

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ 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)

15.03.01 Машиностроение

(код и наименование направления подготовки, специальности)

«Оборудование и технология сварочного производства»

(направленность (профиль)/специализация)

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему Технология сварки магистральных газопроводов из стали с
классом прочности K65

Студент

В.В. Большаков

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

А.С. Климов

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Консультанты

И.В. Краснопевцева

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

И.В. Дерябин

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

В.Г. Виткалов

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Допустить к защите

Заведующий кафедрой д.т.н., профессор В.В. Ельцов

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

(личная подпись)

« » 2017 г.

Тольятти 2017 г.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ 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)

УТВЕРЖДАЮ

Завкафедрой «СОМДиРП»

В.В. Ельцов

(подпись)

(И.О. Фамилия)

« ____ » _____ 20 ____ г.

ЗАДАНИЕ

на выполнение бакалаврской работы

Студент Большаков Вячеслав Викторович

1. Тема «Технология сварки магистральных газопроводов из стали с классом прочности К65»

2. Срок сдачи студентом законченной выпускной квалификационной работы 1 мая 2017г.

3. Исходные данные для выполнения выпускной квалификационной работе материалы ООО "НОВА", материалы по практикам и научно-исследовательским работам

4. Содержание выпускной квалификационной работы (перечень подлежащих разработке вопросов, разделов)

Введение (кратко описать состояние вопроса по теме работы, обосновать актуальности темы, сформулировать цель)

Раздел 1. Анализ состояния вопроса (описание трубопровода, сведения о материале изделия, базовая технология сварки, недостатки базовой технологии, критический анализ известных решений по теме, сформулировать задачи работы)

Раздел 2. Проектная технология сварки (сварочные материалы, повышение параметры режима сварки, описание операций технологического процесса сварки, повышение эффективности сварки, применяемое оборудование)

Раздел 3. Безопасность и экологичность предлагаемых решений (сформулировать опасные и вредные производственные факторы, которые сопровождают внедрение проектной технологии, предложить средства снижения воздействия этих факторов, рассмотреть вопросы пожарной и экологической безопасности технологического объекта)

Раздел 4. Экономическое обоснование предлагаемых решений (произвести расчёт экономической эффективности внедрения проектной технологии при строительстве магистральных газопроводов)

Заключение по проекту (доказать достижение поставленной цели)

Библиографический список

5. Ориентировочный перечень графического и иллюстративного материала

Изделие – 1 лист

Базовая технология сварки – 1 лист

Анализ известных решений – 1 лист

Проектная технология сварки – 2...3 листа

Экономическая эффективность – 1 лист

6. Консультанты по разделам

Нормоконтроль: В.В. Виткалов

«Экономическая эффективность»: И.В. Краснопевцева

«Безопасность и экологичность»: И.В. Дерябин

7. Дата выдачи задания «13» февраля 2017 г.

Заказчик (указывается должность, место работы

Ученая степень, ученое звание) _____

Руководитель выпускной
квалификационной работы

(подпись)

А.С. Климов

(И.О. Фамилия)

Задание принял к исполнению

(подпись)

В.В. Большаков

(И.О. Фамилия)

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ 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)

УТВЕРЖДАЮ

Завкафедрой «СОМДиРП»

В.В. Ельцов

(подпись)

(И.О. Фамилия)

« ____ » _____ 20 ____ г.

**КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН
выполнения бакалаврской работы**

Студента Большаков Вячеслав Викторович

по теме: «Технология сварки магистральных газопроводов из стали с
классом прочности K65»

Наименование раздела работы	Плановый срок выполнения раздела	Фактический срок выполнения раздела	Отметка о выполнении	Подпись руководителя
1. Характеристика изделия, принцип действия, условия эксплуатации, требования к сварным соединениям	16.01.17 – 30.01.17	30.01.17	выполнено	
2. Анализ технологии, сварочного и технологического оборудования, применяемого для выполнения сварных швов при изготовлении изделия	01.02.17 – 28.02.17	28.02.17	выполнено	
3. Анализ известных технических решений по теме	01.03.17 – 30.03.17	30.03.17	выполнено	
4. Выбор сварочных материалов, оборудования и назначение параметров режима сварки.	01.04.17 - 14.04.17	14.04.17	выполнено	
5. Разработка проектной технологии и технологической карты	15.04.17 30.04.17	30.04.17	выполнено	
6. Безопасность и экологичность проекта	01.05.17 – 14.05.17	14.05.17	выполнено	
7 Технико-экономическое обоснование проекта	15.05.17 – 21.05.17	21.05.17	выполнено	

Руководитель выпускной
квалификационной работы

А.С. Климов

(подпись)

(И.О. Фамилия)

Задание принял к исполнению

В.В. Большаков

(подпись)

(И.О. Фамилия)

АННОТАЦИЯ

Основным элементом магистрального газопровода, который определяет надёжность его эксплуатации, являются сварные соединения труб. В целях обеспечения прочности и надёжности сварных соединений при строительстве магистральных газопроводов необходимо модернизировать технологию их строительства, в первую очередь сварку кольцевых стыков труб.

В работе поставлена цель – повышение эффективности операции сварки при строительстве магистральных газопроводов из стали классом прочности K65.

В ходе выполнения работы решены следующие задачи:

- 1) Проведение анализа возможных способов сварки и выбор наиболее производительного способа, который следует оптимизировать под особенности сварки рассматриваемого газопровода;
- 2) Разработка технологического процесса сборки и сварки газопровода;
- 3) Выявление опасных и вредных факторов технологии, предложение мер защиты персонала от них;
- 4) Экономическое обоснование эффективности внедрения проектной технологии в производство.

Годовой экономический эффект с учетом дополнительных капитальных вложений составит 6040235 руб. Дополнительные капитальные вложения в размере 177590 руб. окупятся за 0,53 года.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	7
1 АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ВОПРОСА	
1.1 Описание трубопровода и соединений труб	10
1.2 Сведения о материале изделия	12
1.3 Описание базовой технологии сварки	17
1.4 Формулировка задач выпускной квалификационной работы	22
2 ПРОЕКТНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ СВАРКИ ГАЗОПРОВОДА	
2.1 Выбор способа сварки	23
2.2 Подготовка труб	30
2.3. Сварка стыка труб	31
2.4 Контроль качества сварки	38
3 БЕЗОПАСНОСТЬ И ЭКОЛОГИЧНОСТЬ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА	
3.1 Технологическая характеристика объекта	40
3.2 Персональные риски при осуществлении проектной технологии	41
3.3 Методы и средства снижения профессиональных рисков	42
3.4 Пожарная безопасность технологического объекта	43
3.5 Экологическая безопасность технологического объекта	45
3.6 Заключение по экологическому разделу	46
4 ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОЕКТНОЙ ТЕХНОЛОГИИ	
4.1 Исходные данные для экономического расчёта	47
4.2 Расчёт фонда времени работы оборудования	49
4.3 Годовая программа и коэффициент загрузки оборудования	50
4.4 Заводская себестоимость сравниваемых вариантов сварки	51
4.4 Капитальные затраты на сварку	55
4.7 Расчёт показателей экономической эффективности проектной технологии сварки	57
4.8 Выводы по экономическому разделу	58
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	59
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	60

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время добывающие компании разрабатывают месторождения в различных климатических зонах России. В связи с этим появляется необходимость транспортировки углеводородов из удаленных регионов, в том числе с такими грунтами, как слабонесущие, вечномёрзлые и пучинистые. Сейчас реализуются проекты по строительству протяженных трубопроводов в глубоководных акваториях и сейсмоопасных районах. Из-за этого становится необходимым повышать рабочие давления в трубопроводах. Это в свою очередь приводит к необходимости повышения качества и производительности сварочных операций при устройстве магистральных газопроводов, выполняемых сейчас с использованием электросварных высокопрочных труб большого диаметра с увеличенными толщинами стенок. К таким соединениям и конструкциям начинает предъявляться целый ряд специфических требований по деформационной способности, коррозионной стойкости, стойкости к протяженным разрушениям и др. [1]. Усложнение условий эксплуатации магистральных трубопроводов предопределяет рост требований к трубной продукции [2, 3, 4].

Необходимость минимизации рисков протяженных разрушений, возникающих при одновременном увеличении двух ключевых параметров газопровода (рабочего давления и категории прочности труб), приводит к необходимости создания труб с качественно новыми служебными характеристиками, внедрению инновационных решений в технологии сварки, строительства и эксплуатации.

Одной из сложных и интересных задач при строительстве трубопроводов из современных высокопрочных сталей является обеспечение высоких механических характеристик сварного соединения труб. Для получения сварного соединения необходимого качества, обладающего необходимыми прочностными и пластическими свойствами, требуется применение современных сварочных технологий и материалов.

За последнее время выполнен большой объем исследовательских работ, посвященных повышению механических характеристик сварных соединений труб, класса прочности применяемого проката, разработке сталей с высокой деформируемостью при строительстве магистральных трубопроводов в сейсмически опасных зонах и зонах вечной мерзлоты [5, 6, 7, 8].

Принятая стратегия развития энергетического сектора экономики Российской Федерации в качестве основного направления научно-технической политики выделяет освоение новых газовых месторождений с использованием строительства магистральных газопроводов нового поколения диаметром 1420 мм с рабочим давлением до 11,8 МПа с применением высокопрочных сталей класса прочности K65 [13]. Это направление в развитии строительства магистральных трубопроводов позволяет получить следующие преимущества [8]:

- снизить металлоемкость газопроводов благодаря уменьшению толщины стенки трубы;
- снизить объемы сварочных, строительно-монтажных и транспортных работ;
- повысить пропускную способность и увеличить расстояние между компрессорными станциями;
- снизить эксплуатационные расходы и энергоемкость транспортировки газа.

Основным элементом магистрального газопровода, который определяет надёжность его эксплуатации, являются сварные соединения труб. В целях обеспечения прочности и надежности сварных соединений при строительстве магистральных газопроводов необходимо модернизировать технологию их строительства, в первую очередь сварку кольцевых стыков труб.

Функционирование сварочного производства в Российской Федерации законодательно регулируется и подвергается комплексной оценке согласно Федеральному закону о промышленной безопасности опасных производственных объектов. Эту оценку проводят и регулируют структуры Национального агентства контроля и сварки (НАКС), используя требования

руководящих и методических документов системы аттестации сварочного производства (САСв). Создание САСв обеспечено работами Н. П. Алешина, В. Ф. Лукьянова, А. И. Прилуцкого, А. Н. Жабина, Е. М. Вышемирского, С. А. Курланова, С. В. Головина, Н. Г. Блехерова и др.

В процессе комплексной оценки сварочного производства организаций, принимающих участие при строительстве магистральных газопроводов, устанавливают соответствие свойств сварных соединений принятым национальным и отраслевым нормативным стандартам.

Обеспечение необходимых характеристик сварных соединений при сварке толстостенных труб большого диаметра является сложной задачей, что объясняется причинами: низкие скорости охлаждения в зоне термического влияния при сварке и образование гетерогенной структуры. Металл сварного соединения (представляет собой металл шва и металл в зоне термического влияния) при строительстве магистральных трубопроводов большого диаметра должен обладать: повышенной ударной вязкостью при отрицательных температурах и сопротивлением хрупкому разрушению; отсутствием «холодных» и «горячих» трещин; равнопрочностью с основным металлом; регламентируемой деформируемостью; отсутствием несплошностей и других недопустимых дефектов [4, 9, 10, 11].

Таким образом, актуальна цель выпускной квалификационной работы – повышение эффективности операции сварки при строительстве магистральных газопроводов из стали классом прочности K65.

1 АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ВОПРОСА

1.1 Описание трубопровода и соединений труб

Магистральные газопроводы «Бованенково-Ухта» и «Ухта-Торжок» являются составляющими частями проекта «Ямал». Они представляют собой многониточную газотранспортную систему, транспортирующую газ из месторождений полуострова Ямал в центральные районы России. В настоящее время на полуострове Ямал «Газпром» формирует центр добычи, который станет основой для российской газовой промышленности.

Протяжённость ниток «Бованенково-Ухта», «Бованенково-Ухта 2» и «Ухта-Торжок» составляет порядка 1400 км каждая. Отличительные особенности этой территории – холодная длинная зима и прохладное короткое лето, сильные ветра. Кроме того, Ямал сильно заболочен, а его почва скована многолетней мерзлотой. Поэтому строительство газопровода ведется в крайне сложных природно-климатических условиях. Средние температуры здесь в январе составляют от -23 до -27 градусов, в июле от $+3$ до $+9$. Абсолютный минимум температуры на побережье Байдарацкой и Обской губ -58 градусов. В целом зима на Ямале длится около восьми месяцев.

При строительстве газопровода на сухопутных участках используются трубы диаметром 1420 мм, рассчитанные на рабочее давление 120 атм. Впервые в мировой практике в таком большом объеме (свыше 1500 км) при строительстве применены трубы класса прочности K65 (X80). Это позволило снизить металлоемкость проекта примерно на 12%. Так, труба диаметром 1420 мм из стали K60 весит 15,2 тонн, а из стали K65 – только 13,5 тонн, что облегчает строительно-монтажные работы и затраты на перевозку.

Кроме того, за счет такого технологического подхода удалось более, чем в два раза повысить пропускную способность газопровода.

Решение об увеличении объемов строительства с использованием труб из стали класса прочности К65 было принято после проведения расширенных испытаний, в том числе полигонных.



Рисунок 1.1 – Сварка стыка газопровода «Бованенково-Ухта»

Первая нитка газопровода «Бованенково-Ухта» была введена в эксплуатацию в октябре 2012 года.

В настоящее время продолжается строительство второй нитки и восьми компрессорных станций. Полностью завершено строительство системы магистральных газопроводов будет в 2018 году.

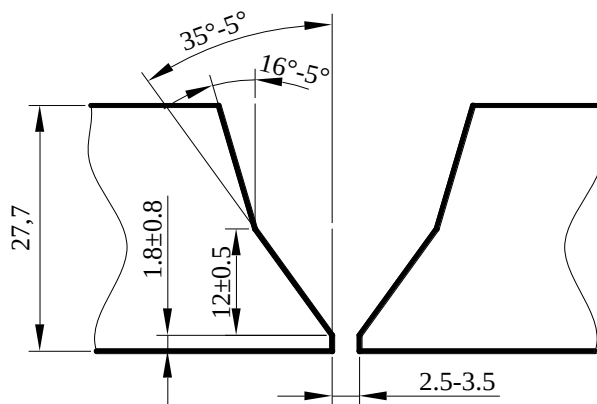


Рисунок 1.2 – Эскиз подготовленных кромок труб

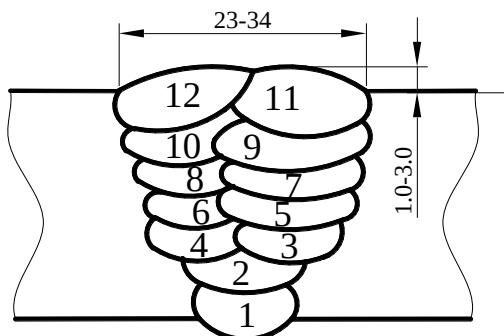


Рисунок 1.3 – Эскиз сварного шва: мин. кол-во слоев -7, мин. 2 прохода

1.2 Сведения о материале изделия

При производстве труб применяется бейнитная, феррито-бейнитная сталь класса прочности K65 (X80). Трубы снаружи имеют антикоррозийное полиэтиленовое покрытие, внутри трубы имеют гладкостное эпоксидное покрытие.

Таблица 1.1 – Химический состав трубных сталей класса прочности K65 [4]

Содержание элемента, %	Марка стали		
	AP1X80	AP1X100	E550
Углерод (C)	0,07	0,07	0,096
Кремний (Si)	0,27	0,20	0,40
Марганец (Mn)	1,86	1,90	1,94
Фосфор (P)	0,015	0,015	0,018
Сера (S)	0,001	0,001	0,001
Алюминий (Al)	0,036	0,00	0,038
Молибден (Mo)	0,15	0,30	0,01
Ванадий (V)	0,00	0,00	0,00
Ниобий (Nb)	0,04	0,05	0,043
Титан (Ti)	0,023	0,015	0,017
Азот (N)	0,0057	0,00	0,004
Никель (Ni)	0,00	0,20	0,00

Для сварного соединения высокопрочных низколегированных трубных сталей самое низкое значение ударной вязкости наблюдается в зоне термического влияния основного металла, который соприкасается с расплавленным металлом сварного шва. Это происходит вследствие существенного огрубления микроструктуры и роста зерна в результате перегрева металла [4, 14, 15].

На основании изученных работ [9, 10, 16] можно кратко сформулировать влияние каждого элемента на свойства трубных сталей при сварке.

Углерод является эффективным элементом, увеличивающим прочностные свойства металла. Рост содержания углерода приводит к росту прочностных свойств и твердости основного металла, повышению прокаливаемости, что ведет также к увеличению твердости и снижению ударной вязкости в зоне термического влияния. Установлены границы предпочтительного содержания углерода в трубных сталях – 0,03...0,12 %.

Кремний является эффективным раскисляющим элементом повышающим прочность стали при упрочнении твердого раствора. Раскисление является недостаточным при содержании Si менее 0,05 %. Если же содержание Si более 0,5 %, в зоне термического влияния образуется большое количество мартенситно-аустенитной составляющей, что приводит к заметному снижению ударной вязкости и резкому ухудшению механических свойств.

Марганец позволяет увеличить прочностные свойства и ударную вязкость стального проката. Исследования показали, что упрочняющее действие наблюдается при содержании марганца не менее 1,5 %. Однако, если содержание марганца более 2,2 %, наблюдается резкое снижение ударной вязкости.

Алюминий, также как кремний, является раскисляющим элементом. Достаточный эффект раскисления проявляется при содержании алюминия не менее 0,01 %, но при его содержании более 0,08 % может ухудшиться чистота стали, и таким образом, снизиться вязкость.

Молибден улучшает прокаливаемость и повышает прочность, но он крайне отрицательно влияет на ударную вязкость при низкой температуре в зоне термического влияния. Однако присутствие молибдена в достаточно малом количестве (не более 0,02 %) существенно не ухудшает ударной вязкости при низких температурах.

Ванадий является легирующим элементом, формирующим карбонитрид, в результате чего происходит дисперсионное твердение и как следствие предотвращение разупрочнения зоны термического влияния. Этот эффект наблюдается при содержании ванадия более 0,01 %, но при содержании V более 0,1 % происходит значительное дисперсионное твердение и снижения уровня ударной вязкости.

Ниобий за счет дисперсионного упрочнения повышает прочность проката. Установлено, что с повышением содержания ниобия в микролегированной стали размер ферритного зерна уменьшается, а доля бейнитной составляющей повышается. Однако содержание ниобия в стали ограничивается в пределах от 0,01 до 0,08 % в связи с тем, что ниобий в твердом растворе вызывает резкое ухудшение ударной вязкости в зоне термического влияния из-за высокой прокаливаемости.

Титан способствует формированию соединения TiN, благодаря чему снижается количество азота, растворенного в стали. Введение титана предотвращает огрубление зерен аустенита, что улучшает вязкость основного металла и зоны термического влияния. Для достижения положительного эффекта требуется содержание Ti более 0,0005 %, однако при содержании Ti более 0,024 % происходит формирование карбида, что существенно снижает вязкость металла. Таким образом, содержание титана устанавливают в диапазоне от 0,0005 до 0,024 %.

Никель в количестве 0,1 % и более повышает прокаливаемость стали. Исследования показали, что добавка Ni в большом количестве не снижает вязкость, а напротив, эффективно ее повышает, однако указанный эффект стабилизируется при содержании Ni более 3,0 %. Стоит также отметить, что Ni является дорогостоящим элементом, поэтому он имеет ограниченное применение.

Азот присутствует в стали как неизбежная примесь, он проявляет эффект увеличения высокотемпературной прочности путем образования нитридов с титаном, ванадием и другими подобными элементами. При этом,

если содержание азота превышает 0,0070 %, он образует карбонитриды с ниобием, ванадием и титаном, снижает ударную вязкость основного металла и зоны термического влияния.

Таблица 1.2 – Механические свойства трубных сталей класса прочности K65 [4]

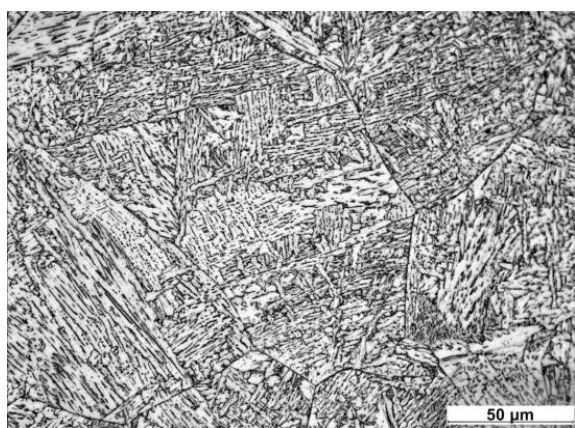
Содержание элемента, %,	Марка стали		
	AP1X80	AP1X100	E550
Предел текучести, МПа	559	740	612±18
Предел прочности, МПа	685	795	730±19
Относительное удлинение %	20	18,5	22±1
Ударная вязкость, КСv, Дж/см ²	187±40 при -20°C	235 при -20°C	224 при -20°C

Сталь K65 хорошо сваривается всеми способами сварки. В этой стали упрочнение осуществляется повышенным содержанием ниобия (а не титана, как у аналогов), поэтому при строительстве трубопроводов эффективны будут не только дуговые методы сварки, но и стыковая контактная сварка оплавлением. Содержание титана в сталях класса K65 не превышает стехиометрического отношения к азоту. При сварке этих сталей следует учесть, что в зоне термического влияния происходит заметное разупрочнение, снижение показателей ударной вязкости. Однако следует учесть, что величину этого снижения часто можно игнорировать вследствие её малого влияния на надёжность соединения, значение которой лежит в допустимых пределах [7].

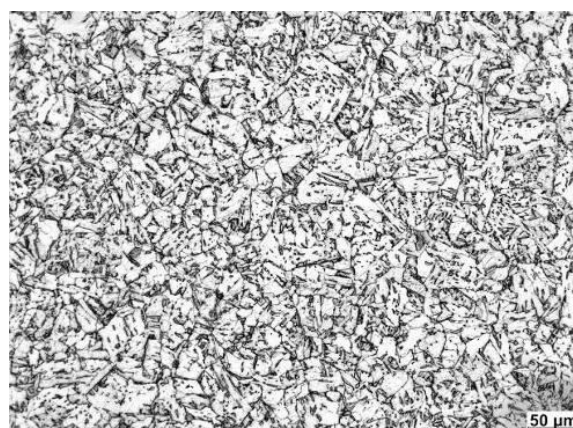
Проведённые исследования труб из стали K65 [7] показали, что основной металл сварной шов, механические свойства сварного соединения, результаты неразрушающего контроля и гидравлических испытаний соответствуют требованиям ОАО «Газпром» к трубам для газопроводов с давлением 11,8 МПа.

Проведённые на дилатометре имитации фазовых превращений

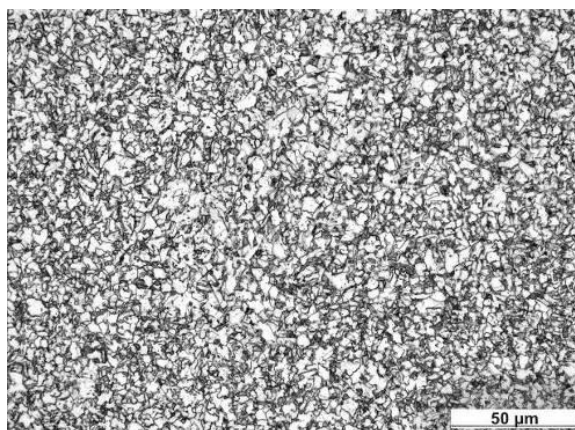
позволили установить, что на участке с максимальной температурой нагрева 1350 °С наблюдается образование крупных зёрен бейнита (рис. 1.4а). На участке с максимальной температурой нагрева 1100 °С происходит полная перекристаллизация с образованием бейнитной структуры (рис. 1.4б). На участках с максимальным нагревом до температуры 900 °С происходит полная перекристаллизация зоны термического влияния с образованием феррита и участков гранулярного бейнита (рис. 1.4в). При нагреве образцов до температуры 850 °С происходит частичная перекристаллизация с образованием бейнита с аустенито-мартенситными участками (рис. 1.4г).



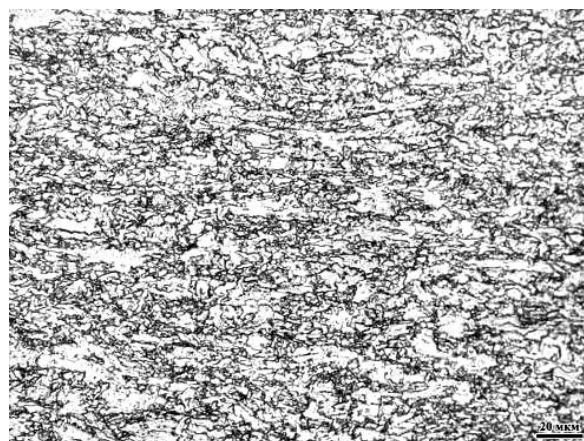
$T_{\max}=1350\text{ }^{\circ}\text{C}$



$T_{\max}=1110\text{ }^{\circ}\text{C}$



$T_{\max}=900\text{ }^{\circ}\text{C}$



$T_{\max}=800\text{ }^{\circ}\text{C}$

Рисунок 1.4 – Образцы микроструктуры стали К65 в зоне термического влияния при сварке [7]

1.3 Описание базовой технологии сварки

Сборка и сварка стыков труб предусматривает следующую последовательность технологических операций.

Разметка и подготовка кромок

Предварительно необходимо произвести осмотр кромок труб, а также наружных и внутренних поверхностей торцов труб.

Шлифованием на неизолированной поверхности концов труб на расстоянии не менее 40 мм от их торцов производят устранение наружных дефектов (царапин, рисок, задигов), которые имеют глубину более 0,4 мм и протяжённость более 150 мм, а также глубину более 0,2 мм любой протяжённости. Толщина стенки на концах трубы после механической обработки не должна быть менее допустимого значения (минимальная толщина стенки концов труб 26,7 мм).

Если концы труб имеют забоины, задиры фасок, а так же поверхностные дефекты (царапины, риски, задиры) глубиной, превышающей минусовой допуска на толщину стенки трубы, любые вмятины, закаты и расслоения на расстоянии менее 40 мм от торцов, то такие дефекты исправлению не подлежат. Поврежденный участок трубы обрезают механизированной орбитальной газовой резкой, далее осуществляют разделку кромок специализированным станком типа СПК. В этом случае металл резанных кромок удаляют на глубину не менее 1,0 мм.

Запрещено производить ремонт сваркой любых повреждений поверхности труб, забоин, задигов, а также правка вмятин на концах труб.

После проведения вырезки дефектных участков на конце трубы, а также после резки труб, необходимо выявить возможные расслоения путём проведения ультразвукового контроля по всему периметру участка трубы на ширине не менее 40 мм от резаного торца. Если обнаружены расслоения, торец трубы необходимо отрезать на расстоянии не менее 300 мм и произвести повторный ультразвуковой контроль.

Производят сошлифовывание усиления заводского шва снаружи трубы до значений 0,5...1,0 мм на расстоянии порядка 10...15 мм от торца трубы.

Производят зачистку свариваемых кромок труб и прилегающей к ним внутренней и наружной поверхности по ширине не менее 15 мм до чистого металла механическим способом. При этом используют шлифмашинку и дисковую проволочную щетку. Следует остерегаться нарушения внутреннего гладкостного покрытия.

Сборка и прихватка

При помощи трубоукладчиков приподнимают незащемлённую плеть трубопровода. Производят пристыкование катушки к трубопроводу. Производят установку страховочной опоры

Катушку с трубопроводом собирают с использованием наружного центратора. Конструкция центратора и характер его установки не должны оставлять дефектов и различных загрязнений (масляные пятна, риски, царапины и пр.) на поверхности свариваемых труб.

При сборке выставляют зазор величиной 2,5...3,5 мм

В местах установки прихваток выполняют предварительный подогрев с применением однопламенных горелок.

Далее выполняют прихватки в количестве не менее четырёх штук, длина прихватки от 100 до 200 мм, прихватки равномерно располагают по периметру сварного соединения. Марка электродов и параметры режима сварки должны соответствовать заданным по технологической карте параметрам сварки для корневого слоя. Прихватки необходимо располагать на расстоянии не менее 100 мм от заводского сварного шва.

После выполнения прихваток проводят контроль смещения кромок на сварном соединении. Смещение кромок должно равномерно распределяться по всему периметру стыка труб. Максимально допустимая величина наружного смещения кромок составляет 2,0 мм. Допустимы локальные смещения кромок до 3,0 мм, при условии, что их суммарная протяженность не превышает 743 мм.

Предварительный подогрев

Предварительный подогрев свариваемых кромок осуществляют при помощи установки индукционного нагрева. Температура предварительного нагрева $+100^{+30}\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Подогрев кромок свариваемых соединений регулируется с помощью термодатчика, устанавливаемого в зените на расстоянии не более 25 мм от края предполагаемого сварного шва. Подогрев должен быть равномерным по толщине стенки и периметру стыка в зоне шириной не менее 150 мм (не менее 75 мм в каждую сторону от свариваемых кромок).

Допустимо применение кольцевых газопламенных горелок заводского изготовления случае прекращения энергоснабжения или если вышла из строя установка индукционного нагрева.

Температуру подогрева замеряют на наружной поверхности в местах, которые равномерно расположены в каждой четверти трубы по периметру на расстоянии 10...15 мм и 60...75 мм в обе стороны от свариваемых кромок. Перед контролем температуры подогрева должен быть выдержан временной интервал не менее 2,2 мин.

Сварка корневого слоя шва

Выполняют сварку корневого слоя шва. В процессе сварки необходимо поддерживать температуру на кромках труб, которая перед сваркой корня шва не должна быть ниже, чем температура предварительного подогрева – $+100^{+30}\text{ }^{\circ}\text{C}$. Если произошло снижение температуры свариваемых кромок на величину до 20°C ниже, чем регламентированное значение, равное $+100^{\circ}\text{C}$, выполняют подогрев с применением однопламенных газовых горелок.

При сварке корневого слоя шва необходимо удалять прихватки с применением шлифмашинки.

Освобождение стягивающих механизмов центриатора разрешается производить после выполнения 60 % периметра стыка при сварке корневого слоя шва. При этом к участкам шва предъявляется требование по

равномерному расположению по периметру стыка труб. Начало и конец каждого участка шва необходимо обрабатывать механическим способом с применением шлифмашинки.

Возбуждение сварочной дуги должно происходить только на поверхности разделки кромок соединения. Запрещается зажигание дуги на поверхности труб.

Сварка заполняющих и облицовочного слоёв шва

Между окончанием сварки внутреннего (корневого) слоя и началом заполняющего слоя должно проходить не более 10 мин. Если этот интервал времени был превышен, необходимо выполнение подогрева сварного соединения до температур $+100...130\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Начало и конец шва при сварке каждого слоя сварного шва следует смещать на расстояние не менее 100 мм от заводских швов на трубах.

Начало и конец шва при сварке каждого последующего слоя необходимо смещать относительно начала и конца шва от сварки предыдущего слоя. Смещение начала шва должно производиться на расстояние не менее 30 мм, а смещение конца шва должно производиться на расстояние не менее 70 мм. При осуществлении многопроходной сварки начало и конец сварных швов от соседних проходов необходимо смещать на расстояние не менее 30 мм.

Выполнение сварки заполняющих и облицовочного слоев шва производят снизу вверх. При выполнении заполняющих слоёв, начиная со второго прохода, необходимо каждый слой выполнять за два прохода. При сварке облицовочного слоя его выполняют за два или три прохода, обеспечивая перекрытие смежных валиков на $1/3$. Количество проходов при сварке облицовочного слоя зависит от ширины раскрытия кромок. Межслойная температура должна составлять не менее $+50^{\circ}\text{C}$ и не более $+250^{\circ}\text{C}$. Если межслойная температура снизилась ниже $+50^{\circ}\text{C}$, необходимо выполнить подогрев соединения при помощи кольцевых газовых горелок до температуры $60...90\text{ }^{\circ}\text{C}$.

При выполнении облицовочного слоя необходимо получить перекрытие основного металла в каждую сторону от шва на 1,5...2,5 мм. Облицовочный слой должен иметь плавный переход шва к основному металлу и иметь высоту усиления 1...3 мм;

При сварке следует послойную зачищать швы от шлака и брызг.

После выполнения сварки необходимо выполнение зачистки механическим способом и шлифмашинками на участках облицовочного слоя шва, с грубой чешуйчатостью. Для чешуйчатости шва превышение гребня над впадиной должно составлять не более 1,0 мм, превышение усиления шва не должно составлять более 3,0 мм. Необходимо добиваться получения плавного перехода от усиления к основному металлу.

Выполняют зачистку механическим способом поверхностей труб, при этом применяют шлифмашинки с дисковой проволочной щеткой. От шлака и брызг металла зачищаются поверхности труб, которые прилегают к облицовочному слою на расстоянии не менее 10 мм..

После сварки накрывают сварное соединение, если температура воздуха ниже +5°C или выпадают осадки. Покрытие шва выполняют с применением влагонепроницаемого теплоизолирующего пояса и выдерживают до полного остывания соединения.

Таблица 1.3 – Параметры режимов сварки

Сварочные слои	Марка электрода	Диаметр, мм	Полярность	Сварочный ток, А
Корневой	LB-62U	3.2	обратная	80-120
Заполняющие	Pipelinер 19P	3.2	обратная	80-120
Облицовочный	Pipelinер 19P	3.2	обратная	80-120

В процессе сварки необходимо осуществление пооперационного внешнего осмотра, проверка качества при выполнении каждого слоя шва. Все видимые поверхностные дефекты, в том числе трещины в кратерах,

необходимо устранять по мере их обнаружения. Пооперационный внешний осмотр необходимо проводить с участием непосредственного руководителя сварочных работ (мастер, прораб), который должен являться специалистом сварочного производства не ниже Второго уровня профессиональной подготовки в соответствии с требованиями ПБ 03-273-99.

Применяемые сварочные материалы

- при сварке корневого слоя шва применяются электроды марки LB-62U класса E9016-G по AWS 5.5 (Kobe Steel, Ltd., Япония)
- при сварке заполняющих и облицовочного слоёв шва применяются электроды марки Pipeliner 19P класса E10018-D2 H4R по AWS 5.5 «The Lincoln Electric Company», США)

1.4 Формулировка задач выпускной квалификационной работы

Базовая технология сварки с применением ручной дуговой сварки обладает следующими недостатками:

- 1) Большим числом дефектов;
- 2) Тяжёлыми условиями труда сварщиков;
- 3) Малой производительностью процесса сварки.

Достижение поставленной цели будет произведено путём устранения этих недостатков благодаря решению следующих задач:

- 1) Проведение анализа возможных способов сварки и выбор наиболее производительного способа, который следует оптимизировать под особенности сварки рассматриваемого газопровода;
- 2) Разработка технологического процесса сборки и сварки газопровода;
- 3) Выявление опасных и вредных факторов технологии, предложение мер защиты персонала от них;
- 4) Экономическое обоснование эффективности внедрения проектной технологии в производство.

2 ПРОЕКТНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ СВАРКИ ГАЗОПРОВОДА

2.1 Выбор способа сварки

Длительное время при строительстве магистральных трубопроводов применялась ручная дуговая сварка штучными электродами (рис. 2.1), которая и сейчас продолжает достаточно широко применяться. Этот способ сварки рекомендован для выполнения всех слоев шва неповоротных кольцевых стыковых стыков труб диаметром до 1420 мм.

В числе преимуществ ручной дуговой сварки можно отметить:

- 1) получение равномерного плавления металла электрода и обмазки, которое обеспечивает качественную шлаковую защиту сварного шва;
- 2) путём применения легированных электродов можно осуществлять легирование металла шва [18, 19].

В числе недостатков ручной дуговой сварки можно отметить:

- 1) применение низкопроизводительного ручного труда;
- 2) необходимость в частой смене электрода и прерывании процесса сварки;
- 3) отсутствие возможностей для механизации и автоматизации процесса;
- 4) появление большого количества дефектов в шве.

Применение механизированной сварки в защитных газах проволокой сплошного сечения (рис. 2.2) рекомендовано при выполнении корневого слоя шва при сварке неповоротных стыков. Она эффективно применяется на трубопроводах, имеющих одинаковую толщину стенки труб, равную 6,0...32,0 мм, и диаметр 325...1420 мм.

Механизированная сварка неповоротных стыков труб производится с использованием комбинированной технологии сварки. Такая технология предусматривает сварку корневого слоя шва проволокой сплошного сечения в среде углекислого газа, сварку заполняющих и облицовочного слоев шва с применением самозащитной порошковой проволоки..

В качестве преимуществ механизированной сварки в активных газах можно отметить:

- 1) хорошую газовую защиту сварочной ванны и металла шва;
- 2) относительную простоту и приемлемую цену сварочного оборудования;
- 3) высокую производительность сварки [20, 21].

В качестве недостатков сварки в среде активных газов плавящимся электродом можно отметить:

- 1) необходимость в оснащении сварочного оборудования механизмом подачи проволоки;
- 2) неравномерность подачи сварочной проволоки, которая может отрицательно влиять на качество сварки;
- 3) необходимость применения газовых баллонов;
- 4) увеличенное разбрызгивание металла при переходе на форсированные режимы сварки.



Рисунок 2.1 – Схема сварочного поста для ручной дуговой сварки покрытыми электродами



Рисунок 2.2 – Схема сварочного поста для механизированной сварки в среде защитного газа

Применение механизированной сварки самозащитной порошковой проволокой (рис. 2.3) рекомендуется при выполнении заполняющих и облицовочного слоев шва соединений труб при толщине стенки от 6,0 до 22,0 мм и диаметре трубы от 325 до 1420 мм.

В качестве преимуществ сварки с использованием самозащитной проволоки отметим следующее.

1. Повышается эффективность использования рабочего времени. При сварке нет необходимости замены штучных электродов. При выполнении ручной дуговой сварки с применением покрытых электродов сварщику необходимо периодически приостановить работу в том случае, если неудобным становится положение сварщика или достигнуто физическое окончание шва. В процессе сварки с применением самозащитной проволоки такого не происходит. Из этого проистекают два существенных преимущества: первое заключается в заметном увеличении времени горения дуги и его доли в общем времени выполнения работ; второе преимущество заключается в устранении значительного числа дефектов, получающихся

при возобновлении сварки. В процессе механизированной сварки самозащитной проволокой сварщик выполняет один непрерывный шов вместо нескольких коротких. Происходит практически полное устранение затрат на ремонт дефектов шва.

2. Время зачистки сварных швов снижается на 50 %. Сварка с применением самозащитной порошковой проволоки происходит с низким уровнем разбрызгивания, что приводит к существенному сокращению времени на зачистку по сравнению со ручной дуговой сваркой штучными электродами.

3. В сварных швах отсутствуют трещины. Шлак, который образуется при сварке самозащитной порошковой проволокой, имеет уникальные свойства по нейтрализации серы, это понижает содержание сульфата железа в сварочной ванне и сводит к минимуму связанные с этим дефекты.

4. Исключаются затраты на хранение и подвод защитных газов. При сварке с использованием самозащитной проволоки нет необходимости в первоначальных инвестициях и последующих затратах, которые связаны с установкой и эксплуатацией систем снабжения защитными газами. Происходит сокращение затрат на приобретение самих защитных газов и дорогостоящих сварочных горелок. Устраняются проблемы, связанные с качеством сварки, которые вызывались ранее недостаточной газовой защитой ванны в условиях сварки на открытом воздухе.

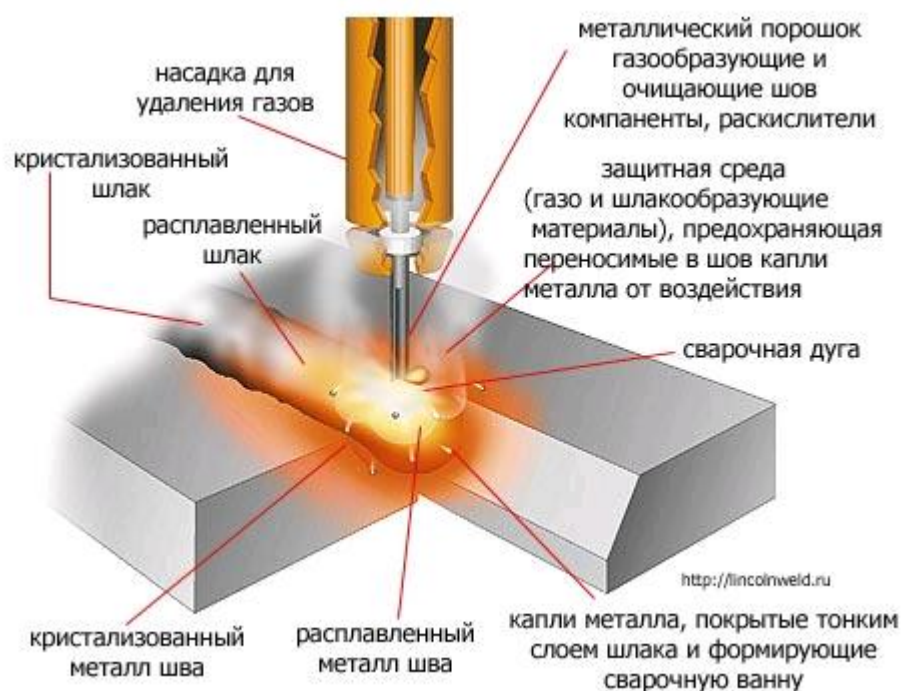


Рисунок 2.3 – Сварка самозащитной порошковой проволокой

В проведённых исследованиях [17] изучали сварные швы образцов из стали 10Г2ФБЮ, которые были выполнены с применением трёх различных технологий:

- *по первой технологии* – ручной дуговой сваркой: корневой слой шва выполняли электродами LB-52U, заполняющие и облицовочный слои шва выполняли электродами ОК 74.70;
- *по второй технологии* – ручной дуговой сваркой: корневой слой шва выполняли электродами Conarc 52, заполняющие и облицовочный слои шва выполняли электродами Conarc 74;
- *по третьей технологии* – механизированной сваркой: корневой слой шва выполняли механизированной сваркой в углекислом газе проволокой сплошного сечения SuperArc L-56, заполняющие и облицовочный слои шва выполняли самозащитной порошковой проволокой Innershield NR-208 Special.

Был произведён анализ микроструктуры облицовочного и заполняющих слоев сварных соединений. Проведённый анализ показал, что структура облицовочных слоёв грубая крупнозернистая, имеет выделения

видманштеттова феррита по границам зерен. Структура заполняющих слёв мелкодисперсная, имеет равномерные доли феррита и перлита (рис. 2.4).

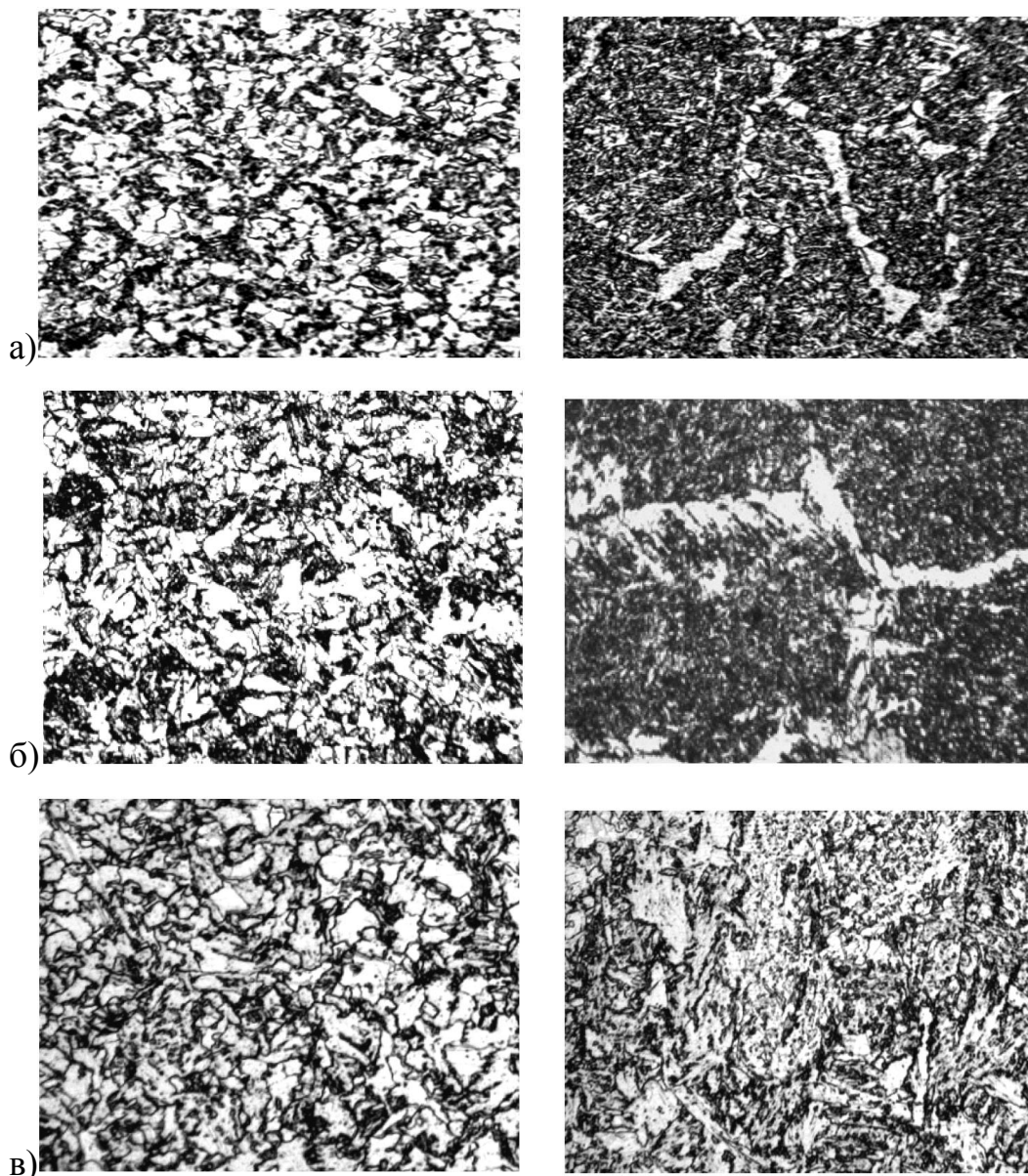


Рисунок 2.4 – Микроструктура заполняющего и облицовочного слоёв сварных швов стали 10Г2ФБ, выполненных по различным технологиям:

а) технология 1; б) технология 2; в) технология 3

Очевидно, что положительные результаты, полученные в работе [17] применительно к стали 10Г2ФБЮ (класс прочности до К60), могут быть использованы применительно к стали классом прочности К65.

По результатам проведённого анализа возможных способов сварки трубопровода для проектной технологии сварки можно предложить

комбинированный способ. Этот комбинированный способ предусматривает выполнение корневого слоя шва ручной дуговой сваркой электродами с основным видом покрытия, выполнение заполняющих и облицовочного слоёв механизированной сваркой самозащитной порошковой проволокой.

Механизированная сварка порошковой проволокой по сравнению со сваркой проволокой сплошного сечения, отличается рядом преимуществ:

- 1) высокими показателями механических свойств сварного соединения (при низкой температуре;
- 2) малой склонностью к образованию трещин в металле шва и околошовной зоне;
- 3) возможностью точного микролегирования при обеспечении особых свойств металла сварного шва;
- 4) высокими сварочно-технологическими свойствами;
- 5) возможностью осуществить сварку без дополнительной защиты;
- 6) высокой производительностью процесса сварки;
- 7) малыми потерями на разбрызгивание металла;
- 8) улучшенным характером переноса капель через дугу (процесс протекает более «спокойно»).

Порошковая проволока существенно повышает производительность сварки, позволяет решать широкий круг задач получения сварных конструкций современного уровня качества [22, 23, 24, 25].

На сегодняшний день сварка порошковой проволокой нашла широкое применение во многих странах мира, позиционируется как наиболее перспективный дуговой процесс при соединении металлов, восстановлении изделий или придания им необходимых свойств [26].

2.2 Подготовка труб

Подготовку труб перед сваркой осуществляем также, как и в базовой технологии за исключением того, что выполняют специальную разделку кромок (рис. 2.6).

Для обработки (переточки) кромок под сварку используются механические способы. В проектной технологи применим специальный станок для подготовки кромок СПК 1423 (рис. 2.7). Для того, обеспечить возможность механической обработки, трубы выкладывают на инвентарных опорах, угол оси труб к оси траншей составляет 15...20 градусов. Высота нижней образующей трубы должна составлять не менее 450 мм над грунтом.

После механической обработки производят защиту концов труб от механических повреждений с использованием обечаек. Чтобы предотвратить попадание внутрь трубы влаги и снега производят закрытие концов труб с использованием инвентарных заглушек.

Станок СПК 1423 предназначен операции снятия фаски под сварку на торцах трубы, которая при строительстве магистральных трубопроводов происходит в полевых условиях. Станок СПК 1423 может использоваться для торцов полученных с применением газовой резки, содержащих забоины и повреждения.

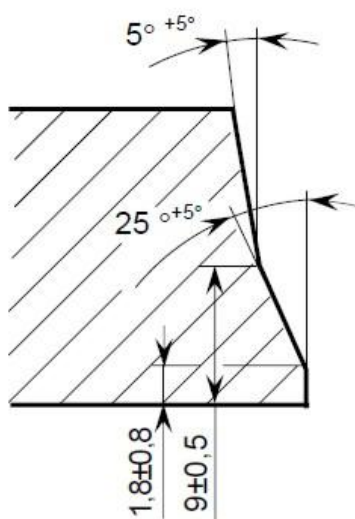


Рисунок 2.6 – Применяемая разделка кромок труб



Рисунок 2.7 – Оборудование для разделки кромок труб – станок СПК 1423

Станок СПК 1423 для разделки кромок труб включает в себя следующие узлы: центрирующий механизм и механизм планшайбы. Привод станка электрогидравлический. Управление станком может осуществляться как со стационарного, так и с переносного дистанционного пульта управления.

2.3. Сварка стыка труб

Общие требования

Сварку выполняют в присутствии аттестованного специалиста сварочного производства. К сварке трубопровода допускаются сварщики, которые прошли обучение в соответствии с ПБ 03-273-99 и имеют соответствующее удостоверение с допуском. Сварщики допускаются к выполнению работ после проведения допускных испытаний. Непосредственно перед сваркой и в процессе сварки контролируют температуру подогретого стыка, при необходимости стык подогревают.

Сварка корневого слоя шва

Сварку корневого слоя шва проводят ручную дуговую штучными электродами, при этом используют импульсное питание управление дугой постоянного тока.

В промежутке между импульсами горит дежурная дуга. На дежурную дугу производят наложение дополнительных импульсов с постоянной частотой и длительностью. Диаграмма тока дуги представлена на рисунке 2.8. Дополнительные импульсы имеют частоту не менее 50 Гц, и длительность 0,5...2 мс. Такие дополнительные импульсы позволяют получение гарантированного перехода капли расплавленного металла в процессе короткого замыкания капель дугового промежутка. Значение непрерывного тока паузы принимается равным 5...30 А.

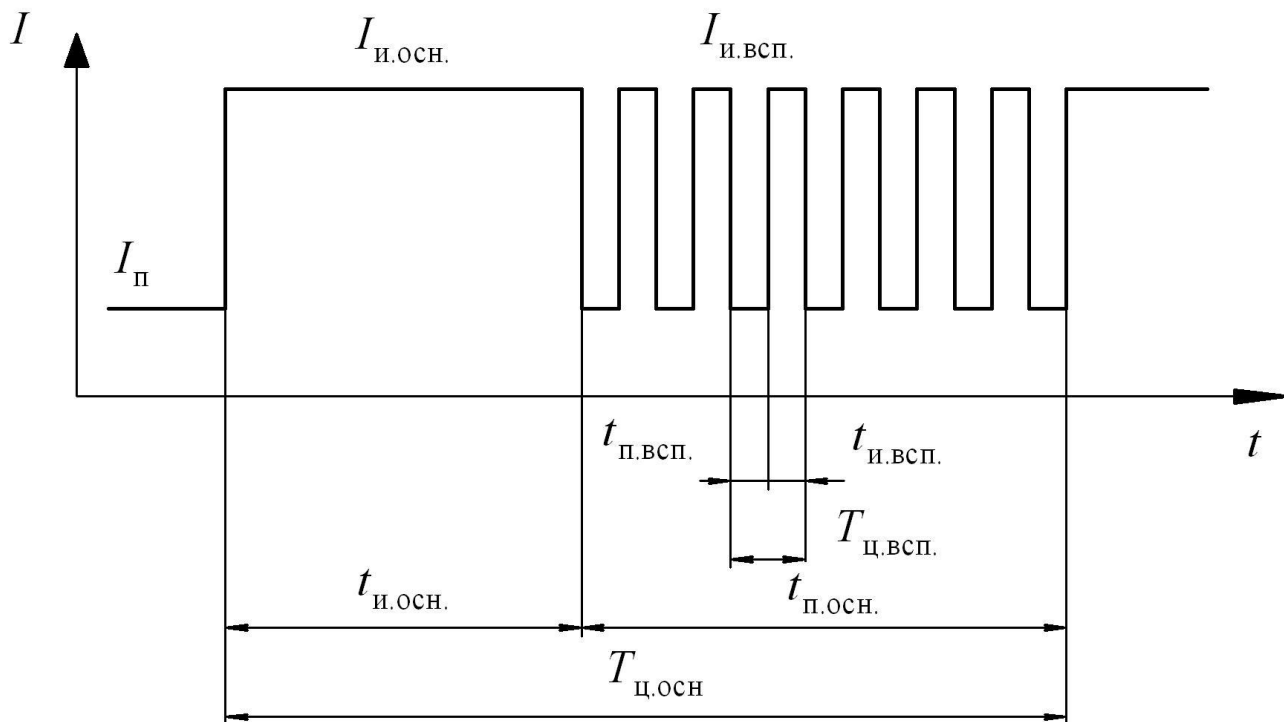
Корень шва сваривают с применением электродов LB-62U, диаметр которых 3,2 мм. Сварку проводят на постоянном токе обратной полярности. Принимаем силу сварочного тока: 110...120 А (в нижнем положении), 100...120 А (в вертикальном положении), 80...100 А (в потолочном положении).

При сварке корня шва используют сварочный выпрямитель ВД-306Д. Принимают следующие параметры импульсного управления сварочной дугой (рис. 2.9):

- длительности основного импульса $t_{и.осн}=0,3$ с;
- длительности основной паузы $t_{п.осн}=0,4$ с;
- частоту вспомогательных импульсов 50 Гц;
- длительности вспомогательных импульсов $t_{и.всп}=1$ мс;
- величины непрерывного тока в основной паузе $I_n=25$ А (рис. 2.9).

Сварщик производит возбуждение дуги, ведение электрода вдоль стыка равномерное и без манипуляций. За время основного импульса тока расплавляется и переходит в сварочную ванну одна или нескольких капель. Если капля переходит в сварочную ванну во время основной паузы, снижения устойчивости процесса не происходит, т.к. наличие

вспомогательного импульса тока ускоряет переход капли в сварочную ванну. При этом нет необходимости в проведении дополнительных мероприятий, ускоряющих разрушение перемычки между каплями и электродом в течение короткого замыкания.



$T_{ц.осн.}$ - период следования основных импульсов;

$t_{и.осн.}$ - основной импульс;

$t_{п.осн.}$ - основная пауза;

$I_{и.осн.}$ - ток основного импульса;

$I_{и.всп.}$ - ток вспомогательного импульса;

$T_{ц.всп.}$ - периода следования вспомогательных импульсов;

$t_{и.всп.}$ - вспомогательный импульс;

$t_{п.всп.}$ - вспомогательная пауза;

$I_{п.}$ - непрерывный ток в паузе

Рисунок 2.8 – Диаграмма сварочного тока при импульсном управлении дугой

Большая частота следования вспомогательных импульсов существенно снижает контрастность излучения дуги, горящей во время между основными импульсами и паузами. Это приводит к уменьшению нагрузки на зрение

сварщика. Также импульсы обеспечивают формирование мелкочешуйчатого сварного шва.

После выполнения корня шва необходимо проводят его механическую обработку. Далее визуально контролируют корень шва изнутри трубы. Выполняют подварку изнутри в нижней четверти трубы, участков с непроварами, несплавлениями и смещением кромок более 2 мм. При подварке применяют электроды марки LB-62U диаметром 3,2 мм. Подварочный слой выполняют перед заполняющим, он должен иметь ширину 8...10 мм и усиление 1...3 мм.

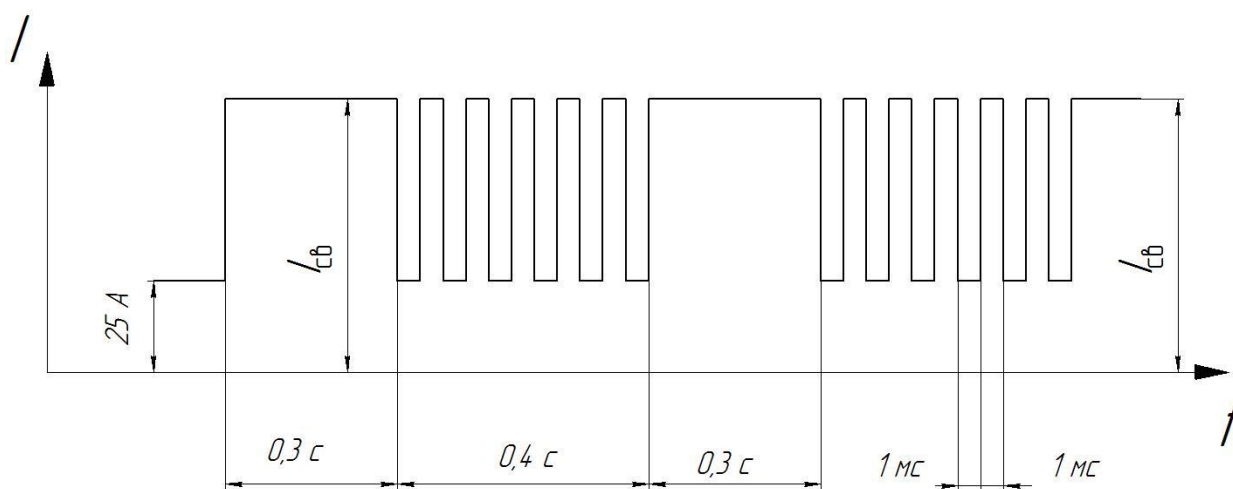


Рисунок 2.9 – Диаграмма тока и параметры импульсного питания дуги при сварке корня шва по проектной технологии

Заполнение разделки и выполнение облицовки

Для выполнения заполняющих и облицовочного слоёв применяем сварочную проволоку «Иннершилд» диаметром 2,0 мм (производства Lincoln Electric Company, США). Перед сваркой первого заполняющего слоя необходимо тщательно зачистить абразивным кругом корневой слой шва. Чрезмерное усиление корня шва в потолочной части стыка следует снять шлифовальным кругом.

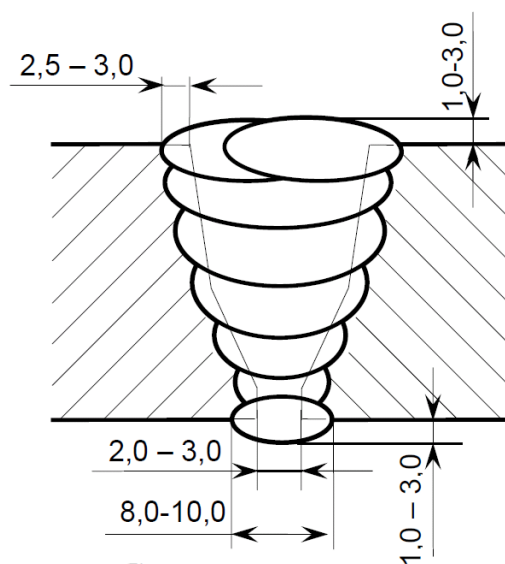


Рисунок 2.10 – Геометрия сварного шва при выполнении неповоротного стыка труб механизированной сваркой самозащитной порошковой проволокой

Сварку ведут на спуск постоянным током прямой полярности. Применяемые параметры режима сварки проволокой диаметром 2,0 мм приведены в табл. 2.2.

Таблица 2.2 – Параметры режима механизированной сварки самозащитной порошковой проволокой диаметром 2,0 мм

Слой	Скорость подачи проволоки, см/мин (дюйм/мин)	Напряжение, В
Заполняющие	200 (90)	18,5–19,5
	250 (100)	19,5–20,5
	280 (110)	20,5–21,5
Корректирующий	200 (80)	17,5–18,5
	230 (90)	18,5–19,5
Облицовочный	200 (80)	17,5–18,5
	230 (90)	18,5–19,5

При сварке в потолочном положении понижают скорость подачи проволоки. Снижение скорости подачи не требует остановки сварки и осуществляется переключателем на рукоятке горелки. Изменение положение переключателя понижает скорость подачи проволоки на 15...20 %.

Одновременно с уменьшением скорости подачи следует увеличить вылет проволоки до 25...30 мм.

Сварку заполняющих слоёв, начиная с третьего, проводят по методу «слой за два прохода». Сварку облицовочного слоя шва проводят по методу «слой за три прохода».

Сварку начинают при вылете проволоки 12...15 мм (рис. 2.11). После возбуждения дуги производят увеличение вылета проволоки до 20 мм. В потолочном положении также производят увеличение вылета проволоки до 25...30 мм. Чрезмерное уменьшение вылета проволоки может привести к появлению пористости, а чрезмерное увеличение вылета снижает стабильность горения дуги из-за недостаточного разогрева конца проволоки.

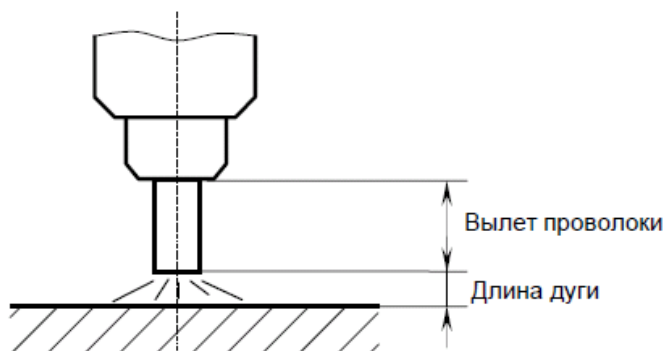


Рисунок 2.11 – Вылет проволоки и длина дуги при сварке самозащитной порошковой проволокой

В процессе выполнения сварного шва угол наклона горелки следует постоянно изменять (рис. 2.12):

- в положении 12 часов угол составляет 20...30 градусов;
- при перемещении горелки от 12 до 3 часов угол наклона горелки увеличивают до 45...50 градусов;
- в положении от 3 до 5 часов угол наклона горелки постепенно уменьшают и доводят до 0 градусов (ось горелки становится перпендикулярна телу трубы);
- в положении от 5 до 6 часов наклон горелки меняют на противоположный и постепенно угол доводят до 10...15 градусов (положение «углом вперед»).

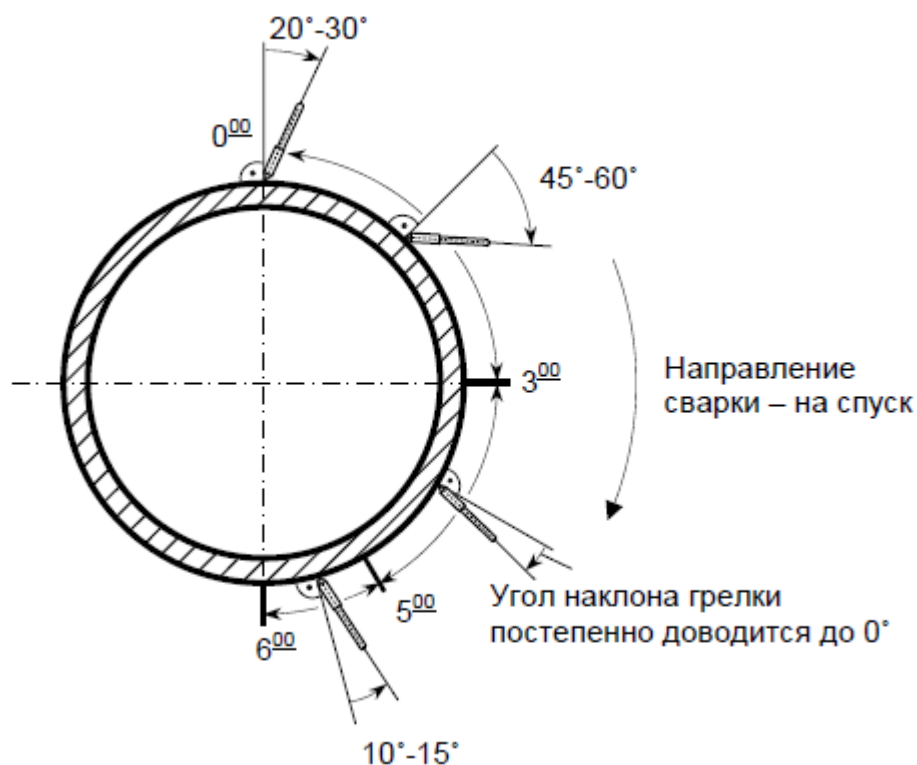


Рисунок 2.11 – Угол наклона сварочной горелки при осуществлении механизированной сварки самозащитной порошковой проволокой неповоротных стыков труб

Регулирование угла наклона позволяет осуществлять контроль за проплавлением: уменьшение угла наклона увеличивает проплавление, увеличение угла наклона вызывает уменьшение проплавления.

Скорость сварки регулируют таким образом, чтобы обеспечивать соответствующее формирование валика шва. Низкая скорость вызывает повышенное разбрызгивание сварочной ванны, пористость и опасность получения шлаковых включений.

Межслойную зачистку после первого заполняющего слоя осуществляют с применением дисковой проволочной щетки или шлифовального круга. После выполнения последующих слоев межслойную зачистку проводят дисковой проволочной щеткой.

Ориентировочное количество слоёв: заполняющих – 4...7, корректирующий – 1, облицовочных – 3.

Процесс сварки следует начинать и заканчивать на расстоянии не менее 100 мм от заводских швов трубы. Начало и окончание сварки каждого слоя должно находиться на расстоянии не менее 20 мм от замков предыдущего слоя шва. Не допускается возбуждение дуги на поверхности трубы. Дугу следует возбуждать на поверхности разделки кромок или на поверхности металла уже выполненного шва.

2.4 Контроль качества сварки

1) Для обеспечения требуемого уровня качества необходимо проведение:

- а) проверки квалификации сварщиков;
- б) контроля исходных материалов, труб и трубных заготовок (входной контроль);
- в) систематического операционного (технологического) контроля, осуществляемого в процессе сборки и сварки;
- г) визуального контроля (внешний осмотр) и обмера готовых сварных соединений;
- д) проверки сварных швов с применением неразрушающих методов контроля;
- е) механических испытаний сварных соединений.

2) Операционный контроль

Операционный контроль осуществляется мастером и производителем работ. Проверяют правильность и необходимую последовательность выполнения технологических операций сборки и сварки трубопровода в соответствии с требованиями нормативной документации и действующих операционных технологических карт.

В процессе сборки соединений под сварку проверяется:

- чистота полости труб, качество зачистки кромок и прилегающих к ним поверхностей;

- разностенность свариваемых элементов не должна превышать допустимой величины;
- смещение наружных кромок свариваемых элементов не должно превышать допустимой величины;
- технологические зазоры в стыках не должны превышать допустимой величины.

При просушке свариваемых кромок или предварительном подогреве, контролируют температуру подогрева.

При операционном контроле в процессе сварки контролируют соблюдение режимов сварки (используются контрольно-измерительная аппаратура, установленная на сварочных агрегатах, постах, машинах и т.п.), порядок наложения слоев и их количество, применяемые материалы для сварки корневого и заполняющих слоев, время перерывов между сваркой корневого шва и «горячего прохода», соблюдение других требований технологических карт.

3) Проведение визуального контроля и обмера сварных соединений

Необходимо провести 100% очистку сварных соединений труб, устранив шлак, грязь, брызги металла. Далее сварные соединения подвергают визуальному контролю и обмеру.

Внешний осмотр сварного соединения позволяет установить:

- факт наличия на каждом стыке клейма сварщика, который выполнял сварку. В случае выполнения сварки одного стыка несколькими сварщиками, на каждом стыке проставляют клеймо каждого сварщика или одно клеймо, присвоенное всей бригаде;
- выявить в соединении наружные трещины, незаплавленные кратеры и выходящие на поверхность поры.

При проведении рентгеновского контроля используется аппарат рентгеновского РПД-200.

3 БЕЗОПАСНОСТЬ И ЭКОЛОГИЧНОСТЬ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА

3.1 Технологическая характеристика объекта

Таблица 3.1 - Технологический паспорт объекта

Технологическая операция, вид выполняемых работ	Должность работника, который выполняет операцию технологического процесса	Применяемые устройства, оборудование, приспособления	Применяемые вещества и материалы
1. Подготовка к сварке кромок труб	Слесарь-сборщик	Станок подготовки кромок, шлифмашинка	Вода техническая, круг абразивный
2. Сборка стыка труб под сварку	Слесарь-сборщик	Наружный центратор	Воздух сжатый
3. Предварительный подогрев стыка труб	Электросварщик на автоматических и полуавтоматических машинах	Индукционный подогреватель	-
4. Сварка стыка	Электросварщик на автоматических и полуавтоматических машинах	Сварочный источник питания, наружный центратор, полуавтомат сварочный	Сварочная проволока, электроды LB-62
5. Зачистка шва	Слесарь-сборщик	Шлифмашинка, молоток, зубило	Круг абразивный
6. Контроль качества сварки стыка труб	Дефектоскопист рентгенографирования	Аппарат рентгеновского контроля	Радиографическая плёнка

3.2 Персональные риски при осуществлении проектной технологии

Таблица 3.2 –Профессиональные риски при осуществлении проектной технологии

Операция технологического процесса, выполняемые работы	Опасные и вредные производственные факторы	Источники опасных и вредных производственных факторов
1. Подготовка к сварке кромок труб	- наличие острых кромок, заусенцев и шероховатостей на поверхности заготовок, инструмента и оборудования - движущиеся части машин и механизмов, производственного оборудования	Станок подготовки кромок, шлифмашинка
2. Сборка стыка труб под сварку	- наличие острых кромок, заусенцев и шероховатостей на поверхности заготовок, инструмента и оборудования - движущиеся части машин и механизмов, производственного оборудования	Центратор наружный
3. Предварительный подогрев стыка труб	- повышенное напряжение в электрической цепи, для которой существует опасность замыкания через человека - высокое значение температуры поверхностей у оборудования и материалов	Индукционный подогреватель
4. Сварка стыка	- повышенное напряжение в электрической цепи, для которой существует опасность замыкания через человека - высокое значение температуры поверхностей у оборудования и материалов - высокий уровень ультразвуковых волн в рабочей зоне - высокий уровень инфракрасной радиации	Сварочный источник питания, центратор наружный, полуавтомат сварочный

1	2	3
5. Зачистка шва	- наличие острых кромок, заусенцев и шероховатостей на поверхности заготовок, инструмента и оборудования - движущиеся части машин и механизмов, производственного оборудования - повышенное напряжение в электрической цепи, для которой существует опасность замыкания через человека	Шлифмашинка, молоток, зубило
6. Контроль качества сварки стыка труб	- повышенный уровень ионизирующих излучений в рабочей зоне	Аппарат рентгеновского контроля

3.3 Методы и средства снижения профессиональных рисков

Таблица 3.3 - Методы и средства снижения воздействия опасных и вредных производственных факторов

Опасные и вредные производственные факторы	Организационные мероприятия и технические средства для защиты, снижения и устранения опасных и вредных производственных факторов	Средства индивидуальной защиты работника
1. Наличие острых кромок, заусенцев и шероховатостей на поверхности заготовок	Периодический инструктаж по технике безопасности	Перчатки, спецодежда.
2. Движущиеся части машин и механизмов, производственного оборудования	Нанесение предупреждающих надписей, соответствующей окраски, установка ограждений	-

1	2	3
3. Высокое значение температуры поверхностей у оборудования и материалов	Периодический инструктаж по технике безопасности	Спецодежда, перчатки
4. Повышенное напряжение в электрической цепи, для которой существует опасность замыкания через человека	Организация заземления электрических машин и периодического контроля изоляции.	-
5. Высокий уровень ультразвуковых волн в рабочей зоне	Экранирование зоны сварки при помощи щитов	Спецодежда, маска сварщика
6. Высокий уровень инфракрасной радиации	Экранирование зоны сварки при помощи щитов	Спецодежда, маска сварщика
7. Высокий уровень ионизирующих излучений в рабочей зоне	Экранирование, увеличение расстояния от источника излучения и ограничение времени пребывания оператора в опасной зоне.	-

3.4 Пожарная безопасность технологического объекта

Таблица 3.4 - Технические средства обеспечения пожарной безопасности

Первичные средства для тушения	Мобильные средства для тушения	Стационарные системы и установки для тушения	Пожарная автоматика	Пожарное оборудование	Средства индивидуальной защиты и спасения людей при пожаре	Пожарный инструмент	Пожарные сигнализация, связь и оповещение.
Ящики с песком, кошма, огнетушитель ОП-5	-	-	-	-	План эвакуации,	Лопата, багор, топор	кнопка извещения о пожаре

Таблица 3.5 - Идентификация классов и опасных факторов пожара

Участок, подразделение	Оборудование	Класс пожара	Опасные факторы пожара	Сопутствующие проявления факторов пожара
Участок сварки трубопровода	Установка индукционного нагрева, сварочные источники	пожары, которые протекают при воспламенении и горении веществ и материалов на электроустановках, имеющих электрическое напряжение (Е)	Наличие пламени и искр; теплового потока; повышенной температуры окружающей среды; повышенной концентрации токсичных продуктов горения и термического разложения; пониженная концентрация кислорода; снижение видимости в дыму	замыкание на проводящие ток части технологических установок напряжения с высоким значением на оборудовании, агрегатах, изделиях и иного имущества; термохимическое воздействие огнетушащих веществ, которые используются при пожаре, на предметы и людей

Таблица 3.6 – Проведение организационных и технических мероприятий по обеспечению пожарной безопасности

Технологический процесс	Вид реализуемого организационного или технического мероприятия	Требования для обеспечения пожарной безопасности, достигаемый эффект
Сборка, сварка и контроль трубопровода	Ознакомление рабочего персонала и служащих с правилами пожарной безопасности, использование средств наглядной агитации по пожарной безопасности, проведение с производственным персоналом учений по обеспечению пожарной безопасности	Необходимо в достаточном количестве наличие на участке первичных средств пожаротушения, применять защитные экраны для ограничения разлёта искр.

3.5 Экологическая безопасность технологического объекта

Таблица 3.7 – Идентификация экологических факторов технического объекта

Реализуемый технологический процесс	Составляющие операции технологического процесса	Отрицательное влияние технического объекта на атмосферу	Отрицательное влияние технического объекта на гидросферу	Отрицательное влияние технического объекта на литосферу
Сварка трубопровода	Подготовка стыка, сборка под сварку, сварка, контроль качества	газообразные частицы и сажа, которые выделяются при сварке	Проявитель и закрепитель рентгеновских снимков	упаковка от проволоки бумажная и полиэтиленовая; металлолом, преимущественно стальной; бытовой мусор.

Таблица 3.8 – Разработанные организационно-технические мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия технического объекта на окружающую среду

Наименование технического объекта	Сварка трубопровода
Мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия на литосферу	Необходимо произвести установку контейнеров, для селективного сбора бытового мусора и производственных отходов. Предусмотреть отдельный контейнер для металлолома. Нанести на контейнеры соответствующие надписи. Проводить инструктаж среди производственного персонала по правильному складыванию в контейнеры мусора и отходов.

3.6 Заключение по экологическому разделу

При выполнении данного раздела выявлены опасные и вредные производственные факторы, сопровождающие проектную технологию. Произведён анализ возможности устранения и уменьшения этих факторов, показавший, что при использовании стандартных средств обеспечения безопасности и санитарии производства можно добиться безопасности работников при промышленном внедрении результатов проекта. В разработке специальных и дополнительных средств защиты нет необходимости. Наблюдается угроза экологической безопасности. При осуществлении проектной технологии требуется соблюдать технологический регламент и производственную санитарию.

4 ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОЕКТНОЙ ТЕХНОЛОГИИ

4.1 Исходные данные для экономического расчёта

При выполнении выпускной квалификационной работы была предложена проектная технология сварки неповоротных стыков магистрального газопровода. Базовая технология сварки осуществлялась с применением ручной дугой сварки. Проектная технология предполагает замену ручной дуговой сварки на механизированную сварку с применением самозащитной порошковой проволоки. Эта технология снизит трудоемкость сборочных и сварочных операций и улучшит качество сварки. Расчет экономического эффекта производим по изменяющимся операциям технологического процесса.

Таблица 4.1 – Исходные данные для экономического расчёта

№	Показатели	Усл. обозн.	Ед. изм.	Значение по вар.	
				Баз.	Пр.
1	2	3	4	5	6
1	количество рабочих смен (задаётся)	Ксм	-	2	2
2	разряд рабочего (принимается по технологии)	Р.р.		V	V
3	часовая ставка с учётом северного коэффициента (задаётся)	Сч	Р/час	300	300
4	Коэффициент отчислений на дополнительную заработную плату (задаётся)	Кдоп.	%	12	12
5	Коэффициент доплат к основной заработной плате (задаётся)	Кд.		1,88	1,88
6	Норма амортизации оборудования (принимается по литературным данным)	На	%	21,5	21,5

1	2	3	4	5	6
7	Норма амортизации на площади (принимается по литературным данным)	На.пл.	%	5	5
8	коэффициент отчислений на социальные нужды (принимается по литературным данным)	Ксс	%	26	26
9	Стоимость эксплуатации площадей (задаётся)	Сэксп.	(Р/м ²)/год	2000	2000
10	Цена приобретения площадей (задаётся)	Цпл.	Р/м ²	3000	3000
11	Площадь, занимаемая оборудованием (рассчитывается по технологии)	S	м ²	20	20
12	Коэффициент транспортно-заготовительных расходов (принятый)	Кт -з	%	5	5
13	Коэффициент затрат на монтаж и демонтаж (принятый)	Кмонт. Кдем.	%	3	5
14	цена оборудования (задаётся по данным из сети Интернет): - Труборезный станок - Выпрямитель ВД-306Д - Источник питания ТДМ - Оборудование для термической обработки - Аппарат рентгеновского контроля РПД-200 - Шланговый полуавтомат ПДГО-510 - Центратор Ж08А7985 - Центратор новый	Цоб	Рублей	65000 50000 8000 30000 663000 - 40000 - 826000	65000 50000 8000 30000 663000 20000 - 20000 826000
15	Коэффициент, учитывающий дополнительную площадь (принимается по литературным данным)	Кпл.	-	3	3
16	Потребляемая мощность технологического оборудования	Муст	кВт	4	7,3

1	2	3	4	5	6
17	Стоимость электрической энергии	Цэ-э	Р/ кВт	1,75	1,75
18	Коэффициент выполнения нормы (задаётся)	Квн	-	1,1	1,1
19	Коэффициент полезного действия технологического оборудования (принимается по технической характеристике)	КПД	-	0,7	0,85
20	Нормативный коэффициент эффективности дополнительных капитальных вложений (принимается по литературным данным)	Ен	-	0,33	0,33
21	Коэффициент цеховых расходов (принимается по литературным данным)	Кцех	-	1,5	1,5
22	Коэффициент заводских расходов (принимается по литературным данным)	Кзав	-	1,15	1,15
23	Коэффициент выполнения нормы (принимается по литературным данным)	Кв		1,03	1,03
24	Штучное время (рассчитывается по технологии)	tмаш	час	1,7	0,8
25	Стоимость электродов электродной проволоки оборудования (задаётся по данным из сети Интернет)	Цэл	руб/кг	335 -	335 220

4.2 Расчёт фонда времени работы оборудования

Расчёт номинального годового фонда времени работы оборудования производим по формуле:

$$F_n = (D_p \cdot T_{cm} - D_n \cdot T_n) \cdot C, \quad (4.1)$$

где D_p – количество рабочих дней в году;

T_{cm} – продолжительность смены;

$T_{\text{п}}$ – количество часов, на которые сокращается смена в предпраздничные дни;

$D_{\text{п}}$ – количество предпраздничных дней;

C – количество смен.

$$F_{\text{н}} = (277 \cdot 8 - 7 \cdot 1) \cdot 2 = 4418 \text{ ч.}$$

Расчёт эффективного фонда времени работы оборудования производим по формуле:

$$F_{\text{э}} = F_{\text{н}} \cdot (1 - B/100), \quad (4.2)$$

где B – плановые потери рабочего времени.

$$F_{\text{э}} = 4418 \cdot (1 - 7/100) = 4108 \text{ ч.}$$

4.3 Годовая программа и коэффициент загрузки оборудования

Расчёт годовой программы объема сварочных работ производим по формуле:

$$П_{\text{Г}} = F_{\text{э}} / t_{\text{шт}} \quad (4.3)$$

где $F_{\text{э}}$ – эффективный фонд времени работы оборудования;

$t_{\text{шт}}$ – штучное время сварки одного стыка

$$П_{\text{Г.баз.}} = 4108 / 1,7 = 2416 \text{ ст./год};$$

$$П_{\text{Г.пр.}} = 4108 / 0,8 = 5153 \text{ ст./год.}$$

Для дальнейших расчётов принимаем $П_{\text{Г}} = 2000$ стыков/год.

Расчёт необходимого количества технологического оборудования производим по формуле:

$$n_{\text{РАСЧ}} = \frac{t_{\text{шт}} * П_{\text{Г}}}{F_{\text{э}} * K_{\text{ВН}}} \quad (4.4)$$

где $t_{\text{шт}}$ – штучное время;

$П_{\text{Г}}$ – годовая программа выпуска изделий;

$F_{\text{э}}$ – эффективный фонд времени работы оборудования;

$K_{\text{ВН}}$ – значение коэффициента, учитывающего выполнения нормы.

$$n_{\text{ДАН} \times \text{А}} = \frac{1,7 * 2000}{4108 * 1,03} = 0,80$$

$$n_{\text{ДАН} \times \text{Б}} = \frac{0,8 * 2000}{4108 * 1,03} = 0,38$$

В базовом и проектном варианте принимаем по одной единице технологического оборудования.

Расчёт коэффициента загрузки оборудования производим по формуле:

$$K_3 = n_{\text{расч}} / n_{\text{пр}} \quad (4.5)$$

где $n_{\text{расч}}$ – расчетное количество оборудования,

$n_{\text{пр}}$ – принятое количество оборудования

$$K_{3.\text{баз.}} = 0,8 / 1 = 0,8$$

$$K_{3.\text{пр.}} = 0,38 / 1 = 0,38$$

4.4 Заводская себестоимость сравниваемых вариантов сварки

Расчет затрат на материалы по базовому и проектному вариантам

$$M = C_{\text{м}} \cdot H_{\text{р}} \cdot K_{\text{т-з}}, \quad (4.6)$$

где $C_{\text{м}}$ – стоимость материала;

$K_{\text{т-з}}$ – значение коэффициента транспортно-заготовительных расходов.

Базовая технология предусматривает применение ручной дуговой сварки, проектный вариант технологии предусматривает сварку корня шва с применением ручной дуговой сварки, сварку заполняющих и облицовочного слоёв с применением самозащитной порошковой проволоки. Расчёт затрат на эти материалы производим исходя из базовой и проектной технологии.

$$M_{\text{баз.}} = 335 \cdot 8,25 \cdot 1,05 = 2901,94 \text{ рублей}$$

$$M_{\text{пр.}} = (335 \cdot 0,9 + 220 \cdot 7,35) \cdot 1,05 = 2014,43 \text{ рублей}$$

Фонд заработной платы основных производственных рабочих

Расчёт фонда заработной платы (ФЗП) производим как суммы основной и дополнительной заработных плат.

Расчёт основной заработной платы производим по формуле:

$$З_{осн} = t_{шт} \cdot Сч \cdot Кд \quad (4.7)$$

где Сч – часовая тарифная ставка;

Кд – значение коэффициента, учитывающего доплаты к основной заработной плате

$$З_{осн.баз.} = 1,7 \cdot 300 \cdot 1,88 = 958,80 \text{ рублей}$$

$$З_{осн.пр.} = 0,8 \cdot 300 \cdot 1,88 = 451,20 \text{ рублей}$$

Расчёт дополнительной заработной платы производим по формуле

$$З_{доп} = З_{осн} \cdot К_{доп} / 100 \quad (4.8)$$

где Кдоп – значение коэффициента, учитывающего отчисления на дополнительную заработную плату

$$З_{доп.баз.} = 958,80 \cdot 12 / 100 = 115,06 \text{ рублей};$$

$$З_{доп.пр.} = 451,20 \cdot 12 / 100 = 54,14 \text{ рублей}$$

$$\Phi ЗП_{баз.} = 958,80 + 115,06 = 1073,86 \text{ рублей};$$

$$\Phi ЗП_{пр.} = 451,20 + 54,14 = 505,34 \text{ рублей}$$

Отчисления на социальные нужды

$$О_{сс} = \Phi ЗП \cdot К_{сс} / 100, \quad (4.9)$$

где Ксс – значение коэффициента, учитывающего отчисления на социальные нужды.

$$О_{сс.баз.} = 1073,86 \cdot 26 / 100 = 279,98 \text{ рублей}$$

$$О_{сс.пр.} = 505,34 \cdot 26 / 100 = 131,39 \text{ рублей}$$

Затраты на содержание и эксплуатацию оборудования

$$З_{об} = А_{об} + Р_{э-э}, \quad (4.10)$$

где Аоб – амортизация оборудования;

Рэ-э – расходы на электроэнергию;

Расчёт амортизации оборудования производим по формуле:

$$А_{об} = \frac{Ц_{об} \cdot На \cdot t_{маш}}{F_{э} \cdot 100} \quad (4.11)$$

где Цоб – стоимость оборудования;

На – норма амортизации оборудования.

$$\dot{A}_{\dot{a}} = \frac{826000 * 21,1 * 1,7}{4108 * 100} = 72,12 \text{ рублей}$$

$$\dot{A}_{\dot{\delta}} = \frac{826000 * 21,1 * 0,8}{4108 * 100} = 33,94 \text{ рублей}$$

Расчёт расходов на электрическую энергию производим по формуле:

$$P_{\text{Э-Э}} = \frac{M_{\text{УСТ}} * t_{\text{маш}} * C_{\text{Э-Э}}}{\text{КПД}} \quad (4.12)$$

где $M_{\text{УСТ}}$ – суммарная потребляемая мощность технологического оборудования;

$C_{\text{Э-Э}}$ – стоимость электроэнергии;

КПД – принятый коэффициент полезного действия технологического оборудования

$$\dot{D}_{\dot{a}} = \frac{20 * 1,7 * 1,75}{0,7} = 85,00 \text{ рублей}$$

$$\dot{D}_{\dot{\delta}} = \frac{20 * 0,8 * 1,75}{0,85} = 32,94 \text{ рублей}$$

$$Z_{\text{об.баз.}} = 72,12 + 85 = 157,12 \text{ рублей}$$

$$Z_{\text{об.пр.}} = 33,94 + 32,94 = 66,88 \text{ рублей}$$

Затраты на содержание и эксплуатацию площадей

$$Z_{\text{ПЛ}} = P_{\text{ПЛ}} + A_{\text{ПЛ}}, \quad (4.13)$$

где $P_{\text{ПЛ}}$ – расход на эксплуатацию и содержание площадей;

$A_{\text{ПЛ}}$ – амортизация площадей.

Расчёт расходов на содержание площадей производим по формуле

$$P_{\text{ПЛ}} = \frac{C_{\text{ЭКСПЛ}} * S * t_{\text{шт}}}{F_{\text{Э}}}, \quad (4.14)$$

где $C_{\text{ЭКСПЛ}}$ – затраты на содержание площадей

S – площадь, занимаемая технологическим оборудованием.

$$\dot{D}_{\dot{a}} = \frac{2000 * 20 * 1,7}{4108} = 16,55 \text{ рублей}$$

$$\dot{D}_{\text{I} \ddot{E} \dot{A}} = \frac{2000 * 20 * 0,8}{4108} = 7,79 \text{ рублей}$$

Расчёт амортизации площадей производим по формуле:

$$A_{\text{ПЛ}} = \frac{\text{Ц}_{\text{ПЛ}} * \text{На}_{\text{ПЛ}} * S * t_{\text{ПП}}}{F_{\text{Э}} * 100}, \quad (4.15)$$

где $\text{На}_{\text{ПЛ}}$ – норма амортизации площади;

$\text{Ц}_{\text{ПЛ}}$ – стоимость приобретения площадей

$$\dot{A}_{\text{I} \ddot{E} \dot{A}} = \frac{3000 * 5 * 20 * 1,7}{4108 * 100} = 1,24$$

$$\dot{A}_{\text{I} \ddot{E} \dot{I} \dot{D}} = \frac{3000 * 5 * 20 * 0,8}{4108 * 100} = 0,58$$

$$\text{З}_{\text{ПЛ.Баз.}} = 16,55 + 1,24 = 17,79 \text{ рублей}$$

$$\text{З}_{\text{ПЛ.Пр.}} = 7,79 + 0,58 = 8,37 \text{ рублей}$$

Расчёт технологической себестоимости

$$C_{\text{ТЕХ}} = M + \Phi\text{ЗП} + \text{Осс} + \text{З}_{\text{ОБ}} + \text{З}_{\text{ПЛ}} \quad (4.16)$$

$$C_{\text{ТЕХ.Баз.}} = 2901,94 + 1073,86 + 279,98 + 157,12 + 17,79 = 4430,69 \text{ рублей}$$

$$C_{\text{ТЕХ.Пр.}} = 2014,43 + 505,34 + 131,39 + 66,88 + 8,37 = 2726,41 \text{ рублей}$$

Расчёт цеховой себестоимости

$$C_{\text{ЦЕХ}} = C_{\text{ТЕХ}} + \text{З}_{\text{ОСН}} \cdot K_{\text{ЦЕХ}} \quad (4.17)$$

где $K_{\text{ЦЕХ}}$ – коэффициент цеховых расходов

$$C_{\text{ЦЕХ.Баз.}} = 4430,69 + 1,5 \cdot 958,80 = 4430,69 + 1438,20 = 5868,89 \text{ рублей,}$$

$$C_{\text{ЦЕХ.Пр.}} = 2726,41 + 1,5 \cdot 451,20 = 2726,41 + 676,8 = 3403,21 \text{ рублей}$$

Расчёт заводской себестоимости

$$C_{\text{ЗАВ}} = C_{\text{ЦЕХ}} + \text{З}_{\text{ОСН}} \cdot K_{\text{ЗАВ}} \quad (4.18)$$

где $K_{\text{ЗАВ}}$ – коэффициент заводских расходов

$$C_{\text{ЗАВ.Баз.}} = 5868,89 + 1,15 \cdot 958,80 = 5868,89 + 1102,62 = 6971,51 \text{ рублей,}$$

$$C_{\text{ЗАВ.Пр.}} = 3403,21 + 1,15 \cdot 451,20 = 3403,21 + 518,88 = 3922,09 \text{ рублей}$$

Таблица 4.2 – Расчёт себестоимости сварки

№ п/п	ПОКАЗАТЕЛИ	Усл. обоз.	Калькуляция., руб	
			Базов.	Проект.
1	Материалы	М	2901,94	2014,43
2	Фонд заработной платы	ФЗП	1073,86	505,34
3	Отчисления на соц. нужды	Осс	279,98	131,39
4	Расходы на оборудование	Зоб	157,12	66,88
5	Затраты на площади	Зпл	17,79	8,37
	Себестоимость технологическая	Стех	4430,69	2726,41
6	Расходы цеховые	Рцех	1438,20	676,8
	Себестоимость цеховая	Сцех	5868,89	3403,21
7	Расходы заводские	Рзав	1102,62	518,88
	Себестоимость заводская	Сзав	6971,51	3922,09

4.5 Капитальные затраты на сварку

Капитальные затраты

Расчёт капитальных затрат по базовому варианту производим по формуле:

$$K_{\text{ОБЩ.Баз.}} = K_{\text{ОБ.Баз.}} = n \cdot Ц_{\text{ОБ.Баз.}} \cdot K_3, \quad (4.19)$$

где K_3 – значение коэффициента загрузки оборудования;

$Ц_{\text{ОБ.Баз.}}$ – величина остаточной стоимости оборудования, учитывающая срок его службы (руб);

n – количество необходимого технологического оборудования для осуществления производственной программы.

$$Ц_{\text{ОБ.Баз.}} = Ц_{\text{ПЕРВ.}} - (Ц_{\text{ПЕРВ.}} \cdot T_{\text{СЛ}} \cdot N_A / 100), \quad (4.20)$$

где $Ц_{\text{ПЕРВ.}}$ – стоимость приобретения оборудования (руб)

$T_{\text{СЛ}}$ – заданный срок службы оборудования к моменту внедрения проектной технологии;

N_A – принятая норма амортизации оборудования (%).

$$\Pi_{\text{ОБ.Баз.}} = 826000 - (826000 \cdot 3 \cdot 21,5/100) = 293230 \text{ рублей}$$

$$K_{\text{ОБЩ.Баз.}} = 293230 \cdot 0,8 = 234584 \text{ рублей}$$

Расчёт общих капитальных затрат по проектному варианту производим по формуле:

$$K_{\text{ОБЩ.ПР}} = K_{\text{ОБ.ПР}} + K_{\text{ПЛ.ПР}} + K_{\text{СОП.ПР}}, \quad (4.21)$$

где $K_{\text{ОБ}}$ – величина капитальных вложений в оборудование;

$K_{\text{ПЛ}}$ – величина капитальных вложений в площади (так как по базовому и проектному вариантам используется одна и та же площадь, размеры ее не изменились, следовательно, капитальные вложения в площади не рассчитываем);

$K_{\text{СОП}}$ – величина сопутствующих капитальных вложений.

$$K_{\text{ОБ.ПР}} = \Pi_{\text{ОБ.ПР}} \cdot K_{\text{Т-З}} \cdot K_{\text{ЗПР}} \quad (4.22)$$

$$K_{\text{ОБ.ПР}} = 826000 \cdot 1,05 \cdot 0,38 = 329574 \text{ рублей}$$

$$K_{\text{СОП}} = K_{\text{ДЕМ}} + K_{\text{МОНТ}} \quad (4.23)$$

где $K_{\text{ДЕМ}}$ – затраты на демонтаж базового оборудования;

$K_{\text{МОНТ}}$ – затраты на монтаж оборудования.

$$K_{\text{ДЕМ}} = \Pi_{\text{Б}} \cdot K_{\text{ДЕМ}} \quad (4.24)$$

где $K_{\text{ДЕМ}}$ – значение коэффициента, учитывающего затраты на демонтаж.

$$K_{\text{ДЕМ}} = 826000 \cdot 0,05 = 41300 \text{ рублей}$$

$$K_{\text{МОНТ}} = \Pi_{\text{ПР}} \cdot K_{\text{МОНТ}}, \quad (4.25)$$

где $K_{\text{МОНТ}}$ – значение коэффициента, учитывающего затраты на монтаж проектного оборудования.

$$K_{\text{МОНТ}} = 826000 \cdot 0,05 = 41300 \text{ рублей}$$

$$K_{\text{СОП}} = 41300 + 41300 = 82600 \text{ рублей}$$

$$K_{\text{ОБЩ.ПР.}} = 329574 + 82600 = 412174 \text{ рублей}$$

Расчёт дополнительных капитальных вложений

$$K_{\text{доп}} = K_{\text{общ.Пр.}} - K_{\text{общ.Баз.}} \quad (4.26)$$

$$K_{\text{доп}} = 412174 - 234584 = 177590 \text{ рублей}$$

Расчёт удельных капитальных вложений

$$K_{\text{уд}} = K_{\text{общ}} / P_{\Gamma}, \quad (4.27)$$

где P_{Γ} – годовая программа выпуска.

$$K_{\text{уд.Баз.}} = 234584 / 2000 = 117,29 \text{ рублей/ед.}$$

$$K_{\text{уд.Пр.}} = 412174 / 2000 = 206,09 \text{ рублей/ед.}$$

4.7 Расчёт показателей экономической эффективности проектной технологии сварки

Расчёт показателя снижения трудоемкости

$$\Delta t_{\text{шт}} = \frac{t_{\text{штБ}} - t_{\text{штПР}}}{t_{\text{штБ}}} \cdot 100\% \quad (4.28)$$

$$\Delta t_{\text{шт}} = \frac{1,7 - 0,8}{1,7} \cdot 100\% = 53\%$$

Расчёт показателя повышения производительности труда

$$P_{\Gamma} = \frac{100 \cdot \Delta t_{\text{шт}}}{100 - \Delta t_{\text{шт}}} \quad (4.29)$$

$$P_{\Gamma} = \frac{100 \cdot 53}{100 - 53} = 113\%$$

Расчёт показателя снижения технологической себестоимости

$$\Delta C_{\text{тех}} = \frac{C_{\text{техБ}} - C_{\text{техПР}}}{C_{\text{техБ}}} \cdot 100\% \quad (4.30)$$

$$\Delta \tilde{N}_{\text{св}} = \frac{4430,69 - 2726,41}{4430,69} \cdot 100\% = 38,5\%$$

Расчёт условно-годовой экономии

$$\mathcal{E}_{\text{у.г.}} = (C_{\text{завБ}} - C_{\text{завПР}}) \cdot P_{\Gamma} \quad (4.31)$$

$$\mathcal{E}_{\text{у.г.}} = (6971,51 - 3922,09) \cdot 2000 = 6098840 \text{ рублей}$$

Расчёт срока окупаемости дополнительных капитальных вложений

$$T_{\text{ок}} = \frac{K_{\text{доп}}}{\Delta_{\text{уг}}} \quad (4.32)$$

$$\dot{Q}_{\text{г}} = \frac{177590}{6098840} = 0,03$$

Расчёт годового экономического эффекта в сфере производства

$$\Delta_{\text{г}} = \Delta_{\text{уг}} - E_{\text{н}} \cdot K_{\text{доп}} \quad (4.33)$$

$$\Delta_{\text{г}} = 6098840 - 0,33 \cdot 177590 = 6040235 \text{ рублей}$$

4.8 Выводы по экономическому разделу

В экономическом разделе произведены расчеты технологической и заводской себестоимости при сварке неповоротного стыка магистрального газопровода.

Внедрение проектной технологии сварки приводит к снижению трудоемкости на 53 %, повышению производительности труда на 113 %, уменьшению технологической себестоимости на 38,5 %. Ожидаемая условно-годовая экономия от внедрения в производство проектной технологии составит 6 млн. рублей

Годовой экономический эффект составит 6 млн. рублей
Дополнительные капитальные вложения в размере 177 тыс. рублей окупятся за 0,53 года.

По результатам экономический расчётов следует сделать вывод об эффективности проектной технологии и целесообразности её применения при сварке неповоротных стыков магистральных газопроводов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе была поставлена цель – повышение эффективности операции сварки при строительстве магистральных газопроводов из стали классом прочности K65.

Анализ базовой технологии, которая предусматривает применение ручной дуговой сварки, позволяет выделить её недостатки:

- 1) Большое число дефектов вследствие применения ручной дуговой сварки;
- 2) Тяжёлые условия труда сварщиков;
- 3) Малая производительность сварки.

Анализ состояния вопроса позволил сформулировать задачи:

- 1) Произвести анализ возможных способов сварки и выбрать наиболее производительный, который необходимо изменить под особенности сварки газопровода;
- 2) Разработать технологический процесс сборки и сварки;
- 3) Выявить опасные и вредные факторы технологии и предложить меры защиты персонала от них;
- 4) Произвести экономическое обоснование применения проектной технологии.

На основании анализа способов сварки в работе предложено производить заполнение разделки и наложение облицовочного слоя механизированной сваркой порошковой проволокой.

Внедрение проектной технологии сварки приводит к снижению трудоемкости на 53 %, повышению производительности труда на 113 %, уменьшению технологической себестоимости на 38,5 %. Годовой экономический эффект составит 6 млн. рублей. Дополнительные капитальные вложения в размере 177 тыс. рублей окупятся за 0,53 года. На основании вышеизложенного следует сделать вывод об эффективности проектной технологии и целесообразности её применения при сварке неповоротных стыков магистральных газопроводов. Цель достигнута.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Яковлев, Д. С. Повышение качества сварных соединений электросварных труб при использовании порошковых проволок : Дис. ... канд. техн. наук : 15.02.10 / Дмитрий Сергеевич Яковлев : Южно-Уральский гос. ун-т. – Челябинск. – 2016.
2. Столяров, В. И. Современное состояние и перспективы технологии производства газонефтепроводных труб большого диаметра для трубопроводов на давление до 9,8 МПа / В. И. Столяров, И. Ю. Пышменцев, И. И. Лубе, Л. И. Эфрон, С. Ю. Настич // Нефтегазовая вертикаль. – 2006. – № 13. – С. 34-37.
3. Макиевский, Ю. И. Перспективы производства и потребления сварных труб среднего диаметра / Ю. И. Макиевский, Ю. Н. Стасовский, С. В. Галлий // Сталь. – 2008. – № 10. – С. 92-94.
4. Ефименко, Л. А. Исследование свариваемости высокопрочных трубных сталей категории прочности X80 / Л. А. Ефименко, О. Ю. Елагина, О. Е. Капустин, Е. М. Вышемирский // Сварочное производство. – 2009. – № 2. – С. 3–7.
5. Пинчук, А. В. Развитие производства труб в России за последние годы / А. В. Пинчук, Л. А. Кондратов // Металлург. – 2011. – № 6. – С. 8–16.
6. Вышемирский, Е. М. Исследование свариваемости и разработка технологии сварки высокопрочных трубных сталей в условиях Крайнего Севера: Дис. ... канд. техн. наук: 05.03.06 / Евгений Мстиславович Вышемирский : Российский гос. ун-т нефти и газа имени И. М. Губкина. – Москва. – 2009.
7. Иванов, А. Ю. Обеспечение комплекса механических свойств зоны термического влияния сварных соединений труб классов прочности X80, X90 на основе исследования фазовых превращений и структуры : Дис. ... канд. техн. наук : 05.16.01, 05.02.10 / Александр Юрьевич Иванов : Центр. науч.-исслед. ин-т конструкц. материалов "Прометей". – Санкт-Петербург. – 2011.

8. Беспалов, В. И. Оптимизация технологий строительства для обеспечения нормативных требований к сварным соединениям магистральных газопроводов: Дис. ... кан. техн. наук : 05.02.10 / Владимир Иванович Беспалов : Газпром ВНИИГАЗ. – Москва. – 2010.

9. Глинер, Р. Е. Технологичность сварки современной высокопрочной листовой стали / Р. Е. Глинер // Сварочное производство. – 2009. – № 11. – С. 26–34.

10. Ефименко, Л. А. Особенности подхода к оценке свариваемости низкоуглеродистых высокопрочных трубных сталей / Л. А. Ефименко, О. Ю. Елагина, Е. М. Вышемирский // Сварочное производство. – 2010. – № 5. – С. 5–11.

11. Клюквин, М. Б. Толстолистовая сталь для газопроводных труб Х80 с высокой ударной вязкостью / М. Б. Клюквин, В. Г. Ордин, Ю. И. Матросов, В. И. Левченко, Р. И. Сагиров, Т. Ю. Иванова, Н. В. Колясникова // Металлург. – 2012. – № 6. – С. 53–58.

12. Федосеева, Е.М. Повышение качества сварных соединений сталей трубного назначения для обеспечения эксплуатационной безопасности магистральных трубопроводов: Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук. – Пермь: Пермский государственный технический университет. – 2011.

13. Энергетическая стратегия развития России до 2035 года: Институт энергетической стратегии. – Москва. – 2009.

14. Anthony J. DeArdo The metallurgy of high strength linepipe steels / Anthony J. DeArdo // Трубы – 2007: сборник докладов XV международной научно-технической конференции. – Челябинск: РосНИТИ, 2007. – Ч. 2. – С. 84–93.

15. Кархин, В. А. Анализ химической макронеоднородности вблизи границы сплавления при сварке плавлением / В. А. Кархин, П. Н. Хомич, П. Раямяки // Сварочное производство. – 2008. – № 8. – С. 3–8.

16. Морозов, Ю. Д. Исследование влияния композиции химического состава на комплекс механических свойств и микроструктуру листового проката класса прочности K65 (X80) / Ю. Д. Морозов, А. А. Науменко // *Металлург.* – 2009. – №11. – С. 51–55.

17. Кривоносова, Е.А. Определение характеристик сопротивления усталости многослойных сварных швов стали 10Г2ФБЮ / Е.А. Кривоносова, О.А. Рудакова // *Вестник ПНИПУ. Машиностроение, материаловедение.* 2012. Т. 14, № 2. С. 29-36.

18. Сварка в машиностроении: Справ, в 4 т. / Под ред. Н.А. Олышанского. – М.: Машиностроение, 1978. – Т.1 – 504 с.

19. Технология и оборудование сварки плавлением и термической резки: Учебник для вузов. – 2-е изд. испр. и доп. / А. И. Акулов, В. П. Алехин, С. И. Ермаков [и др.]; под ред. А. И. Акулова. – М.: Машиностроение, 2003. – 560 с.

20. Потапьевский, А. Г. Сварка в защитных газах плавящимся электродом / А. Г. Потапьевский. – М.: Машиностроение, 1974. – 240 с.

21. Потапьевский, А. Г. Сварка сталей 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.

22. Романюк, В. С. Высокопроизводительная сварка неповоротных стыков труб порошковой проволокой с принудительным формированием шва / В. С. Романюк, В. Д. Ковалев, С. А. Резник, А. М. Семененко // *Сварщик.* – 2011. – № 2. – С. 32–33.

23. Походня, И. К. Влияние легирования на механические свойства сварных швов, выполненных порошковыми проволоками / И. К. Походня, Л. Н. Орлов, Г. А. Шевченко, В. Н. Шлепаков // *Автоматическая сварка.* – 1985. – № 7. – С. 8–11.

24. Походня, И. К. Сварка порошковой проволокой и перспективы ее развития / И. К. Походня // Сварочное производство. – 1967. – № 11. – С. 43–45.

25. Шлепаков, В. Н. Физико-металлургические и сварочно-технологические свойства газозащитных порошковых проволок для сварки конструкционных сталей / В. Н. Шлепаков // Автоматическая сварка. – 2014. – № 6–7. – С. 56–59.

26. Походня, И. К. Исследования и разработки ИЭС им. Е.О. Патона в области электродуговой сварки и наплавки порошковой проволокой / И. К. Походня, В. Н. Шлепаков, С. Ю. Максимов, И. А. Рябцев // Автоматическая сварка. – 2010. – № 12. – С. 34–42.

27. Егоров, А. Г. Правила оформления выпускных квалификационных работ по программам подготовки бакалавра и специалиста: учебно-методическое пособие / А. Г. Егоров, В. Г. Виткалов, Г. Н. Уполовникова, И. А. Живоглядова – Тольятти, 2012. – 135 с.

28. Горина, Л. Н. Обеспечение безопасных условий труда на производстве: учебное пособие / Л. Н. Горина. – Тольятти: ТолПИ, 2000. – 68 с.

29. Белов, С. В. Охрана окружающей среды / С. В. Белов. – М.: Машиностроение, 1990. – 372с.

30. Брауде, М. З. Охрана труда при сварке в машиностроении / М. З. Брауде, Е. И. Воронцова, С. Я. Ландо. – М.: Машиностроение, 1978. – 144 с.

31. Манойлов, В. Е. Основы электробезопасности / В. Е. Манойлов. – Л.: Энергоатомиздат, Ленинградское отделение, 1991. – 480 с.

32. Краснопевцева, И. В. Экономическая часть дипломного проекта: метод. указания / И. В. Краснопевцева – Тольятти: ТГУ, 2008. – 38 с.

33. Кудинова, Г. Э. Организация производства и менеджмент: метод. указания к выполнению курсовой работы. / Г. Э. Кудинова. – Тольятти: ТГУ, 2005. – 35 с.