

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)

22.04.01 «Материаловедение и технологии материалов»

(код и наименование направления подготовки)

«Сварка и пайка новых металлических и неметаллических неорганических материалов»

(направленность (профиль))

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ)

на тему «Классификация дефектов наружного газопровода диаметром < 200 мм и способы их устранения»

Студент

С.И.Носов

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Научный

Руководитель

к. т. н., доцент Г.М.Короткова

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

Тольятти 2020

Содержание

Введение	3
1 Обзор конструкций наружного газопровода $D < 200$ мм	5
1.1. Анализ конструкций наружного газопровода.....	5
1.2. Свойства материалов наружного газопровода.....	6
1.3. Основные типы сварных соединений	8
2 Анализ дефектов наружного газопровода диаметром менее 200 мм	10
2.1. Виды дефектов наружного газопровода диаметром менее 200 мм	
2.2. Контроль параметров стыковых и угловых сварных соединений	22
2.3. Классификация дефектов наружного газопровода.....	29
3 Технологии ремонта наружного газопровода.....	34
3.1 Диагностика технического состояния газопровода $d = 159$ мм...	34
3.2 Особенности ремонтной технологии газопровода	36
3.3 Рекомендации к проектированию технологии контроля параметров сварного соединения	42
4 Результаты сборки и сварки наружного газопровода	49
4.1 Технология восстановления газопровода $d = 159$ мм $S = 10$ мм ...	49
4.2 Технология сварки наружного газопровода высокого давления через реку Гуца.....	57
Заключение	70
Список используемых источников.....	72

Введение

Система газопотребления и газораспределения в Российской Федерации – является самой большой в мире по длине и промышленной производительности. «Протяженность газопроводов составляет более 150 тыс. км с компрессорными станциями общей совокупной мощностью 42 млн. кВт. Газотранспортная система обеспечивает транспорт запланированных объемов газа для потребителей России, СНГ и дальнего зарубежья» [26].

Известно, что основная часть систем газопотребления и газораспределения России была построена в 70–80-е годы прошлого века. К настоящему времени износ основных фондов по линейной части газопроводов составляет более половины.

Большая часть наружных газопроводов имеет подземную конструктивную схему прокладки. На подземные трубопроводы воздействуют коррозионно-активные грунты. Под воздействием коррозионного износа металла уменьшается толщина стенки труб, что в свою очередь может привести к возникновению аварийных ситуаций.

Безопасность объектов газопроводного транспорта должна быть максимально высокой для обеспечения надежных бесперебойных поставок углеводородного сырья, а угроза возникновения аварий — минимизирована.

«Образование дефектов появляется в результате коррозионных и механических повреждений, определение места и характера которых связано с рядом трудностей и большими материальными затратами. Совершенно очевидно, что вскрытие газопровода для его непосредственного визуального обследования экономически неоправданно. К тому же обследовать можно только внешнюю поверхность объекта. Поэтому в течение последних лет в нашей стране и за рубежом усилия специализированных научно-исследовательских и проектных организаций направлены на решение проблемы определения состояния подземных и надземных газопроводов без их вскрытия. Эта проблема связана с большими техническими трудностями, однако при использовании

современных методов и средств измерительной техники она успешно решается» [26].

Так же особую роль в образовании дефектов играет качество производства сварочных работ. Согласно исследованиям причиной возникновения аварии наружных газопроводов, как правило, является качество сварочных работ, т.е. наличие дефектов в сварных соединениях [34].

Поэтому цель работы - уменьшить количество дефектов в сварных соединениях.

1 Обзор конструкций наружного газопровода $D < 200$

1.1 Анализ конструкций наружного технологического газопровода

Сеть трубопроводов как средство коммуникации, является одним из важнейших элементов системы газопотребления и газораспределения. Именно сеть трубопроводов соединяет между собой отдельные элементы комплекса оборудования газопотребления и газораспределения, превращая этот комплекс в единую технологическую систему. От состояния работы трубопроводов зависит сбалансированная работа системы в целом. На рис.1.1 представлен внешний вид фрагмента наружного надземного газопровода.



Рисунок 1.1 - Внешний вид фрагмента наружного надземного газопровода

Наружные газопроводы делятся на подземные, наземные и (или) надземные, проложенные вне зданий до наружной конструкции здания. Все наружные газопроводы разделяются на 4-е категории в зависимости от давления транспортируемого газа [13]:

- газопроводы высокого давления I категории (рабочее давление газа свыше 0,6 до 1,2 МПа);
- газопроводы высокого давления II категории (рабочее давление газа свыше 0,3 до 0,6 МПа);

- газопроводы среднего давления (рабочее давление газа свыше 0,005 до 0,3 МПа);
- газопроводы низкого давления (рабочее давление газа в пределах 0,005 МПа). [14]

Особые требования предъявляют и к месту расположения наружного газопровода. Это пересечение газопроводами водных преград и оврагов, железнодорожных и трамвайных путей, и автомобильных дорог. К таким требованиям относится толщина стенки трубы прокладываемого газопровода, глубина прокладки (для подземной части газопровода) и контроль качества сварных соединений на всех этапах сборки/сварки. Не последнюю роль играют особые природные и климатические условия прокладки наружного газопровода, особое внимание уделяют строительству газопровода в сейсмических районах [1,14].

1.2. Свойства материалов наружного газопровода

Наибольшее влияние на свариваемость сталей оказывает углерод, а также ряда других легирующих элементов. Для сварных конструкций в основном применяют конструкционные низкоуглеродистые, низколегированные, а также легированные стали [2,3]. Чем выше содержание углерода в стали, тем больше опасность трещинообразования, труднее обеспечить равномерность свойств в сварном соединении. Для газопроводов используют сталь с содержанием углерода не превышающим 0,025 %.

«Стали по свариваемости делят на четыре группы: хорошо, удовлетворительно, ограниченно и плохо сваривающиеся. Стали первой группы хорошо свариваются без образования закалочных структур и трещин в широком диапазоне режимов, толщин и конструктивных форм. Удовлетворительно сваривающиеся стали мало склонны к образованию холодных трещин при правильном выборе режимов сварки, в ряде случаев

требуется подогрев. Ограниченно сваривающиеся стали склонны к трещинообразованию, возможность регулирования сопротивляемости образованию трещин изменением режима ограничена, требуется подогрев. Плохо сваривающиеся стали весьма склонны к закалке и трещинам, требуют при сварке подогрева, специальных технологических приемов сварки и термообработки» [32].

Рассмотрим химический состав (таблица 1) и механические свойства сталей (таблица 2) чаще всего используемых для прокладки наружных газопроводов.

Таблица 1- Химический состав сталей наружного газопровода.

Сталь	Углерод, %	Марганец (Г), %	Кремний (С), %	Хром (Х), %	Сера, %	Фосфор, %
09Г2С	Не более 0,12	1,3-1,7	0,5-0,8	Не более 0,3	Не более 0,04	Не более 0,035
10	0,07-0,14	0,35-0,65	0,17-0,37	Не более 0,15	Неболее 0,04	Не более 0,035
20	0,07-0,24	0,35-0,65	0,17-0,37	Не более 0,25	Не более 0,04	Не более 0,035
Ст Зсп	0,14-0,22	0,4-0,65	0,15-0,30	Неболее 0,3	Не более 0,05	Не более 0,04

Стальные сварные (спиральношовные и прямошовные), бесшовные трубы для наружных газопроводов должны быть изготовлены из стали, содержащей не более 0,25 % углерода, 0,056 серы и 0,046% фосфора [14].

Таблица 2 – Механические свойства сталей наружного газопровода.

Сталь	Временное сопротивление разрыву, МПа (кгс/мм ²)	Предел текучести, МПа (кгс/мм ²)	Относительное удлинение, %
09Г2С	470(48)	265 (27)	22
10	343 (35)	206 (21)	24
20	412 (42)	245 (25)	21
Ст Зсп	372 (38)	225 (23)	22

1.3 Основные типы сварных соединений

Рассмотрим типы сварных соединений наружных газопроводов по ГОСТ 16037-80 «Соединения сварные стальных трубопроводов» [4].

Стыковое соединение С17 с разделкой двух кромок показано на рисунке 1.2.

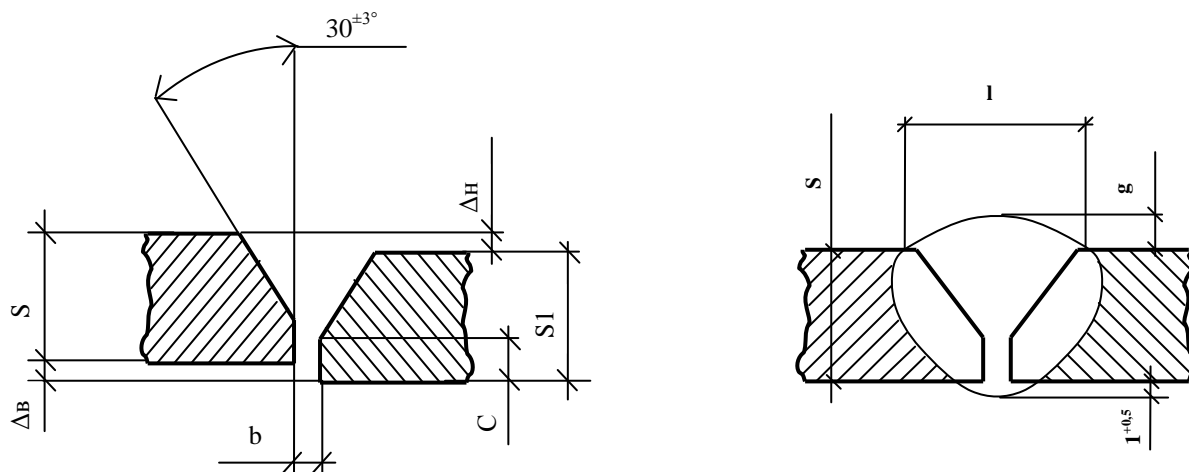


Рисунок 1.2 - Стыковое соединение с разделкой кромок

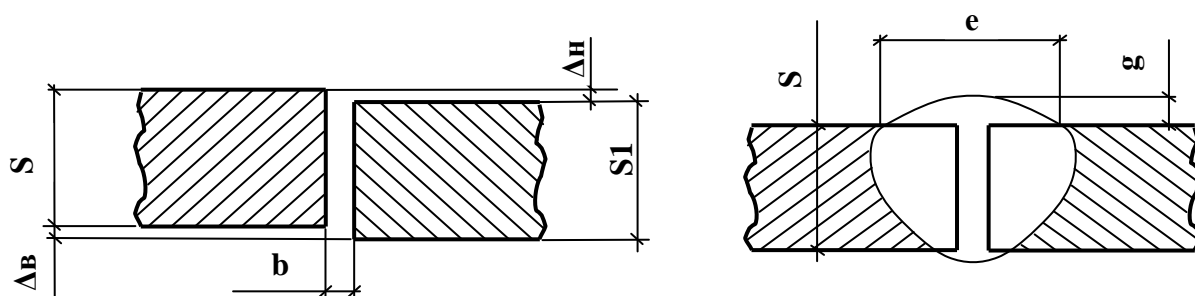


Рисунок 1.3 - Стыковое соединение без разделки кромок

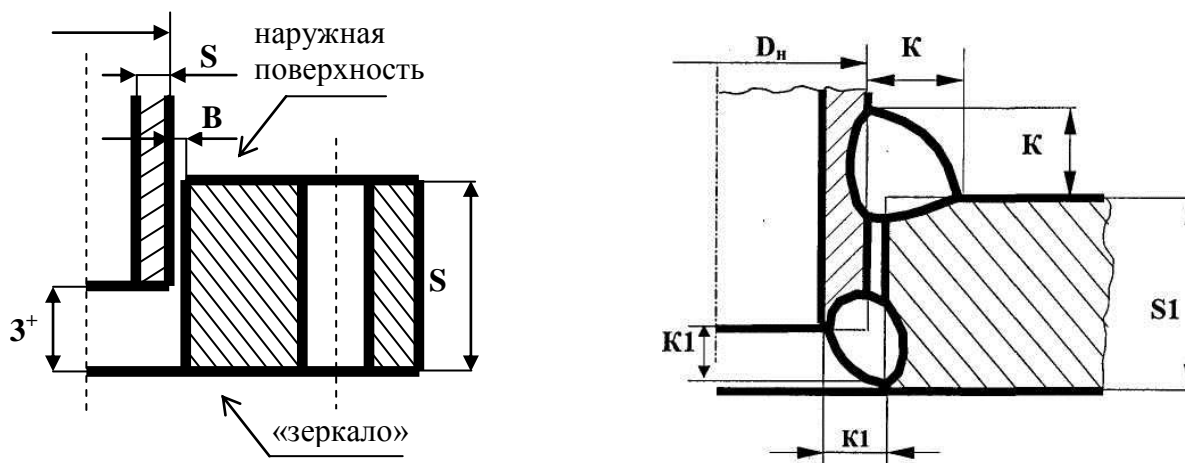


Рисунок 1.4 - Угловое соединение У5 без скоса кромок

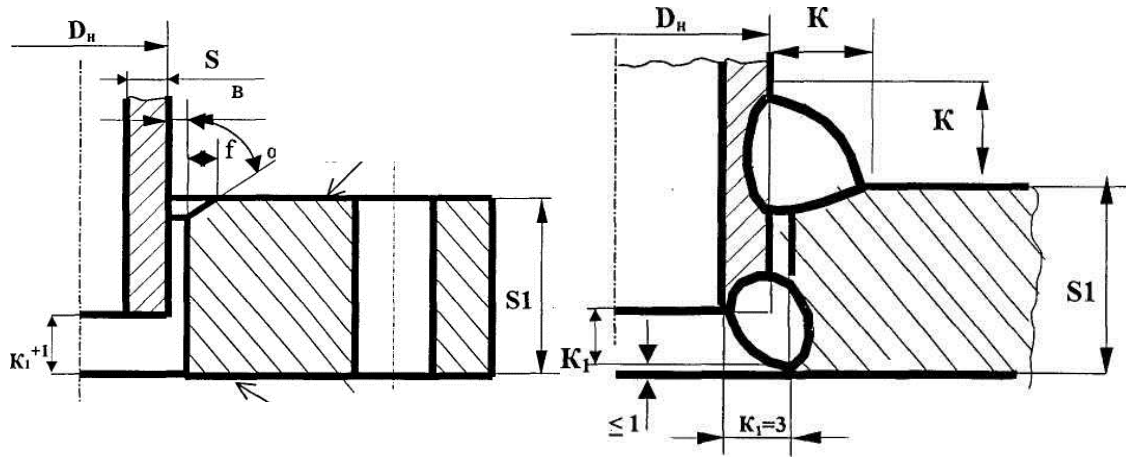


Рисунок 1.5 - Угловое соединение У7

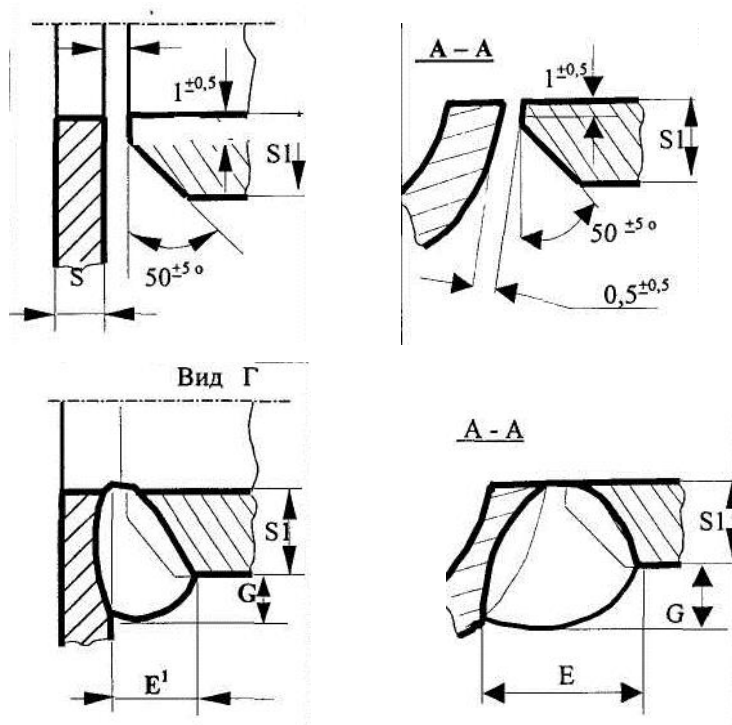


Рисунок 1.6 - Угловое соединение У19 с разделкой кромок

Все конструктивные элементы и размеры их должны соответствовать ГОСТ 16037-80 [4]. В зависимости от толщины стенки свариваемых деталей в работе [4] регламентируются параметры разделки и размеры сварного шва.

2 Анализ дефектов наружного газопровода диаметром менее 200мм

2.1 Виды дефектов наружного газопровода диаметром менее 200мм

«Дефект сварного соединения - это отклонения разного рода от установленных норм и технических требований, которые уменьшают прочность и эксплуатационную надежность сварных соединений и могут привести к разрушению всей конструкции» [10]. «Наиболее часто встречаются дефекты формы и размеров сварных швов, дефекты макро - и микроструктуры, деформация и коробление сварных конструкций» [10].

В законченном сварном соединении визуально следует контролировать:

- правильную маркировку шва;
- наличие клейма каждого сварщика выполнявшего сварное соединения ;
- трещины всех видов и направлений;
- отсутствие на поверхности сварных соединений и прилегающих зонах термического влияния недопустимых дефектов: газовых пор, включений, прожогов, свищей, наплывов, усадочных раковин, подрезов, непроваров, брызг расплавленного металла, незаваренных кратеров; грубой чешуйчатости, прижогов металла в местах касания сварочной дугой поверхности основного металла;
- зачистку поверхности соединения и зоны термического влияния [7,8].

Визуальный и измерительный контроль готового сварного соединения, выполняют для:

- измерения чешуйчатости сварного шва;
- измерения глубины межваликовой канавки;
- определения типа и размеров дефектов на поверхности, обнаруженных при визуальном контроле;
- измерения смещения кромок, свариваемых элементов;

- измерения размеров дефектов выходящих на поверхность;
- измерения подрезов их глубины и протяженности;
- соответствие форм геометрических размеров шва;
- размеров катетов сварных угловых сварных соединений. [10]

Измеряемые параметры сварных швов стыковых соединений представлены на рисунке 2.1.

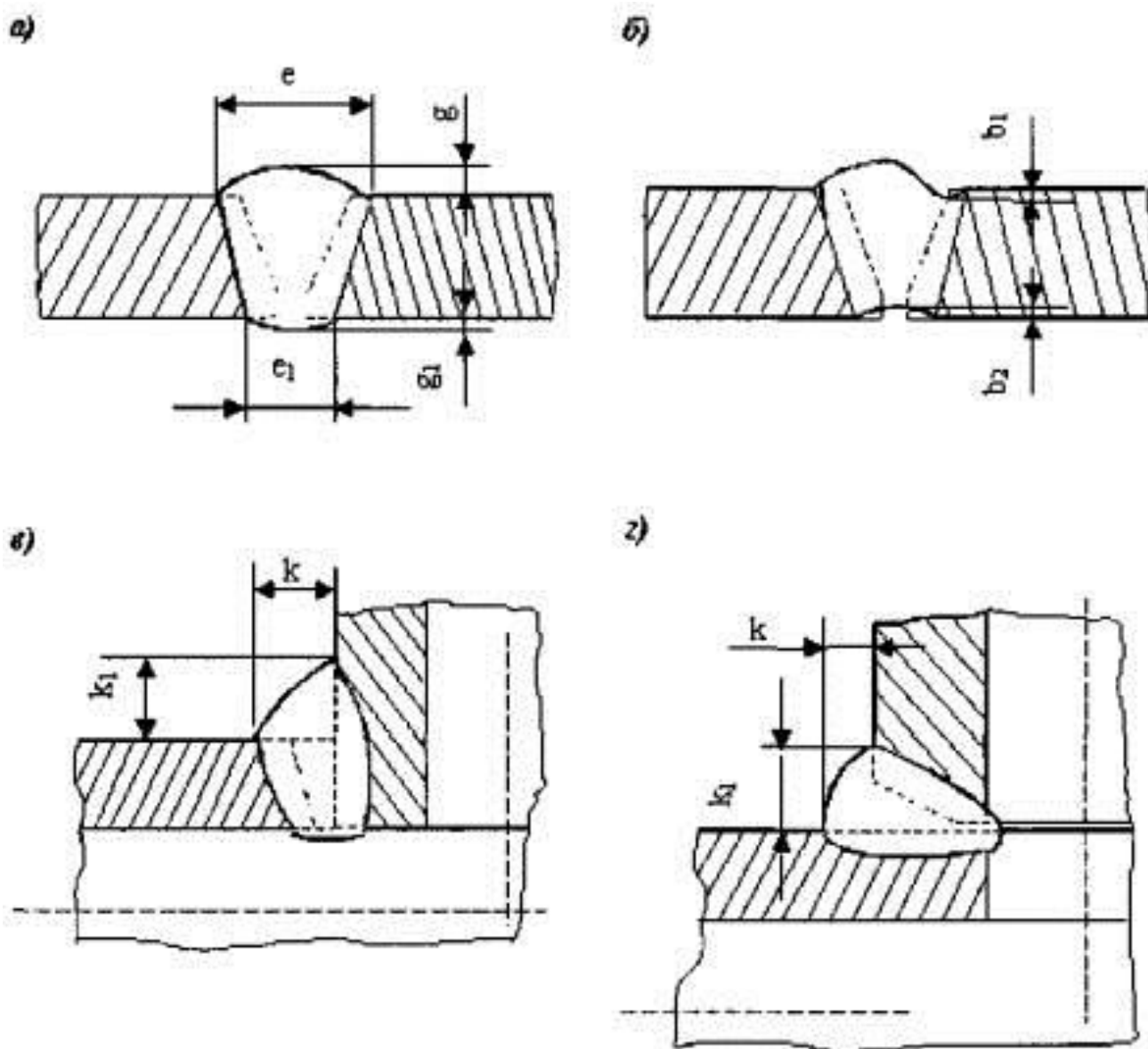


Рисунок 2.1 - Параметры сварных швов стыковых и угловых соединений

Высота и ширина сварного шва (e ,g) (рисунок 2.1а, б) определяются не менее чем в 3-х точках сечениях, равномерно расположенных по длине

шва. При этом измерения выполняют, в первую очередь, на участках шва, вызывающих сомнение по результатам визуального контроля. [10]

Измерение глубины западаний между валиками при условии, что высоты валиков отличаются друг от друга, должно выполняться относительно валика, имеющего меньшую высоту. Аналогично следует определять и глубину чешуйчатости (по меньшей высоте двух соседних чешуек) [10].

Высота усиления и величина вогнутости стыкового шва оценивается по максимальной высоте (глубине) расположения поверхности шва от уровня расположения наружной свариваемой поверхности. В том случае, когда уровни поверхности деталей отличаются друг от друга, измерения следует проводить относительно уровня свариваемой поверхности, расположенной выше уровня другой свариваемой поверхности [10].

Рассмотрим дефекты наружного газопровода. Наружные дефекты, выявляются визуальным и измерительным контролем качества. Наиболее часто встречаемые дефекты кольцевых швов наружных газопроводов при ручной дуговой сварке плавящимся электродом – это подрезы, кратеры, поры, шлаковые включения, непровары в корне шва [6].

Нарушение формы и размеров шва свидетельствуют о наличии таких дефектов, как наплывы (натеки), подрезы, прожоги, незаваренные кратеры.

«Наплывы - чаще всего образуются при сварке горизонтальными швами вертикальных поверхностей, в результате натекания жидкого металла на кромки холодного основного металла» [10]. Они могут быть местными или протяженными вдоль шва. (рисунок 2.2)

Причинами возникновения наплывов являются большая сила сварочного тока, длинная дуга, неправильное положение электрода, большой угол наклона изделия при сварке на подъем и спуск. [5,6].

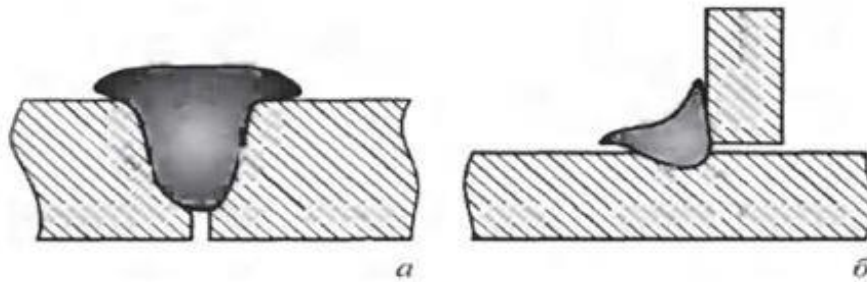


Рисунок 2.2 - Наплыв в сварном стыковом (а) и угловом (б) соединениях

«Подрезы на трубопроводе представляют собой углубления, образующиеся в основном металле вдоль края шва. Подрезы образуются из-за повышенной мощности сварочной горелки и приводят к ослаблению сечения основного металла и разрушению сварного соединения» [10].

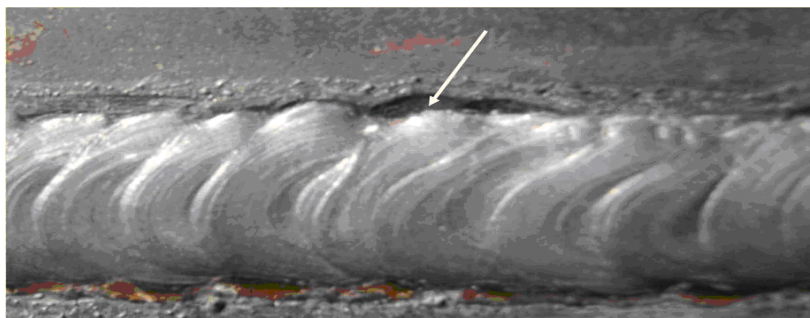
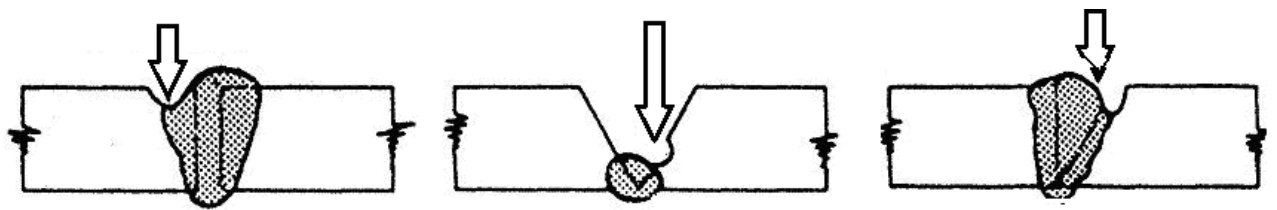


Рисунок 2.3 – Виды подрезов

«Прожоги - это проплавление основного или наплавленного металла с возможным образованием сквозных отверстий. Они возникают вследствие недостаточного притупления кромок, большого зазора между ними, большой силы сварочного тока или мощности горелки при невысоких скоростях сварки» [10]. Особенно часто прожоги наблюдаются в процессе сварки тонкого металла и при выполнении первого прохода многослойного шва [12], а также при увеличении продолжительности сварки, малом усилии сжатия и

наличии загрязнений на поверхностях свариваемых деталей или электродах (точечная и шовная контактная сварка).



Рисунок 2.4 - Прожог

«Не заваренные кратеры на трубопроводах образуются при резком обрыве дуги в конце сварки. Они уменьшают сечение шва и могут явиться очагами образования трещин» [10]. Внешний вид кратера приведен на рисунке 2.5.

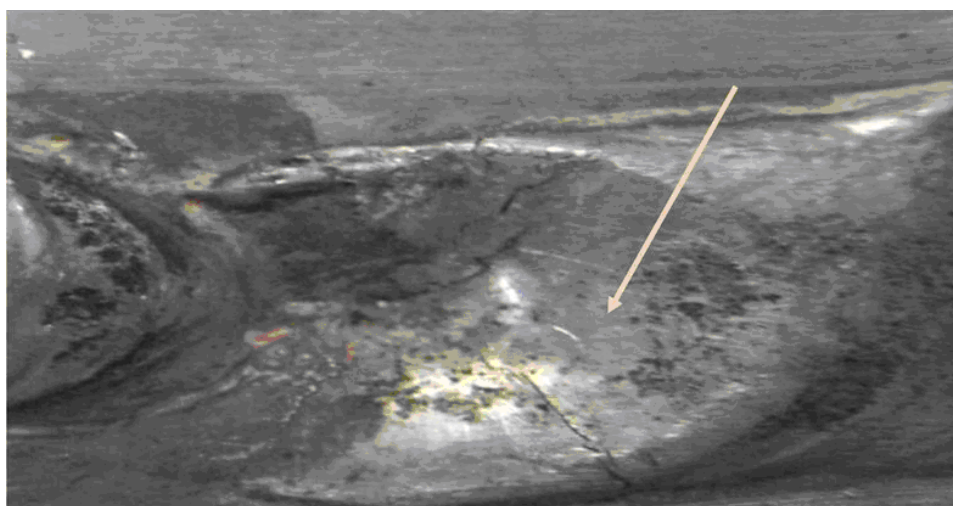


Рисунок 2.5 – Кратер на кольцевом шве трубопровода

К дефектам макроструктуры относят дефекты: газовые поры, шлаковые включения, непровары, трещины, выявляемые с помощью средств оптики (увеличение не более чем в 10 раз).

Газовые поры, выходящие на поверхность, образуются в сварных швах вследствие быстрого затвердевания газонасыщенного расплавленного металла, при котором выделяющиеся газы не успевают выйти в атмосферу (рисунок.2.6).

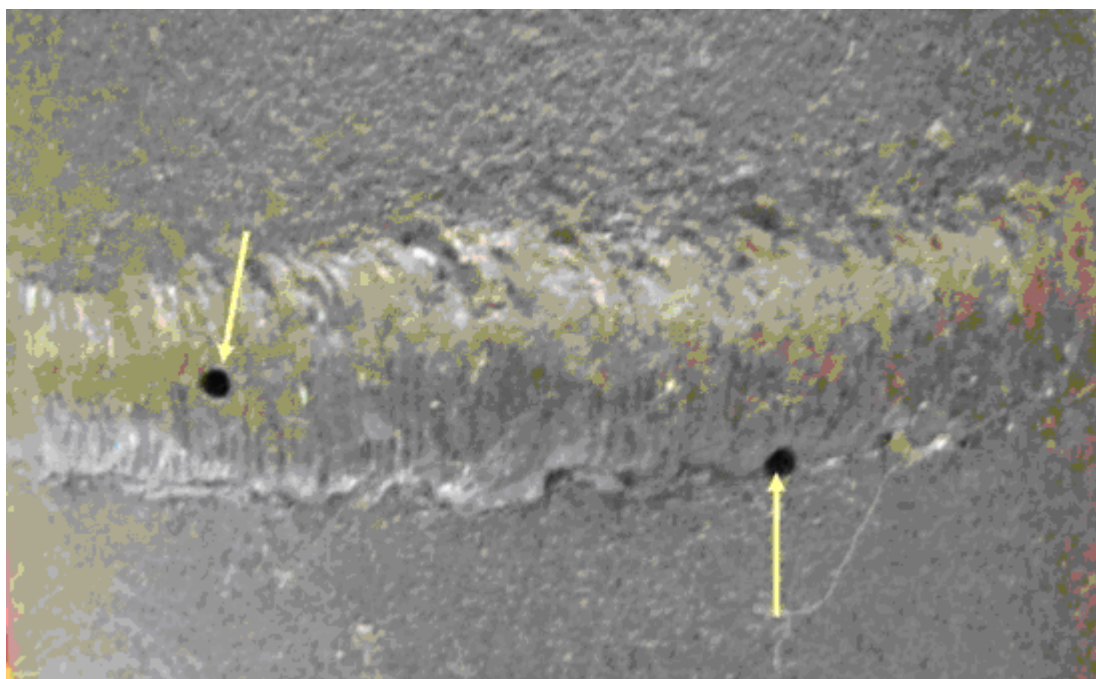


Рисунок 2.6 – Поры наружного трубопровода

Такой дефект наблюдается при повышенном содержании углерода в основном металле, наличии ржавчины, масла и краски на кромках основного металла и поверхности сварочной проволоки.

«Шлаковые включения это результат небрежной очистки кромок свариваемых деталей и сварочной проволоки от окалины, ржавчины и грязи. Они могут возникать при сварке длинной дугой, неправильном наклоне электрода, недостаточной силе сварочного тока, завышенной скорости сварки» [10].

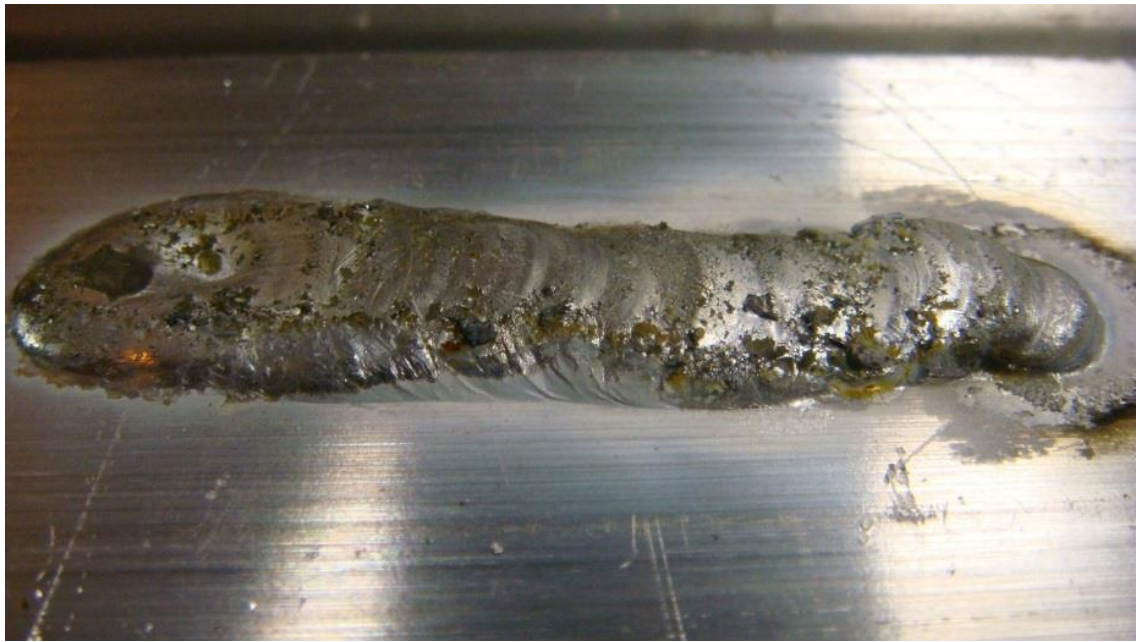


Рисунок 2.7 - Шлаковые включения

«Шлаковые включения различны по форме (от сферической до игольчатой) и размером (от микроскопической до нескольких миллиметров). Шлаковые включения ослабляют сечение шва, уменьшают его прочность и являются зонами концентрации напряжений» [10].



Рисунок 2.8 – Трещины

Трещины – дефект сварного соединения в виде разрыва металла в сварном шве и (или) прилегающих к нему зонах сварного соединения и

основного металла. Трещины различают продольные; поперечные; радиальные; разветвленные. [36]

Поверхностные трещины - в зависимости от температуры образования подразделяют на горячие и холодные.

«Горячие трещины появляются в процессе кристаллизации металла шва при температуре 1100 - 1300 °С. Их образование связано с наличием полужидких прослоек между кристаллами наплавленного металла шва в конце его затвердевания и действием в нем растягивающих усадочных напряжений. Повышенное содержание в металле шва углерода, кремния, водорода и никеля также способствует образованию горячих трещин, которые обычно располагаются внутри шва. Такие трещины выявить трудно» [32].

«Холодные трещины возникают при температурах 100 - 300 °С в легированных сталях и при нормальных (менее 100 °С) температурах в углеродистых сталях сразу после остывания шва или через длительный промежуток времени. Основная причина их образования - значительное напряжение, возникающее в зоне сварки при распаде твердого раствора и скопление под большим давлением молекулярного водорода в пустотах, имеющихся в металле шва. Холодные трещины выходят на поверхность шва и хорошо заметны» [32].

Непровары - местное несплавление основного металла с наплавлением, а также несплавление между собой отдельных слоев шва при многослойной сварке из-за наличия тонкой прослойки окислов, а иногда и грубой шлаковой прослойки внутри швов (рисунок 2.9).

«Причинами непроваров являются: плохая очистка металла от окалины, ржавчины и грязи, малый зазор в стыке, излишнее притупление и малый угол скоса кромок, недостаточная сила тока или мощности горелки, большая скорость сварки, смещение электрода в сторону от оси шва» [10].

Непровары по сечению шва могут возникнуть из-за вынужденных перерывов в процессе сварки.



Рисунок 2.9 - Непровар

Кратеры при заварке кольцевого шва возникают при резком обрыве дуги по окончании сварки и являются очагом возникновения трещин.



Рисунок 2.10 - Внешний вид кратера трубы $D = 200$ мм наружного газопровода

Размеры катетов угловых сварных соединений должны быть оговорены в конструкторской документации на это соединение или узел, частью которого оно является. Там же должны быть оговорены контрольные точки, в которых необходимо выполнять измерения.

Определение высоты, выпуклости и вогнутости углового шва выполняется только в тех случаях, когда это специально оговорено требованиями технической (конструкторской) документации. Выпуклость (вогнутость) углового шва оценивается по максимальной высоте (глубине) расположения поверхности шва от линии, соединяющей края поверхности шва в одном поперечном сечении.

При ремонте дефектных участков в основном металле и сварных соединениях изделий визуально необходимо контролировать [13]:

- ширину зоны зачистки околошовной зоны;
- отсутствие (наличие) дефектов (трещин, пор, включений, свищей, прожогов, наплывов, усадочных раковин, подрезов, непроваров, брызг расплавленного металла, западаний между валиками, грубой чешуйчатости, прожогов металла) на поверхности ремонтируемого участка и в околошовной зоне. [8]

Обнаруженные в результате контроля недопустимые дефекты необходимо отметить на поверхности проконтролированного участка водонесмываемыми маркерами [15].

Поры - это полость внутри шва заполненная газом, чаще всего они имеют сферическую форму. На радиографическом снимке кольцевого шва трубы показаны одиночные поры и цепочки пор.

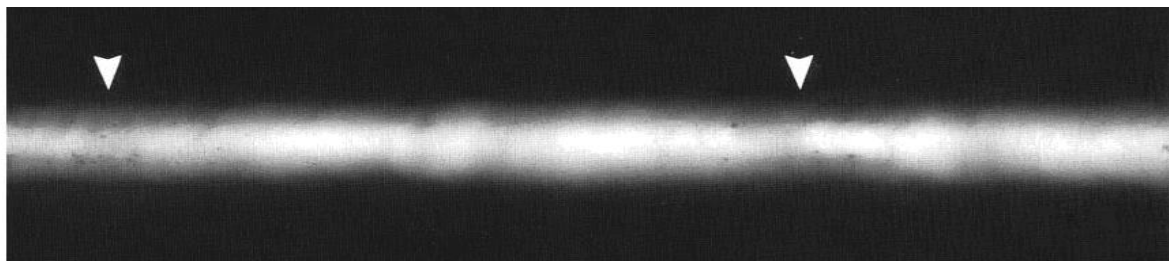


Рисунок 2.11 – Расположение пор вдоль шва на рентгенограмме

Шлаковые включения это - полость в металле шва, заполненная неметаллическими включениями. Чаще всего они возникают из-за плохо зачищенных кромок, малого сварочного тока и высокой скорости сварки.

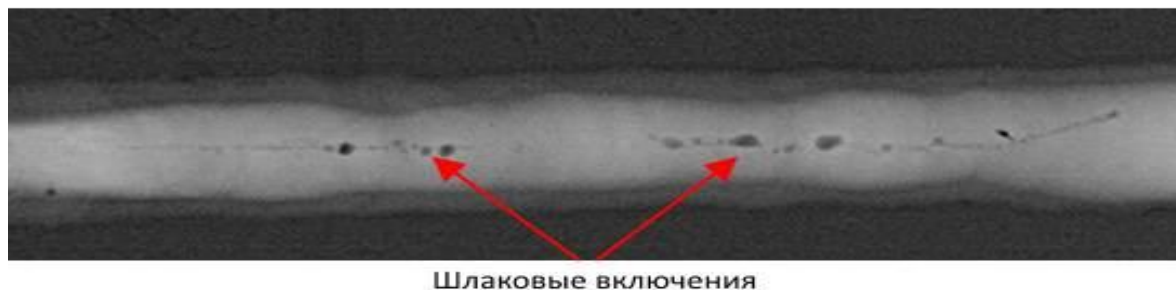


Рисунок 2.12 - Расположение шлаковых включений вдоль кольцевого шва

Таким образом, анализ внешних и внутренних дефектов наружных трубопроводов показал, что при строительстве газопровода из металлических труб и его эксплуатации возникают дефекты, объем которых особенно велик при РДС.

2.2 Контроль параметров стыковых и угловых сварных соединений

Визуальный и измерительный контроль проводят в соответствии с операционной технологической картой контроля.

«Перед началом контроля специалист, осуществляющий контроль, должен ознакомиться с технологической инструкцией и операционной технологической картой, конструкцией и особенностями технологии выполнения сварных соединений в части способа сварки, а также документацией, в которой указаны допущенные отклонения от установленной технологии» [10].

Контроль качества сварных соединений газопроводов высокого давления включает в себя визуальный и измерительный контроль, радиографический метод контроля и механические испытания [11] согласно РД 01-001-06 , СП 62.13330-2011 [13], СП 42-102-2004 [14].

Визуальный и измерительный контроль проводится для выявления наружных дефектов сварного соединения и осуществляется в объеме 100% всех сварных соединений газопровода высокого давления.

Для выявления наружных дефектов используют комплект для «визуального и измерительного контроля» (ВИК). Комплект ВИК состоит из набора инструментов, позволяющих выявлять наружные дефекты сварных соединений. Комплект ВИК состоит из следующих элементов.

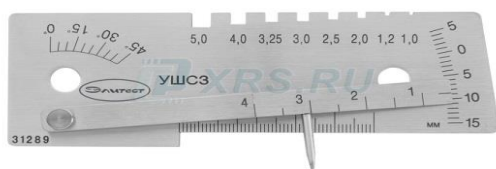


Рисунок 2.13 - Универсальный шаблон сварщика УШС-3

Рисунок 2.14 - Штангенциркуль с глубиномером



Рисунок 2.14 - Линейка металлическая





Рисунок 2.15 - Наборы радиусных шаблонов для оценки радиусов выпуклых и вогнутых поверхностей



Рисунок 2.16 - Набор щупов



Рисунок 2.17 - Угольник поверочный



Рисунок 2.18 - Лупа измерительная

Все инструменты комплекта ВИК должны иметь сертификат о проверке.

Визуальный и измерительный контроль при монтаже и ремонте газопровода высокого давления, выполняют непосредственно на месте монтажа (ремонта). При этом должно быть обеспечено удобство подхода лиц, выполняющих контроль, к месту производства работ по контролю и созданы условия для безопасного производства работ [14].

Освещенность контролируемых поверхностей должна быть достаточной для выполнения работ и составлять не менее 500 Лк.

Перед проведением визуального и измерительного контроля поверхность объекта в зоне контроля подлежит зачистке до чистого металла от изоляции, продуктов коррозии, окалины, грязи, краски, масла, шлака, брызг расплавленного металла, и других загрязнений, препятствующих проведению контроля.

Зона зачистки должна включать в себя поверхность свариваемых в обе стороны сварного шва и быть не менее 20 мм.

«Шероховатость поверхности зон, примыкающих к сварному шву, должна составлять не более Ra 12,5 (Rz 80), что обеспечивается зачисткой поверхностей свариваемых изделий и сварных швов перед контролем шаберами, напильниками, шлифмашинками с круглыми металлическими щетками» [10].

Радиографический метод контроля проводится вслед за визуальным и измерительным контролем газопровода.

«Неразрушающий контроль (НК) является методом, при котором не должна быть нарушена пригодность объекта контроля к применению с соблюдением требований безопасности. В задачу НК входит выявление возможных отклонений указанных в СП 62.13330-2011, СП 42-102-2004 и РД 01-001-06. Такими отклонениями могут быть дефекты типа нарушений сплошности, изменение структуры и физико-механических свойств материала, размеров покрытий, соединений и т.п. Конечным результатом НК является регистрация всех обнаруженных отклонений и количественная

оценка их параметров (координат, размеров и формы дефектов, величин, зависящих от физико-механических характеристик материала)» [9].

«Радиографический неразрушающий контроль - вид НК, основанный на регистрации и анализе ионизирующего излучения после его взаимодействия с объектом контроля. Радиационный НК в основном использует фотонное, нейтронное и электронное излучения» [9,36].

Таблица 2.1 - Краткая характеристика радиографического метода неразрушающего контроля [9]

Основной физический принцип	Область применения	Специальные требования	Достоинства	Недостатки
1	2	3	4	5

<p>Ионизирующее излучение, проходя сквозь объект, ослабляется пропорционально его плотности и толщине. По результатам измерения интенсивности излучения за объектом определяют наличие в нем дефектов. При радиографическом контроле (РК) на пленку интенсивность излучения за объектом не измеряется, а регистрируется пленкой. После фотообработки пленки теневое изображение дефектов становится видимым.</p>	<p>Обнаружение внутренних и наружных дефектов (не сплавления, выходящие на поверхность подрезы, трещины, свищи, поверхностные вмятины и др.)</p>	<p>Обеспечение защиты людей от ионизирующего излучения. Обеспечение доступа к обеим сторонам объекта</p>	<p>Лучший метод для обнаружения внутренних объемных и большинства плоскостных дефектов; наличие объективного документа о результате контроля (радиограмм а) возможность контроля объектов из любых материалов; отсутствие необходимости калибровки на рабочем месте</p>	<p>Риск в работе с ионизирующим излучением; невозможность определения глубины дефекта; критичность ориентации плоскостных дефектов для обнаружения; высокая стоимость; ограничение</p>	<p>объекто в по толщине; необходимость доступа к обеим сторонам объекта; перед проведением РК необходима "тренировка" рентгеновского аппарата и проверка работоспособности денситометра с помощью набора мер оптической плотности.</p>
--	--	--	---	--	--

Для контроля газопроводов диаметром < 200 мм используют пленочную радиографию. Схема радиографической пленки представлена на рисунке. Основой ее служит гибкая прозрачная подложка из негорючей пластмассы – ацетилцеллюлозы, нечувствительной к излучению.



Рисунок 2.19 - Структура радиографической пленки

Под воздействием излучения в результате фотохимического эффекта бромистое и хромистое серебро в пленке разлагаются и выделяют серебро черного цвета – пленка чернеет [9,36].

При этом, чем большее количество излучения объект пропустит через себя в том или ином месте, тем сильнее почернеет в этом месте пленка. Другими словами, изображение на пленке при прочих равных условиях будет тем темнее, чем тоньше поглощающий слой, т.е. против тех участков твердого тела, где имеются пустоты, газовые включения или другие подобные дефекты (рисунок 2.20) [36].

Соответственно, если в шве содержится область с повышенной плотностью (например, вольфрамовое шлаковое включение в объекте из углеродистой стали), на пленке эта область проявится более светлой.

Аналогично обычной фотографической пленке, радиографическая пленка в незащищенном виде может быть «засвечена» дневным светом. Поэтому перед проведением контроля пленку нарезают и упаковывают в специальные светонепроницаемые кассеты в фотолаборатории с красным светом. Некоторые виды пленок поставляются сразу со светозащитным слоем, смотанные в рулон [9].

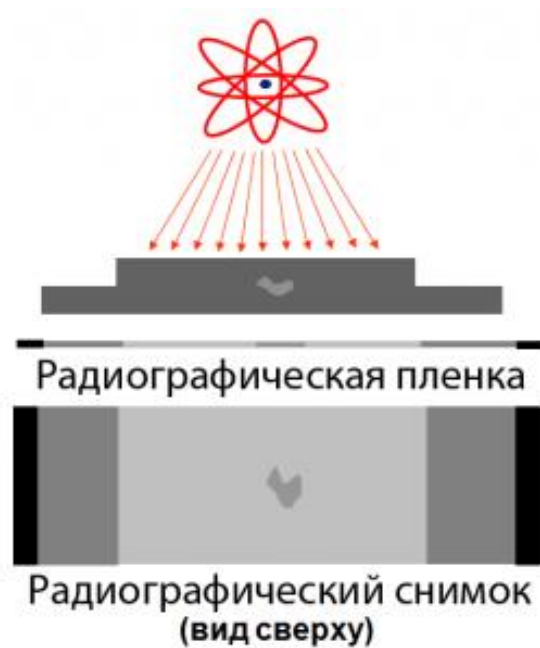


Рисунок 2.20 – Радиографический снимок [9]

В качестве показателей качества радиографического снимка в промышленной радиографии используют понятия абсолютная или относительная чувствительности радиографического контроля [36].

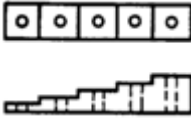
«Для их оценки применяют так называемые эталоны чувствительности (табл.) – это установленные нормативными документами по форме, составу и способу применения тест-образцы, размеры элементов которых заданы» [9].

По химическому составу и плотности материала эталоны должны быть идентичны материалу объекта контроля.

«Абсолютной чувствительностью радиографического контроля принимают: наименьшую глубину канавки, выявляемую на снимке канавочного эталона, наименьший диаметр проволоки проволочного эталона, наименьшую толщину пластиночного эталона, при которой на снимке выявляется отверстие диаметром, равным удвоенной толщине эталона (измеряется в миллиметрах)» [9]. При проведении РТ оценивают, соответствует ли она требованиям технической документации на объект контроля. Относительной чувствительностью называется отношение (%) размера минимального выявляемого элемента эталона чувствительности к толщине просвечиваемого изделия.

Обычно при проведении RT эталоны чувствительности устанавливают на стороне объекта контроля, обращенной к источнику излучения, в области по возможности равномерной толщины. Если объект имеет неравномерную толщину, то эталоны устанавливают на наиболее важную часть объекта или размещают на нем несколько эталонов. Если невозможно установить эталон на стороне объекта контроля, обращенной к источнику, то евро стандарты EN 462-1, -2 позволяют размещать их на части объекта, обращенной к пленке [27].

Таблица 2.2 - Характеристика эталонов чувствительности

Эталон		Описание	Стандарт
Ступенчатый		Пять ступеней квадратной формы размером, например, со стороной квадрата 10 мм каждая; толщина ступеней 0,25; 0,5; 1,0 и 1,25 мм	-
Канавочный		Пластина с канавками установленных форм и размеров	ГОСТ 7512–82
Ступенчато-дырочный		Набор пластинок, каждая из которых имеет по одному–два отверстия, просверленных насквозь под прямым углом к их поверхности. Диаметр отверстия равен толщине пластинок	EN 462-2
Проволочный		Набор прямых проволочек установленных длин и размеров	ОСТ 7512–82; EN 462-1
Пластинчатый		Пластина с цилиндрическими отверстиями установленных форм и размеров	ГОСТ 7512–82; ASTM E142

Измерение чувствительности по эталону не дает представления о реальных размерах выявленных дефектов, а служит лишь средством оценки качества изображения дефектов на пленке. Проволочные эталоны лучше, чем канавочные, имитируют дефекты сварки типа трещин и непроваров.

«Пластинчатые и ступенчатые эталоны с отверстиями хорошо имитируют дефекты типа пор, раковин, шлаковых включений. Выбор эталона чувствительности зависит от характеристик объекта, конкретной задачи контроля и обычно регламентируется техническими условиями» [27].

Визуальный и измерительный контроль проводят в соответствии с операционной технологической картой контроля.

2.3. Классификация дефектов наружного газопровода

Дефекты наружного газопровода классифицируем на:

- дефекты труб и износ металла;
- дефекты сварных соединений;
- дефекты опорных конструкций и изоляции.

Проведенный анализ дефектов, возникающих на трубопроводах, представлен на рисунке [34] 2.21.

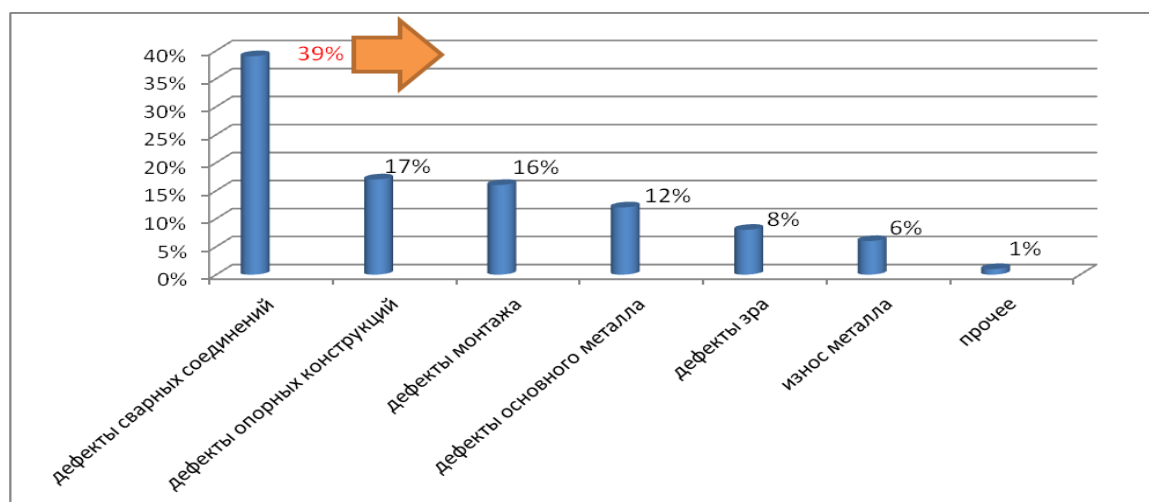


Рисунок 2.21 – Дефекты наружного газопровода

Дефекты основного металла труб :

- «металлургические - дефекты листов и лент, из которых изготавливаются трубы, т.е. различного рода расслоения, прокатная плена, вкатанная окалина, неметаллические включения и др» [32].;
- «технологические - связаны с несовершенством технологии изготовления труб, которые условно можно разделить на дефекты сварки и поверхностные дефекты (наклеп при экспандировании, смещение или угловатость кромок, овальность труб)» [32].;
- «строительные - обусловлены несовершенством технологии строительно-монтажных работ, нарушениями технологических и проектных решений по транспортировке, монтажу, сварке, изоляционно-укладочным работам (царапины, задиры, вмятины на поверхности труб)» [32].

К причинам возникновения дефектов труб относится :

- «существующая технология прокатки металла, технология непрерывной разливки стали на отдельных металлургических заводах является одной из причин изготовления некачественных труб. Нередки случаи разрушения по причине расслоения металла» [28].;
- на трубных заводах входной контроль сырья несовершенен или полностью отсутствует. Это приводит к тому, что дефекты сырья становятся дефектами труб [35];
- «при изготовлении труб приходится подвергать металл нагрузкам, при которых он работает за пределом текучести. Это приводит к появлению наклепа, микрорасслоений, надрывов и других скрытых дефектов. Из-за кратковременности последующих заводских испытаний труб (20...30 с) многие скрытые дефекты не выявляются и «срабатывают» уже в процессе эксплуатации» [3].;
- в недостаточной степени контролируется заводами и геометрическая форма труб;

- механические воздействия при погрузочно-разгрузочных, транспортных и монтажных операциях приводят к появлению на трубах вмятин, рисок, царапин, задиrow;
- при очистке газопроводов скребками-резцами возникают дефекты пластической деформации локальных участков поверхности трубы - риски, подрезы и т.д. Эти концентраторы напряжений являются потенциальными очагами развития коррозионно-усталостных трещин. Очистка трубопроводов с помощью проволочных щеток исключает повреждения труб в виде подрезов, но при определенных режимах обработки приводит к деформациям поверхности металла, снижающим его коррозионную стойкость.
- коррозионные повреждения труб (внешние - в местах нарушения сплошности изоляции, а внутренние - в местах скоплений воды).

Помимо дефектов металлургического, строительного и технологического дефектов труб различают дефекты сварного соединения.

«Дефект сварного соединения - это отклонения разного рода от установленных норм и технических требований, которые уменьшают прочность и эксплуатационную надежность сварных соединений и могут привести к разрушению всей конструкции. Дефекты сварного соединения составляют 39% от общего числа обнаруженных дефектов. Наиболее часто встречающиеся дефекты и их основные недостатки» [10].

Неравномерность формы шва – появляются вследствие неустойчивого режима сварки, неравномерности зазора и угла скоса кромок. Неправильная форма шва является следствием неточного направления сварки относительно разделки. Исправляют механической обработкой дефекта по всей длине. Точное направление сварки, равномерный зазор и угол скоса кромок [10].

Прожоги – сквозное проплавление основного металла или наплавленного. Причины образования, большой зазор между свариваемыми кромками, недостаточное притупление кромок. Исправляют зачисткой и

заваркой прожога. Уменьшают зазор между свариваемыми кромками, правильно притупляют кромки [10].

Наплывы – образуются от натекания жидкого из сварочной ванны на кромки холодного основного металла. Неправильный наклон присадочного материала и горелки/держака. Исправляют механической обработкой дефекта по всей длине [10].

Кратеры – образуются при отрыве дуги в виде углублений в застывший сварочной ванне. Место кратера должно быть заварено. Во избежание образования кратеров нужно плавно отрывать дугу от сварочной ванны.

Поры – появляются вследствие того, что газы, растворенные в жидком металле, при быстром охлаждении шва не успевают выйти наружу и остаются в нем в виде пузырьков. Возникают при ржавчине, окалине, загрязнение кромок. Неправильный выбор присадочного материала. Поверхностные поры исправляют подваркой, вышлифовкой или вырубкой.

Проводя анализ дефектов сварных соединений наружных трубопроводов, установлено, что 35% дефектов вызваны нарушениями технологии сварочных работ (геометрические размеры, поры, раковины, кратеры, свищи, подрезы, непровары) [34]. На рисунке 2.22 представлены результаты анализа дефектов сварных соединений.

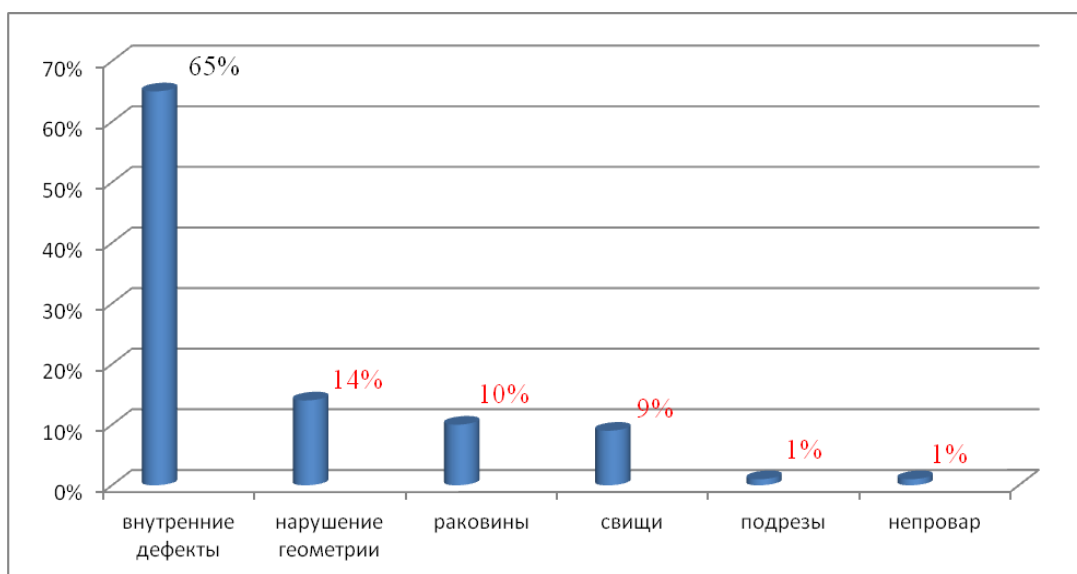
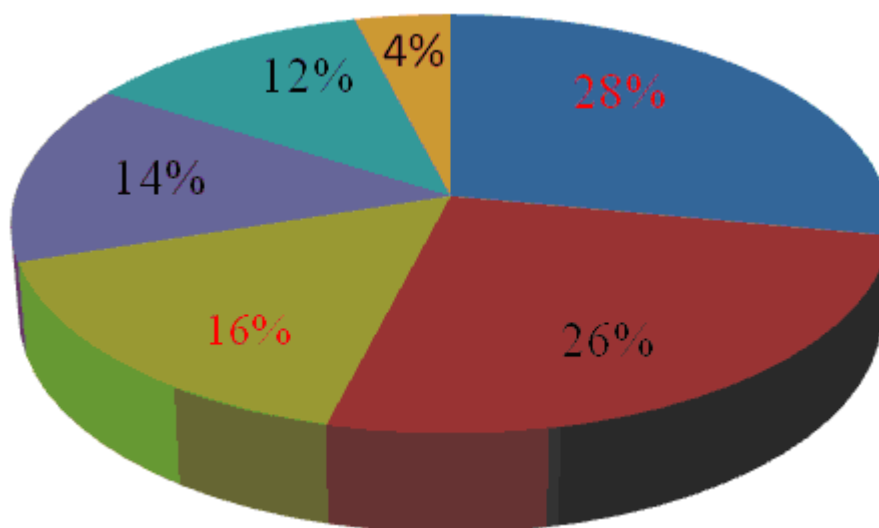


Рисунок 2.22 – Дефекты сварных соединений наружного трубопровода

Авторы работы [1], изучив надежность существующих систем трубопроводного транспорта, определили распределение аварий по причинам их возникновения (рисунок 2.23).



28%- низкое качество строительных работ, 26% –нарушение правил технической эксплуатации, 16% – низкое качество изготовления конструкций, 14%- низкое качество материала , 12% - ошибки на стадии проектирования

Рисунок 2.23 – Распределение аварий по причинам их возникновения

По данным авторов работы 16% аварий связано с низким качеством изготовления сварных конструкций и 14% с низким качеством материала труб. Общий процент составит 30 %.. Из анализа дефектов сварных соединений наружных трубопроводов, установлено, что 35% - это дефекты сварки [26].

Таким образом, из классификации дефектов наружных трубопроводов следует, что на сварные соединения приходится значимый процент , поэтому ремонтным работам уделяется большое внимание.

3 Технология ремонта наружного трубопровода

3.1 Диагностика технического состояния газопровода $d = 159$ мм

На каждый газопровод разрабатывается индивидуальная программа диагностики технического состояния. «Индивидуальная программа включает в себя обследование линейной части газопроводов приборами внутритрубной диагностики; тепловизионный контроль, акустико-эмиссионный контроль потенциально опасных участков газопровода» [15].

«Для проведения внутритрубной диагностики газопровод должен отвечать следующим требованиям: все соединительные элементы и запорная арматура участка трубопровода должны быть равнопроходными с трубопроводом. Каждый участок диагностируемого магистрального трубопровода должен быть оборудован камерами пуска, приема и очистки внутритрубного инспекционного прибора (ВИП)» [25].

Основным диагностическим ВИП являются внутритрубные дефектоскопы.

С помощью профилемера (рисунок 3.1) в трубопроводе выявляются величины внутреннего проходного сечения и радиусов поворота трубопровода различного диаметра, вмятины, гофры, овальности, сужения, радиусы отводов трубы и другие аномалии геометрии трубопровода.

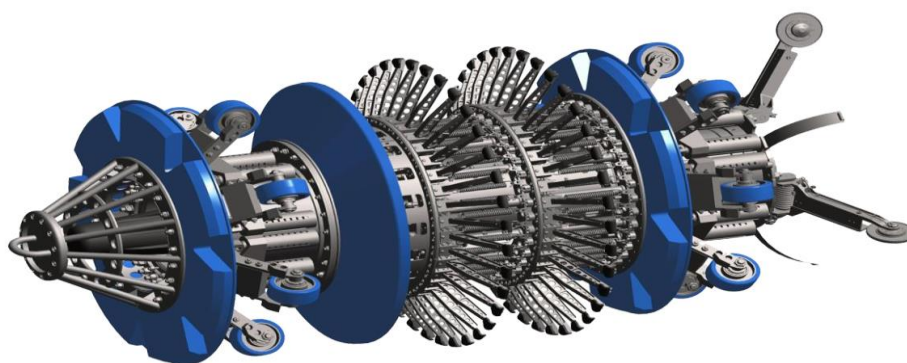


Рисунок 3.1 – Внешний вид профилемера

Внутритрубным ультразвуковым дефектоскопом (рисунок 3.2) определяются потери толщины стенки трубы из-за коррозии и эрозии, наличие неметаллических включений в стенках трубы и расслоений металла по толщине стенки.

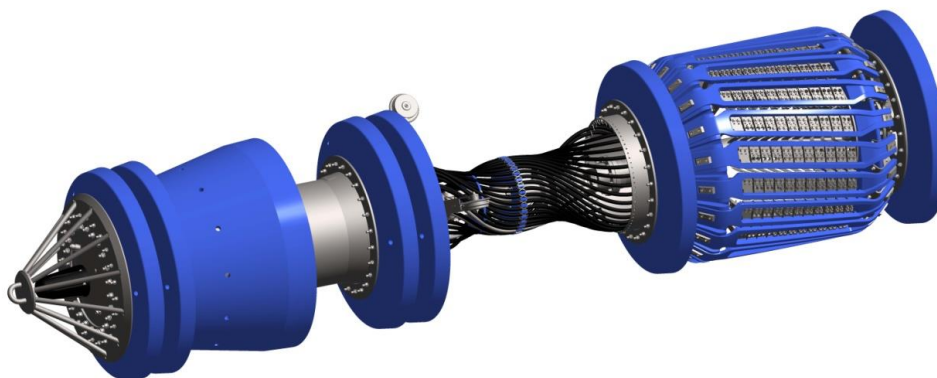


Рисунок 3.2 – Внешний вид внутритрубного ультразвукового дефектоскопа

С помощью магнитного дефектоскопа (рисунок 3.3) выявляются трещины и трещиноподобные дефекты в кольцевых сечениях трубы и, в первую очередь, в кольцевых сварных швах.

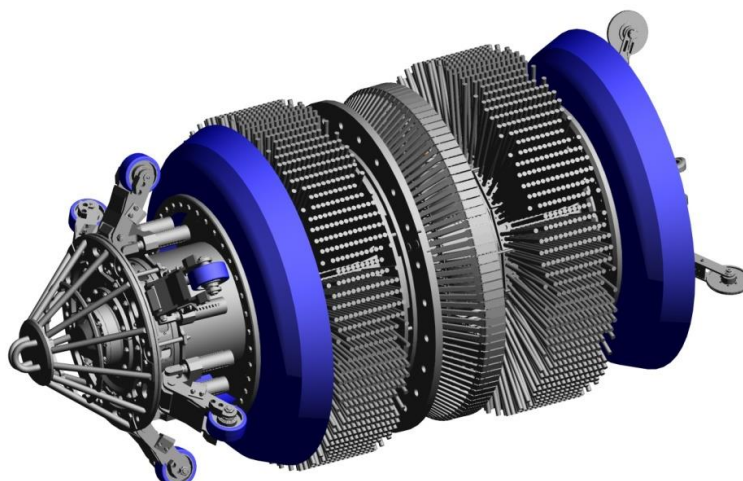


Рисунок 3.3 - Внешний вид внутритрубного магнитного дефектоскопа

При невозможности контроля приборами внутритрубной диагностики газопроводы подвергаются пневматическим или гидравлическим испытаниям на прочность и плотность.

По результатам диагностирования составляется акт, в который заносят все обнаруженные дефекты и не соответствия нормам газопровода. На основании акта принимается решение по капитальному ремонту газопровода.

После очистки трубы от изоляции принимаются решения о размерах врезаемого участка газопровода. Затем участок трубопровода размечают, и проводят резку газопровода. После извлечения вырезанной дефектной части трубы, кромка второго конца трубы газопровода размечается и готовится к сварке.

3.2 Особенности ремонтной технологии газопровода

Рассмотрим капитальный ремонт газопровода диаметром до 159 мм и толщиной стенки 10 мм из стали 09Г2С. Для ремонтных работ выбирается РДС покрытым электродом.

Перед началом работ по капитальному ремонту газопровода сваривают допускной стык, для отработки технологии сварки данного вида стали. «В данном случае сталь 09Г2С относится к малоуглеродистым сталям и сваривается без ограничений и сопутствующего подогрева» [16].

Для ручной дуговой сварки покрытым электродом выбираем сварочный аппарат PRESTIGE 220/S PRO, который показан на рисунке 3.1.

Технические характеристики инвертора PRESTIGE 220/S PRO приведены в таблице 3.1.



Рисунок 3.1-Внешний вид аппарата PRESTIGE 220/S PRO

Таблица 3.1- Технические характеристики инвертора PRESTIGE 220/S PRO

Наименование параметра	
Напряжение и частота	220/50 В/Гц
Максимальная потребляемая мощность	5 кВт
Потребляемая мощность	4,2 кВт
Сварочный ток	5-160 А
Сварочный ток при нагрузке 60%	130 А
Диаметр Электродов	1,6-4 мм
Класс защиты	IP 23
Габаритные размеры	505x250x430 мм
Вес	22 кг

Перед началом сварочных работ разрабатывается технологическая карта сборки и сварки, которая приведена в таблице 3.2. Технологическая карта составляется на основании РД, эскиз сварного соединения выбирается в соответствии с ГОСТ16037-80 [4,18].

Таблица 3.2 - Технологическая карта сборки и сварки трубопровода [4]

Способ сварки:	РД	Типоразмер, мм	
Тип шва:	СШ	Диаметр:	159
Тип соединения (по НД):	С17 (ГОСТ 16037-80)	Толщина:	10
Вид соединения:	ос (бп)		
Сварочные материалы (Шифр по РД 03-613-03, марка):	Электрод покрытый Б (В), LB-52U (E7016 по AWS A5.1), ОК 53.70 (E7016-1 по AWS A5.1) по ГОСТ 9466-75, ГОСТ 9467-75	Основной материал (группа, марка):	М01 (сталь 09Г2С)
Сварочное оборудование (Шифр по РД 03-614-03, марка):	сварочный аппарат PRESTIGE 220/S PRO.	Способ сборки:	На прихватках
		Требования к прихватке: 3-4 прихватки равномерно по периметру трубы, длина каждой прихватки – 20-30 мм; высота - 5-6 мм; прихватки следует выполнять с полным проваром корня шва.	

Таблица 3.3 - Эскиз контрольного сварного соединения [4]

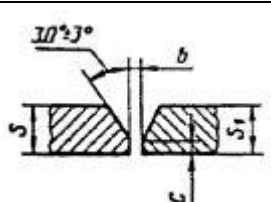
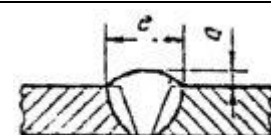
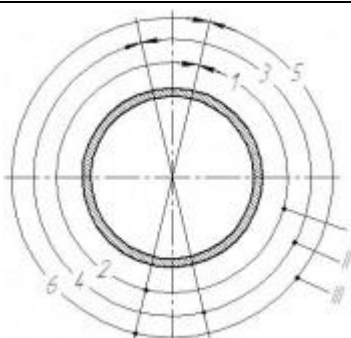
Конструкция соединения	Конструктивные элементы шва	Порядок сварки
	 <p> $s_1 = s = 10,0$ мм; $b = 2,0 \dots 3,0$ мм; $e = 16,0 \dots 20,0$ мм; $g = 0,5 \dots 4,0$ мм </p>	 <p> Корень шва - выполняется электродом диаметром 2,6 мм узким валиком с потолочного положения. Смещение "замков" 20...30 мм. </p>

Таблица 3.4 - Технологические параметры сварки [13]

Номер валика (шва)	Способ сварки	Диаметр электрода, мм	Род и полярность тока	Сила тока, А	Напряжение, В
1	РД	2,6	пост., обратная полярность	60-80	22-30
2	РД	3,2	пост., обратная полярность	80-120	22-30
3	РД	4,0	пост., обратная полярность	120-150	22-30

Дополнительные технологические требования по сварке трубопровода представлены следующими позициями.

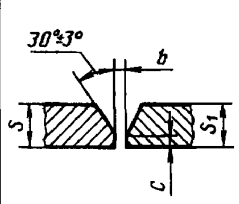
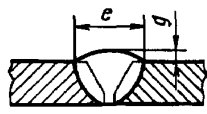
1. Кромки и прилегающие к ним внутренние и наружные поверхности труб зачищаются до металлического блеска на ширину не менее 20 мм.
2. Контролируется величина зазора между свариваемыми кромками стыкуемых труб равномерно по периметру стыка в 4 точках.
3. Начальный и конечный участки прихваток для обеспечения плавного перехода при сварке корневого слоя шва зачищается электрошлифовальной машинкой.
4. Обеспечивается плавный переход от сварного шва к основному металлу без резких переходов, подрезов, несплавлений по кромке, непроваров и других дефектов формирования шва.
5. Чешуйчатость шва $\leq 1,0$ мм.
6. Запрещается зажигать дугу с поверхности заготовки (трубы) и выводить кратер на основной металл.
7. Поверхность облицовочного слоя шва и околошовная зона очищается от шлака и брызг наплавленного металла на ширину не менее 10 мм ручной или дисковой щеткой.
8. При сварке корневого и облицовочного слоев должно быть хотя бы

одно прерывание процесса сварки с последующим его возобновлением в этом месте [21].

«Подготовка кромок труб газопровода сводится к обработке их под фаску. Фаски обрезают резакром и шлифуют шлифовальной машинкой до металлического блеска» [4].

Новый участок трубы изготавливают из стали той же марки, что и действующий газопровод. Вырезают по размерам дефектной трубы, подготавливают кромки согласно ГОСТ 16037-80 для сварного соединения С17 и проводят сборку и сварку (таблица 3.5).

Таблица 3.5 - Параметры сварного соединения С17 газопровода [4]

Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы и размеры		Способ сварки	$s = s_1$	b		c		e		g	
	подготовленных кромок свариваемых деталей	сварного шва			Номин.	Пред. откл.	Номин.	Пред. откл.	Номин.	Пред. откл.	Номин.	Пред. откл.
С17			ЗП; ЗН; Р; Г	3	1,0		0,5	+0,5	7	+2	1,5	
				4	+0,5				8			
				5		1,5	9					
				6	11							
				7	12							
				ЗП; ЗН; Р	8		1,0		13	+3		
					10				16			
			12		+1,0	±0,5	18	+4				
			14		2,0		21	2,0				
			16			+1,5	23		+6			
			18		26							
			20		28	+2,0 -1,5						

Сварочные работы выполняются только сварщиками аттестованными в соответствии с «Технологическим регламентом проведения аттестации сварщиков и специалистов сварочного производства» [31].

Монтажная организация должна иметь аттестованную технологию сварки и аттестованное оборудование.

После выполнения сварочных работ все стыки проходят неразрушающий контроль. Требования к ремонтным стыкам должны

соответствовать СП 42-102-2004, т.е. тем же требованиям к стыкам что и действующий газопровод.

Все 100% стыков и прилегающие к ним поверхности основного металла в обе стороны на расстоянии 20 мм проходят визуальный и измерительный контроль.

По результатам контроля стыки не должны иметь недопустимые дефекты. К недопустимым дефектам относятся:

- трещины всех видов и направлений;
- непровары (несплавления) между основным металлом и швом, а также между валиками шва;
- наплывы (натеки) и брызги металла;
- кратеры;
- свищи;
- прожоги;
- скопления и включения пор.

Все выявленные дефекты исправляются до проведения других видов контроля.

Радиографический контроль проводят в зависимости от рабочего давления газопровода.

Это газопроводы высокого давления I категории (рабочее давление газа свыше 0,6 до 1,2 МПа),

- газопроводы высокого давления II категории (рабочее давление газа свыше 0,3 до 0,6 МПа),

- газопроводы среднего давления III категории (рабочее давление газа свыше 0,005 до 0,3 МПа),

- газопроводы низкого давления IV категории (рабочее давление газа до 0,005 МПа).

По результатам проверки радиографическим методом сварные соединения не должны иметь следующих дефектов согласно СП 42-102-2004:

- трещин, прожогов, незавершенных кратеров;

- непровара в корне шва глубиной более 10%;
- непровара в корне шва и между валиками свыше 25 мм на каждые 300 мм шва.

Таким образом, выполнению требований нормативных документов по подготовке кромок для выбранного соединения С17, параметров режима для выбранного способа сварки и методов контроля добавляются дополнительные технологические требования по сварке наружного трубопровода, которые представлены в работе [24].

3.3 Рекомендации к проектированию технологии контроля параметров сварного соединения

Проверка сварных швов является одним из обязательных условий монтажа газопровода. Для ее организации используют несколько методов контроля.

«Первый – это контроль проведения сварочных работ. Наиболее ответственный способ, обеспечивающий уменьшение вероятности появления дефектов шва. Также проводится разрушающий контроль сварных соединений. Для этого предварительно производятся образцы из идентичных материалов, с такими же параметрами размеров сварного соединения. Перед началом монтажа газопровода диаметром < 200 мм свариваются контрольные сварные соединения» [11].

Механические свойства стыков стальных труб с условным проходом свыше 50 определяют испытаниями на растяжение и изгиб образцов (вырезанных равномерно по периметру каждого отобранного стыка) со снятым усилением в соответствии с ГОСТ 6996-66 [11,14,16], при помощи разрывных машин. Внешний вид разрывной машины показан на рисунке 3.2

Результаты механических испытаний стыка считаются неудовлетворительными, если:

- среднеарифметическое значение предела прочности трех образцов при испытании на растяжение будет менее значения нормативного предела прочности основного металла трубы[9];



Рисунок 3.2 - Разрывная машина Р-100

-среднеарифметическое значение угла изгиба трех образцов при испытании на изгиб будет менее 120° - для дуговой сварки и менее 100° - для газовой сварки [11];

-результат испытаний хотя бы одного из трех образцов по одному из видов испытаний будет на 10% ниже нормативного значения показателя прочности или угла изгиба [14].

При неудовлетворительных испытаниях хотя бы одного стыка проводят повторные испытания на удвоенном числе стыков. Испытания проводят по виду испытаний, давшему неудовлетворительные результаты.

В случае получения при повторных испытаниях неудовлетворительных результатов хотя бы на одном стыке все стыки, сваренные данным сварщиком в течение календарного месяца на

конкретном объекте дуговой сваркой, проверены радиографическим методом контроля[9].

При контроле параметров сварки проверка сварных соединений показывает лучшие результаты, если изначально контролировать режим работы сварочных аппаратов для определенных типов соединения.

Любой контроль качества сварных соединений начинается с визуального и измерительного контроля (ВИК) (рисунок. 3.3). «Этого бывает достаточно, чтобы определить как наружные, так и внутренние пробелы, плюс отсутствует необходимость использовать оборудование неразрушающего контроля» [10].

Например, разная высота шва может свидетельствовать о непроварах в различных участках. Перед осмотром швы отчищаются от технологических загрязнений, а именно – шлака, окалин и брызг металла[10].

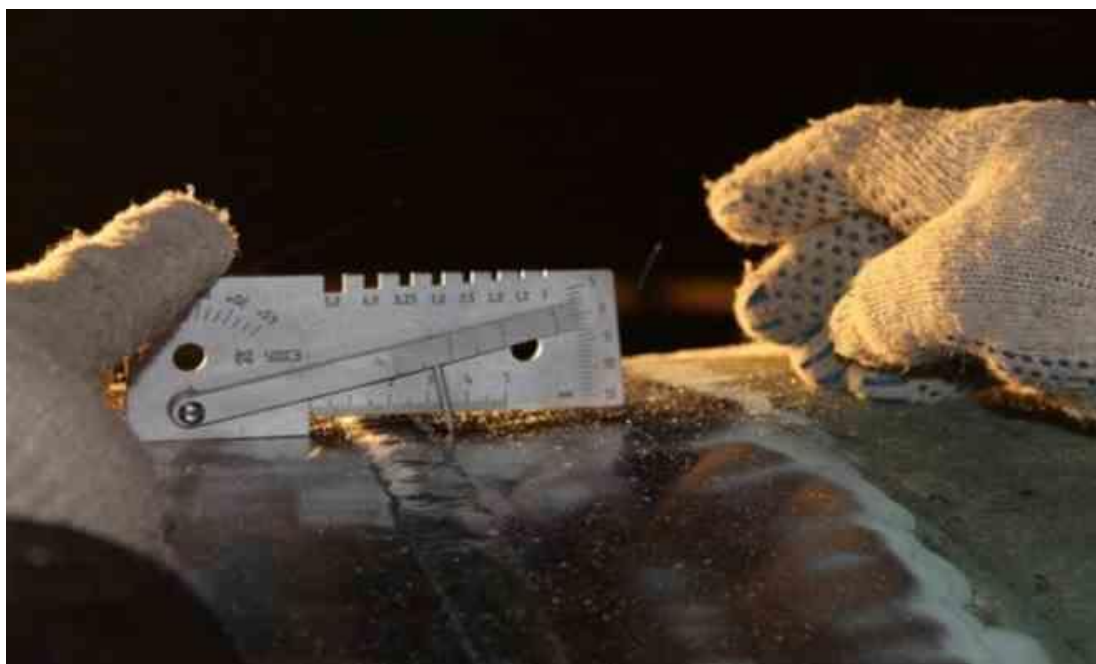


Рисунок 3.3 - Визуальный и измерительный контроль параметров шва УШС-3

«ВИК – это основной способ выявить геометрические отклонения, поры, трещины, наплывы, подрезы. Более качественно провести данный контроль можно с помощью дополнительных приборов» [10].

«Для этого лучше всего использовать лупу, а также более качественное освещение, желательно с мобильным источником света. Увеличительное стекло позволит обнаружить скрытые для глаза трещины и поры, а также проследить их путь. Для контроля ширины валиков, можно использовать измерительные приборы, вроде линейки или штангенциркуля» [10].

Простейший способ выявить внутренние погрешности сварного шва - это радиографический метод контроля сварных соединений, который существует в двух вариациях:

- рентгеновское излучение;
- гамма-излучение.

Из представленных способов выявить погрешности сварного шва – это просветить изделие рентгеновскими лучами. Они обладают свойством проникать сквозь металлические предметы, действуя при этом на фотопленку [29].

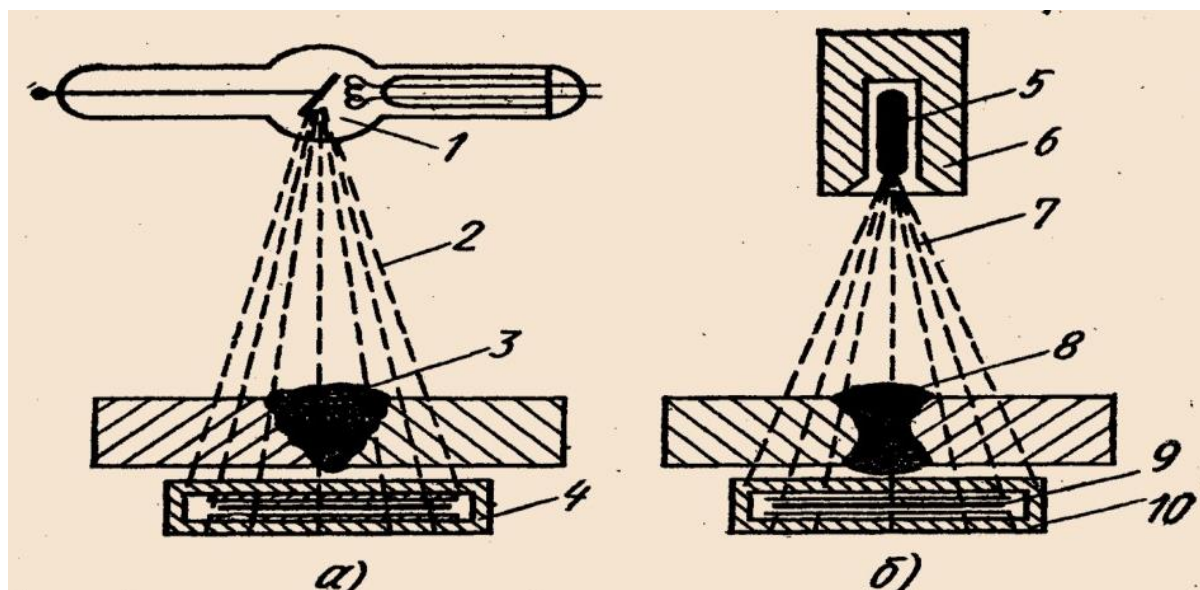
Таким образом, полученный снимок – прямая карта большей части дефектов. С помощью проникающих лучей выявляют – шлаковые включения, газовые поры, смещения кромок, прожоги и другие пробелы.

Перед началом работ, исследуемый участок и близ лежащая плоскость должным образом очищаются. Для этого снимают шлак, брызги, окалины и другие изъяны. Также перед просвечиванием в обязательном порядке проводится ВИК и при выявлении некачественных участки исправляются и проходят повторный контроль.

Начинать просвечивание при наличии внешних дефектов – запрещено, так как процедура предназначена для диагностики и выявления скрытых дефектов.

При обнаружении погрешностей сварного соединения, решение о допуске или исправлении конкретной детали лежит на нормативной документации, а именно СП62.13330.2011, СП 42-101-2003, СП 42-102-2004, РД 01-001-06.

«Для проведения контроля рентгеновскую трубку располагают так, чтобы пучок попадал на шов под прямым углом. На другой стороне изделия расположена кассета с рентгеновской пленкой, как показано на рисунке 3.4. Так как существующие дефекты меньше влияют на проникаемость рентгеновских лучей, то они будут видны как более темные участки на пленке. Рентгенографическое испытание длится в зависимости от качества пленки, толщины и фокуса. После контроля излучением пленка проявляется, по которой видны результаты сварки» [9].



1 – рентгеновская трубка; 2 – рентгеновские лучи; 3 – сварной шов; 4 – кассета с рентгеновской плёнкой; 5 – ампула с радиоактивным изотопом; 6 – свинцовый контейнер; 7 – гамма-лучи; 8 – сварное соединение; 9 – рентгеновская плёнка; 10 – кассета

Рисунок 3.8 - Методы контроля сварных соединений: а – рентгеновский; б – гамма-излучением

При радиографическом контроле не выявляют:

-любые несплошности и включения с размером в направлении просвечивания менее удвоенной чувствительности контроля;

-непровары и трещины, плоскость раскрытия которых не совпадает с направлением просвечивания;

-любые несплошности и включения, если их изображения на снимках совпадают с изображениями посторонних деталей, острых углов или резких перепадов трещин просвечиваемого металла.

«Гамма – излучение по принципу работы практически не отличается от рентгеновского излучения. Это радиоактивные лучи, способные проникать сквозь металл и реагирующие на его неравномерность. Таким способом инспектируют от 10 до 25% всех швов, если конструкция ответственная, то все швы» [9].

В качестве источника излучения используют различные химические элементы, подходящие под определенные металлы:

- кобальт – 60 (сталь, чугун, медь, бронза и латунь толщиной до 25 см), благодаря жесткому проникновению элемент подходит для большинства сталей и больших толщин;
- цезий – 137 (сталь до 10 см);
- иридий-192 (сталь до 5 см, алюминий до 10 см);
- тулий-170 (сталь и алюминий до 20 см).

Со снижением проникаемости излучения, снижается вид сплавов и их толщина, но при этом среднее качество изображения остается и позволяет определить основные дефекты.

В отличие от рентгеновского, гамма-лучи имеют ряд преимуществ:

- изотопы сохраняют работоспособность долгое время;
- более легкое оборудование;
- возможность дефектовки сложных узлов;
- повышенная проникаемость лучей;

Инженер-дефектоскопист ,выполняя контроль качества сварки и сварных соединений записывает все особенности и дефекты, которые сможет обнаружить.

«Таким образом, при проектирование технологии контроля параметров сварного соединения целесообразно комбинировать различные методы контроля сварки, чтобы получить полную картину, не используя разрушающие методы контроля сварных соединений. Это позволит судить о качестве сварки и надежности конструкции наружного газопровода. Только после сдачи в полном объеме сварочной документации производятся дальнейшие процедуры по принятию объекта» [33].

4 Результаты исправления дефектов наружного газопровода

4.1 Технология восстановления газопровода $d = 159$ мм $S = 10$ мм

Исправление дефектов наружного газопровода производится на всех этапах сборки и сварки стыков. Технология восстановления дефектов приводится на контрольных образцах.

На первом этапе сборки газопровода контролю подлежат такие параметры как угол раздела кромок и их притупления. Эти параметры должны соответствовать ГОСТ 16037-80 «Соединения сварные стальных трубопроводов» [4]. На рисунке 4.1 приведены образцы подготовки кромок при исправлении дефектов на участке наружного газопровода.



Рисунок 4.1 – Внешний вид конструкции соединения С17 с углом разделки и притупление кромок

На втором этапе сборки контролируются зазор и смещение кромок сварного соединения, как показано на рисунке 4.2.



Рисунок 4.2 - Контроль зазора и смещения кромок

На третьем этапе измеряется длина и количество прихваток, а так же наличие дефектов в прихватках (рисунок 4.3).



Рисунок 4.3 – Внешний вид прихваток на трубе газопровода

При наличии недопустимых дефектов, таких как поры, трещины, всех видов и направлений, прихватки удаляются и повторяют сборку с первого этапа, как показано на рисунке 4.1.

На четвертом этапе контролируется корневой шов, как показано на рисунке 4.4.



Рисунок 4.4 – Внешний вид корневого шва

Контролируются и последующие швы.

При наличии недопустимых дефектов, таких как поры, трещины, всех видов и направлений, прихватки удаляются и повторяют сборку с первого этапа, как показано на рисунках 4.1, 4.2, 4.3.

На рисунке 4.5 показан внешний вид заполняющего шва.



Рисунок 4.5 – Внешний вид заполняющего шва

На пятом этапе контролируется облицовочный шов (рисунок 4.6) и при удовлетворительном заключении визуального и измерительного контроля, проводят последующие методы неразрушающего контроля согласно нормативным документам.



Рисунок 4.6 - Облицовочный шов

Все этапы исправления дефектов демонстрируются на образцах представленных на рисунках 4.1- 4.6 и могут быть использованы при разработке учебных пособий для бакалавров при подготовке по направлению 14.03.01 Машиностроение, профиль «Технология и оборудование сварочного производства».

«В случае обнаружения дефектов на наружных газопроводах, для ремонта секций и соединительных деталей (отводы, тройники, переходники, заглушки и т.п.) с дефектами глубиной до 20% от номинальной толщины стенки трубы типа потеря металла (коррозионные дефекты, риски), расслоение с выходом на поверхность, мелких трещин, а также дефектов типа "аномалии сварного шва" (чешуйчатость, поры, выходящие на поверхность) применяется шлифовка» [32].

«Шлифовка используется и для ремонта во вмятинах дополнительных дефектов - рисок, потерь металла, трещин, расслоений с выходом на поверхность. Поверхность выборки обрабатывается абразивным инструментом. Прилегающие поверхности зачищаются от окалины, ржавчины, грязи на ширину не менее 20-30 мм до металлического блеска» [32].

После шлифовки проверяется остаточная толщина стенки трубы методом ультразвуковой толщинометрии (рисунок 4.7). Остаточная толщина должна быть не менее 80 % от номинальной толщины стенки. Внешний вид ультразвукового прибора при контроле остаточной толщины стенки на участке восстановления трубопровода показан на рисунке 4.7.

«При шлифовке трещин глубина выбранного металла должна превышать глубину трещины не менее, чем на 5 % от номинальной толщины стенки. Остаточная толщина стенки после шлифовки трещин должна быть не менее 5 мм» [32].

При обнаружении такого дефекта стенки трубы, как "потеря металла" (коррозионные язвы, риски) заварку разрешается применять для ремонта с остаточной толщиной стенки трубы не менее 5 мм.



Рисунок 4.7 - Ультразвуковой толщиномер.

При дефектах на сварных швах типа "аномалии поперечного сварного шва" (поры, выходящие на поверхность, подрезы сварного шва, недостаточное или отсутствующее усиление, недостаточная ширина шва) также разрешается заварка обнаруженного дефекта на сварных швах [32,37].

«Заварка допускается, если глубина и максимальный линейный размер одиночного дефекта (длина, диаметр) или его площадь не превышают установленных величин. Расстояние между смежными повреждениями должно быть не менее 100 мм. Расстояние от завариваемых дефектов до сварных швов, в т.ч. до спиральных, должно быть не менее 100 мм» [32].

«Наружные дефекты удаляют вышлифовкой с обеспечением плавных переходов в местах выборок. Наружные дефекты исправлять вышлифовкой без последующей заварки мест их выборки можно только при сохранении

минимально допустимой высоты шва в месте максимальной глубины выборки» [32].

При удалении дефектных мест на газопроводе выполняются определенные правила.

-длина удаляемого участка должна равняться длине дефектного участка плюс 10-20 мм с каждой стороны, а ширина разделки выборки быть такой, чтобы ширина шва после заварки не превышала двойной ширины до заварки;

-форма и размеры подготовленных под заварку выборок должны обеспечивать возможность провара на всю глубину в любом месте;

- поверхность каждой выборки должна иметь плавные очертания без резких выступов и острых углублений [32].

-после заварки участок необходимо зачистить до полного удаления раковин и рыхлости в кратере и создания плавных переходов к основному металлу.

-крупные или сквозные трещины перед заваркой засверливают вблизи от их концов, что позволяет предотвратить их распространение. Затем производят разделку трещин по всей их глубине. Дефектный участок в этом случае проваривают на всю глубину.

Трещины, непровары в корне шва, внутренние непровары, шлаковые включения, свищи и внутренние поры исправляют вышлифовкой, до «здорового» металла.

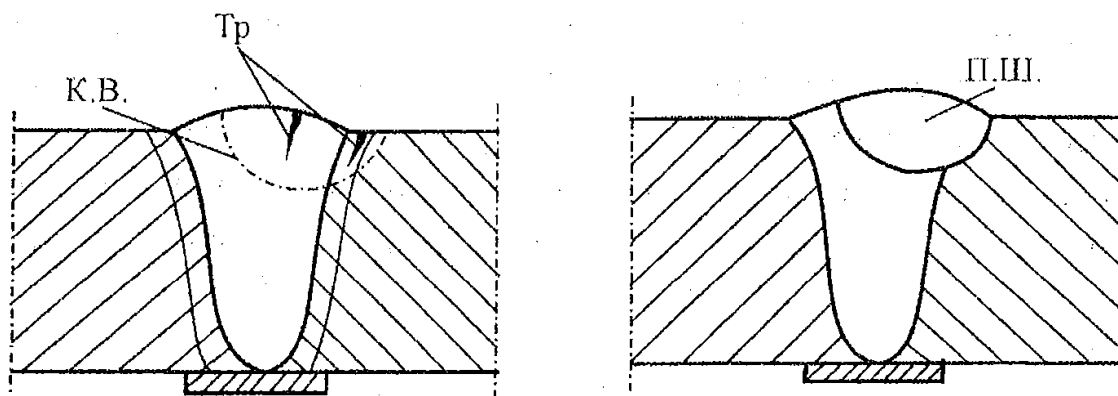
Поверхностные поры, расположенные на малой глубине, удаляют подваркой.

«Подрезы устраняют наплавкой ниточного шва по всей длине дефекта. Однако это ведет к повышению расхода сварочных материалов. В таких случаях целесообразно применять оплавление подреза аргонодуговыми горелками, что позволяет «сгладить» дефекты без дополнительной наплавки. Наплывы и неравномерности формы шва исправляют механической обработкой дефекта по всей длине» [32].

Кратеры швов заваривают. Прожоги в швах зачищают и заваривают.

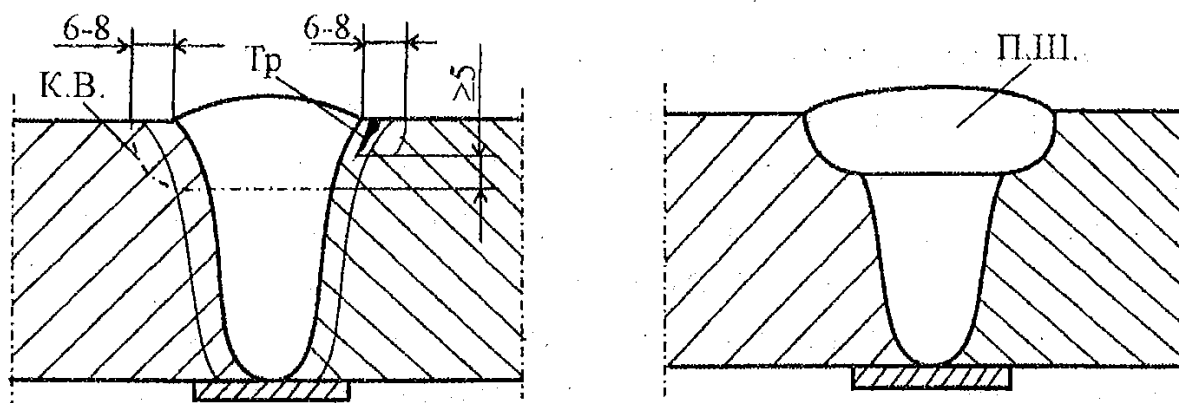
Заварка дефектного участка производится одним из способов сварки плавлением РДС или РАД, обеспечивающих качество сварного шва в соответствии с требованиями, предъявляемыми к изделию.

Рекомендованные формы выборок и формы подварочного шва при ремонте сварных соединений приведены на рисунках 4.8 и 4.9.



Тр – трещина, К.В. контур выборки, П.Ш.- подварочный шов

Рисунок 4.8 - Формы выборки трещины и подварочного шва



Тр – трещина, К.В. контур выборки, П.Ш.- подварочный шов

Рисунок 4.9 - Формы выборки трещины и подварочного шва

В зависимости от глубины выборки, условий эксплуатации и типоразмера сварного соединения выбирается вариант ремонта.

В большинстве случаев ремонт выполняется с применением подварочного шва. При многослойном подварочном шве дефекты устраняются кольцевыми валиками толщиной 5-8 мм и шириной 12-20 мм с перекрытием каждого последующего валика.

4.2 Технология восстановления наружного газопровода высокого давления через реку Гуца

В данной работе приведены результаты сварки газопровода высокого давления в селе Загоскина через Белое озеро Майнского района Ульяновской области.

Капитальный ремонт газопровода проведен на участке замены газопровода наружного перехода через р. Гуца. Подземное исполнение выполнено методом наклонно-направленного бурения (ННБ) (рисунок 4.7).

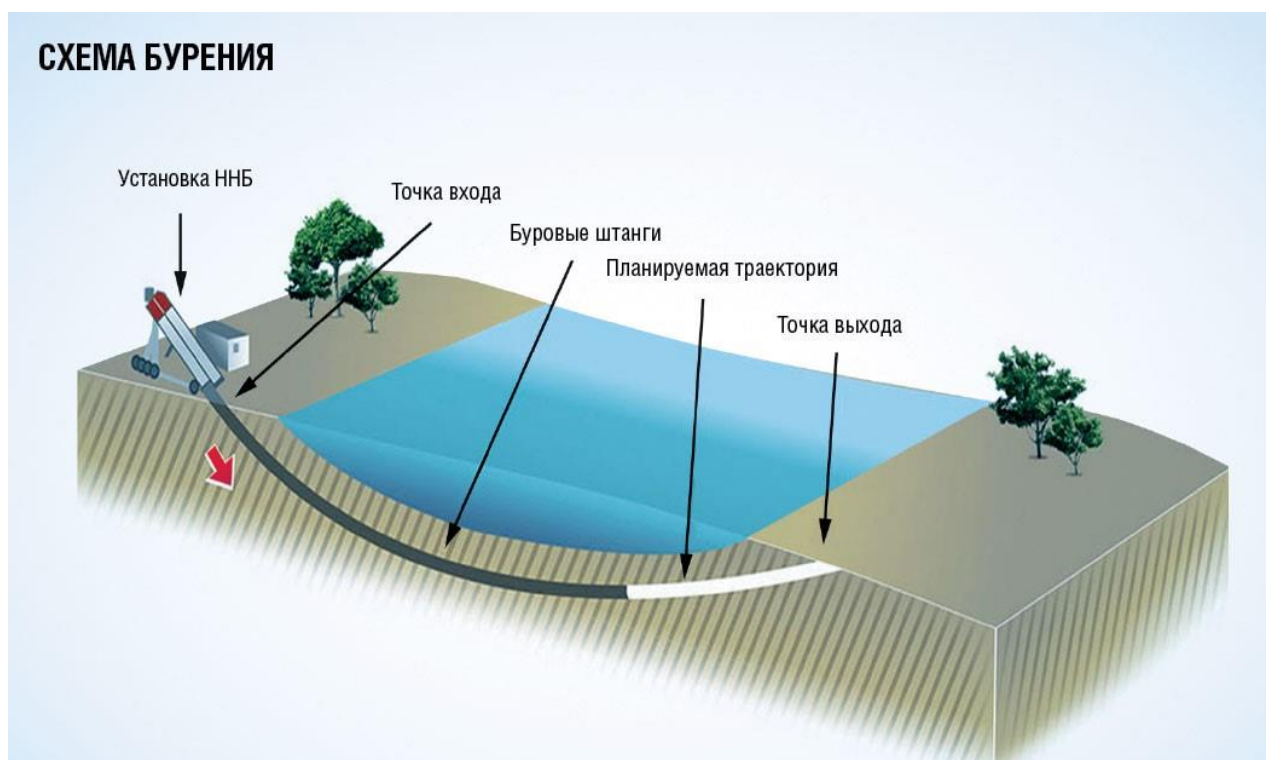


Рисунок 4.8 - Схема ННБ

Газопровод сварен из трубы диаметром 159 и толщиной стенки 10 мм.

Подземные стыки выполнены ручной дуговой сваркой. По ранее разработанным технологическим картам и практически отработанным

контрольным сварным соединениям. Контролируются визуальным и измерительным методами контроля и рентгенографическим методом согласно СП 42-102-2004, а также произведется контроль на всех этапах сборки и сварки наружного газопровода.

Часть наружного подземного газопровода, проходящая непосредственно под водной преградой, выполняется комбинированной сваркой в соответствии с установленными требованиями (таблица 4.1).

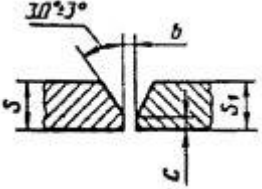
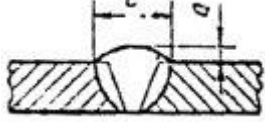
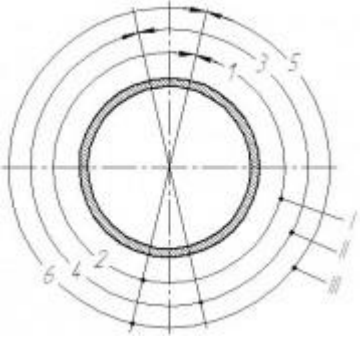
Таблица 4.1. Технологическая карта сборки и сварки контрольного сварного соединения [4], [15-19]

Шифр НД по сварке	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»		
Способ сварки:	РАД		Типоразмер, мм
Тип шва:	СШ		Диаметр: 159
Тип соединения (по НД):	С17 (ГОСТ 16037-80)		Толщина: 10
Положение при сварке:	В1		Количество КСС: 1
Вид соединения:	ос (бп)		Клеймо(а):
Сварочные материалы (Шифр по РД 03-613-03, марка):	волокна сварочная Св-08Г2С по ГОСТ 2246-70; Гз, аргон газообразный высшего сорта по ГОСТ 10157-79; Эн, электрод неплавящийся вольфрамовый WL-20 Эп, электрод покрытый Б (В), LB-52U (E7016 по AWS A5.1) по ТУ 1272-001-2005, ОК 53.70 (E7016-1 по AWS A5.1) по ТУ 1272-014-55224353-2005	Основной материал (группа, марка):	M01, сталь 09Г2С
Сварочное оборудование (Шифр по РД 03-614-03, марка):	А3, PRESTIGE 220/S PRO	Способ сборки:	На прихватках
		Требования к прихватке: 3-4 прихватки равномерно по периметру трубы, длина каждой прихватки – 20-30 мм; высота - 4-5 мм; прихватки следует выполнять с полным проваром корня шва.	

В соответствие с нормативными документами при толщине стенок

трубы выбирается стыковое соединение с разделкой кромок С17 (таблица 4.1). Параметры сварного соединения регламентирует ГОСТ 16037-80 [4]. Конструкция соединения и параметры сварного шва приведены в таблице 4.2.

Таблица 4.2 - Эскиз контрольного сварного соединения [4]

Конструкция соединения	Конструктивные элементы шва	Порядок сварки
	 <p data-bbox="730 734 995 833"> $s1=s=10$ мм; $b=2,0...3,0$ мм; $e=16,0...20,0$ мм; $g=0,5...4,0$ мм </p>	 <p data-bbox="1120 922 1481 981">Корень шва выполняется проволокой диаметром 2,4 мм.</p>

Корневой шов (номер шва 1) выполняется ручной аргонодуговой сваркой неплавящимся электродом с присадочной проволокой. Технологические свойства дуги при сварке неплавящимся электродом хорошо изучены в работах [13,20]. Параметры режима приведены в таблице 4.3.

Таблица 4.3 - Технологические параметры режима сварки корневого шва [4]

Номер валика (шва)	Способ сварки	Диаметр проволоки, мм	Род и полярность тока	Сила тока, А	Расход защитного газа, л/мин
1	РАД	2,4	пост., прямая полярность	50-80	в горелку 8-10 л/мин

Последующие швы (второй и третий шов) свариваются ручной дуговой сваркой покрытыми электродами на постоянном токе обратной полярности. Это значит, что для сварки выбранными способами (РДС и РАД) можно выбрать один источник питания постоянного тока с падающей

внешней вольтамперной характеристикой, который позволяет регулировать плавно величину сварочного тока в пределах от 40 до 150 А.

Параметры режима сварки РДС приведены в таблице 4.4 .

Таблица 4.4 - Технологические параметры сварки

Номер валика (шва)	Способ сварки	Диаметр электрода, мм	Род и полярность тока	Сила тока, А	Напряжение, В
2-3	РД	3,2	пост., обратная полярность	80-110	22-30

При восстановлении трубопровода высокого давления предъявляются 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. Зажигание дуги, гашение дуги следует производить на свариваемой кромке или на выполненном ранее шве на расстоянии от 10 до 15 мм позади кратера.

3. Подачу аргона из горелки следует начинать на 3-5 секунд раньше момента зажигания дуги и прекращать через 3-5 секунд после обрыва дуги.

4. Проконтролировать величину зазора между свариваемыми кромками стыкуемых труб равномерно по периметру стыка не менее 3 точках.

5. Сварка всех слоев должна выполняться без перерыва до полного завершения сварки слоя.

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 очищают от шлака и брызг наплавленного металла на ширину не менее 20 мм ручной или дисковой щеткой.

10. Требования к контролю качества контрольных сварных соединений сведены в таблицу 4.5.

Таблица 4.5 - Требования к контролю качества контрольных сварных соединений

Методы контроля	Шифры НД, регламентирующие нормы оценки качества	Объем контроля, %
Визуальный и измерительный	РД 03-606-03: ГОСТ 16037-80, СП 62.13330.2011, СП 42-101-2003, СП 42-102-2004.	100%
Радиографический	ГОСТ 7512-82, СП 62.13330.2011, СП 42-101-2003, СП 42-102-2004.	100%

Обнаруженные при визуальном и измерительном и радиографическом контроле недопустимых наружных или внутренних дефектов их обязательно удаляют. Дефектные участки вырезают механическим путем или с применением ручной газо-кислородно резки. Затем швы заваривают вновь.

«Исправленные швы сварных соединений следует проконтролировать и они должны отвечать тем же требованиям что и весь сварной шов. Если при этом вновь будут обнаружены дефекты, то производят их исправление с соблюдением необходимых требований» [37].

На исследуемом наружном газопроводе, после проведения неразрушающего контроля, количество обнаруженных дефектов выполненных комбинированной сваркой (РАД+РД) было меньше, чем в сварных соединениях выполненных ручной дуговой сваркой. Результаты сравнения приведены в таблице 4.6.

Контроль качества сварных соединений проведен автором этой работы на газопроводе через реку Гуца в Ульяновской области [37].

Радиографические пленки с обнаруженными дефектами приводятся на рисунках 4.9, 4.10, 4.11, 4.12.

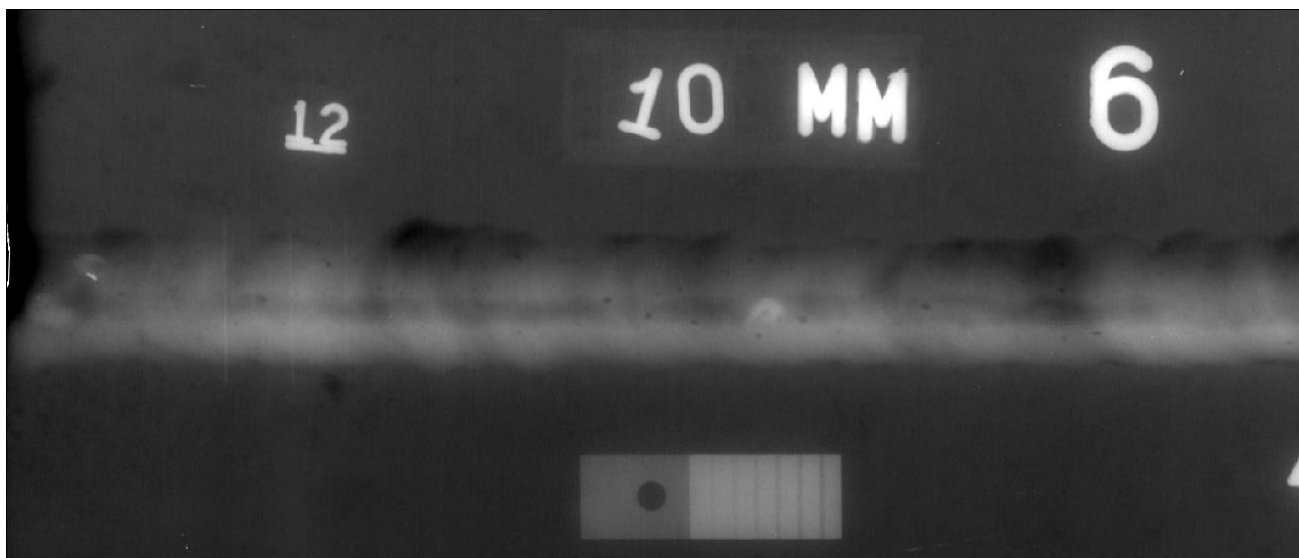


Рисунок 4.9 - Одиночные поры

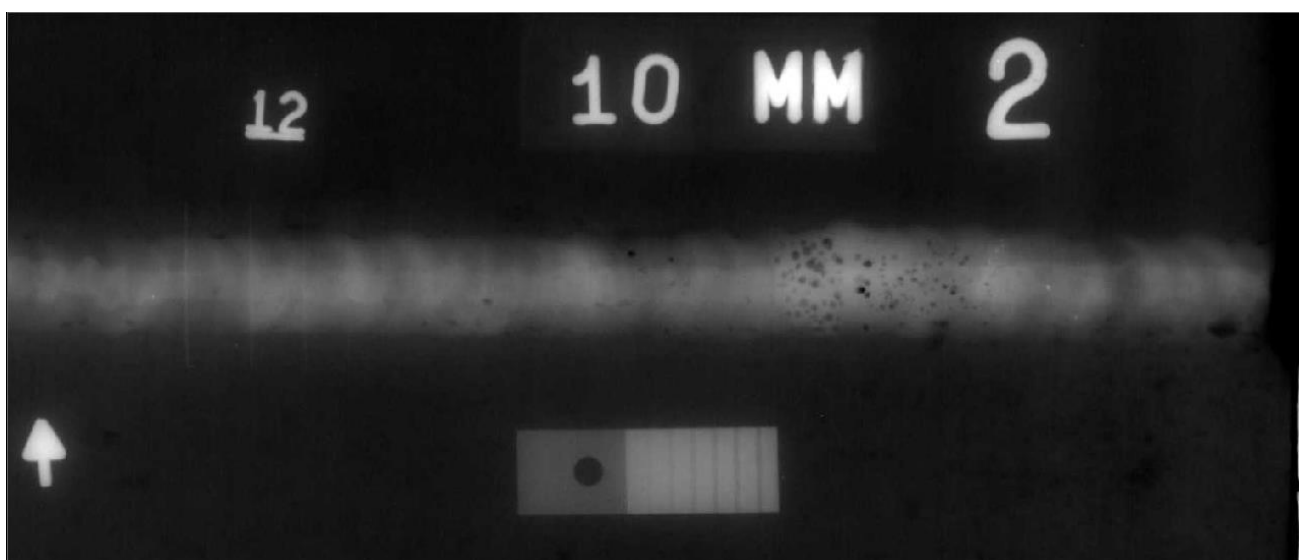


Рисунок 4.10 - Скопление пор

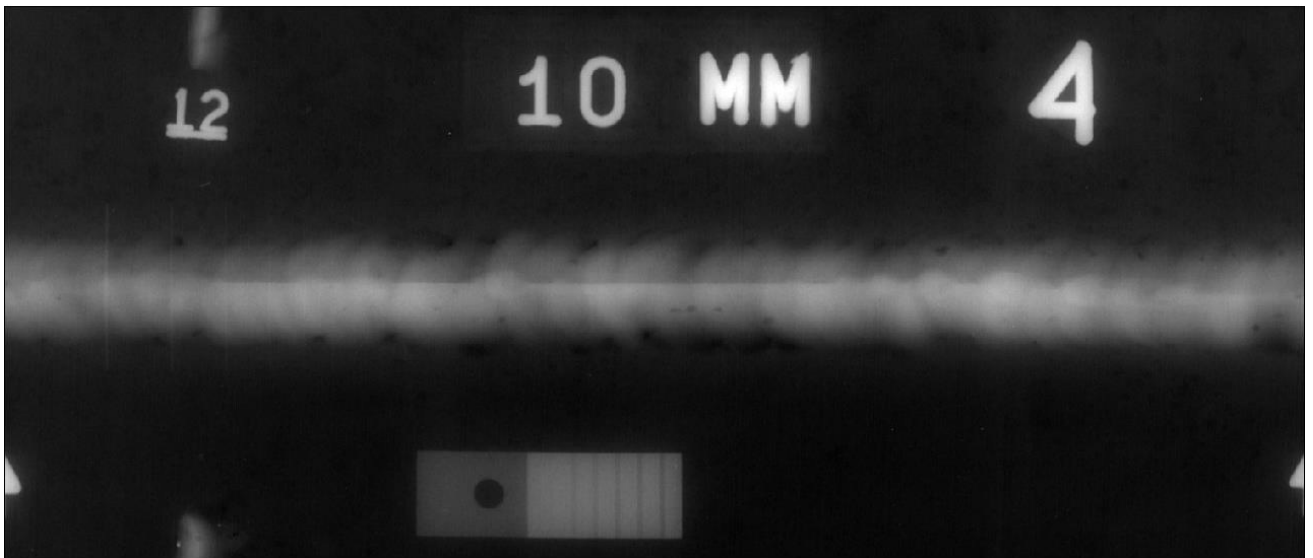


Рисунок 4.11 - Непровар

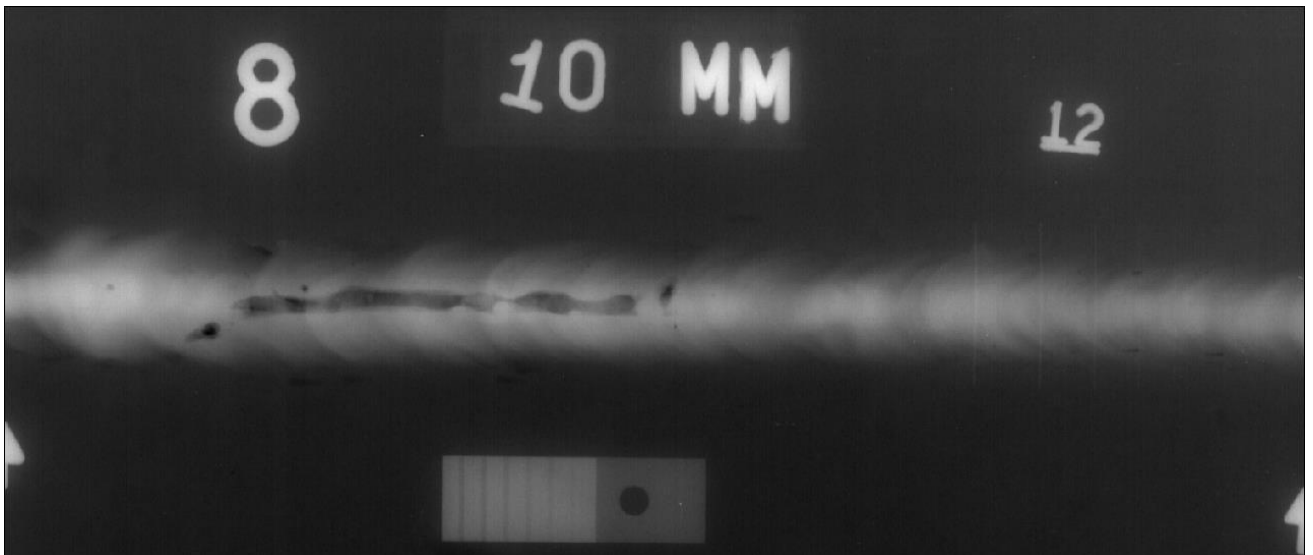


Рисунок 4.12 - Шлаковые включения

Таблица 4.6 - Обнаруженные дефекты при сравнении РД и РАД

Способ сварки	Дефекты			
	Поры, одиночные	Скопление пор	Шлаковые включения	Непровар
РД	17	5	14	8
РАД+РД	8	1	5	2

Выявленные недопустимые дефекты на данном наружном газопроводе были отмечены на сварном соединении и удалены механическим способом, при помощи угловой шлифовальной машинки (УШМ), как показано на рисунке 4.13.



Рисунок 4.13 - Механическое удаление дефекта при помощи УШМ

Углубление выборки зависит от формы, размера и протяженности недопустимого дефекта. Если не учитывать типоразмеры поврежденного металла, то это может привести к преждевременному повреждению отремонтированной части сварного соединения. Форма выборки должна иметь чашеобразную форму и охватывать ширину шва, как показано на рисунке 4.14.



Рисунок 4.14 - Форма выборки

После удаления дефекта визуально контролируется форма выборки, форма кромок выборки и отсутствие визуально наблюдаемых загрязнений.

Методом ремонта дефектного участка выбирается заварка ручной сваркой покрытым электродом. Подварочный шов выполняется электродами указанными в технологической карте LB-52U (рисунок 4.15).

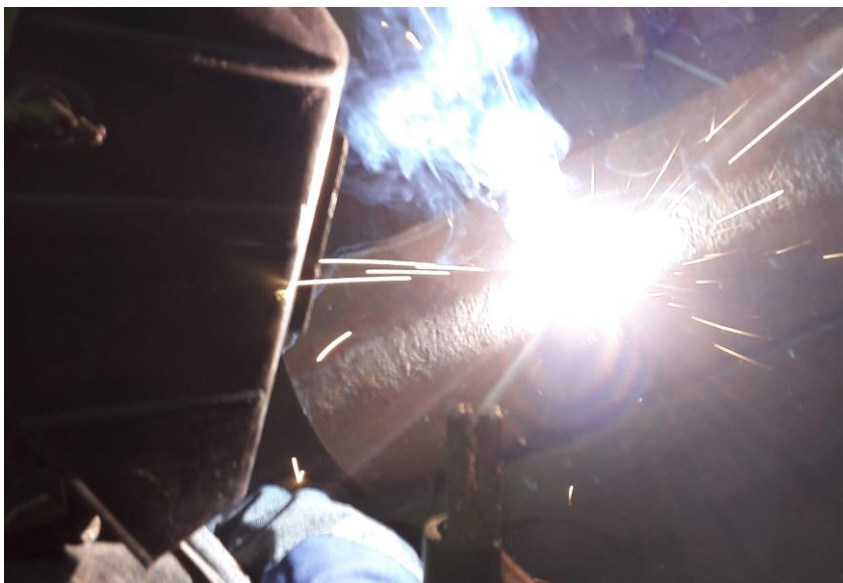


Рисунок 4.15 - Заварка выборки РДС

После заварки подварочный шов зачищается от шлака и окалины. Отремонтированный участок сварного соединения (рисунок 4.16) подлежит визуально измерительному и радиографическому контролю.



Рисунок 4.16 - Отремонтированный участок сварного соединения

Сварные соединения, в которых по результатам неразрушающего контроля выявлены трещины, непровары глубиной более 10% толщины стенки трубы, непровары свыше 25 мм на каждые 300 мм длины сварного соединения вырезаются полностью. На рисунке 4.17 показан образец вырезанного участка трубопровода с обнаруженными дефектами.

После вырезки сварного соединения концы труб заново подготавливаются к сварке. Выполняется скос кромок и притупления согласно ГОСТ 16037-80. Параметры скоса кромок и притупления контролируют с помощью универсального шаблона сварщика-3 (УШС-3).



Рисунок 4.17 - Вырезанное сварное соединение

Контроль параметров зазора при стыковке труб производится по схеме измерения показанной на рисунке 4.18.

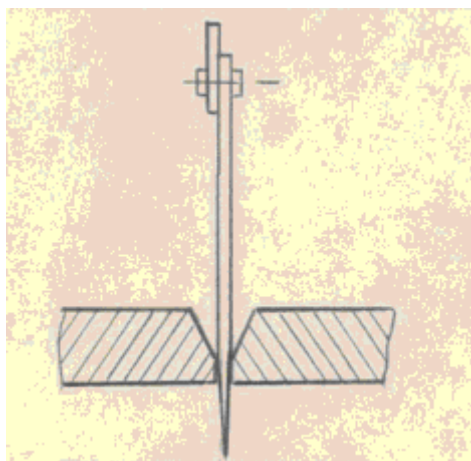


Рисунок 4.18 - Схема измерения зазора в соединении при помощи УШС-3

Для измерения размеров притупления при разделке кромок используется схема, которая приведена на рисунке 4.19.

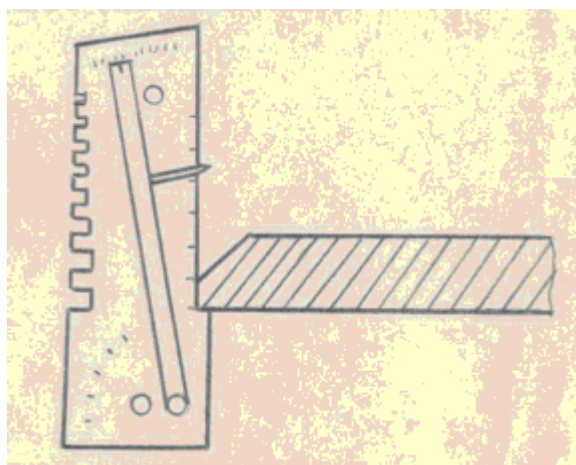


Рисунок 4.19 - Схема измерения размера притупления разделки при помощи УШС-3

При смещении наружных кромок трубопровода применяется схема измерения, которая показана на рисунке 4.20.

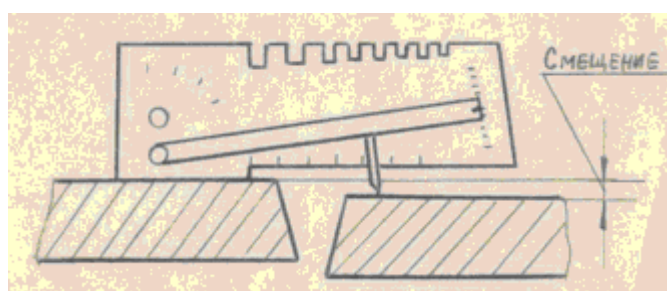


Рисунок 4.20 - Схема измерения смещения наружных кромок деталей при помощи УШС-3.

После получения акта визуального и измерительного контроля качества сварных швов в процессе сварки соединения и протокола проверки стыков газопровода радиографическим методом [10], монтажной организации разрешается производить дальнейшие мероприятия, согласно проекту, для ввода наружного газопровода в эксплуатацию.

Таким образом, этапы технологии исправления дефектов разработаны для трубы наружного газопровода $d = 159\text{мм}$ с $S = 10\text{мм}$ и выполнены на контрольных образцах и сформулированы дополнительные требования к

исправлению дефектов.. Результаты исправления дефектов и контроля качества по этапно приведены на образцах [37].

Разработаны этапы технологии исправления дефектов для наружного газопровода высокого давления трубы $d = 159\text{мм}$ с $S = 10\text{мм}$ через реку Гуца Ульяновской области. Сформулированы дополнительные требования к исправлению дефектов для этого случая. Контроль качества сварных соединений выполнены автором.

Заключение

Своевременное техническое обслуживание газопровода, профилактический ремонт газопровода - это залог его долгого, бесперебойного и надежного функционирования.

«Эксплуатация газопровода предусматривает периодическое проведение осмотров, профилактических работ и ремонта. Все эти операции необходимы в первую очередь для безопасности - своевременного выявления и устранения возможных утечек газа. Данные работы включают в себя проверку давления внутри газопроводной системы, проверку загазованности камер, колодцев, подземных сооружений, выявление и устранение закупорок, проверка и текущий ремонт труб и газовой арматуры. Техническое обслуживание газопровода имеет большое значение, так как от целостности и работоспособности трубопровода будет зависеть не только прибыль, но и экономика в целом» [26].

Классификация дефектов наружного газопровода на дефекты труб и износ металла, дефекты сварных соединений, дефекты опорных конструкций и изоляции позволяет провести их анализ в каждой группе.

Проведенный анализ дефектов, возникающих на трубопроводах, показывает, что в большинстве своем они имеют человеческий фактор. Поэтому необходимо уделять больше времени контролю качества сварных работ на всех этапах монтажа трубопровода.

Согласно проведенным исследованиям около 60% всех выявленных дефектов являются внутренними, поэтому контроль на всех этапах сборки и сварки сварного соединения позволит сократить появление дефектов внутри шва. Анализ дефектов сварных соединений, показал, что на их долю ложится 35% дефектов.

Между специалистами по неразрушающему контролю сварных соединений и специалистами, отвечающими за руководство и технический контроль при выполнении сварочных работ необходимо установить

действенную активную обратную связь. Установление такой связи является важным резервом дальнейшего повышения качества сварочных работ.

Повышенный контроль качества сварных соединений позволит не только выявлять дефекты на всех этапах монтажных работ, но и давать объективную оценку качества сварки, анализировать причины брака и предупреждать его возникновение.

Разработка технологии комбинированной сварки для наружного газопровода через реку Гуцу Ульяновской области позволяет получить меньшее количество недопустимых дефектов, поэтому использование этой технологии исправления дефектов и сварки необходимо рекомендовать к внедрению при прокладке газопроводов в особых природных и климатических зонах, а так же при пересечении дорог, железнодорожных путей и водных преград.

Технологию контроля параметров скоса кромок и притупления, а также параметров сварного соединения предлагается оформить в качестве учебного пособия при подготовке бакалавров.

Список используемых источников

1. Воробьев, В.А. Надежность существующих систем трубопроводного транспорта и пути ее повышения / В.А. Воробьев, А.Г. Гумеров, М.Х. Султанов, В.А. Гараева // Программа работы 3-го Конгресса нефтегазопромышленников России, г. Уфа, 22-25 мая 2001 г. – Уфа : Изд-во ТППРБ, 2001. – С. 33–39.
2. Сорокин, В.Г. Марочник сталей и сплавов / В.Г. Сорокин, А.В. Волосникова, С.А. Вяткин [и др.]. – М. : Машиностроение, 1989. – 640 с.
3. ГОСТ 19281-79 Прокат из стали повышенной прочности. Общие технические условия. – М. : Изд-во стандартов, 1979. – 45с.
4. ГОСТ 16037-80. Соединения сварные стальных трубопроводов . – М. : Изд-во стандартов, 1980. – 65с
5. Гафаров, Н.Н. Анализ отказов и оценка остаточного ресурса трубопроводов и оборудования ОНГКМ / Н.Н. Гафаров, А.Д. Гончаров, В.М. Кушнаренко, Ю.А. Чирков // Тез. докл. 3-й Международной конференции «Диагностика трубопроводов», г. Москва, 21-26 мая 2001 г. – М., 2001. – С. 12.
6. Анализ аварий и несчастных случаев на трубопроводном транспорте / Под ред. Б.Е. Прусенко, В.Ф. Мартынюк. – М.: Изд-во ООО «Анализ опасностей», 2003. – 231 с.
7. Потапьевский, А.Г. Сварка в защитных газах плавящимся электродом. Часть 1. Сварка в активных газах. Издание 2-е, переработанное. К.: «Екотехнология», 2007. – 192 с.
8. Потапьевский, А.Г. Сварка в защитных газах плавящимся электродом. Техника и технология будущего: монография / А.Г. Потапьевский, Ю.Н. Сараев, Д.А. Чинахов. – Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2012. – 208 с.
9. ГОСТ 7512-82 Контроль неразрушающий. Сварные соединения. Радиографический метод. - М. : Изд-во стандартов, 1982. – 35с

10. ГОСТ 03-606-03 Инструкция по визуальному и измерительному контролю. - М. : Изд-во стандартов, 2003. – 15с.
11. ГОСТ 6996-66 Методы определения механических свойств. . - М. : Изд-во стандартов, 1982. – 18 с.
12. Веревкин, А.А. Повышение эффективности сварки в CO₂ неповоротных стыков магистральных трубопроводов за счет применения импульсного питания сварочной дуги / Диссертация на соискание учёной степени кандидата наук. – Барнаул : Изд-во Томского политехнического университета, 2001. – 254с.
13. СП 62.13330.2011 Газораспределительные системы. - М. : Изд-во ЗАО «ПОЛИМЕРГАЗ», 2011. – 45с.
14. СП 42-102-2004 Проектирование и строительство газопроводов из металлических труб. – М. : Изд-во ЗАО «ПОЛИМЕРГАЗ», 2004. – 87с.
15. Бут, В.С. Развитие технологий ремонта дуговой сваркой магистральных трубопроводов в условиях эксплуатации / В.С. Бут, О.И. Олейник // Автоматическая сварка. – 2014. – № 5. – С. 42–50.
16. Акулов А.И., Бельчук Г.А., Демянцевич В.П. Технология и оборудование сварки плавлением. — М.: Машиностроение, 1977. — 431 с.
17. ГОСТ 6996-66 Методы определения механических свойств. . - М. : Изд-во стандартов, 1982. – 18 с.
18. Горина, Л. Н. Обеспечение безопасных условий труда на производстве: учебное пособие / Л. Н. Горина. – Тольятти: ТолПИ, 2000. – 68 с.
19. Егоров, А.Г. Правила оформления выпускных квалификационных работ по программам бакалавра и специалиста: учебно-методическое пособие/ А.Г. Егоров, В.Г. Виткалов, Г.Н. Уполовникова, И.А. Живоглядова □ Тольятти, 2012 . – 135с.
20. Белов, С. В. Охрана окружающей среды / С. В. Белов. – М.: Машиностроение, 1990. – 372с.

21. Брауде, М. З. Охрана труда при сварке в машиностроении / М. З. Брауде, Е. И. Воронцова, С. Я. Ландо. – М.: Машиностроение, 1978. – 144 с.
22. Манойлов, В. Е. Основы электробезопасности / В. Е. Манойлов. – Л.: Энергоатомиздат, Ленинградское отделение, 1991. – 480 с.
23. Головатюк, А.П. Интенсивность образования аэрозолей при ручной сварке модулированным током / А.П. Головатюк, В.С. Сидорук, О.Г. Левченк⁹. Ленивкин В. А., Дюргеров Н. Г., Сагиров и др. // Автоматическая сварка. – 1985. – № 2. – С. 39–40.
24. Ленивкин В. А., Дюргеров Н. Г., Сагиров Х. Н. Технологические свойства сварочной дуги в защитных газах. – М.: Машиностроение, 1989. – 264 с.
25. T. Wang, W. Xuan, X. Wang et al., “Overview of oil and gas pipeline failure database,” in Proceedings of International Conference on Pipelines and Trenchless Technology, ICPTT 2013, pp. 1161–1167, chn, October 2013.
26. Информационно-справочный сборник. Ответственность руководителя сварочных работ за качество сварных конструкций. – М.-2018 – 88 с.
27. Method for Controlling Quality of Radiographic Testing / Note: Approved 1996-10-23.
28. Kent Muhlbauer W. Pipeline Risk Management Manual: Ideas, Techniques, and Resources. 3rd Edition, Gulf Professional Publishing, 2004.
29. Non-destructive testing; image quality of radiographs; part 2: image quality indicators (step/hole type); determination of image quality value; German version EN 462-2: 1994.
30. Манойлов, В. Е. Основы электробезопасности / В. Е. Манойлов. – Л.: Энергоатомиздат, Ленинградское отделение, 1991. – 480с.
31. Сборник нормативных и методических документов САСв. Аттестация сварочных технологий. М. 2008 -287 с.

32. Хромченко, Ф.А. Сварочная технология ремонта трубопроводов. Выпуск 3, М., 2004. – 91с.

33. W. Y. Zheng, “Stress corrosion cracking of oil and gas pipelines in near neutral pH environment: Review of recent research,” Energy Materials: Materials Science and Engineering for Energy Systems, vol. 3, no. 4, pp. 220-226, 2008.

34. Давыдова, В.Г. Дефекты технологических трубопроводов: типология, оценка влияния на эксплуатацию //Промбезопасность-Приуралье, 2012. - № 8. – с 15- 17

35. Wang C. Q., Chai J. S., Niu W. W. Research on consequence assessment system of natural gas pipeline leakage accidents. Applied Mechanics and Materials, Vols. 295-298, 2013, p. 744-748.

36. Юхин, Н.А. Дефекты сварных швов и соединений М., Издательство «СОУЭЛО». с. 56.

37. Носов С.И. Дефекты наружного газопровода // Сб. материалов XIV и XV студ. науч. - техн. конф. «Сварка-пайка-обработка металлов давлением» / под ред. В.В. Ельцова, А.С.Климова. - Тольятти : Изд-во ТГУ, 2019. - С.137-138.