая выходным контролем и испытаниями готовой сварной конструкции (изделия).

На сегодняшний день, требования к организации сварочных работ и контролю готовой продукции, как правило, изложены в соответствующей нормативной документации (ГОСТ, СНиП, РД, ПБ, СП и др.). Эти документы охватывают определенные группы опасных производственных объектов. К сожалению, требования в них несколько разнятся, что осложняет требования к обеспечению единого подхода к проектированию сварочных технологий и к контролю сварных соединений.

Группы опасных производственных объектов регламентированы Ростехнадзором. Применительно к сварочному производству выделены и утверждены следующие группы ОПО (приложение 2):

- «подъемно-транспортное оборудование»;
- «котельное оборудование»;
- «газовое оборудование»;
- «нефтегазодобывающее оборудование»;
- «оборудование химических, нефтехимических, нефтеперерабатывающих и взрывопожароопасных производств»;
- «металлургическое оборудование»;
- «оборудование для транспортировки опасных грузов»;
- «строительные конструкции»;
- «горно-добывающее оборудование».

Сварка и контроль на опасных производственных объектах, подведомственных Ростехнадзору регламентируются требованиями целого ряда нормативных документов (приложение 3). Требования этих документов в части требований к качеству сварных соединений зачастую достаточно сильно различаются, что накладывает определенные трудности при аттестации сварщиков на несколько групп опасных производственных объектов. В связи с этим наиболее рациональным вариантом решения проблемы является анализ существующих документов и формулировка единых обобщенных требований к качеству сварных соединений, выполняемых сварщиками на практическом экзамене при аттестации [22].

5.2. Анализ нормативных документов по сварке и контролю опасных производственных объектов

РД 36-62-00 «Оборудование грузоподъемное. Общие технические требования».

Согласно требованиям данного документа сварные швы по результатам визуально-измерительного и радиографического контроля должны иметь

гладкую или мелкочешуйчатую поверхность и плавный переход к основному металлу.

«Неровность шва не должна превышать 0,5 мм для легкодоступных швов и 1 мм для труднодоступных».

«Шов должен быть плотным по всей длине шва, не иметь скоплений и цепочек поверхностных опор и шлаковых включений, прожогов и свищей».

В сварных соединения не допускаются:

1. «Не заверенные кратеры».
2. «Трещины всех видов и направлений, расположенные в швах и околошовной зоне, в том числе и микротрещины».
3. «Непровары на поверхности по сечению швов в соединениях, доступных сварке с двух сторон, глубиной более 5% толщины основного металла, если толщина не превышает 40 мм и более 2 мм, если толщина основного металла превышает 40 мм., при этом длина непровара должна быть не более 50 мм и общая длина участка непровара не более 200 мм на 1 м шва».
4. «Непровары в корне шва в соединениях, доступных сварке только с одной стороны, без подкладок, глубиной более 15 % толщины основного металла, если эта толщина не превышает 20 мм, и более 3 мм, если толщина основного металла превышает 20 мм».
5. «Размеры отдельных шлаковых включений или пор, либо скоплений их по глубине шва более 10% при толщине свариваемого металла до 20 мм и более 3 мм при толщине свариваемого металла свыше 20 мм».
6. «Шлаковые включения, расположенные цепочкой или сплошной линией вдоль при суммарной их длине, превышающей 200 мм на 1 м шва».
7. «Скопления газовых пор в отдельных участках шва в количестве более 5 на 1 см² площади шва».
8. «Суммарная величина непроваров, шлаковых включений и пор, расположенных отдельно или цепочкой, превышающая в рассматриваемом сечении при двусторонней сварке 10% толщины свариваемого металла,

или 2 мм; при односторонней сварке без подкладок превышающая 15%, или 3 мм; подрезы и наплывы».

РД 153-34.1-003-01 «Сварка, термообработка и контроль трубных систем котлов и трубопроводов при монтаже и ремонте энергетического оборудования» (РТМ-1С)

По результатам визуально-измерительного контроля рекомендуется считать сварные соединения годными если выполняются требования таблицы 8

Таблица 8 – «Нормы допустимых поверхностных дефектов, выявляемых при визуальном контроле сварных соединений»

Дефект	Размерный показатель сварного соединения (толщина деталей), мм	Допустимый максимальный размер дефекта, мм	Допустимое число дефектов на любых 100 мм шва
«Отступления от размеров и формы шва»	Независимо	1)	-
«Западания (углубления) между валиками и чешуйчатость поверхности шва»	От 2 до 4 вкл.	1,0	«Не ограничивается»
	Св.4 до 6 вкл.	1,2	
	Св.6 до 10 вкл.	1,5	
	Св.10	2,0	
«Одиночные включения»	От 2до3вкл.	0,5	3
	Св.3до4 вкл.	0,6	4
	Св.4до5 вкл.	0,7	4
	Св.5до6 вкл.	0,8	4
	Св.6до8 вкл.	1,0	5
	Св.8до 10 вкл.	1,2	5
	Св.10до15 вкл.	1,5	5
	Св.15до20 вкл.	2,0	6
	Св.20до40 вкл.	2,5	7
Св.40	2,5	8	
«Подрезы основного металла»	«Независимо»	0,2	-
Отклонения от прямолинейности сварных стыков труб	«Независимо»	«Просвет между линейкой и трубой на расстоянии 200 мм от стыка не должен быть более 3 мм»	

При этом должно быть обеспечено:

- чешуйчатость – 1...1,5 мм;
- отсутствие западаний между валиками; плавный переход от одного валика к другому и к поверхности трубы; выпуклость (усиление) шва для труб с толщиной стенки более 20 мм - 5 мм;

– перекрытие кромок труб должно составлять 1...3 мм.

По результатам радиографического контроля сварные соединения рекомендуются считать годными если выполняются требования таблиц 9-11.

Таблица 9 – «Нормы допустимых дефектов, выявляемых радиографическим контролем в сварных соединениях изделий, на которые распространяются правила Ростехнадзора»

«Размерный показатель сварного соединения, мм»	«Минимальный фиксируемый размер включения, мм»	«Одиночные включения и скопления»				«Одиночные протяженные включения»			«Непровар в корне шва стыков с односторонним доступом без подкладного кольца, мм»	
		«допустимый максимальный размер, мм»		«условия допустимости на любом участке сварного соединения длиной 100 мм»		«допустимые»		«допустимое число на любом участке сварного соединения протяженностью 100 мм»	высотой (глубиной)*	суммарной длиной
		включения	скопления	допустимое число	допустимая суммарная приведенная площадь, мм ²	максимальный размер, мм	максимальная ширина, мм			
От 2,0 до 3,0 вкл.	0,10	0,6	1,0	12	2,0	5,0	0,6	2	0,3	20% внутреннего периметра
Св. 3,0 до 4,0 вкл.	0,20	0,8	1,2	12	3,5	5,0	0,8	2	0,4	
Св. 4,0 до 5,0 вкл.	0,20	1,0	1,5	13	5,0	5,0	1,0	2	0,5	
Св. 5,0 до 6,5 вкл.	0,20	1,2	2,0	13	6,0	5,0	1,2	3	0,6	
Св. 5,6 до 8,0 вкл.	0,20	1,5	2,5	13	8,0	5,0	1,5	3	0,8	
Св. 8,0 до 10,0 вкл.	0,30	1,5	2,5	14	10,0	5,0	1,5	3	1,0	
Св. 10,0 до 12,0 вкл.	0,30	2,0	3,0	14	12,0	6,0	2,0	3	1,2	
Св. 12,0 до 14,0 вкл.	0,40	2,0	3,0	15	14,0	6,0	2,0	3	1,4	
Св. 14,0 до 18,0 вкл.	0,40	2,5	3,5	15	16,0	6,0	2,5	3	1,8	
Св. 18,0 до 22,0 вкл.	0,50	3,0	4,0	16	20,0	7,0	3,0	3	2,0	
Св. 22,0 до 24,0 вкл.	0,50	3,0	4,5	16	25,0	7,0	3,0	3	2,0	
Св. 24,0 до 28,0 вкл.	0,60	3,0	4,5	18	25,0	8,0	3,0	3	2,0	
Св. 28,0 до 32,0 вкл.	0,60	3,5	5,0	18	31,0	8,0	3,5	3	2,0	
Св. 32,0 до 35,0 вкл.	0,60	3,5	5,0	20	35,0	9,0	3,5	3	2,0	
Св. 35,0 до 38,0 вкл.	0,75	3,5	5,0	20	35,0	9,0	3,5	3	2,0	
Св. 38,0 до 44,0 вкл.	0,75	4,0	6,0	21	41,0	10,0	4,0	3	2,0	
Св. 44,0 до 50,0 вкл.	0,75	4,0	6,0	22	47,0	11,0	4,0	3	2,0	
Св. 50,0 до 60,0 вкл.	1,00	4,0	6,0	23	55,0	12,0	4,0	4	2,0	
Св. 50,0 до 70,0 вкл.	1,00	4,0	6,0	24	65,0	13,0	4,0	4	2,0	
Св. 70,0 до 85,0 вкл.	1,25	5,0	7,0	25	78,0	14,0	5,0	4	2,0	
Св. 85,0 до 100,0 вкл.	1,50	5,0	7,0	26	92,0	14,0	5,0	4	2,0	
Св. 100,0	2,00	5,0	8,0	27	115,0	14,0	5,0	4	2,0	

* - «Высоту (глубину) дефектов определяют по имитаторам или эталонным снимкам».

Таблица 10 – «Нормы допустимых дефектов, выявляемых радиографическим контролем в сварных соединениях изделий, на которые не распространяются правила Ростехнадзора»

Изделия	Номинальная толщина стенки, мм	Требуемая чувствительность снимка, мм*	Одиночные включения, скопления и цепочки				Максимальное число включений и скоплений на любые 100 мм шва	Дефекты в корне шва при сварке с односторонним доступом без подкладного кольца, мм			
			максимальный размер, мм		суммарная длина на любом участке шва длиной 100 мм, мм	непровары и вогнутость		выпуклость			
			ширины включения	длины включения		скопления			цепочки	высотой (глубиной)**	суммарной длиной
Трубопроводы КИПиА***	Свыше 1 до 1,5	0,1	0,4	0,6	-	1,2	4	0,2	20% внутреннего периметра	0,4	
	Свыше1,5до2	0,2	0,5	0,8	-	1,5	4	0,2		0,6	
	Свыше2до3	0,2	0,6	1	-	2	4	0,3		0,8	
	Свыше3до4	0,2	0,8	1,2	-	2,5	4	0,4		1	
	Свыше4до5	0,3	1	1,5	-	3	4	0,5		1,2	
	Свыше5до6,5	0,3	1,2	2	-	4	4	0,6		1,5	
Газопроводы по СНиП 3.05.02-88	До 3	0,2	0,8	3	5	8	8	-	0,4	1/4 внутреннего периметра	Не ограничивается
	Свыше3до5	0,3	1,0	4	6	10	10	-	0,6		
	Свыше5до8	0,4	1,2	5	7	12	12	-	1,0		
	Свыше8до11	0,5	1,5	6	9	15	15	-	1,5		
	Свыше11до14	0,6	2,0	8	12	20	20	-	2		
	Свыше14до20	0,75	2,5	10	15	25	25	-	2		
Трубопроводы тепловых сетей по СНиП 3.05.03-85	До 3	0,2	1,0	5	8	10	10	-	0,3	1/3 внутреннего периметра	0,6
	Свыше3до5	0,3	1,2	6	10	12	12	-	0,5		1
	Свыше5до8	0,4	1,5	8	12	15	15	-	0,8		1,5
	Свыше8до11	0,5	2,0	10	15	20	20	-	1		2
	Свыше11до14	0,6	2,5	15	20	25	25	-	1,2		2
	Свыше14до20	0,75	3,0	20	25	30	30	-	1,5		2

* - «применительно к канавочным эталонам и радиографированию через две стенки».

** - «определяют по имитаторам или эталонным снимкам».

*** - «указанные в графе 8 нормы для трубопроводов КИПиА относятся к участку шва длиной 10 мм в месте максимальной концентрации включений и скоплений».

Таблица 11 – «Нормы допустимой выпуклости корня шва, выявляемой радиографическим контролем в сварных соединениях изделий, на которые распространяются правила Ростехнадзора, при односторонней сварке без подкладных колец»

«Номинальный внутренний диаметр сваренных элементов», мм	«Допустимая максимальная высота выпуклости корня шва, мм»
До 25 вкл.	1,5
Св. 25 до 150 вкл.	2,0
Св. 150	2,5

Таблица 11 – «Нормы допустимой вогнутости корня шва, выявляемой радиографическим контролем в сварных соединениях изделий, на которые распространяются правила Ростехнадзора, при односторонней сварке без подкладных колец»

«Номинальная толщина стенки сваренных элементов, мм»	«Допустимая максимальная высота (глубина) вогнутости корня шва, мм»
От 2,0 до 2,8 вкл.	0,6

Св.2,8до4,0вкл.	0,8
Св.4,0до6,0вкл.	1,0
Св.6,0до8,0вкл.	1,2
Св.8,0	1,5

**ГОСТ 34347-2017 «Сосуды и аппараты стальные сварные.
Общие технические условия»**

«По результатам визуально-измерительного контроля сварном шве не допускаются дефекты»:

- «трещины всех видов и направлений»;
- «свищи»;
- «подрезы»;
- «наплывы, прожоги и незаплавленные кратеры»;
- «смещение и совместный увод кромок свариваемых элементов свыше норм, предусмотренных ГОСТ 34347-2017»;
- «несоответствие формы и размеров швов требованиям стандартов, технических условий* или проектной документации»;
- «поры, выходящие за пределы норм, установленных таблицей 12»;
- «чешуйчатость поверхности и глубина впадин между валиками шва, превышающие допуск на усиление шва по высоте».

Таблица 12 – «Нормы допустимых пор, выявляемых при визуальном контроле сварных соединений»

«Номинальная толщина наиболее тонкой детали, мм»	«Допустимый максимальный размер дефекта, мм»	«Допустимое число дефектов на любые 100 мм шва»
2 < t ≤ 3	0,5	3
3 < t ≤ 4	0,6	4
4 < t ≤ 5	0,7	4
5 < t ≤ 6	0,8	4
6 < t ≤ 8	1,0	5
8 < t ≤ 10	1,2	5
10 < t ≤ 15	1,5	5
15 < t ≤ 20	2,0	6
20 < t ≤ 40	2,5	7
t ≥ 40	2,5	8

«По результатам радиографического контроля» в сварном шве не допускаются следующие внутренние дефекты:

- трещины всех видов и направлений, в том числе микротрещины, выявленные при «металлографическом исследовании»;
- свищи;
- смещение основного и плакирующего слоев в сварных соединениях двухслойных сталей выше норм, предусмотренных ГОСТ 34347-2017;
- непровары (несплавления), расположенные в сечении сварного соединения;

СТ ЦКБА 025-2006 «Арматура трубопроводная. Сварка и контроль качества сварных соединений»

«Результаты визуально-измерительного контроля рекомендуется считать положительными если выполняются требования» таблицы 13.

Таблица 13 – «Нормы поверхностных дефектов сварных соединений и наплавки кромок под сварку при визуальном контроле»

«Наименование дефекта»	«Максимально допускаемый дефект в сварных соединениях (наплавках) категорий»	
	Категории 1; 2; I; II	Категории 3; 4; 5; III
«Трещины; наплывы; прожоги; незаваренные кратеры»	Не допускаются	
Подрезы	Не допускаются	«Допускаются отдельные подрезы длиной не более 10 % от протяженности сварного шва и глубиной до 0,5 мм»
«Поры, шлаковые включения»	«Допускаются одиночные поры и другие включения размером до 5 % толщины свариваемого металла, но не более 1 мм в количестве не более трех штук на каждые 100 мм длины шва»	«Допускаются одиночные поры и другие включения размером до 10 % толщины свариваемого металла, но не более 1,5 мм, в количестве не более трех штук на каждые 100 мм длины шва»
«Смещение свариваемых кромок»	«Допускается смещение свариваемых кромок до 10 % от толщины основного материала, но не более 1 мм»	
«Утяжина» - «внутренняя вогнутость корня шва при аргонодуговой сварке без подкладки»	<p>«Для труб с толщиной стенки»:</p> <ul style="list-style-type: none"> - до 3 мм включ. - не более 0,4 мм; - свыше 3 мм до 8 мм включ. - не более 0,6 мм; - свыше 8 мм - 1,1 мм 	
«Сплошное или	«Для труб с размером диаметра»	

«Наименование дефекта»	«Максимально допускаемый дефект в сварных соединениях (наплавках) категорий»	
	Категории 1; 2; I; II	Категории 3; 4; 5; III
прерывистое усиление корня шва при аргонодуговой сварке без подкладки»	- до 30 мм - не более 1,5 мм; - более 30 мм - не более 2,0 мм	
«Цвета побежалости при сварке в защитных газах»	«Допускаются серого цвета без какого-либо налета при сварке деталей из легированных и коррозионностойких сталей и сплавов»	
«Примечание - Для сварного шва сильфонной сборки, выполненного без присадки, допускаются цвета побежалости - от золотистого до светло-синего. Цвета наружной поверхности сильфона - золотистый или розовый. Темно-синий и черный цвета побежалости не допускаются. При доступности и необходимости допускается производить зачистку поверхностей нержавеющей стали щетками с последующей протиркой спиртом».		

«Так же поверхность шва не должна иметь грубую чешуйчатость (превышение гребня над впадиной не должно быть более для S до 10 мм вкл., а свыше - 1,5 мм); западание (глубина межваликовой канавки) не должно превышать 1,0 мм».

«Результаты РГК рекомендуется считать положительными если выполняются требования» таблицы 14.

Таблица 14 – «Нормы на одиночные включения и скопления, допускаемые в сварных соединениях при радиографическом контроле»

«Номинальная толщина сваренных деталей в месте сварки, мм»	«Требуемая чувствительность контроля, не более»	«Одиночные включения и скопления»				«Одиночные крупные включения»		
		«Допускаемый наибольший размер»		«Допускаемое число включений и скоплений на любом участке сварного соединения длиной 100 мм, штук»	«Допускаемая суммарная приведенная площадь включений и скоплений на любом участке сварного соединения длиной 100 мм»	«Допускаемые»		«Допускаемое число на любом участке сварного соединения длиной 100 мм, штук»
		Включения, мм	Скопления, мм			«Наибольшая длина, мм»	«Наибольшая ширина, мм»	
Сварные соединения 1; I категории								
Свыше 1,0 до 1,5 включ.	0,1	0,2	0,3	10	0,15	3,0	0,2	1
Свыше 1,5 до 2,0 включ.	0,1	0,3	0,4	10	0,3	3,0	0,3	1
Свыше 2,0 до 2,5 включ.	0,1	0,4	0,6	10	0,6	3,0	0,4	1
Свыше 2,5 до 3,0 включ.	0,1	0,5	0,8	10	1,0	3,0	0,5	1
Свыше 3,0 до 4,5 включ.	0,1	0,6	1,0	10	1,4	3,0	0,6	1
Свыше 4,5 до 6,0 включ.	0,2	0,8	1,2	11	2,5	3,0	0,8	1
Свыше 6,0 до 7,5 включ.	0,2	1,0	1,5	11	4,0	3,0	1,0	1
Свыше 7,5 до 10,0	0,2	1,2	2,0	12	5,5	3,5	1,2	1

«Номинальная толщина сваренных деталей в месте сварки, мм»	«Требуемая чувствительность контроля, не более»	«Одиночные включения и скопления»				«Одиночные крупные включения»			
		«Допускаемый наибольший размер»		«Допускаемое число включений и скоплений на любом участке сварного соединения длиной 100 мм, штук»	«Допускаемая суммарная приведенная площадь включений и скоплений на любом участке сварного соединения длиной 100 мм»	«Допускаемые»		«Допускаемое число на любом участке сварного соединения длиной 100 мм, штук»	
		Включения, мм	Скопления, мм			«Наибольшая длина, мм»	«Наибольшая ширина, мм»		
включ.									
Свыше 10,0 до 12,0 включ.	0,2	1,5	2,5	12	7,5	3,5	1,5	1	
Свыше 12,0 до 14,0 включ.	0,3	1,5	2,5	13	9,0	4,0	1,5	1	
Свыше 14,0 до 18,0 включ.	0,3	2,0	3,0	13	11,0	4,0	2,0	1	
Свыше 18,0 до 21,0 включ.	0,3	2,0	3,0	14	14,0	4,0	2,0	1	
Свыше 21,0 до 24,0 включ.	0,4	2,0	3,0	14	17,5	5,0	2,0	1	
Свыше 24,0 до 27,0 включ.	0,4	2,5	3,5	15	20,0	5,0	2,5	2	
Свыше 27,0 до 30,0 включ.	0,4	2,5	3,5	15	23,0	6,0	2,5	2	
Свыше 30,0 до 35,0 включ.	0,5	2,5	4,0	16	26,0	6,0	2,5	2	
Свыше 35,0 до 40,0 включ.	0,5	3,0	4,5	17	30,0	7,0	3,0	2	
Свыше 40,0 до 45,0 включ.	0,6	3,0	4,5	18	34,0	8,0	3,0	2	
Свыше 45,0 до 50,0 включ.	0,6	3,0	4,5	19	38,0	9,0	3,0	2	
Свыше 50,0 до 55,0 включ.	0,6	3,0	4,5	20	42,0	10,0	3,0	2	
Свыше 55,0 до 65,0 включ.	0,75	3,5	5,0	21	48,0	10,0	3,5	2	
Свыше 65,0 до 75,0 включ.	0,75	3,5	5,0	22	56,0	10,0	3,5	2	
Свыше 75,0 до 85,0 включ.	1,0	4,0	6,0	23	64,0	10,0	4,0	2	
85,0 <≤ 100,0	1,0	4,0	6,0	24	72,0	10,0	4,0	2	
100,0 <≤ 115,0	1,25	4,0	6,0	25	85,0	10,0	4,0	2	
115,0 <≤ 125,0	1,25	5,0	7,0	25	100,0	10,0	5,0	2	
125,0 <≤ 135,0	1,5	5,0	7,0	24	100,0	11,0	5,0	2	
135,0 <≤ 150,0	1,5	5,0	7,0	24	115,0	11,0	5,0	2	
150,0 <≤ 175,0	2,0	5,0	7,0	23	130,0	11,0	5,0	2	
175,0 <≤ 200,0	2,0	5,0	8,0	23	150,0	11,0	5,0	2	
200,0 <≤ 250,0	2,5	5,0	8,0	22	180,0	12,0	5,0	2	
250,0 <≤ 300,0	3,0	6,0	9,0	21	220,0	12,0	6,0	2	
300,0 <≤ 350,0	3,5	7,0	10,0	20	260,0	13,0	7,0	2	
350,0 <≤ 400,0	4,0	8,0	12,0	19	300,0	13,0	8,0	2	
400,0 <≤ 450,0	4,5	9,0	14,0	18	340,0	13,0	9,0	2	
450,0 <≤ 500,0	5,0	10,0	15,0	17	380,0	14,0	10,0	2	
500,0 <≤ 550,0	5,5	11,0	16,0	16	420,0	14,0	11,0	2	
550,0	6,0	12,0	18,0	15	460,0	14,0	12,0	2	
Сварные соединения 2; II категории									
1,0 <≤ 1,5	0,1	0,3	0,4	11	0,4	4,0	0,3	1	
1,5 <≤ 2,0	0,1	0,4	0,6	11	0,6	4,0	0,4	1	
2,0 <≤ 2,5	0,1	0,5	0,8	11	1,2	4,0	0,5	1	
2,5 <≤ 3,5	0,1	0,6	1,0	11	1,7	4,0	0,6	1	
3,5 <≤ 5,0	0,2	0,8	1,2	11	3,0	4,0	0,8	1	
5,0 <≤ 6,5	0,2	1,0	1,5	12	4,5	4,0	1,0	2	
6,5 <≤ 8,5	0,2	1,2	2,0	12	6,5	4,0	1,2	2	
8,5 <≤ 10,0	0,2	1,5	2,5	13	8,5	4,0	1,5	2	

«Номинальная толщина сваренных деталей в месте сварки, мм»	«Требуемая чувствительность контроля, не более»	«Одиночные включения и скопления»				«Одиночные крупные включения»		
		«Допускаемый наибольший размер»		«Допускаемое число включений и скоплений на любом участке сварного соединения длиной 100 мм, штук»	«Допускаемая суммарная приведенная площадь включений и скоплений на любом участке сварного соединения длиной 100 мм»	«Допускаемые»		«Допускаемое число на любом участке сварного соединения длиной 100 мм, штук»
		Включения, мм	Скопления, мм			«Наибольшая длина, мм»	«Наибольшая ширина, мм»	
10,0 <= 12,0	0,3	1,5	2,5	13	10,0	5,0	1,5	2
12,0 <= 15,0	0,3	2,0	3,0	14	12,0	5,0	2,0	2
15,0 <= 18,0	0,3	2,0	3,0	14	15,0	5,0	2,0	2
18,0 <= 21,0	0,4	2,5	3,5	15	18,0	6,0	2,5	2
21,0 <= 24,0	0,4	2,5	4,0	15	21,0	6,0	2,5	2
24,0 <= 28,0	0,3	3,0	4,5	16	24,0	7,0	3,0	2
28,0 <= 32,0	0,5	3,0	4,5	16	28,0	7,0	3,0	2
32,0 <= 38,0	0,6	3,0	4,5	18	32,0	8,0	3,0	2
38,0 <= 44,0	0,6	3,5	5,0	20	37,0	9,0	3,5	2
44,0 <= 52,0	0,75	3,5	5,0	21	43,0	10,0	3,5	2
52,0 <= 60,0	0,75	4,0	6,0	22	50,0	12,0	4,0	3
60,0 <= 70,0	1,0	4,0	6,0	23	58,0	12,0	4,0	3
70,0 <= 80,0	1,0	4,0	6,9	24	67,0	12,0	4,0	3
80,0 <= 100,0	1,25	4,0	6,0	25	81,0	12,0	4,0	3
100,0 <= 120,0	1,5	5,0	7,0	26	100,0	12,0	5,0	3
120,0 <= 140,0	1,75	5,0	7,0	25	115,0	12,0	5,0	3
140,0 <= 160,0	2,0	5,0	8,0	24	135,0	13,0	5,0	3
160,0 <= 200,0	2,5	6,0	9,0	24	160,0	13,0	6,0	3
200,0 <= 240,0	3,0	6,0	9,0	23	200,0	14,0	6,0	3
240,0 <= 280,0	3,5	7,0	10,0	22	235,0	14,0	7,0	3
280,0	4,0	8,0	12,0	22	250,0	14,0	8,0	3
Сварные соединения 3 и 4 категорий								
1,0 <= 2,0	0,1	0,4	0,6	12	0,8	5,0	0,5	2
2,0 <= 3,0	0,1	0,6	1,0	12	2,0	5,0	0,6	2
3,0 <= 4,0	0,2	0,8	1,2	12	3,5	5,0	0,8	2
4,0 <= 5,0	0,2	1,0	1,5	13	5,0	5,0	1,0	2
5,0 <= 6,5	0,2	1,2	2,0	13	6,0	5,0	1,2	3
6,5 <= 8,0	0,2	1,5	2,5	13	8,0	5,0	1,5	3
8,0 <= 10,0	0,3	1,5	2,5	14	10,0	5,0	1,5	3
10,0 <= 12,0	0,3	2,0	3,0	14	12,0	6,0	2,0	3
12,0 <= 14,0	0,4	2,0	3,0	15	14,0	6,0	2,0	3
14,0 <= 18,0	0,4	2,5	3,5	15	16,0	6,0	2,5	3
18,0 <= 22,0	0,5	3,0	4,0	16	20,0	7,0	3,0	3
22,0 <= 24,0	0,5	3,0	4,5	16	25,0	7,0	3,0	3
24,0 <= 28,0	0,6	3,0	4,5	18	25,0	8,0	3,0	3
28,0 <= 32,0	0,6	3,5	5,0	18	31,0	8,0	3,5	3
32,0 <= 35,0	0,6	3,5	5,0	20	35,0	9,0	3,5	3
35,0 <= 38,0	0,75	3,5	5,0	20	35,0	9,0	3,5	3
38,0 <= 44,0	0,75	4,0	6,0	21	41,0	10,0	4,0	3
44,0 <= 50,0	0,75	4,0	6,0	22	47,0	12,0	4,0	3
50,0 <= 60,0	1,0	4,0	6,0	23	55,0	14,0	4,0	4
60,0 <= 70,0	1,0	4,0	6,0	24	65,0	14,0	4,0	4
70,0 <= 85,0	1,25	5,0	7,0	25	78,0	14,0	5,0	4
85,0 <= 100,0	1,5	5,0	7,0	26	92,0	14,0	5,0	4
100,0 <= 130,0	2,0	5,0	8,0	27	115,0	14,0	5,0	4
130,0 <= 165,0	2,5	6,0	9,0	26	145,0	15,0	6,0	4
165,0 <= 200,0	3,0	6,0	9,0	25	160,	15,0	6,0	4
200,0 <= 225,0	3,5	7,0	10,0	25	210,0	13,0	7,0	4
225,0	4,0	8,0	12,0	24	230,0	16,0	8,0	4

«Номинальная толщина сваренных деталей в месте сварки, мм»	«Требуемая чувствительность контроля, не более»	«Одиночные включения и скопления»			«Одиночные крупные включения»		
		«Допускаемый наибольший размер»		«Допускаемое число включений и скоплений на любом участке сварного соединения длиной 100 мм, штук»	«Допускаемые»		«Допускаемое число на любом участке сварного соединения длиной 100 мм, штук»
		Включения, мм	Скопления, мм		«Наибольшая длина, мм»	«Наибольшая ширина, мм»	
Примечания: 1 «Требуемая чувствительность приведена применительно к канавочным эталонам. При использовании проволочных эталонов значения чувствительности - 0,3, 0,6, 0,75 и 1,5 мм допускается заменять на - 0,32, 0,63, 0,80 и 1,6 мм соответственно. 2 «Приведенная площадь включения или скопления - произведение максимального размера включения на его максимальную ширину». 3 «Суммарная приведенная площадь включений и скоплений - сумма приведенных площадей отдельных одиночных мелких включений и одиночных скоплений». 4 «Определение понятия «скопления» приведено в ГОСТ 23055».							

Качество сварного соединения или наплавленной детали считается удовлетворительным, если на снимках не будут зафиксированы трещины и недопустимые непровары, включения, вогнутость или превышение проплавления корня шва.

Если вогнутость или превышение проплавления корня шва проверены при измерительном контроле, их оценка при радиографическом контроле не проводится.

ПБ 03-584-03 «Правила проектирования, изготовления и приемки сосудов и аппаратов стальных сварных»

В сварном шве по результатам визуально-измерительного контроля не допускаются следующие наружные дефекты:

- трещины всех видов и направлений;
- свищи и пористость наружной поверхности шва;
- подрезы;
- наплавы, прожоги и незаплавленные кратеры;
- смещение и совместный увод кромок свариваемых элементов свыше предусмотренных норм;
- несоответствие формы и размеров требованиям стандартов, технических условий или проекта;
- поры, выходящие за пределы норм, установленных таблицей 15;

- чешуйчатость поверхности и глубина впадин между валиками шва, превышающие допуск на усиление шва по высоте.

Таблица 15- Нормы допустимых пор, выявляемых при визуальном контроле сварных соединений

«Номинальная толщина наиболее тонкой детали, мм»	«Допустимый максимальный размер дефекта, мм»	«Допустимое число дефектов на любые 100 мм шва»
От 2 до 3 вкл.	0,5	3
Св. 3 до 4 вкл.	0,6	4
Св. 4 до 5 вкл.	0,7	4
Св. 5 до 6 вкл.	0,8	4
Св. 6 до 8 вкл.	1,0	5
Св. 8 до 10 вкл.	1,2	5
Св. 10 до 15 вкл.	1,5	5
Св. 15 до 20 вкл.	2,0	6
Св. 20 до 40 вкл.	2,5	7
Св. 40	2,5	8

В сварном шве по результатам радиографического контроля не допускаются следующие внутренние дефекты:

- «трещины всех видов и направлений, в том числе микротрещины, выявленные при микроисследовании»;
- свищи;
- «смещение основного и плакирующего слоев в сварных соединениях двухслойных сталей выше норм, предусмотренных указанными Правилами»;
- «непровары (несплавления), расположенные в сечении сварного соединения».

РД 01-001-06 «Сварка стальных газопроводов и газового оборудования в городском коммунальном хозяйстве и энергетических установках»

По результатам ВИК в сварном шве не допускаются:

- «трещины всех видов и направлений»;
- «непровары (несплавления) между основным металлом и швом, а также между валиками шва»;

- «наплывы (натеки) и брызги металла»;
- «незаплавленные кратеры»;
- свищи;
- прожоги;
- «скопление включений, а также подрезы глубиной более 5% толщины стенки (более 0,5 мм) и длиной более 1/3 периметра стыка (более 150 мм)».

По результатам радиографического контроля шов следует браковать если при проведении радиографического контроля в нем выявлены следующие дефекты:

- «трещины, прожоги, незавершенные кратеры»;
- «непровар по разделке шва»;
- «непровар в корне шва и между валиками глубиной более 10% толщины стенки трубы»;
- «непровара в корне шва и между валиками свыше 25 мм на каждые 300 мм длины сварного соединения или свыше 10% периметра при длине сварного соединения менее 300 мм»;
- «непровар в корне шва в стыках газопроводов диаметром 920 мм и более, выполненных с внутренней подваркой»;
- «непровар в корне шва в сварных соединениях, выполненных с подкладным кольцом».

СП 42-102-2004 «Проектирование и строительство газопроводов из металлических труб»

По результатам ВИК в сварном шве не допускаются следующие наружные дефекты: «швы не должны иметь трещин, прожогов, незаваренных кратеров, выходящих на поверхность пор, а также подрезов глубиной более 5% толщины стенки труб (более 0,5 мм) и длиной более периметра стыка (более 150 мм)».

В сварном шве по результатам РГК не допускаются следующие внутренние дефекты:

- «трещины, прожоги, незаваренные кратеры»;
- «непровары по разделке шва»;
- «непровары в корне шва и между валиками глубиной более 10% толщины стенки трубы»;
- «непровары в корне шва и между валиками свыше 25 мм на каждые 300 мм длины сварного соединения или свыше 10% периметра при длине сварного соединения менее 300 мм»;
- «непровары в корне шва в стыках газопроводов диаметром 920 мм и более, выполненных с внутренней подваркой»;
- «непровары в корне шва в сварных соединениях, выполненных с подкладным кольцом».

ВСН 12-88 Строительство магистральных и промысловых трубопроводов контроль качества и приемка работ

«Сварные соединения по результатам ВИК должны удовлетворять следующим требованиям, в том числе и таблицы» 16:

- «усиление внешнего и внутреннего швов должно иметь высоту не менее 1,0 мм и не более 3,0 мм и плавный переход к основному металлу»;
- «сварной шов облицовочного слоя должен перекрывать основной металл: при ручной сварке на 2,5-3,5 мм»;
- «подварочный слой, выполненный ручной сваркой, должен иметь ширину в пределах 8-10 мм».

Таблица 16 – «Недопустимые внутренние дефекты в сварном шве»

Тип дефекта		Условные обозначения	Допустимые размеры дефектов сварного шва										
			Трубопроводы КС и НПС			Магистральные трубопроводы			Промысловые трубопроводы				
			глубина	длина	длина на 300	глубина	длина	длина на 300	глубина	длина	длина на 300		
Поры	сферические, радиальные	Аа	0,2S при $\geq 5d$		50 мм	Максимально допустимая суммарная площадь проекций пор на радиографическом снимке не должна превышать 5% площади участка, ширина которого равна S, а длина – 50 мм			Максимально допустимая суммарная площадь проекций пор на радиографическом снимке не должна превышать 5% площади участка, ширина которого равна S, а длина – 50 мм				
	удлиненные												
	цепочки	Ав	0,1S	2S, но не более 30 мм	30 мм								
	скопление	Ас											
	канальная	Ак	не допускаются			0,25S, но не более 3 мм	1S, но не более 30 мм	30 мм					
Шлаковые включения	компактные	Ва	0,1S	0,5S, но не более 5 мм	50 мм	0,1S	0,5S, но не более 7 мм	50 мм	0,1S	0,5S, но не более 7 мм	50 мм		
	удлиненные	Вd	не допускаются				2S, но не более 50 мм			2S, но не более 50 мм			
	цепочка	Вв	0,1S	2S, но не более 30 мм	30 мм		2S, но не более 30 мм			30 мм		2S, но не более 30 мм	30 мм
	скопление	Вс											
Непровары, несплавления	в корне шва	Да	0,05S, но не более 1 мм	2S, но не более 30 мм	30 мм	0,1S, но не более 1 мм	2S, но не более 50 мм	50 мм	0,1S, но не более 1 мм	2S, но не более 50 мм	50 мм		
	между валиками	Дв	не допускаются				2S, но не более 30 мм			30 мм		2S, но не более 30 мм	30 мм
	по разделке	Дс											
Трещины	вдоль шва	Еа	не допускаются			не допускаются			не допускаются				
	поперек шва	Ев	не допускаются			не допускаются			не допускаются				
	разветвленные	Ес	не допускаются			не допускаются			не допускаются				
Наружные дефекты	утяжина	Фа	0,2S, но не более 1 мм	50 мм	1/6 периметра шва	Максимально допустимая глубина – до 2 мм, при этом плотность изображения на радиографическом снимке не должна превышать плотности изображения основного металла							
	превышение проплава	Фв	3 мм	1S	30 мм	5 мм	50 мм	50 мм	5 мм	50 мм	50 мм		
	подрез	Фс	0,05S, но не более 0,5 мм	150 мм	150 мм	0,1S, но не более 0,5 мм	150 мм	150 мм	0,1S, но не более 0,3 мм	150 мм	150 мм		
Дефект сборки	Смещение кромок	Fd	0,2S, но не более 3 мм			0,2S, но не более 3 мм			0,2S, но не более 0,5 мм				
						0,25S, но не более 4 мм	300 мм, но не более одного на стык	0,25S, но не более 4 мм	300 мм, но не более одного на стык				

СНиП 3.05.05-84 (СП 75.13330.2011) «Технологическое оборудование и технологические трубопроводы».

По результатам ВИК сварные швы не должны иметь трещин, прожогов, кратеров, грубой чешуйчатости, подрезов глубиной более 0,5 мм. В сварных швах трубопроводов P_u свыше 10 МПа (100 кгс/см^2) подрезы не допускаются.

Оценка качества сварных соединений трубопроводов радиографическим методом в «баллах в зависимости от величины и протяженности непроваров по оси шва, вогнутости и превышения проплава в корне шва, а также наличия несплавлений и трещин указана в табл. 17».

Таблица 17 – «Оценка непровара в сварных соединениях, в баллах».

«Оценка в баллах»	«Непровары по оси шва, вогнутость и превышение проплава в корне шва, наличие несплавлений и трещин»	
	«Высота (глубина), % к номинальной толщине стенки»	«Суммарная длина по периметру трубы»
0	«Непровар отсутствует»	
	«Вогнутость корня шва до 10%, но не более 1,5 мм»	«До 1/8 периметра»
	«Превышение проплава корня шва до 10%, но не более 3 мм»	«То же»
1	«Непровар по оси шва до 10%, но не более 2 мм»	«До 1/4 периметра»
	«или до 5%, но не более 1 мм»	«До 1/2 периметра»
2	«Непровар по оси шва до 20%, но не более 3 мм»,	«До 1/4 периметра»
	«или до 10%, но не более 2 мм»,	«До 1/2 периметра»
	«или до 5%, но не более 1 мм»	«Не ограничивается»
6	«Трещины»	
	«Несплавления между основным металлом и швом и между отдельными валиками шва»	«То же»
	«Непровары по оси шва более 20% и более 3 мм»	"
«Примечание. Величина вогнутости корня и превышение проплава для трубопроводов I-IV категории не нормируются».		

«Допустимые размеры включений (пор), выявленных при радиографическом контроле, и их оценка в баллах указаны в табл. 18. При отсутствии включений (пор) участок сварного соединения оценивается баллом 1».

Таблица 18 – «Оценка включений, в баллах».

Оценка в баллах	Толщина стенки, мм	Включения (поры)		Скопления, длина, мм	Суммарная длина на любом участке шва длиной 100 мм
		Ширина (диаметр), мм	Длина, мм		
1	До 3	0,5	1,0	2,0	3,0
	Св. 3 до 5	0,6	1,2	2,5	4,0
	" 5 " 8	0,8	1,5	3,0	5,0
	" 8 " 11	1,0	2,0	4,0	6,0
	" 11 " 14	1,2	2,5	5,0	8,0
	" 14 " 20	1,5	3,0	6,0	10,0
	" 20 " 26	2,0	4,0	8,0	12,0
	" 26 " 34	2,5	5,0	10,0	15,0
	Св. 34	3,0	6,0	10,0	20,0
2	До 3	0,6	2,0	3,0	6,0

Оценка в баллах	Толщина стенки, мм	Включения (поры)		Скопления, длина, мм	Суммарная длина на любом участке шва длиной 100 мм
		Ширина (диаметр), мм	Длина, мм		
	Св. 3 до 5	0,8	2,5	4,0	8,0
	" 5 " 8	1,0	3,0	5,0	10,0
	" 8 " 11	1,2	3,5	6,0	12,0
	" 11 " 14	1,5	5,0	8,0	15,0
	" 14 " 20	2,0	6,0	10,0	20,0
	" 20 " 26	2,5	8,0	12,0	25,0
	" 26 " 34	2,5	8,0	12,0	30,0
	" 34 " 45	3,0	10,0	15,0	30,0
	Св. 45	3,5	12,0	15,0	40,0
3	До 3	0,8	3,0	5,0	8,0
	Св. 3 до 5	1,0	4,0	6,0	10,0
	" 5 " 8	1,2	5,0	7,0	12,0
	" 8 " 11	1,5	6,0	9,0	15,0
	" 11 " 14	2,0	8,0	12,0	20,0
	" 14 " 20	2,5	10,0	15,0	25,0
	" 20 " 26	3,0	12,0	20,0	30,0
	" 26 " 34	3,5	12,0	20,0	35,0
	" 34 " 45	4,0	15,0	25,0	40,0
	Св. 45	4,5	15,0	30,0	45,0
6	Независимо от толщины	Включения (поры), скопления, размер или суммарная протяженность которых превышают установленные для балла 3 настоящей таблицы			

«Примечания: 1. При расшифровке радиографических снимков не учитываются включения (поры) длиной 0,2 мм и менее, если они не образуют скоплений и сетки дефектов». 2. «Число отдельных включений (пор), длина которых меньше указанной в таблице, не должно превышать 10 шт. для балла 1, 12 шт. для балла 2, 15 шт. для балла 3 на любом участке радиограммы длиной 100 м, при этом их суммарная длина не должна быть больше, чем указано в таблице». 3. «Для сварных соединений протяженностью менее 100 м нормы, приведенные в таблице, по суммарной длине включений (пор), а также по числу отдельных включений (пор) должны быть пропорционально уменьшены». 4. «Оценка участков сварных соединений трубопроводов P_u свыше 10 МПа (100 кгс/см²), в которых обнаружены скопления включений (пор), должна быть увеличена на один балл». 5. «Оценка участков сварных соединений трубопроводов всех категорий, в которых обнаружены цепочки включений (пор), должна быть увеличена на один балл».

Руководство по безопасности «Рекомендации по устройству и безопасной эксплуатации технологических трубопроводов»

Результаты ВИК рекомендуется считать положительными если:

- а) форма и размеры шва стандартны;
- б) поверхность шва мелкочешуйчатая; ноздреватость, свищи, скопления пор, прожоги, незаплавленные кратеры, наплывы в местах перехода сварного шва

к основному металлу трубы и трещины всех видов и направлений отсутствуют.

Результаты РГК рекомендуется считать положительными если выполняются требования таблиц № 19-21.

Таблица 19 – «Рекомендуемые параметры оценок качества сварных соединений трубопроводов по результатам визуального и радиографического контроля в зависимости от объемных дефектов (включений, пор)»

«Категория Трубопровода»	«Толщина стенки, мм»	«Включения(поры)»		«Скопления, длина, мм»	«Суммарная длина на любом участке шва длиной 100 мм»
		«ширина (диаметр),мм»	«длина, мм"»		
I, II, ШБ	До 3	0,5	1,0	2,0	3,0
	Свыше 3 до 5	0,6	1,2	2,5	4,0
	Свыше 5 до 8	0,8	1,5	3,0	5,0
	Свыше 8 до 11	1,0	2,0	4,0	6,0
	Свыше 11 до 14	1,2	2,5	5,0	8,0
	Свыше 14 до 20	1,5	3,0	6,0	10,0
	Свыше 20 до 26	2,0	4,0	8,0	12,0
	Свыше 26 до 34	2,5	5,0	10,0	15,0
	Свыше 34	3,0	6,0	10,0	20,0
ШВ	До 3	0,6	2,0	3,0	6,0
	Свыше 3 до 5	0,8	2,5	4,0	8,0
	Свыше 5 до 8	1,0	3,0	5,0	10,0
	Свыше 8 до 11	1,2	3,5	6,0	12,0
	Свыше 11 до 14	1,5	5,0	8,0	15,0
	Свыше 14 до 20	2,0	6,0	10,0	20,0
	Свыше 20 до 26	2,5	8,0	12,0	25,0
	Свыше 26 до 34	2,5	8,0	12,0	30,0
	Свыше 34 до 45	3,0	10,0	15,0	30,0
	Свыше 45	3,5	12,0	15,0	40,0
IV, V	До 3	0,8	3,0	5,0	8,0
	Свыше 3 до 5	1,0	4,0	6,0	10,0
	Свыше 5 до 8	1,2	5,0	7,0	12,0
	Свыше 8 до 11	1,5	6,0	9,0	15,0
	Свыше 11 до 14	2,0	8,0	12,0	20,0
	Свыше 14 до 20	2,5	10,0	15,0	25,0

«Категория Трубопровода»	«Толщина стенки, мм»	«Включения(поры)»		«Скопления, длина, мм»	«Суммарная длина на любом участке шва длиной 100 мм»
		«ширина (диаметр),мм»	«длина, мм"»		
	Свыше 20 до 26	3,0	12,0	20,0	30,0
	Свыше 26 до 34	3,5	12,0	20,0	35,0
	Свыше 34 до 45	4,0	15,0	25,0	40,0
	Свыше 45	4,5	15,0	30,0	45,0

Таблица 20 – «Рекомендуемый объем контроля сварных соединений ультразвуковым или радио графическим методом в % от общего числа сваренных каждым сварщиком соединений»

«Условия изготовления стыков»	«Категория трубопроводов»					
	«I категория при температуре ниже минус 70 °С»	I	II	III	IV	V
«При изготовлении и монтаже на предприятии нового трубопровода, а также при ремонте»	100	20	10	2	1	«Согласно требованиям п.329 настоящего Руководства по безопасности»
«При сварке разнородных сталей»	100	100	100	100	100	10
«При сварке трубопроводов, входящих в блоки I категории Взрывоопасности»	100	100	10	2	1	–

Таблица 21 – «Рекомендуемая оценка качества сварных соединений трубопроводов по результатам радиографического контроля в зависимости от величины и протяженности плоских дефектов (непровары по оси шва, несплавления и др.)»

Категория трубопровода	Вид дефекта, глубина, % к номинальной толщине стенки	Допустимая суммарная длина по периметру трубы
I	Непровар отсутствует	-
	Вогнутость корня шва до 10 %, но не более 1,5 мм	До 1/8 периметра
	Выпуклость корневого шва до 10 %, но не более 3 мм	До 1/8 периметра
II, III	Непровар по оси шва до 10 %, но не более 2 мм	До 1/4 периметра
	или до 5 %, но не более 1 мм	До 1/2 периметра
IV, V	Непровар по оси шва до 20 %, но не более 3 мм	До 1/4 периметра
	или до 10 %, но не более 2 мм	До 1/2 периметра
	или до 5 %, но не более 1 мм	Не ограничивается

ГОСТ 32569-2013 «Трубопроводы технологические стальные».

Результаты ВИК рекомендуется считать положительными если:

- «форма и размеры шва должны соответствовать ГОСТ 16037»;
- «поверхность шва мелкочешуйчатая (допускаются отдельные поры в количестве не более трех на 100 мм сварного шва размерами, не превышающими указанных в таблице 22».

Таблица 22 – «Оценка качества сварных соединений трубопроводов по результатам радиографического контроля в зависимости от размеров объемных дефектов (включений, пор) (в миллиметрах)»

«Категория трубопровода и группа среды»	«Толщина стенки»	«Включения (поры)»		«Скопления, длина»	«Суммарная длина на любом участке шва длиной 100»
		«ширина (диаметр)»	«длина»		
I А, Б, В II А, Б, В III Б	До 3	0,5	1,0	2,0	3,0
	Св. 3 до 5	0,6	1,2	2,5	4,0
	Св. 5 до 8	0,8	1,5	3,0	5,0
	Св. 8 до 11	1,0	2,0	4,0	6,0
	Св. 11 до 14	1,2	2,5	5,0	8,0
	Св. 14 до 20	1,5	3,0	6,0	10,0
	Св. 20 до 26	2,0	4,0	8,0	12,0
	Св. 26 до 34	2,5	5,0	10,0	15,0
III В	Св. 34	3,0	6,0	10,0	20,0
	До 3	0,6	2,0	3,0	6,0
	Св. 3 до 5	0,8	2,5	4,0	8,0
	Св. 5 до 8	1,0	3,0	5,0	10,0
	Св. 8 до 11	1,2	3,5	6,0	12,0
	Св. 11 до 14	1,5	5,0	8,0	15,0
	Св. 14 до 20	2,0	6,0	10,0	20,0
	Св. 20 до 26	2,5	8,0	12,0	25,0
	Св. 26 до 34	2,5	8,0	12,0	30,0
Св. 34 до 45	3,0	10,0	15,0	30,0	
IV Б, В V В	Св. 45	3,5	12,0	15,0	40,0
	До 3	0,8	3,0	5,0	8,0
	Св. 3 до 5	1,0	4,0	6,0	10,0
	Св. 5 до 8	1,2	5,0	7,0	12,0
	Св. 8 до 11	1,5	6,0	9,0	15,0
	Св. 11 до 14	2,0	8,0	12,0	20,0
	Св. 14 до 20	2,5	10,0	15,0	25,0
	Св. 20 до 26	3,0	12,0	20,0	30,0
	Св. 26 до 34	3,5	12,0	20,0	35,0
	Св. 34 до 45	4,0	15,0	25,0	40,0
Св. 45	4,5	15,0	30,0	45,0	

Примечания

1 «При расшифровке радиографических снимков не учитывают включения (поры) длиной 0,2 мм и менее, если они не образуют скоплений и сетки дефектов».

2 «Для сварных соединений протяженностью менее 100 мм нормы, приведенные в табли-

«Категория трубопровода и группа среды»	«Толщина стенки»	«Включения (поры)»		«Скопления, длина»	«Суммарная длина на любом участке шва длиной 100»
		«ширина (диаметр)»	«длина»		
це, по суммарной длине включений (пор), а также по числу отдельных включений (пор) должны быть пропорционально уменьшены».					
3 «Переход от наплавленного металла к основному должен быть плавным. Подрезы в местах перехода от шва к основному металлу допускаются по глубине не более 10% от толщины стенки трубы, но не более 0,5 мм. При этом общая протяженность подреза на одном сварном соединении не должна превышать 30% от длины шва».					
«В сварных соединениях трубопроводов на PN>100, а также в трубопроводах, работающих в средах групп А и Б I категории или при температуре ниже минус 70°С, подрезы не допускаются».					

Таблица 23 – «Оценка качества сварных соединений трубопроводов по результатам радиографического контроля в зависимости от величины и протяженности плоских дефектов (непровары по оси шва, несплавления и др.)»

«Категория трубопровода и группа среды»	«Непровары по оси шва, несплавления, трещины, вогнутость и выпуклость металла в корне шва»	
	«Глубина, % к номинальной толщине стенки»	«Допустимая суммарная длина по периметру трубы»
I А, Б, В II А, Б, В III Б	Непровар отсутствует	-
	Вогнутость корня шва до 10%, но не более 1,5 мм	До 1/8 периметра
	Выпуклость корневого шва до 10%, но не более 3 мм	
III В	Непровар по оси шва до 10%, но не более 2 мм	До 1/4 периметра
	или до 5%, но не более 1 мм	До 1/2 периметра
IV Б, В V В	Непровар по оси шва до 20%, но не более 3 мм	До 1/4 периметра
	или до 10%, но не более 2 мм	До 1/2 периметра
	или до 5%, но не более 1 мм	Не ограничивается
Примечания		
1 «Величина вогнутости корня шва и выпуклости корневого шва для трубопроводов I-IV категорий, за исключением трубопроводов I и II категорий для группы сред А(а) или работающих при температуре ниже минус 70°С, не регламентируется».		
2 «При необходимости точная глубина непровара определяется методом профильной радиографической толщинометрии в месте его наибольшей величины по плотности снимка или по ожидаемому местоположению».		

СНиП 3.05.04-85 «Наружные сети и сооружения водоснабжения и канализации»

«Качество сварного шва по результатам внешнего осмотра считается удовлетворительным, если не обнаружено»:

– «трещин в шве и прилегающей зоне»;

- «отступлений от допускаемых размеров и формы шва»;
- «подрезов, западаний между валиками, наплывов, прожогов, незаваренных кратеров и выходящих на поверхность пор, непроваров или провисаний в корне шва (при осмотре стыка изнутри трубы)»;
- «смещений кромок труб, превышающих допускаемые размеры».

Сварные швы по результатам радиографического контроля следует браковать, если обнаружены:

- трещины;
- незаваренные кратеры;
- прожоги;
- «свищи, а также непровары в корне шва, выполненного на подкладном кольце».

СНиП 3.05.03-85 «Тепловые сети»

Результаты ВИК считаются удовлетворительными, если:

- «отсутствуют трещины любых размеров и направлений в шве и прилегающей зоне, а также подрезы, наплывы, прожоги, незаваренные кратеры и свищи»;
- «размеры и количество объемных включений и западаний между валиками не превышают значений, приведенных в таблице 24»;
- «размеры непровара, вогнутости и превышение проплава в корне шва стыковых соединений, выполненных без остающегося подкладного кольца (при возможности осмотра стыка изнутри трубы), не превышают значений, приведенных в табл. 25».

«Стыки, не удовлетворяющие перечисленным требованиям, подлежат исправлению или удалению».

Таблица 24 – «Требования к геометрическим размерам сварных соединений».

«Дефект»	«Максимально допустимый линейный размер дефекта, мм»	«Максимально допустимое число дефектов на любые 100 мм длины шва»
----------	--	---

«Дефект»	«Максимально допустимый линейный размер дефекта, мм»	«Максимально допустимое число дефектов на любые 100 мм длины шва»
«Объемное включение округлой или удлиненной формы при номинальной толщине стенки свариваемых труб в стыковых соединениях или меньшем катете шва в угловых соединениях, мм:»		
до 5,0	0,8	2
св. 5,0 до 7,5	0,8	3
» 7,5 » 10,0	1,0	4
св. 10,0	1,2	4
«Западание (углубление) между валиками и чешуйчатое строение поверхности шва при номинальной толщине стенки свариваемых труб в стыковых соединениях или при меньшем катете шва в угловых соединениях, мм:»		
до 15,0	1,5	Не ограничивается
св. 15,0	2,0	То же

Таблица 25 – «Требования к внутренним дефектам сварных соединений».

«Трубопроводы, на которые Правила Ростехнадзора»	«Дефект»	«Максимально допустимая высота (глубина), % номинальной толщины стенки»	«Максимально допустимая суммарная длина по периметру стыка»
Распространяются	«Вогнутость и непровар в корне шва»	10, но не более 2 мм	20 % периметра
	«Превышение проплава»	20, но не более 2 мм	То же
Не распространяются	«Вогнутость, превышение проплава и непровар в корне шва»	10	1/3 периметра

«Результаты РГК рекомендуется считать положительными если выполнены требования таблице 26».

Таблица 26 – «Требования к радиографическому контролю».

«Номинальная толщина стенки трубы, мм»	«Предельно допустимые размеры пор и включений, мм»						«Суммарная длина пор и включений на любые 100 мм шва, мм»
	отдельных		скоплений		цепочек		
	ширина (диаметр)	длина	ширина (диаметр)	длина	ширина (диаметр)	длина	
До 2,0	0,5	2,0	0,8	2,0	0,5	3,0	4,0
Св. 2,0 до 3,0	0,6	2,5	1,0	2,5	0,6	4,0	6,0
Св. 3,0 до 5,0	0,8	3,5	1,2	3,5	0,8	5,0	10,0
Св. 5,0 до 8,0	1,2	4,0	2,0	4,0	1,2	6,0	15,0
Св. 8,0 до 11,0	1,5	5,0	2,5	5,0	1,5	8,0	20,0
Св. 11,0 до 14,0	2,0	5,0	3,0	5,0	2,0	8,0	20,0

Св. 14,0 до 20,0	2,5	6,0	4,0	6,0	2,5	9,0	25,0
------------------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	------

СП 70.13330.2012 «Несущие и ограждающие конструкции».

«Результаты визуально-измерительного контроля сварных соединений рекомендуется считать положительными если удовлетворяют требованиям таблице 27».

Таблица 27 – «Требования к сварным соединениям по результатам ВИК».

«Элементы сварных соединений, наружные дефекты»	«Требования к качеству, допустимые размеры дефектов»
«Поверхность шва»	«Равномерно-чешуйчатая, без прожогов, наплывов, сужений и перерывов. Плавный переход к основному металлу (следует оговорить в чертежах КМ и КМД)»
«Подрезы»	«Глубина до 5% толщины свариваемого проката, но не более 1 мм»
«Дефекты удлиненные и сферические одиночные»	«Глубина до 10% толщины свариваемого проката, но не более 3 мм. Длина – до 20% длины оценочного участка*»
«Дефекты удлиненные и сферические в виде цепочки или скопления»	«Глубина до 5% толщины свариваемого проката, но не более 2 мм. Длина – до 30% длины оценочного участка. Длина цепочки или скопления - более удвоенной длины оценочного участка»
«Дефекты (непровары, цепочки и скопления пор), соединение по длине шва»	«Расстояние между близлежащими концами – не менее 200 мм»
«Швы сварных соединений конструкций, возводимых или эксплуатируемых в районах с расчетной температурой ниже минус 400С и до минус 650С включительно. Непровары, несплавления, цепочки и скопления наружных дефектов»	«Не допускаются»
«Подрезы: вдоль усилия»	«Глубина – не более 0,5 мм при толщине свариваемого проката до 20 мм и не более 1 мм – при большей толщине»
«местные поперек усилия»	«Длина – не более удвоенной длины оценочного участка»
* - «здесь и далее длину оценочного участка следует принимать 300 мм.»	

«По результатам радиографического контроля швы сварных соединений конструкций должны удовлетворять требованиям таблиц» 28 и 29.

«При оценке за высоту дефектов h следует принимать следующие размеры их изображений на радиограммах: для сферических пор и включений – диаметр; для удлиненных пор и включений – ширину».

Таблица 28 – «Требования к сварным соединениям по результатам радиографического контроля».

«Элементы сварных соединений, внутренние дефекты»	«Требования к качеству, допустимые размеры дефектов»
«Соединения, доступные для сварки с двух сторон, соединения на подкладках» «непровары в корне шва»	«Высота – до 5% толщины свариваемого проката, но не более 2 мм. Длина – не более удвоенной длины оценочного участка»
«Соединения без подкладок, доступные для сварки с одной стороны»	
«непровар в корне шва»	«Высота – до 15% толщины свариваемого проката, но не более 3 мм»
«образующие цепочку или скопления»	«Высота – не более $0,5 h$ * Длина – не более длины оценочного участка»
«удлиненные»	«Протяженность не более отношения $S \cdot h$ »
«непровары, цепочки и скопления пор, соединение по длине шва»	«Расстояние между близлежащими концами не менее 200 мм»
«суммарные в продольном сечении шва»	«Суммарная площадь на оценочном участке – не более S^* »
«Швы сварных соединений конструкций, возводимых или эксплуатируемых в районах с расчетной температурой ниже минус 400С до минус 650С включ., а также конструкций, рассчитанных на выносливость непровары, несплавления, удлиненные дефекты, цепочки и скопления дефектов»	Не допускаются
«Одиночные сферические дефекты»	«Высота не более $0,5 h$ * Расстояние между соседними дефектами – не менее удвоенной длины оценочного участка»
* «Значения h и S следует принимать по таблице 27»	
Примечание – «Чувствительность контроля должна соответствовать третьему классу».	

Таблица 29 – «Допустимые размеры одиночных дефектов»

«Наименьшая толщина элемента конструкции в сварном соединении, мм»	«Длина оценочного участка, мм»	«Допустимые размеры одиночных дефектов»	
		h , мм	S , мм ²
От 4 до 6	15	0,8	3
Св. 6 до 8	20	1,2	6
Св. 8 до 10	20	1,6	8
Св.10 до 12	25	2,0	10
Св.12 до 14	25	2,4	12
Св.14 до 16	25	2,8	14
Св.16 до 18	25	3,2	16

Св.18 до 20	25	3,6	18
Св.20 до 60	30	4,0	18

«Обозначения, принятые в таблице: h – допустимая высота сферического или удлиненно-го одиночного дефекта; S – суммарная площадь дефектов в продольном сечении шва на оценочном участке».

Примечание – «Чувствительность контроля устанавливается по третьему классу согласно ГОСТ 7512».

5.3. Разработка обобщенных требований к контролю сварных соединений при аттестации сварщиков.

Проведя анализ и обобщение требований к качеству сварных соединений, изложенных в рассмотренных выше нормативных документах на разные группы опасных производственных объектов, можно сформулировать общие требования к сварным соединениям. Соответствие этим требованиям дает возможность допускать сварщика по результатам экзамена до сварки любых объектов, подведомственных Ростехнадзору. Результаты представлены в таблицах 30 и 31.

Таблица 30 - Обобщенные требования к сварным соединениям по результатам визуально-измерительного контроля.

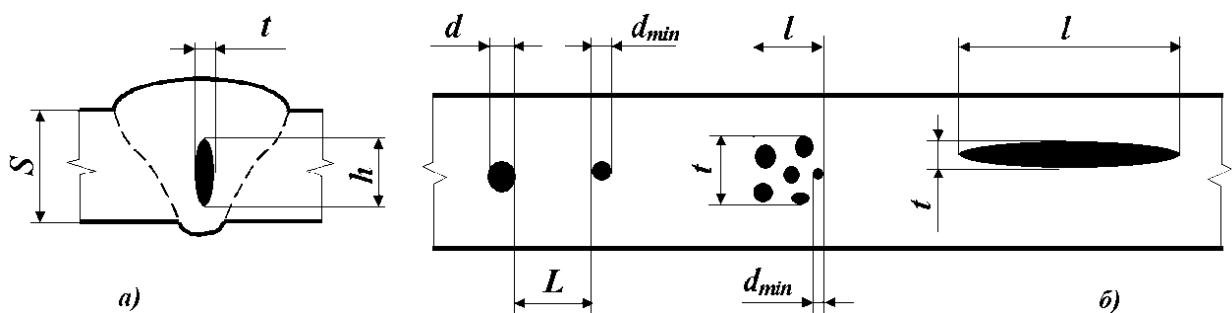
№ п/п	Наименование дефектов (параметров)	Характеристики (критерии) допустимых дефектов
1	Размеры сварного соединения	Должны соответствовать требованиям нормативных документов (ГОСТ, РД, СТО и т.д.)
2	Выпуклость шва	Должна быть высотой в пределах от 0,5 мм до 3 мм и иметь плавный переход к основному металлу (угол α между основным металлом и валиком шва должен быть не менее 120°)
3	Чешуйчатость шва (превышение гребня над впадиной)	Не должна превышать 1,0 мм
4	Глубина межваликовой канавки	Не должна превышать 1,0 мм (определяется максимальной разностью между высотой валика относительно соседней с ним канавки)
5	Вогнутость облицовочного шва	Допускается на вертикальных участках, не выходящая за пределы диапазона величины выпуклости шва
6		

№ п/п	Наименование дефектов (параметров)	Характеристики (критерии) допустимых дефектов
7	Выходящие на поверхность поры, включения, незаваренные кратеры, прожоги, наплывы, свищи, усадочные раковины, прижоги металла в местах касания сварочной дугой основного металла.	Не допускаются
8	Выходящие на поверхность несплавления	Не допускаются
9	Трещины	Не допускаются
10	Подрезы внутренние наружные	Допускаются, если: h до $0,05 \cdot S$ включ., но не более 0,5 мм l не более 50 мм; Σ_{300} не более 100 мм
11	Смещения кромок наружное внутреннее	Допускаются, если: h до $0,2 S$ включ., но не более 3,0 мм – для труб с S 10 мм и более, h до $0,25 S$ включ., но не более 2,0 мм – для труб с S менее 10 мм

Примечания

1. h – глубина дефекта.
2. l – протяженность дефекта (размер дефекта, определяемый вдоль оси шва).
3. Протяженность подреза измеряется по уровню фиксации h 0,1 мм.
4. Σ_{300} – суммарная протяженность дефектов на длине сварного шва, равной 300 мм.
5. Протяженность измеряется только для недопустимого смещения: для толщин менее 6 мм измеряется по уровню фиксации h 1 мм, для 6 мм и более h 1,5 мм.

При формулировке обобщенных требований к разбраковке сварных соединений по результатам радиографического контроля было принято схематическое изображение сварного шва и определение размеров дефектов, приведенные на рисунке 21.



а) вид в сечении; б) вид в плане

S – толщина стенки трубы (детали);

d – диаметр дефекта округлой формы;

h – глубина дефекта;

l – протяженность дефекта (размер дефекта, определяемый вдоль шва);

t – ширина дефекта (размер дефекта, определяемый поперек шва);

L – расстояние между соседними дефектами;

d_{min} – диаметр наименьшего из расположенных рядом отдельных дефектов или дефектов, входящих в скопление или цепочку

Рисунок 21 – Схематическое изображение сварного шва и определение размеров дефектов

Таблица 31 - Обобщенные критерии оценки допустимости дефектов сварных соединений по результатам радиографического контроля.

№ п/п	Тип дефекта	Схематическое изображение дефекта		Характеристики (критерии) допустимых дефектов
		в сечении	в плане	
1. Поры				
1.1	Единичные (сферические и удлиненные)			При L свыше 3d d, h, l, t не более 0,2S, но не более 3 мм, $\Sigma 300$ не более 30 мм
				Максимально допустимая суммарная площадь проекций пор при равномерной пористости на радиографическом снимке не должна превышать 5% площади участка, ширина которого равна – e, а длина – 50 мм при L свыше 5d, где L – минимальное расстояние между двумя соседними порами, d – диаметр наибольшей соседней поры
1.2	Цепочки			d, h, t не более 0,1S, но не более 2 мм, l не более S, но не более 30 мм, $\Sigma 300$ не более 30 мм
1.3	Скопления			d, h не более 0,1S, но не более 2 мм, l, t не более 0,5S, но не более 15 мм, $\Sigma 300$ не более 30 мм
1.4	Канальные			Не допускаются
2. Шлаковые включения				
2.1	Единичные компактные			h не более 0,1S при t не более 3 мм, l не более 0,5S, но не более 7 мм, $\Sigma 300$ не более 30 мм
2.2	Цепочки			d, h, t не более 0,1S, но не более 1,5 мм, l не более 2S, но не более 25 мм, $\Sigma 300$ не более 50 мм
2.3	Скопления			d, h не более 0,1S, но не более 1,5 мм, l, t не более 0,5S, но не более 12,5 мм, $\Sigma 300$ не более 30 мм
2.4	Удлиненные (зашлакованные карманы)			Не допускаются
3. Непровары				
3.1.	В корне одно-стороннего шва			h не более 0,05S, но не более 1 мм, l не более S, но не более 25 мм, $\Sigma 300$ не более 25 мм В сварных соединениях, выполненных с подваркой, непровары в корне шва не допускаются

№ п/п	Тип дефекта	Схематическое изображение дефекта		Характеристики (критерии) допустимых дефектов
		в сечении	в плане	
3.2	Внутренние в корне двухстороннего шва			h не более $0,05S$, но не более 1 мм, l не более S , но не более 25 мм, Σ_{300} не более 25 мм
4. Несплавления				
4.1	Межслойные			Не допускаются
4.2	По разделке кромок, внутренние			Не допускаются
4.3	По разделке кромок, выходящие на поверхность			Не допускаются
5. Трещины				
5.1	Вдоль шва			Не допускаются
5.2	Поперек шва			
5.3	Разветвленные			
6. Наружные дефекты				
6.1	Вогнутость корня шва *			h не более $0,2S$, но не более 1 мм; l не более 50 мм; Σ_{300} не более 50 мм
6.2	Выпуклость корня шва **			h не более 3 мм; l не более 30 мм; Σ_{300} не более 30 мм
6.3	Подрез наружный			При обнаружении внешнего подреза его глубину измеряют ВИК и оценивают допустимость в соответствии с табл. 30
6.4	Подрез внутренний			h не более $0,05S$, но не более 0,5 мм, l не более 50 мм, Σ_{300} не более 100 мм
6.5	Смещение кромок			При обнаружении смещения кромок его глубину измеряют методами ВИК и оценивают допустимость в соответствии с табл. 30
6.6	Дефект сборки			Плотность изображения на радиографическом снимке не должна превышать плотности изображения основного металла
* - Согласно сложившейся практике допускается применять термин «утяжина».				
** - Согласно сложившейся практике допускается применять термин «провис».				
П р и м е ч а н и я				
1. Оптическая плотность изображений пор и шлаковых включений не может превышать оптическую плотность основного металла.				
2. Суммарная протяженность объемных дефектов на любом участке сварного соединения длиной 300 мм не может превышать 30 мм.				
3. Оценка глубины непроваров и подреза на внутренней поверхности производится путем сравнения оптической плотности изображения дефекта с оптической плотностью изображений канавок канавочного эталона чувствительности.				

Таким образом, используя предлагаемые критерии качества сварных соединений можно унифицировать требования к процедуре практического экзамена сварщиков и легко интерпретировать его результаты на другие группы опасных производственных объектов, что позволит значительно расширить область аттестации сварщиков без существенных дополнительных затрат.

5.4. Пути повышения эффективности проведения радиографического контроля качества.

Как было рассмотрено выше, наиболее распространенным видом неразрушающего контроля (НК) качества сварных соединений, материалов и изделий на опасных производственных объектах является радиационный контроль. Этот метод используется для оценки достоверности других методов НК. Он является самым информативным, с легко понимаемыми результатами. С помощью этого метода можно достичь разрешения порядка десяти пар линий на мм, что очень важно для обнаружения различных дефектов в сварных конструкциях.

Основным недостатком данного метода являются высокие временные и материальные затраты. Еще одним из недостатков пленочной радиографии является необходимость в мощных излучателях света (негатоскопах) для того, чтобы увидеть дефекты объекта, зафиксированные рентгеновской пленкой. причем, чем более темный снимок, тем больше он содержит информации о тонких дефектах. при относительной плотности почернения более 4 снимки делаются практически нечитаемыми. Этому недостатка лишены современные беспленочные технологии, обеспечивающие, кроме того, результат радиационного контроля в электронном виде без специальных оцифровывающих комплексов

В последние годы произошли качественные изменения в системах радиационного НК, прежде всего благодаря появлению новых многоэлементных полупроводниковых детекторов радиационных изображений, а также

интенсивному внедрению цифровых технологий получения, обработки и анализа изображений. При использовании таких детекторов ионизирующее излучение, прошедшее через контролируемый объект и несущее информацию о внутренних его дефектах, с помощью электронных средств преобразуется в массив электрических сигналов, которые затем оцифровываются, обрабатываются и используются для формирования цифрового изображения (ЦИ) контролируемого объекта. ЦИ объекта содержит информацию о его внутренней структуре и формируется непосредственно во время просвечивания, т.е. в реальном времени. Такой метод радиационного контроля называют цифровой радиографией или флэш-радиографией [28]. Это фактически портативное рентген-телевидение с электронной записью информации, которая без дополнительной обработки может быть выставлена в интернете или помещена в электронные базы данных.

Отличительной особенностью флэш-радиографии является отсутствие промежуточных носителей информации (радиографических пленок, полупроводниковых селеновых пластин, запоминающих пластин с фотостимулируемой памятью), которые сейчас широко применяются в сварочном производстве. Они требуют длительных операций экспонирования, обработки и специальных устройств для считывания информации. Соответственно отсутствие таких промежуточных носителей позволяет на порядок повысить производительность и снизить стоимость контроля качества.

Неразрушающий контроль на основе портативной рентгенотелевизионной техники, цифровой обработки изображений принципиально изменяет технологию, увеличивает распространение одного из самых достоверных методов неразрушающего контроля – радиационного. В последнее время радиография, в основе которой лежат цифровые технологии («цифровая радиография» - ЦИ) находит все более широкое применение. Аппаратно-программные комплексы обработки рентгеновских пленок, их ЦИ находят все большее распространение [26,27,31]. Сейчас ЦИ получают тремя разными технологиями (рис. 22-24), приемы их обработки являются общими, и это является важным

направлением в современной радиационной дефектоскопии. Чаще всего ЦИ получают оцифровкой рентгенограмм. Реже при обработке скрытого изображения, «считываемого с запоминающих пластин многократного использования, либо от цифровых детекторов флэш-радиографии».

Полученное любым из трех указанных способов ЦИ должно быть одинаково интерпретировано. «Результаты обработки ЦИ радиографии должны быть не хуже по чувствительности и разрешающей способности, чем результат, получаемый на негатоскопе от радиографической пленки, т.е. изображения на ЦИ стандартных эталонных образцов должны быть идентичны изображениям на рентгеновских пленках».



Рисунок 22 - Традиционная схема радиографического контроля с использованием пленки и оцифровки рентгенограмм.

Способы получения ЦИ результатов радиационного контроля в электронном виде разные, но принципы обработки и последующей расшифровки этих изображений одинаковые [3,9,17,18,20].

На рис. 22 приведена классическая технологическая схема получения ЦИ за счет оцифровки пленочных рентгенограмм. Эта технология распространена во всем мире, требует подготовки кассеты с пленкой и экранами. После просвечивания следуют процедуры химической обработки, сушки пленки, считывание информации на негатоскопе и оцифровывание результатов с помощью соответствующего компьютерного комплекса. Этой длительной и дорогой технологией пользуются во всех отраслях промышленности в основном из-за возможности компактного архивирования результатов НК в электронном виде и для получения дополнительной информации, которую нельзя получить без оцифровки.

На рис. 23 приведена схема более совершенной Технологии получения ЦИ на основе запоминающих пластин. По сравнению с предыдущей схемой получения ЦИ данная технология обеспечивает возможность многократного использования промежуточного носителя информации. Здесь отсутствует «мокрый» процесс проявки. Это ускоряет контроль, но не удешевляет его, требует более высокой квалификации персонала, много времени на вспомогательные операции и дорогого считывающего оборудования. Часто запоминающие пластины имеют собственные дефекты.

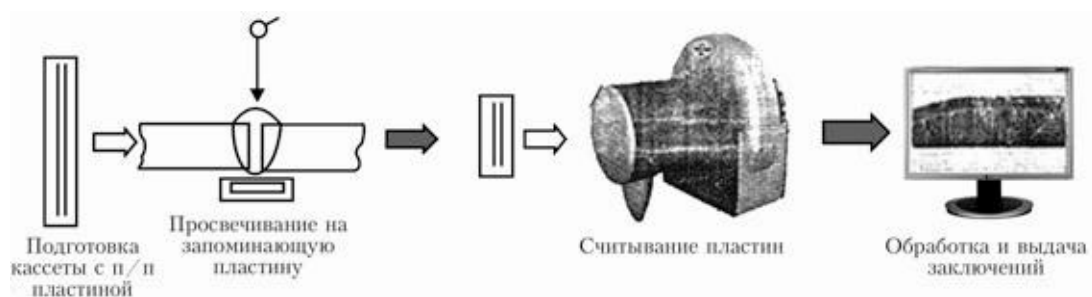


Рисунок 23 - Схема технологии просвечивания с использованием запоминающей пластины

Высоко оценивая возможности получения дополнительной информации при обработке ЦИ и архаичность оцифровки пленочных изображений, мировые производители пленки, такие фирмы как «Agfa», «Fudje», «Kodak» и др. пошли по пути замены пленки на запоминающие полупроводниковые пластины многоразового использования. На рис. 24 приведена схема технологии мгновенной (флэш) цифровой радиографии на основе флюороскопических и твердотельных детекторов [26,27,43]. Это самый быстрый и самый дешевый способ получения ЦИ внутренних дефектов сварных соединений, не требующий обрабатывающего и считывающего оборудования и соответствующего вспомогательного времени.

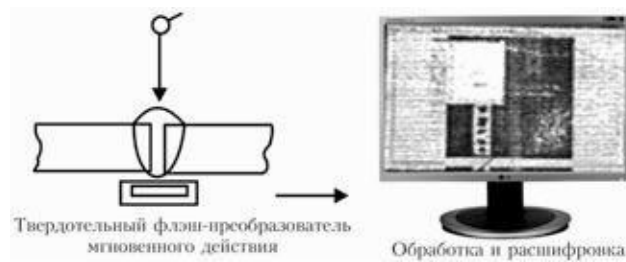


Рисунок 24 - Схема просвечивания без промежуточных носителей информации

Оба новых вида беспленочного радиационного контроля (рис. 23,24) могут давать результаты лучше, чем результаты оцифрованного изображения, полученного с помощью рентгеновской пленки.

«Качество рентгеновского изображения определяется по эталонам чувствительности (ГОСТ 7512–82). Классификация сварных соединений по результатам радиографического контроля осуществляется по ГОСТ 23055–78. Известно, что чем больше плотность почернения, чем больше экспозиция, тем больше информации содержит экспонированная пленка. Поэтому для оцифровки пленок, получения информативных их ЦИ нужен хороший сканер. Распространенные считывающие устройства, недорогие сканеры не могут обеспечить приемлемого качества оцифровки рентгеновских снимков, если их относительная плотность почернения выше, чем 3. Все попытки получения удовлетворительных ЦИ от более плотных пленок не увенчались успехом». «Поэтому в пленочном варианте (рис. 22) удовлетворительное ЦИ возможно, если оптическая плотность пленок находится только в диапазоне 1,5...2,5. При таких значениях шумы оцифровщика не вносят непоправимых искажений в ЦИ. Опыт оцифровки пленочных снимков с плотностью 3...3,2» уже показывает неудовлетворительные результаты, трудно воспроизводится тонкая информация. Например, теряются изображения мелких пор диаметром менее 0,2 мм, трещины с малым раскрытием. Таким образом, оцифровка пленок имеет существенные ограничения. Часть дефектов, обнаруживаемых с помощью негатоскопа, не обнаруживаются на ЦИ. Это существенный недостаток традиционной пленочной радиографии.

Беспленочные технологии по схемам рис. 23 и 24 не имеют этого недостатка, они отличаются большим динамическим диапазоном, что расширяет возможности НК. Опыт анализа ЦИ по технологическим схемам рис. 23 и 24 подтвердил, что выявляемость мелких пор, трещин и различных включений в сварных соединениях превышает информацию о них на пленке. Особенно велики перспективы технологии флэш-радиографии по рис. 3 на основе твердотельных или оптоэлектронных преобразователей, где после компьютерной обработки ЦИ есть возможность получить чувствительность до 0,1 % и выполнения контроля в движении. При этом повышается выявляемость дефектов за счет того, что человеческий глаз лучше различает движущиеся мелкие образы, чем в статике. При отсутствии промежуточных носителей информации во время просвечивания по схеме рис. 24 есть возможность изменять его направление, т.е. Присутствует томографический эффект. Для трех технологий (рис. 22-24) полученное ЦИ легко архивируется, передается по интернету. Скорость, стоимость получения одного ЦИ по технологическим схемам рис. 22-24 ориентировочно соотносятся, как 10:5:1, а стоимость оборудования для этих целей соответственно 5:20:1.

На рисунке 25 приведены структурные схемы получения ЦИ радиационного контроля в электронном виде по трем описанным технологиям (рис. 22-24).

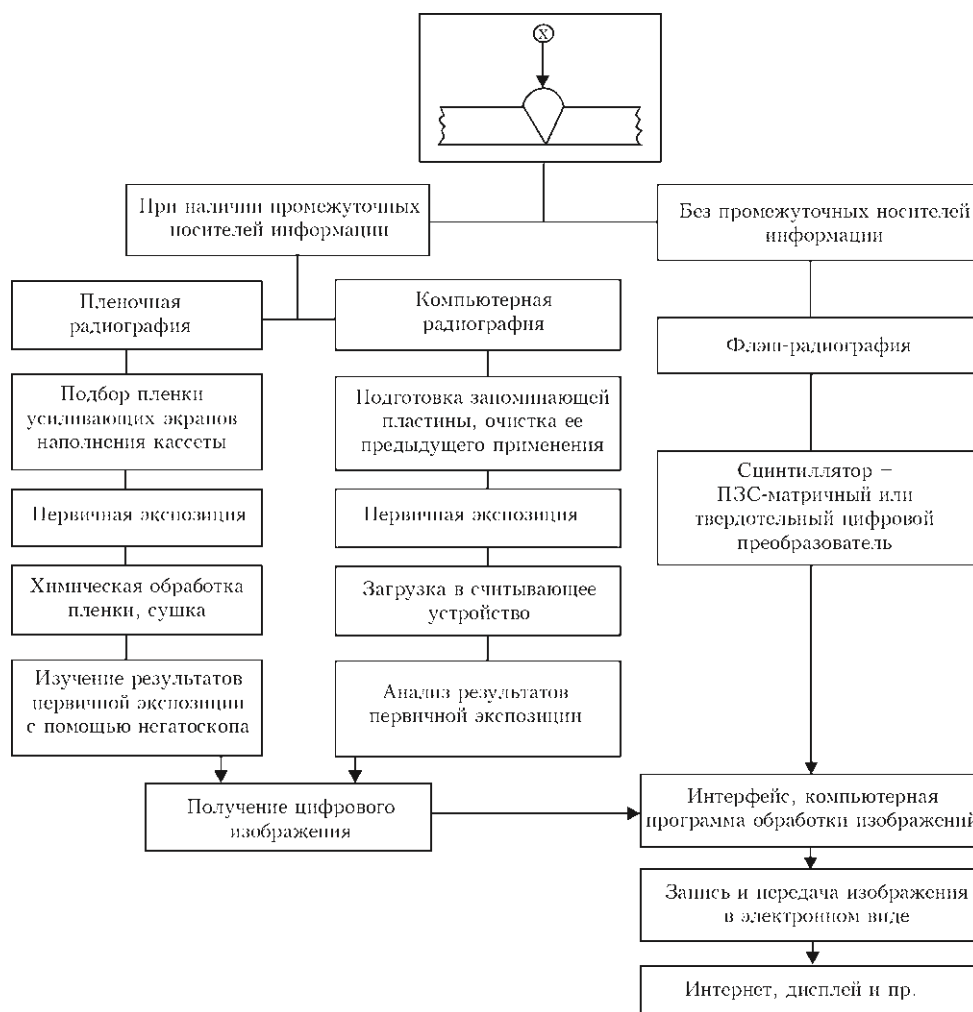


Рисунок 25 - Структурная схема технологических процедур получения результатов радиационного контроля в электронном виде при пленочной, компьютерной и флэш-радиографии

Общим недостатком первых двух технологий (рис. 22,23) с промежуточным носителем информации является неочевидность правильности назначенного первичного режима просвечивания, необходимость повторного, подчас неоднократного, просвечивания для нахождения оптимальных значений анодного напряжения, времени экспозиции, фокусного расстояния, а также вспомогательных процедур с носителем информации. Обычно оператору при получении для контроля нового, ранее не проходившего к нему объекта, необходимо правильно установить указанные параметры чаще всего подбором, неоднократным, т.е. с повторением всех подготовительных процедур перед просвечиванием. В случае технологии по рис. 24 параметры режима просвечивания могут уточняться в процессе просвечивания, наблюдая за

изменениями в изображении на экране монитора. так находятся оптимальные режимы, производится многоракурсное изучение образа внутреннего дефекта.

При флэш-радиографии [28,37] все три параметра или часть из них (U_a , I , t) могут варьироваться, наблюдая за изменениями изображения на экране монитора в реальном времени. Это обстоятельство существенно сокращает время и расходные материалы. Кроме того, собственные артефакты пленок, экранов, запоминающих пластин, кассет в технологиях с промежуточными носителями информации трудно удаляемы и плохо определяемы. В случае изучения изображения в реальном времени, т.е. по технологии рис. 24, при возможности варьирования параметрами режима контроля артефакты детектора легко выявляются и в дальнейшем исправляются. Имеются алгоритмы работы с электронными изображениями, предусматривающие накопление и вычитание отдельных фрагментов в ЦИ.

Сравнению качества изображения, получаемого от различных детекторных систем, посвящена работа [17] проф. А.А. Майорова. Он отмечает, что для технологий без промежуточных носителей информации разработаны методики калибровки, вычитания собственных шумов преобразователей. Таким образом улучшают контактную чувствительность настолько, что удается отмечать изменения 1/1000 радиационной толщины, тогда как при использовании лучших пленок класса C1 по европейскому EN 584-1 и американскому ASTM1815 стандартам может быть достигнут лучший контраст 1/100.

Качество изображения [17] характеризуется многими специфическими показателями:

- базовое пространственное разрешение (srb), измеренное с помощью эталона с двойными проволочками (EN 462-5), и равное половине зарегистрированной нерезкости или эффективному размеру пикселя (в случае технологии по рис. 24);

- разрешающая способность определяется расстоянием соседних элементов на изображении (величина, обратная этому расстоянию, является пространственной частотой, измеряемой в парах линий на мм);
- нерезкость изображения, которая имеет многофакторное происхождение из-за геометрических, проекционных обстоятельств, нерезкости детектора;
- отношение сигнал/шум (SNR), которое зависит от экспозиции и качества радиационного тракта (это отношение увеличивается как корень квадратный из площади работающих пикселей);
- отношение контраст/шум (SNR), которое зависит от отношения сигнал/шум детектора и коэффициента поглощения материала объекта;
- динамический диапазон - это толщины объекта, доступные удовлетворительному анализу на одном изображении.

Большой динамический диапазон дает существенные преимущества технологиям по схеме рис. 23, 24. Обычно большой динамический диапазон достигается за счет экспозиционной дозы, что в пленочных системах ограничено относительной плотностью почернения 3...4. Далее пленки делаются нечитаемыми. В случае цифровых детекторных систем (без промежуточных носителей) за счет компьютерных технологий «экспозиция», т.е. накопление информации, не имеет ограничений. При этом отношение сигнал/шум (SNR) растет как квадратный корень дозы. Это эквивалентно времени экспозиции или количеству усредненных изображений. Так достигается отношение SNR, равное нескольким тысячам и высокого качества ЦИ. На практике этот процесс ограничивается контрастной чувствительностью 0,1 %, что соответствует SNR порядка 1000.

Таким образом, бесспорно, что будущее за портативным рентгентелевидением без промежуточных носителей информации (запоминающих пластин, пленок и т.п.) с элементами сканирования, изменениями направления прохождения излучения через объект [7,8].

Схемы цифровой обработки ЦИ (рис. 25) независимо от способа их получения практически одинаковые. Они включают операции «оценки пригод-

ности ЦИ, измерения интенсивности серого, оптической плотности и определения чувствительности. Цифровая шкала серого 16-битная [3], имеет 65 тыс. оттенков, а гистограмма ЦИ должна лежать примерно по центру этой шкалы, чтобы избежать недоэкспонирования или переэкспонирования. Центральное расположение гистограммы дает возможность более качественной цифровой обработки», т.е. позволяет проводить масштабирование интенсивности серого. Применяется операция калибровки по размеру, которая позволяет измерять дефекты, выполнять другие процедуры, несвойственные традиционной пленочной радиографии.

Таким образом электронная цифровая информация содержит наглядные радиационные изображения внутренних дефектов, расширяет возможности дефектоскопии, уменьшает скорость и стоимость контроля. при этом обеспечивается повышение как точности контроля, так и производительности. особенно эффективна флэш-радиография [24,28] на основе портативного рентгентелевидения. при этом не требуются промежуточные носители информации (пленки, п/п пластины), используются те же источники излучения, которые применяются при пленочной радиографии. появляется возможность рассмотрения внутренних дефектов в разных ракурсах, что недоступно другим методам НК.

Наиболее перспективной является флэш-радиография на основе портативной рентгентелевизионной техники с цифровыми твердотельными преобразователями. при этом может быть достигнута чувствительность до 0,1 % толщины просвечиваемого металла и разрешение, превышающее 10 пар линий на мм. Использование малогабаритных перемещаемых твердотельных преобразователей открывает новые технологические возможности в НК качества сварных соединений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполнения диссертационной работы были решены поставленные задачи, а именно:

1. Разработана методика статистического исследования дефектности сварных соединений при аттестации сварщиков.
2. Проведены статистические исследования и выявлены причины появления дефектности сварных соединений по результатам неразрушающего контроля
3. Произведена обработка результатов исследования и сформулированы причины их появления и рекомендации по уменьшению дефектности сварных соединений, выполняемых как при аттестации сварщиков, так и в производстве сварных конструкций.
4. Проведен анализ требований к качеству сварных соединений конструкций опасных производственных объектов и сформулированы обобщенные требования к допускаемому уровню дефектности.
5. Предложены пути повышения производительности и эффективности основного метода контроля – радиографического.

Основными результатами являются:

1. Проведение статистических исследований уровня дефектности сварных соединений при аттестации сварщиков;
2. Обработка результатов исследования;
3. Проведение анализа уровня дефектности сварных соединений в зависимости от исследуемых условий (способ сварки, диаметр, толщина стенки, возраст и стаж по профессии);
4. Разработаны рекомендации по снижению уровня дефектности сварных при аттестации сварщиков.
5. Предложены обобщенные требования к контролю качества контрольных сварных соединений, выполняемых сварщиками на практическом экзамене при аттестации.

Результаты исследования позволили разработать рекомендации для проведения мероприятий по снижению дефектности в сварных соединениях выполненных сварщиками при аттестации, а также повышению объективности требований к контролю качества сварных соединений. Предложены методы повышения эффективности радиографического контроля, который является основным методом контроля как при проведении контроля качества при аттестации сварщиков, так и при контроле промышленных объектов.

Полученные результаты позволят при внедрении их в Аттестационный центр снизить уровень дефектности сварных соединений и как следствие повысить качество сварных соединений.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Басаков М.И. Сертификация продукции и услуг с основами стандартизации и метрологии : Учеб. пособие / М.И. Басаков. - Ростов н/Д : Март, 2000. - 253 с. : ил
2. Бузов Б.А. Управление качеством продукции. Технический регламент, стандартизация и сертификация : учеб. пособие для вузов / Б.А. Бузов. - 3-е изд., стер. ; Гриф УМО. - М. : Академия, 2008. - 173 с. - (Высш. проф. образование. Легкая промышленность). - Библиогр.: с. 170-171. - Прил.: с. 154-169. - ISBN 978-5-7695-4913-7: 173-00
3. Варламов А.Н. опыт эксплуатации комплекса цифровой радиографии в полевых условиях // В мире неразруш. Контроля. – 2014. – 63. – с. 25–28.
4. Волченко В.Н. Вероятность и достоверность оценки качества металлоконструкции. – М. : Металлургия, 1979. – 87 с.
5. Волченко В.Н., Денисов Л.С. Статистический анализ и регулирование технологических процессов монтажной сварки. – В кн. ; Пути повышения эффективности сварочного производства и улучшения качества сварных конструкций. – Минск ; ММИ, 1978. – с.71-73
6. Выявляемость естественных дефектов сварных швов методами просвечивания и ультразвуком /Л.М. Яблоник, В.А. Щукин, Ф.Я. Заславский, Н.В. Рыльская // Комплексная дефектоскопия сварных и паяных соединений: Сб. статей. М.: МДНТП, 1975. С. 68-72.
7. ГОСТ 27947–88. Контроль неразрушающий. Рентгентелевизионный метод. Общие требования. – м., 1988. – 11 с.
8. ГОСТ 29025–91. Дефектоскопы рентгентелевизионные. Общие технические требования. – м., 1991. – 12 с.
9. Грудский А.Я., Величко В.Я. оцифровка радиографических снимков – это не очень просто // В мире неразруш. Контроля. – 2011. – № 4. – с. 32–34.
10. Димов Ю. В. Метрология, стандартизация и сертификация : учеб. для вузов / Ю. В. Димов. - 3-е изд. ; Гриф МО. - СПб. : Питер, 2010. - 463 с. : ил. -

(Учебник для вузов). - Библиогр.: с. 461-463. - Прил.: с. 457-460. - ISBN 978-5-388-00606-6: 203-36

11. Инструкция по визуальному и измерительному контролю (РД 03-606-03) / Колл. авт. М.: Государственное унитарное предприятие «Научно-технический центр по безопасности в промышленности Госгортехнадзора России», 2003. Сер. 03. Вып. 39. 104 с.
12. Капырин В.В. Системы управления качеством : Учеб. для вузов / В.В. Капырин, Г.Д. Коренев; Редкол.: В.Н. Азаров и др. - М. : Европ. центр по качеству, 2002. - 323 с. : ил. - (Управление качеством). - Библиогр.: с.322-323. - ISBN 5-94768-012-2: 300-00
13. Коновалов Н.Н. Нормирование дефектов и достоверность неразрушающего контроля сварных соединений. - М.: НТЦ "Промышленная безопасность", 2006. - 111 с.
14. Контроль качества сварки / под ред. В.Н.Волченко – М.: Машиностроение, 1975. -328 с..
15. Логанина В.И. Управление качеством на предприятиях стройиндустрии : [монография] / В.И. Логанина, О.В. Карпова, Л.В. Макарова. - М. : АСВ, 2008. - 215 с. - Библиогр.: с. 203. - Прил.: с. 204-213. - ISBN 978-5-9282-0414-3: 246-80
16. Лукьянов В.Ф., Харченко В.Я., Скребцов А.М. и др. // Сварочное производство. 1983. № 6. С. 9-11.
17. Майоров А.А. рентгеновское телевидение в промышленном НК // там же. – 2007. – № 1(35). – с. 4–9.
18. Майоров А.А. Цифровые технологии в радиационном контроле // В мире неразруш. контроля». – 2009. – № 3. – с. 21–24.
19. Огвоздин В. Ю. Управление качеством. Основы теории и практики : учеб. пособие / В. Ю. Огвоздин. - 4-е изд., испр. и доп. - М. : Дело и Сервис, 2002. - 159 с. - Библиогр.: с. 155-157. - Прил.: с. 148-154. - ISBN 5-8018-0059-X: 83-00

20. Особенности применения комплексов цифровой радиографии при неразрушающем контроле корпусного производства / н.К. Цветкова, К.А. но-вицкая, А.В. Кологов, В.Г. смирнов // технология машиностроения. – 2014. – № 7. – с. 47–50.
21. Правила аттестации сварщиков и специалистов сварочного производства ПБ 03-273-99 – М, ПИО ОБТ, 2004 – 35 с.
22. Регламент проведения аттестации сварщиков и специалистов сварочного производства РД 03-495-02 – М, ПИО ОБТ, 2004 – 52 с.
23. Сертификация систем качества : учеб. пособие / ТГУ; Фак. экономики, управления и права, каф. "Управление качеством, стандартизация и сертификация", [сост. С.М. Бобровский]. - ТГУ. - Тольятти : ТГУ, 2004. - 32 с. : ил. - Библиогр.: с. 29. - Прил.: с. 30-32. - 5-65
24. Сертификация систем качества [Электронный ресурс] : электронный учебник по дисциплине СД.07 / ТГУ; Фак. экономики управления и права, каф. управления качеством, стандартизации и сертификации . - ТГУ. - Тольятти : ТГУ, 2005. - CD ; 2,76 МБ. - 100-00
25. Система управления (контроля) качеством в строительных организаци-ях, соответствующая требованиям ГОСТ Р ИСО 9001-2001 . - М. : [б. и.], 2005. - 47 с. - (Система метод. документов в строительстве).
26. Современные системы радиационного неразрушающего контроля / В.А. троицкий, с.р. Михайлов, р.А. Пастовенский, Д.с. Шило // техн. Диагностика и неразруш. Контроль. – 2015. – № 1. – с. 23–35.
27. Степанов А.В., Ложкова Д.С., Косарина Е.С. Компьютерная радиогра-фия результатов практических исследований возможности замены пленоч-ных технологий. – м.: виам, 2010. – с. 11–14.
28. Троицкий В.А. Флэш-радиография // Территория ND. – 2013. – октябрь–декабрь. – с. 44–49.
29. Управление качеством : учебник для вузов / под ред. С.Д. Ильенковой. - 3-е изд., перераб. и доп. ; Гриф МО. - М. : ЮНИТИ-ДАНА, 2007. - 352 с. : ил.

- Библиогр.: с. 332-336. - Словарь терминов и понятий: с. 345-349. - ISBN 978-5-238-01012-0: 176-36

30. Advances in Fracture Research. 5th Intern. Conf. on Fracture. Cannes. 1981,805 p.
31. Bosworth T.J. The application of fracture mechanics to weld quality control. Paper ASME, 1970, MET-2.
32. Buck O. Crack tip closure and environmental crack propagation. Engen. Frac. Mech. 1975. Vol. 7. P. 167-171.
33. Fracture 1977.4. Inter. Conf. on Fracture. 1977. Waterloo, Canada. Vol. 1.834 p.
34. Guide for the nondestructive examination of welds, 2009, AWS Committee on Methods of Inspection, p.13
35. Jurandir Primo, PE Welding Inspection Qualifications & Testing Procedures, 2012, PDH Online | PDH Center
36. Mitesh Bairwa, Welding Defects : Types, Causes, Testing and Remedies, 2019, mech4study.com
37. Neuber H. Theory of stress concentration for strains of prismatical bodies with arbitrary nonlinear stress - strain law. J. of Appl. Mech., 1961. Vol. 28. № 4. P. 544-550.
38. Report on the actual situation of INSTITUTE DR. FORSTER. Information for customer and friends of INSTITUTE DR. FORSTER, N 12/Dec, 1993.
39. Rolfe S.T., Barsom J.M., Fracture and fatigue control in structures application of fracture mechanics. Englewood cliffs. New Jersey: Prentice - Hal, Inc., 1977. 565 p.
40. Rosemary Regello, Weld defects and how to avoid them, 2012, p.1-5 WeldersUniverse.com
41. Wagner H. Wirtschaftliche Gesichtspunkte in der Scheißtechnik. Schweissen+Schneiden, 1973.
42. Welding Inspection Handbook, 2000, AWS Committee on Methods of Inspection, p.32 .

43. Zscherpel U., Ewert U., Bavendiek K. Possibilities and Limits of Digital Industrial Radiology: The new high contrast sensitivity technique – Examples and system theoretical analysis. – Lyon, June, 2007.

Приложения

Приложение 1

Утверждаю
Руководитель АЦ

" " _____ 20__ г.

Карта технологического процесса сварки(наплавки) контрольного сварного соединения РД-М01

ФИО сварщика:		Клеймо:	
Вид (способ) сварки: РД		Основной матери- ал (марка):	
Наименование НД (шифр):		Типоразмер, мм	
Тип шва:	СШ	диаметр:	
Тип соединения (по НД):	(ГОСТ 16037-80)	толщина:	
Положение при сварке:	Н45	Способ сборки:	На прихватках
Вид соединения:	ос (бп)	Требования к прихватке:	По НД
Присадочные мате- риалы (марка, стан- дарт, ТУ):	Электрод покрытый Б (В), LB-52U (E7016 по AWS A5.1) по ГОСТ 9466-75, ГОСТ 9467-75		
Сварочное оборудо- вание:	Сварочный источ- ник Kemppi MasterTig MLS 3000		

Эскиз контрольного сварного соединения

Конструкция соединения	Конструктивные элементы шва	Порядок сварки
	 <p>$s_1 = s = \dots$ мм; $b = \dots$ мм; $e = \dots$ мм; $g = \dots$ мм</p>	 <p>Корень шва - выполняется электродом диаметром 2,6 мм узким валиком с потолочного положения. Смещение "замков" - 12...18 мм.</p>

Технологические параметры сварки

Номер валика (шва)	Способ сварки	Диаметр электрода или проволоки, мм	Род и полярность тока	Сила тока, А	Напряжение, В
Первый и последующие	РД	2,6/3,2	пост., обратная полярность	50-80/90-100	18-22

Ширина валика шва, мм: **согласно эскиза** Толщина валика шва, мм: **2-3**

Дополнительные технологические требования по сварке

1. Кромки и прилегающие к ним внутреннюю и наружную поверхности труб зачистить до металлического блеска на ширину не менее 20 мм.
2. Проконтролировать величину зазора между свариваемыми кромками стыкуемых труб равномерно по периметру стыка.
3. Начальный и конечный участки прихваток для обеспечения плавного перехода при сварке корневого слоя шва зачистить электрошлифовальной машинкой.
4. Сварку корневого шва выполнять без поперечных колебаний.
5. При сварке корневого и облицовочного слоев должно быть хотя бы одно прерывание процесса сварки с последующим его возобновлением в этом месте.
6. Обеспечить плавный переход от сварного шва к основному металлу без резких переходов, подрезов, несплавлений по кромке, непроваров и других дефектов формирования шва.
7. Обеспечить чешуйчатость шва $\leq 1,0$ мм.
8. Запрещается зажигать дугу с поверхности заготовки (трубы) и выводить кратер на основной металл.
9. Поверхность облицовочного слоя шва и околошовную зону очистить от шлака и брызг наплавленного металла на ширину не менее 10 мм ручной или дисковой щеткой.
10. Устранение дефектов и использовании электрошлифовальной машинки с шлифовальным кругом после выполнения сварки не допускается.

Требования к контролю качества контрольных сварных соединений

Метод контроля	Наименование (шифр) НД	Объем контроля (% , количество образцов)
Визуальный и измерительный	РД 03-606-03, ГОСТ 16037-80	100%
Радиографический	ГОСТ 7512-82	100%

Разработал: _____
(подпись)

Ознакомлен: _____
(подпись)

СОГЛАСОВАН УТВЕРЖДЕН

письмо Федеральной службы решением НТС НАКС
по экологическому, технологическому протокол №17 от 20.03.2007 г.
и атомному надзору
КП-25/369 от 08.04.2008 г.

Перечень групп

технических устройств опасных производственных объектов,
сварка (наплавка) которых осуществляется аттестованными сварщиками с применением
аттестованных сварочных материалов, сварочного оборудования и технологий сварки
(наплавки)

Перечень групп технических устройств опасных производственных объектов, сварка (наплавка) которых осуществляется аттестованными сварщиками с применением аттестованных сварочных материалов, сварочного оборудования и технологий сварки (наплавки)

Группа технических устройств	Перечень входящих в группу технических устройств
Подъемно-транспортное оборудование. (ПТО)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Грузоподъемные краны 2. Краны – трубоукладчики. 3. Краны – манипуляторы. 4. Лифты. 5. Тали. 6. Лебедки. 7. Устройства грузозахватные. 8. Подъемники (вышки). 9. Эскалаторы. 10. Дороги канатные, их агрегаты, механизмы и детали. 11. Цепи для подъемно-транспортного оборудования 12. Строительные подъемники. 13. Конвейеры пассажирские. 14. Металлические конструкции для подъемно-транспортного оборудования
Котельное оборудование. (КО)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Паровые котлы с давлением пара более 0,07 МПа и водогрейные котлы с температурой воды выше 115°С. 2. Трубопроводы пара и горячей воды с рабочим давлением пара более 0,07 МПа и температурой воды свыше 115°С. 3. Сосуды, работающие под давлением свыше 0,07МПа. 4. Арматура и предохранительные устройства 5. Металлические конструкции для котельного оборудования.
Газовое оборудование. (ГО)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Трубопроводы систем внутреннего газоснабжения. 2. Наружные газопроводы низкого, среднего и высокого давления стальные и из неметаллических материалов. 3. Газовое оборудование котлов, технологических линий и агрегатов. 4. Газогорелочные устройства. 5. Емкостные и проточные водонагреватели. 6. Аппараты и печи. 7. Арматура из металлических материалов и предохранительные устройства.
Нефтегазодобывающее оборудование. (НГДО)	<ol style="list-style-type: none"> 1.Промысловые и магистральные нефтепродуктопроводы, трубопроводы нефтеперекачивающих станций (НПС), обеспечивающие транспорт нефти и нефтепродуктов при сооружении, реконструкции и капитальном ремонте. 2.Промысловые и магистральные нефтепродуктопроводы, трубопроводы нефтеперекачивающих станций (НПС), обеспечивающие транспорт нефти и нефтепродуктов при текущем ремонте в процессе эксплуатации. 3.Промысловые и магистральные газопроводы и конденсатопроводы; трубопроводы для транспортировки товарной продукции, импульсного, топливного и пускового газа в пределах: установок комплексной подготовки газа (УКПГ), компрессорных станций (КС), дожимных компрессорных станций (ДКС), станций подземного хранения газа (СПХГ), газораспределительных станций (ГРС), узлов замера расхода газа (УЗРГ) и пунктов редуцирования газа (ПРГ). 4.Трубопроводы в пределах УКПГ, КС; НПС; СПХГ; ДКС; ГРС; УЗРГ; ПРГ и др., за исключением трубопроводов, обеспечивающих транспорт газа, нефти и нефтепродуктов. 5.Резервуары для хранения нефти и нефтепродуктов, газгольдеры газовых хранилищ при сооружении и ремонте. 6.Морские трубопроводы, объекты на шельфе (трубопроводы на платформах, а также сварные основания морских платформ) при сооружении, реконструкции и ремонте. 7.Уникальные объекты нефтяной и газовой промышленности при сооружении и ремонте (рабочие параметры объектов, не предусмотрены действующей нормативной документацией) 8.Запорная арматура при изготовлении и ремонте в заводских условиях. 9.Детали трубопроводов при изготовлении и ремонте в заводских условиях. 10.Насосы, компрессоры и др. оборудование при изготовлении и ремонте в завод-

Группа технических устройств	Перечень входящих в группу технических устройств
	<p>ских условиях.</p> <ol style="list-style-type: none"> 11. Нефтегазопроводные трубы при изготовлении и ремонте в заводских условиях. 12. Оборудование нефтегазопромысловое, буровое и нефтеперерабатывающее. 13. Трубопроводы автоматизированных газонаполнительных компрессорных станций (АГНКС).
Металлургическое оборудование. (МО)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Доменное, коксовое, сталеплавильное оборудование. 2. Технологическое оборудование и трубопроводы для черной и цветной металлургии. 3. Технические устройства для производства черных и цветных металлов и сплавов на их основе. 4. Машины для литья стали и цветных металлов. 5. Агрегаты трубопрокатные. 6. Станы обжимные, заготовочные, сортопрокатные и листопрокатные.
Оборудование химических, нефтехимических, нефтеперерабатывающих и взрывопожароопасных производств. (ОХНВП)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Оборудование химических, нефтехимических, нефтеперерабатывающих производств, работающее под давлением до 16 МПа. 2. Оборудование химических, нефтехимических, нефтеперерабатывающих производств, работающее под давлением более 16 МПа. 3. Оборудование химических, нефтехимических, нефтеперерабатывающих производств, работающее под вакуумом. 4. Резервуары для хранения взрывопожароопасных и токсичных веществ. 5. Изотермические хранилища. 6. Криогенное оборудование. 7. Оборудование аммиачных холодильных установок. 8. Печи. 9. Компрессорное и насосное оборудование. 10. Центрифуги, сепараторы. 11. Цистерны, контейнеры (бочки), баллоны для взрывопожароопасных и токсичных веществ. 12. Котлы-утилизаторы. 13. Энерготехнологические котлы. 14. Котлы ВОТ. 15. Трубопроводная арматура и предохранительные устройства. 16. Технологические трубопроводы и детали трубопроводов.
Горнодобывающее оборудование. (ГДО)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Технические устройства для горнодобывающих и горно-обогащительных производств и подземных объектов.
Оборудование для транспортировки опасных грузов. (ОТОГ)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Контейнеры специализированные и тара, используемые для транспортировки опасных грузов и строительных материалов. 2. Цистерны. 3. Экипажная часть.
Строительные конструкции. (СК)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Металлические строительные конструкции. 2. Арматура, арматурные и закладные изделия железобетонных конструкций. 3. Металлические трубопроводы. 4. Конструкции и трубопроводы из полимерных материалов.
Конструкции стальных мостов. (КСМ)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Металлические конструкции пролётных строений, опор и пилонов стальных мостов при изготовлении в заводских условиях. 2. Металлические конструкции пролётных строений, опор и пилонов стальных мостов при сборке, сварке и ремонте в монтажных условиях.

Перечень НТД (ПТД) по сварке и контролю

Группа опасных технических устройств	Перечень входящих в группу технических устройств
1. ПТО	<p>1. Грузоподъемные краны. РД 24.090.97-98, ТУ 24.22.2213-02, РД 36-62-00, ФНП «Правила безопасности опасных производственных объектов, на которых используются подъемные сооружения», ОСТ 34-13-915-85</p> <p>2. Краны-трубоукладчики. РД 36-62-00, РД НИИКраностроения 03-05, ФНП «Правила безопасности опасных производственных объектов, на которых используются подъемные сооружения»</p> <p>3. Краны- манипуляторы. РД 36-62-00, РД НИИКраностроения 03-05, ФНП «Правила безопасности опасных производственных объектов, на которых используются подъемные сооружения»</p> <p>4. Лифты. ГОСТ Р 53780-2010</p> <p>5. Тали. РД 36-62-00, ФНП «Правила безопасности опасных производственных объектов, на которых используются подъемные сооружения»</p> <p>6. Лебедки. РД 36-62-00, ФНП «Правила безопасности опасных производственных объектов, на которых используются подъемные сооружения»</p> <p>7. Устройства грузозахватные. РД 36-62-00, РД 10-33-93, РД 24.090.97-98, ТУ 24.22.2213-02</p> <p>8. Подъемники (вышки). РД 36-62-00, РД 24.090.97-98, СП 70.13330.2012, ФНП «Правила безопасности опасных производственных объектов, на которых используются подъемные сооружения»</p> <p>9. Эскалаторы. ФНП «Правила безопасности эскалаторов в метрополитенах»</p> <p>10. Дороги канатные, их агрегаты, механизмы и детали. ФНП «Правила безопасности грузовых подвесных канатных дорог», ФНП «Правила безопасности пассажирских канатных дорог и фуникулеров»</p> <p>11. Цепи для подъемно-транспортного оборудования. РД 36-62-00, РД 10-33-93</p> <p>12. Строительные подъемники. ФНП «Правила безопасности опасных производственных объектов, на которых используются подъемные сооружения», РД 36-62-00</p> <p>13. Конвейеры пассажирские. РД 36-62-00, РД 24.090.97-98, ФНП «Правила безопасности опасных производственных объектов, на которых используются подъемные сооружения»</p> <p>14. Металлические конструкции для подъемно-транспортного оборудования. РД 36-62-00, РД 24.090.97-98, ТУ 24.22.2213-02, ФНП «Правила безопасности опасных производственных объектов, на которых используются подъемные сооружения»</p>

Группа опасных технических устройств	Перечень входящих в группу технических устройств
2. КО	<p>1. Паровые котлы с давлением пара более 0,07 МПа и водогрейные котлы с температурой воды выше 115° С. РД 153-34.1-003-01 (РТМ-1с), ФНП «Правила безопасности опасных производственных объектов, на которых используется оборудование, работающее под избыточным давлением»</p> <p>2. Трубопроводы пара и горячей воды с рабочим давлением пара более 0,07 МПа и температурой воды свыше 115°С. РД 153-34.1-003-01 (РТМ-1с), ФНП «Правила безопасности опасных производственных объектов, на которых используется оборудование, работающее под избыточным давлением», СНиП 3.05.03-85</p> <p>3. Сосуды, работающие под давлением свыше 0,07 МПа. ГОСТ Р 52630-2012 (ГОСТ 34347-2017), ПБ 03-584-03</p> <p>4. Арматура и предохранительные устройства. СТ ЦКБА 025-2006, РД 153-34.1-003-01</p> <p>5. Металлические конструкции для котельного оборудования. СП 70.13330.2012, РД 34.15.132-96</p>
3. ГО	<p>1. Трубопроводы систем внутреннего газоснабжения. СП 62.13330.2011, СП 42-101-2003, СП 42-102-2004, РД 01-001-06, ФНП «Правила безопасности сетей газораспределения и газопотребления», ФНП «Правила безопасности для объектов, использующих сжиженные углеводородные смеси»</p> <p>2. Наружные газопроводы низкого, среднего и высокого давления стальные СП 62.13330.2011, СП 42-101-2003, СП 42-102-2004, РД 01-001-06, ФНП «Правила безопасности сетей газораспределения и газопотребления», ФНП «Правила безопасности для объектов, использующих сжиженные углеводородные смеси» и из неметаллических материалов (ПЭ) СП 42-103-2003, СП 62.13330.2011, СТО 45167708-01-2007</p> <p>3. Газовое оборудование котлов, технологических линий и агрегатов. СП 62.13330.2011, СП 42-101-2003, СП 42-102-2004, РД 01-001-06, ФНП «Правила безопасности сетей газораспределения и газопотребления», ФНП «Правила безопасности для объектов, использующих сжиженные углеводородные смеси»</p> <p>4. Газогорелочные устройства. СП 62.13330.2011, СП 42-101-2003, СП 42-102-2004, РД 01-001-06, ФНП «Правила безопасности сетей газораспределения и газопотребления», ФНП «Правила безопасности для объектов, использующих сжиженные углеводородные смеси»</p> <p>5. Емкостные и проточные водонагреватели. СП 62.13330.2011, СП 42-101-2003, СП 42-102-2004, РД 01-001-06, ФНП «Правила безопасности сетей газораспределения и газопотребления», ФНП «Правила безопасности для объектов, использующих сжиженные углеводородные смеси»</p> <p>6. Аппараты и печи. СП 62.13330.2011, СП 42-101-2003, СП 42-102-2004, РД 01-001-06, ФНП «Правила безопасности сетей газораспределения и газопотребления», ФНП «Правила безопасности для объектов, использующих сжиженные углеводородные смеси»</p>

Группа опасных технических устройств	Перечень входящих в группу технических устройств
	<p>7. Арматура из металлических материалов и предохранительные устройства. СП 62.13330.2011, СП 42-101-2003, СП 42-102-2004, РД 01-001-06, ФНП «Правила безопасности сетей газораспределения и газопотребления», ФНП «Правила безопасности для объектов, использующих сжиженные углеводородные смеси»</p>
<p>4. НГДО</p> <p>пп.4.3 СТО Газпром Сварка: СТО Газпром 2-2.2-136-2007 Контроль: СТО Газпром 2-2.4-083-2006</p>	<p>1. Промысловые и магистральные нефтепродуктопроводы, трубопроводы нефтеперекачивающих станций (НПС), обеспечивающие транспорт нефти и нефтепродуктов при сооружении, реконструкции и капитальном ремонте. Контроль: ВСН 012-88, СП 86.13330.2014 Сварка: ВСН 006-89, СП 86.13330.2014, СП 36.13330.2012 ВСН 012-88, СП 86.13330.2014, ВСН 006-89, СП 36.13330.2012,</p> <p>2. Промысловые и магистральные нефтепродуктопроводы, трубопроводы нефтеперекачивающих станций (НПС), обеспечивающие транспорт нефти и нефтепродуктов при текущем ремонте в процессе эксплуатации. РД 153-39.4-086-01, РД 153-39.4-067-04, ВСН 006-89, ВСН 012-88,</p> <p>3. Промысловые и магистральные газопроводы и конденсатопроводы; трубопроводы для транспортировки товарной продукции, импульсного, топливного и пускового газа в пределах: компрессорных станций (КС), дожимных компрессорных станций (ДКС), станций подземного хранения газа (СПХГ), газораспределительных станций (ГРС), узлов замера расхода газа (УЗРГ) и пунктов редуцирования газа (ПРГ). Контроль: ВСН 012-88, СП 86.13330.2014 Сварка: ВСН 006-89, СП 86.13330.2014, СП 36.13330.2012 ВСН 012-88, СП 86.13330.2014, ВСН 006-89, СП 36.13330.2012 СТО Газпром 2-2.4-083-2006, СТО Газпром 2-2.2-136-2007</p> <p>4. Трубопроводы в пределах КС; НПС; СПХГ; ДКС; ГРС; УЗРГ; РПГ, и др., за исключением трубопроводов, обеспечивающих транспорт газа, нефти и нефтепродуктов. Сварка и контроль: СНиП 3.05.05-84 (СП 75.13330.2011), РБ «Рекомендации по устройству и безопасной эксплуатации технологических трубопроводов», ГОСТ 32569-2013, СП 36.13330.2012</p> <p>5. Резервуары для хранения нефти и нефтепродуктов, газгольдеры газовых хранилищ при сооружении и ремонте. СП 70.13330.2012, ГОСТ 31385-2016</p> <p>6. Морские трубопроводы, объекты на шельфе (трубопроводы на платформах, а также сварные основания морских платформ) при сооружении, реконструкции и ремонте.</p> <p>7. Уникальные объекты нефтяной и газовой промышленности при сооружении и ремонте (рабочие параметры объектов, не предусмотрены действующей нормативной документацией).</p> <p>8. Запорная арматура при изготовлении и ремонте в заводских условиях. ВСН 012-88, РБ вертикальных цилиндрических стальных резервуаров для нефти и нефтепродуктов, СП 36.13330.2012, СТ ЦКБА 025-2006</p> <p>9. Детали трубопроводов при изготовлении и ремонте в заводских услови-</p>

Группа опасных технических устройств	Перечень входящих в группу технических устройств
	<p>ях, СП 36.13330.2012 10. Насосы, компрессоры и др. оборудование при изготовлении и ремонте в заводских условиях. СП 36.13330.2012 11. Нефтегазопроводные трубы при изготовлении и ремонте в заводских условиях. СП 36.13330.2012 12. Оборудование нефтегазопромысловое, буровое и нефтеперерабатывающее. ВСН 012-88, СНиП 3.05.05-84 (СП 75.13330.2011), СП 70.13330.2012, РБ «Рекомендации по устройству и безопасной эксплуатации технологических трубопроводов», ГОСТ Р 51365-2009 13. Автоматизированные газонаполнительные компрессорные станции (АГНКС). СНиП 3.05.05-84, РБ «Рекомендации по устройству и безопасной эксплуатации технологических трубопроводов»</p>
5. МО	<p>1. Доменное, коксовое, сталеплавильное оборудование. СП 70.13330.2012 2. Технологическое оборудование и трубопроводы для черной и цветной металлургии. РБ «Рекомендации по устройству и безопасной эксплуатации технологических трубопроводов», СНиП 3.05.05-84, СП 70.13330.2012 3. Технические устройства для производства черных и цветных металлов и сплавов на их основе. СП 70.13330.2012 4. Машины для литья стали и цветных металлов. СП 70.13330.2012 5. Агрегаты трубопрокатные. СП 70.13330.2012 6. Станы обжимные, заготовочные, сортопрокатные и листопрокатные. СП 70.13330.2012</p>
6. ОХНВП	<p>1. Оборудование химических, нефтехимических, нефтеперерабатывающих производств, работающее под давлением до 16 МПа. ПБ 03-584-03, ОСТ 26.260.3-2001, ГОСТ Р 52630-2012 (ГОСТ 34347-2017), ФНП «Правила безопасности опасных производственных объектов, на которых используется оборудование, работающее под избыточным давлением» 2. Оборудование химических, нефтехимических, нефтеперерабатывающих производств, работающее под давлением более 16 МПа. ОСТ 26.260.3-2001, ГОСТ Р 52630-2012 (ГОСТ 34347-2017), ФНП «Правила безопасности опасных производственных объектов, на которых используется оборудование, работающее под избыточным давлением» 3. Оборудование химических, нефтехимических, нефтеперерабатывающих производств, работающее под вакуумом. ГОСТ Р 52630-2012 (ГОСТ 34347-2017) 4. Резервуары для хранения взрывопожароопасных и токсичных веществ. СП 70.13330.2012, ГОСТ Р 52630-2012 (ГОСТ 34347-2017), ГОСТ 31385-2016 5. Изотермические хранилища.</p>

Группа опасных технических устройств	Перечень входящих в группу технических устройств
	<p>6. Криогенное оборудование. 7. Оборудование аммиачных холодильных установок. 8. Печи. РД 26-02-80-2004 9. Компрессорное и насосное оборудование. 10. Центрифуги, сепараторы. ГОСТ Р 52630-2012 (ГОСТ 34347-2017) 11. Цистерны, контейнеры (бочки), баллоны для взрывопожароопасных и токсичных веществ. ФНП «Правила безопасности опасных производственных объектов, на которых используется оборудование, работающее под избыточным давлением», ГОСТ Р 52630-2012 12. Котлы-утилизаторы. РД 153-34.1-003-01 (РТМ-1с), ФНП «Правила безопасности опасных производственных объектов, на которых используется оборудование, работающее под избыточным давлением» 13. Энерготехнологические котлы. РД 153-34.1-003-01 (РТМ-1с), ФНП «Правила безопасности опасных производственных объектов, на которых используется оборудование, работающее под избыточным давлением» 14. Котлы ВОТ. РД 153-34.1-003-01 (РТМ-1с), ФНП «Правила безопасности опасных производственных объектов, на которых используется оборудование, работающее под избыточным давлением» 15. Трубопроводная арматура и предохранительные устройства. СТ ЦКБА 025-2006 16. Технологические трубопроводы и детали трубопроводов. РБ «Рекомендации по устройству и безопасной эксплуатации технологических трубопроводов», СНиП 3.05.05-84 (СП 75.13330.2011), ГОСТ 32569-2013, ФНП «Правила безопасности опасных производственных объектов, на которых используется оборудование, работающее под избыточным давлением»</p>
7. ГДО	<p>1. Технические устройства для горнодобывающих и горно-обогатительных производств и подземных объектов. СП 70.13330.2012, ОСТ 12.44.107-79</p>
8. ОТОГ	<p>1. Контейнеры специализированные и тара, используемые для транспортировки опасных грузов и строительных материалов. СП 70.13330.2012, ЦВ 201-98 2. Цистерны. Инструкция по сварке и наплавке при ремонте грузовых вагонов ЦВ 201-2015, СП 70.13330.2012, ГОСТ Р 52630-2012 (ГОСТ 34347-2017), РД 32 ЦВ 072-2005, ОСТ 24.050.34-84 3. Экипажная часть. СП 70.13330.2012, ЦВ 201-98</p>
9. СК	<p>1. Металлические строительные конструкции. СП 70.13330.2012, РД 34.15.132-96, СП 53-101-98, ГОСТ 23118-2012, СП 43.13330.2012 2. Арматура, арматурные и закладные изделия железобетонных конструк-</p>

Группа опасных технических устройств	Перечень входящих в группу технических устройств
	<p>ций. ГОСТ 10922-2012 (ГОСТ Р 57997-2017), РТМ 393-94, ГОСТ 14098-2014, СП 70.13330.2012 3. Металлические трубопроводы. СП 124.13330.2012, СНиП 3.05.04-85*, СНиП 3.05.03-85, СП 70.13330.2012 4. Конструкции и трубопроводы из полимерных материалов. ВСН 440-83, СН 550-82, СП 40-102-2000</p>