

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

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 Аварийная ремонтная технология трубопровода
нефтехимических установок d=325 мм из стали 12X18H10T

Студент К.В. Васютин

(личная подпись)

Руководитель к.т.н., профессор Г.М. Короткова

(личная подпись)

Консультанты

д.э.н., профессор И В.Краснопевцева

(личная подпись)

И.В. Дерябин

(личная подпись)

к.т.н., доцент В Г. Виткалов

(личная подпись)

Допустить к защите

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

(ученая 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»

МАШИНОСТРОЕНИЯ

(наименование института полностью)

Кафедра Сварка, обработка материалов давлением и родственные процессы

(наименование кафедры)

УТВЕРЖДАЮ

Зав. кафедрой «СОМДиРП»

В.В. Ельцов

(подпись)

(И.О. Фамилия)

« ___ » _____ 20__ г.

ЗАДАНИЕ

на выполнение бакалаврской работы

Студент: Васютин Константин Валерьевич

1. Тема: Аварийная ремонтная технология трубопровода нефтехимических установок d=325 мм из стали 12X18H10T

2. Срок сдачи студентом законченного проекта 05.06.2017г

3. Исходные данные к проекту: конструкция трубопровода, диаметр трубы 325 мм, материал 12X18H10ТАМг-6, соединение – стыковое.

4. Содержание пояснительной записки (перечень подлежащих разработке вопросов).

Введение (доказать актуальность темы и сформулировать цель проекта).

1) Обзор состояния сварки технологического трубопровода из нержавеющей стали, (Сформулировать задачи проекта).

2) Анализ способов сварки, рекомендованных для ремонтных работ.

3) Разработка ремонтной технологии сварки.

4) Безопасность и экологичность технологического объекта.

5) Экономическая эффективность проекта.

Заключение (в выводах показать, что цель, поставленная в проекте, достигнута).

Список используемой литературы

Приложения

5. Перечень графического и иллюстративного материала (с точным указанием обязательных чертежей):

- 1.Общий вид установки гидроочистки нефти о изделия – 1 лист
- 2.Анализ способов сварки – 1 лист
- 3.Технологический процесс сварки (базовый) – 1 листа
- 4.Технологический процесс сварки (проектный) – 2 лист
- 5.Экономическое обоснование проекта– 1 лист

6.Консультанты по разделам

1.Безопасность и экологичность проекта: ст. препод. кафедры «Управление промышленной экологической безопасностью» И.В. Дерябин

2.Экономическое обоснование проекта: д.э.н., доцент кафедры «Торговое дело и управление производством» И.В. Краснопевцева

3.Нормоконтроль проекта: к.т.н., доцент кафедры ДиИГ секция «Инженерная графика В.Г. Виткалов

7. Дата выдачи задания «13»_02._2017г.

Заказчик (указывается должность, место работы) _____

Руководитель выпускной
квалификационной работы

_____ (подпись)

Г.М. Короткова
(И.О. Фамилия)

Задание принял к исполнению

_____ (подпись)

К.В. Васютин
(И.О. Фамилия)

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение

высшего образования

«Тольяттинский государственный университет»

МАШИНОСТРОЕНИЯ

(наименование института полностью)

СОМДиРП

(наименование кафедры)

УТВЕРЖДАЮ

Завкафедрой

СОМДиРП

В.В. Ельцов

(подпись)

(И.О. Фамилия)

**КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН
выполнения бакалаврской работы**

Студента Васютина Константина Валерьевича
по теме «Аварийная ремонтная технология трубопровода
нефтехимических установок d=325мм из ст. 12X18Н10Т»

Наименование раздела работы	Плановый срок выполнения раздела	Фактический срок выполнения раздела	Отметка о выполнении	Подпись руководителя
1 глава. 2листа формата А1	03.04.17 – 20.04.17	20.04.17	выполнено	
2глава. 1 лист, А1	21.04.17 – 09.05.17	09.05.17	выполнено	
3гл. 2листа А1	10.05.17 – 22.05.17	22.05.17	выполнено	
4глава	23.05.17 - 28.05.17	28.05.17	выполнено	
5 гл, 1 лист А1	29.05.17 10.05.17	10.05.17	выполнено	
Предварит. защита	График кафедры	01.06.17	выполнено	

Руководитель выпускной
квалификационной работы

(подпись)

Г.М. Короткова

(И.О. Фамилия)

Задание принял к исполнению

(подпись)

К.В. Васютин

(И.О. Фамилия)

АННОТАЦИЯ

Технологический трубопровод является неотъемлемой частью любого нефтегазового производства. К его надежности и безопасности эксплуатации предъявляются повышенные требования, поскольку авария на технологическом трубопроводе приводит к разрушению элементов оборудования, зданий, остановке производственного процесса на достаточно продолжительный срок, экологическому ущербу и может сопровождаться человеческими жертвами.

Цель работы – повышение производительности сварки в монтажных условиях технологических трубопроводов из стали 12Х18Н10Т за счёт применения перспективных способов сварки.

В работе решались следующие задачи:

- 1) провести анализ способов сварки для ремонта трубопровода;
- 2) разработать проектную ремонтную технологию сварки трубопровода с использованием сварки порошковой самозащитной проволоки;
- 3) предложить мероприятия по повышению эффективности сварки трубопровода самозащитной порошковой проволокой в условиях монтажа;
- 4) экономически обосновать проект.

Пояснительная записка состоит из 71 страниц, содержит 16 иллюстраций, 30 таблиц, 33 библиографических наименования. Графическая часть включает в себя 6 листов формата А1.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	8
1. ОБЗОР СОСТОЯНИЯ СВАРКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ТРУБОПРОВОДОВ ИЗ НЕРЖАВЕЮЩЕЙ СТАЛИ	
1.1. Описание изделия	10
1.2. Особенности технологического трубопровода установки Л-24	12
1.2.1. Свойства стали 12Х18Н10Т	13
1.3. Базовая технология сварки	15
2. АНАЛИЗ СПОСОБОВ СВАРКИ, РЕКОМЕНДОВАННЫХ РД 03-615-03 ДЛЯ РЕМОНТНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ТРУБОПРОВОДА	
2.1. Ручная дуговая сварка	27
2.2. Механизированная сварка в защитных газах проволокой сплошного сечения	28
2.3. Механизированная сварка в защитных газах порошковой проволокой	29
2.4. Сварка самозащитной порошковой проволокой	30
2.5. Анализ научных работ по теме ВКР	31
2.6 Задачи выпускной квалификационной работы	32
3. РАЗРАБОТКА ПРОЕКТНОЙ РЕМОНТНОЙ ТЕХНОЛОГИИ СВАРКИ	
3.1. Повышение эффективности сварки самозащитной порошковой проволокой	34
3.2. Состав самозащитной порошковой проволоки	38
3.3. Проектная ремонтная технология сварки трубопровода	44
4. БЕЗОПАСНОСТЬ И ЭКОЛОГИЧНОСТЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА	
4.1. Технологическая характеристика объекта	47
4.2. Идентификация персональных рисков	48
4.3. Методы и средства снижения профессиональных рисков	49
4.4. Обеспечение пожарной безопасности	50

4.5. Обеспечение экологической безопасности технологического объекта	<u>52</u>
5. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОЕКТА	<u>54</u>
ЗАКЛЮЧЕНИЕ ПО РАБОТЕ	<u>67</u>
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	<u>68</u>

ВВЕДЕНИЕ

Технологический трубопровод является неотъемлемой частью любого нефтегазового производства. К его надежности и безопасности эксплуатации предъявляются повышенные требования, поскольку авария на технологическом трубопроводе приводит к разрушению элементов оборудования, зданий, остановке производственного процесса на достаточно продолжительный срок, экологическому ущербу и может сопровождаться человеческими жертвами .

В настоящее время согласно имеющимся статистическим данным [1, 2], на трубопроводах наблюдается рост числа аварий, при этом причинами отказов в основном является коррозионный износ и старение трубопроводов, а также несовершенство проектных решений и брак строительно-монтажных работ. Хотя авария на трубопроводе, связанная с разрывом стенки трубы, случается достаточно редко, следует учесть, что даже незначительный разрыв стенки трубопровода приносит огромный ущерб из-за загрязнения окружающей среды, взрывов и пожаров, человеческих жертв, нарушения снабжения потребителя нефтепродуктами. Именно поэтому основной проблемой трубопроводного транспорта является сохранение работоспособности линейной части.

В настоящее время в мире отмечается тенденция к увеличению доли нержавеющей хромоникелевых сталей, применяемых, главным образом, для объектов химических производств, судостроения, сооружения газонефтепроводов, глубоководных платформ, а также объектов атомной промышленности.

Такое широкое применение этих сталей (типа 18-10) обосновано ввиду наличием у них специальных свойств: стойкость против атмосферной коррозии; стойкость против жидкостной и газовой коррозии; жаропрочность, высокие и стабильные прочностные свойства в достаточно широком диапазоне температур [3].

В настоящее время основным способом сварки на монтаже и при внеплановом ремонте технологических трубопроводов из нержавеющей стали является ручная дуговая сварка штучными электродами [3, 4]. Малая производительность сварочных работ и недостаточная стабильность качества приводит к необходимости внедрения более производительных и прогрессивных способов сварки, таких как механизированная сварка в защитных газах проволокой сплошного сечения и порошковой проволокой, сварка самозащитной порошковой проволокой [4, 5]. Поэтому тема выпускной квалификационной работы является актуальной.

Цель работы – повышение производительности сварки в монтажных условиях технологических трубопроводов из стали 12Х18Н10Т за счёт применения перспективных способов сварки.

1. ОБЗОР СОСТОЯНИЯ СВАРКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ТРУБОПРОВОДОВ ИЗ НЕРЖАВЕЮЩЕЙ СТАЛИ

1.1. Описание изделия

Рассматриваемый технологический трубопровод расположен на установке гидроочистки нефти Л-24 (рис. 1.1). Установка гидроочистки Л-24-6 используется для удаления сернистых соединений из следующего сырья:

- прямогонные дизельные фракции (содержание серы до 2,0 %);
- керосиновые фракции (содержание серы до 1,0 %);
- бензиновые фракции первичного и вторичного происхождения (содержание серы до 1,0 %);
- вторичные фракций каталитического крекинга.

Установка Л-24-6 имеет следующие конструктивные особенности. Реактор установки выполнен с аксиальным вводом сырья сверху вниз, не имеет защитного стакана. Диаметр реактора составляет 2600 мм. Установка имеет кожухотрубные продуктово-сырьевые теплообменники. Диаметр корпуса теплообменника 800 мм. В установке применяются трубчатые печи шатрового типа, имеющие сварной змеевик в зоне огневого нагрева. В установке предусмотрены колонные аппараты различных диаметров (с насадкой из колец Рашига или желобчатыми тарелками). На открытой площадке установлены холодильники высокого давления типа «труба в трубе» для готового продукта. Установка оснащена поршневыми компрессорами марки 5ВП-16/70.

В ходе внепланового ремонта необходима замена секций трубопровода общей протяжённостью 77 метров, который изготовлен из трубы 12Х18Н10Т диаметром 325 мм и толщиной стенки 14 мм и 20 мм. В трубопроводе происходит подача сырья под давление до 5,0МПа и температуре до 400°С. Продукт обращается в установке при высоких температурах и давлениях и

находится в жидкой фазе в перегретом состоянии. Также следует отметить наличие в нём различных углеводородных газов.



Рисунок 1.1 – Установка гидроочистки нефти Л-24-6

В результате разгерметизации трубопровода с такой перегретой жидкостью происходит переход сырья в парообразное состояние, образование взрывопожароопасного облака, объёмный взрыв. Такой взрыв обладает большой разрушительной силой и может привести к многочисленным человеческим жертвам.

1.2 Особенности технологического трубопровода установки Л-24

При эксплуатации установки проведение планового и внепланового (аварийного) ремонта.

Внеплановый ремонт проводится при возникновении аварийных ситуаций, связанных с износом технологического трубопровода или при прогнозировании остаточного ресурса трубопровода, вызывающего угрозу эксплуатации установки, а также составляется акт о причинах аварии и перечислением мер по её ликвидации. Внеплановый ремонт может быть как текущий, так и капитальный.

Капитальный ремонт характеризуется одновременной заменой большого количества деталей.

В состав капитального ремонта входят:

- Полная разборка, промывка установки;
- Замена изношенных деталей и сборочных единиц;
- Зачистка участка трубопровода;
- Восстановление дефектного участка;
- Проверка установки вхолостую и под нагрузкой.

При проведении внепланового ремонта установка выводится из эксплуатации, проводятся работы по удалению и восстановлению дефектного участка.

На установке одна часть трубопровода выполнена из трубы диаметром 325 мм с толщиной стенки 14 мм, другая из трубы диаметром 325 мм и толщиной стенки 20 мм.

Материал трубы – высоколегированная сталь 12X18H10T.

Размер дефектного участка определяется по месту.

В соответствии с РД 03-615-03 рекомендуется для данных толщин сварку вести с разделкой кромок.

1.2.1 Свойства стали 12X18H10T

Сталь 12X18H10T относится к классу коррозионно-стойких жаропрочных сталей. Она применяется для изготовления сварной аппаратуры, которая работает в средах с повышенной агрессивностью - детали печной арматуры, трубы, теплообменники, муфели, электроды искровых зажигательных свечей. Для стали 12X18H10T допускается эксплуатация при температурах от -196 до $+600$ °С без ограничения давления.

Сталь 12X18H10T является аустенитной (возможно небольшое содержание ферритной фазы), сварка обеспечивает получение в металле шва ферритной фазы 2...10 %.

Таблица 1.1 – Химический состав стали 12X18H10T [6]

C		Cr		Ni		Mn		Si	
мин	макс	мин	макс	мин	макс	мин	макс	мин	макс
-	0,12	17	19	9	11	-	2	-	0,8
Ti		Cu		P		S		Fe	
мин	макс	мин	макс	мин	макс	мин	макс	мин	макс
0,5	0,7	-	0.3	-	0.035		0.02	остальное	

Таблица 1.2 – Механические свойства стали 12X18H10T [6]

Состояние поставки и режимы термообработки	Сечение, мм	$\sigma_{0,2}$	σ_B	δ_5	ψ
		МПа		%	
		не менее			
Трубы бесшовные горячедеформированные без термообработки	3,5...32	206	510	40	55

Основным легирующим элементом стали 12X18H10T является хром, содержание которого составляет 17...19 %. Он обеспечивает способность металла к пассивации и коррозионную стойкость стали.

Легирование стали никелем, содержание которого составляет 9...11 %, переводит сталь в аустенитный класс. Это позволяет получить сочетание высокой технологичности стали и уникального комплекса эксплуатационных характеристик.

Присутствующие в стали кремний (до 0,8 %) и титан (0,5...0,7 %) способствуют образованию феррита в структуре стали, что необходимо учитывать при сварке и механической обработке.

Основными трудностями при сварке стали 12X18H10T являются [6, 7]:

- межкристаллитная коррозия металла шва и основного металла в околошовной зоне, которая нагрелась до температуры 450...650 °С [8, 9];
- горячие (кристаллизационные) трещины, образование которых особенно проявляется в многослойных швах, когда кристаллы каждого последующего слоя становятся продолжением кристаллов предыдущего слоя, в результате чего формируется крупнозернистая структура и значительные напряжения усадки;
- значительное снижение пластических свойств металла шва в условиях длительной работы при температуре 350...550 °С;
- усиленное коробление сварных конструкций, вследствие низкой теплопроводности и большого коэффициента термического расширения стали 12X18H10T по сравнению с низкоуглеродистыми сталями, опасность растрескивания.

1.3 Базовая технология сварки

Сварочные материалы

Для обеспечения стойкости к межкристаллитной коррозии при сварке изделий из стали 12X18H10T могут применяться электроды марок: ОЗЛ-7, ОЗЛ-20, ЦЛ-11, АНВ-23, ЦТ-15, ЗИО-3, НЖ-13, НИАТ-1 [2, 12]. Для рассматриваемого трубопровода используют электроды марки ЦТ-15.

Диаметр стержня электрода принят 3,0 мм, так как использование электродов большего диаметра для сварки стали 12X18H10T нежелательно [7, 4].

Таблица 1.3 – Химический состав металла, наплавленного электродами ЦТ-15

C	Si	Mn	Cr	Ni	Nb	P	S
0,05-0,12	до 1,3	1,0...2,5	18...20	8,5...10,5	0,7...1,3	до 0,02	до 0,03

Таблица 1.4 – Механические свойства металла шва и наплавленного металла электродами ЦТ-15

Предел прочности	Предел текучести	Относительное удлинение	Ударная вязкость при $t = +20\text{ }^{\circ}\text{C}$
σ_b , МПа	σ_T , МПа	δ_5 , %	Дж/см ²
588	314	24	78

Соответствие электродов перед сваркой осуществляется:

- проверкой сертификата, этикетки на упаковке электродов
- реакцией на контакт с магнитом (сварочный материал не должен притягивать магнит).

Перед сваркой электроды необходимо прокалить, температура прокалики – $200\pm 20\text{ }^{\circ}\text{C}$, продолжительность прокалики $1,0\pm 0,5$ ч. Для прокалики используется печь ЭПЭ-50-400 (рис. 1.2).



Рисунок 1.2 – Печь для прокалики электродов ЭПЭ-50-400

Таблица 1.5 – Техническая характеристика печи для прокалики электродов ЭПЭ-50-400

Показатель	Размерность	Значение
Номинальное напряжение питающей сети	В	220
Номинальная мощность	кВт	2,5
Диапазон регулирования температуры	°С	50...400
Загрузка	кг	40
Рабочее пространство	мм	400×500×280
Габариты	мм	755×820×560
Вес без тары	кг	50
Цена	руб.	9500

Подготовка под сварку

На всех свариваемых элементах перед сборкой мастер проверяет наличие клейма, маркировки, сертификаты завода-изготовителя, которые подтверждают соответствие деталей назначению. В случае отсутствия маркировки, клейм или сертификатов такие детали к сварке не допускаются.

Разметку труб необходимо обеспечивать с максимальным использованием материала, сокращая отходы. При этом учитывают технологический припуск 6...7 мм (2...3 % от наружного диаметра трубы).

Резку труб и разделку кромок осуществляют при помощи механической резательной машины Мангуст-325 (рис. 1.3), которая

позволяет производить резку и разделку труб с диаметром до 325 мм и толщиной стенки до 20 мм. На рис. 1.4 приведены требования к параметрам разделки кромок.



Рисунок 1.3 – Механический фаскосниматель Мангуст-325

Таблица 1.6 – Техническая характеристика механического фаскоснимателя Мангуст-325

Показатель	Размерность	Значение
Мощность электродвигателя	кВт	1,4
Напряжение питания	В	220
Максимальный крутящий момент	Н·м	760
Количество резцов резцедержателе	в шт.	1 или 2
Частота вращения резцедержателя	об/мин	4...15
Масса в рабочем состоянии	кг	60
Габариты в рабочем состоянии	мм	565×505×322
Цена	руб.	546 тыс.

Перед сборкой кромки и прилегающие участки поверхностей труб необходимо зачищать до металлического блеска и обезжировать на ширину не менее 20 мм снаружи и не менее 10 мм изнутри. Подготовленные к сборке кромки труб не должны иметь вырывы, заусенцы, резкие переходы и острые углы.

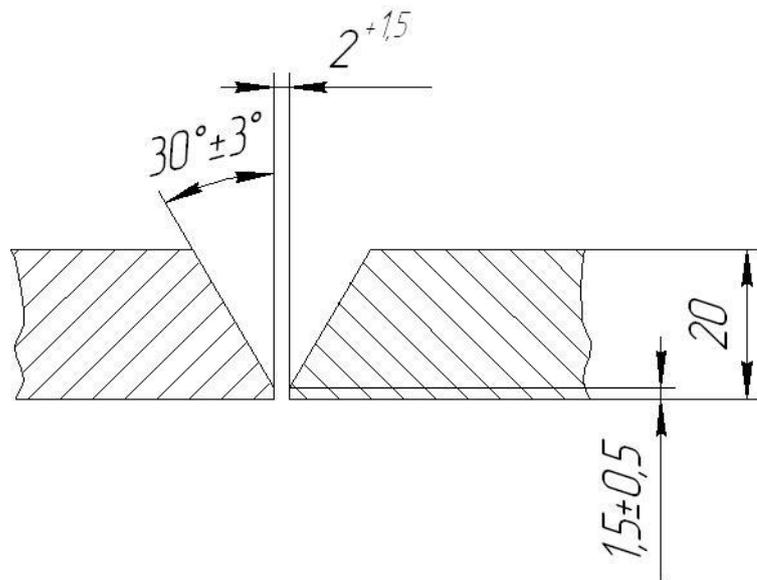


Рисунок 1.4 – Требования к разделке кромок под сварку

Сборка

Для сборки труб перед сваркой используется центратор звеньевой наружный ЦЗН-325 (рис. 1.5), который предназначен для центровки торцов труб диаметром до 325 мм перед сваркой неповоротных стыков технологических трубопроводов.



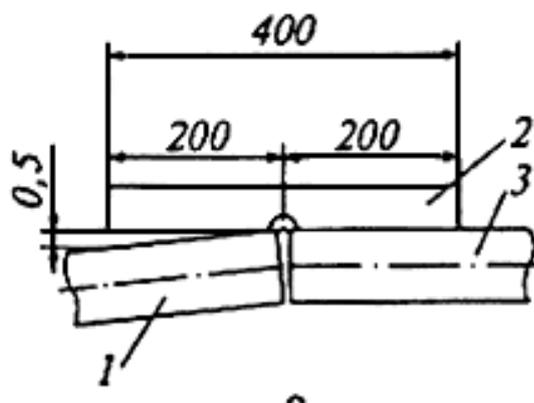
Рисунок 1.5 – Центратор звеньевой наружный ЦЗН-325

При сборке необходимо обеспечить свободную установку кромок свариваемых труб (без натяга) и равномерный зазор по всей окружности стыка.

Таблица 1.7 – Характеристика центратора ЦЗН-325

Показатель	Размерность	Значение
Масса центратора	кг	22,4
Диаметр труб	мм	325
Страна производитель		Россия
Цена	руб.	4500

Допускается возникновение отклонений от прямолинейности у собираемых элементов и узлов, величину которого измеряют на расстоянии 200 мм в обе стороны от стыка. Это отклонение не должно превышать $\pm 1,5$ мм (рис 1.6). Замеры производят при помощи металлической линейки в 3...4 точках по окружности трубы.



1 и 3 - собираемые элементы; 2 – металлическая линейка

Рисунок 1.6 – Осуществление контроля прямолинейности собираемых под сварку элементов

Сборку стыков производят на прихватках, которые равномерно распределяют по всему периметру стыка. Прихватку производят электродами ЦТ-15. Количество прихваток по окружности трубы - 3 прихватки, длина каждой прихватки – 20...25 мм.

После сварки с каждой прихватки удаляют шлак и проверяют прихватку на отсутствие в ней пор и трещин. При наличии дефектов прихватку следует удалить, а стык подготовить и прихватить заново.

Сварка

Сварку следует осуществлять при температуре воздуха не ниже $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$. Сварка производится на постоянном токе обратной полярности короткой дугой.

Таблица 1.8 – Параметры режима при сварке горизонтального стыка труб

Число слоёв	Число валиков	Диаметр электрода	Ток сварки
7	10...14	3	80...100

Таблица 1.9 – Параметры режима при сварке вертикального стыка труб

Число слоёв	Число валиков	Диаметр электрода	Ток сварки
7	10...15	3	80...100

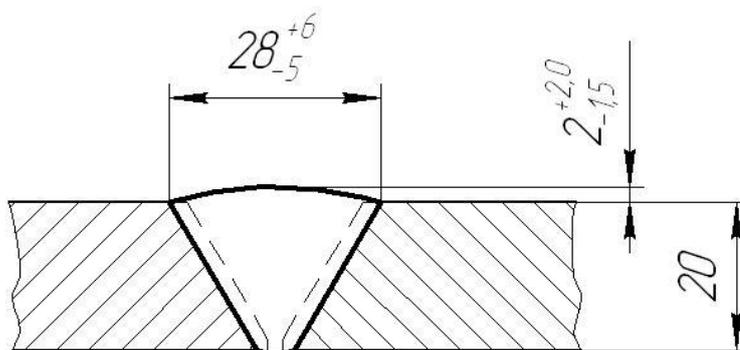


Рисунок 1.7 – Требования к форме шва

В целях уменьшения перегрева и обеспечения максимальной коррозионной стойкости металла околошовной зоны сварку необходимо выполнять при максимально возможной скорости ведения электрода без поперечных колебаний.

При сварке швов в вертикальном и горизонтальном положениях рекомендуется придерживаться порядка наложения слоев, представленного на рис. 1.8.

При осуществлении сварки в качестве источника питания применили выпрямитель ВД-306 УЗ (рис. 1.9, табл. 1.10).

При сварке допускается колебание напряжения питающей сети не более 5 % от номинального.

Дугу необходимо зажигать в разделке шва или на наплавленном металле. Кратеры швов нужно тщательно заглаживать частными при помощи коротких замыканий электрода. Не разрешается выведение кратера на основной металл. При выполнении замыкания кольцевого шва, его начало необходимо перекрывать на 15...20 мм, предварительно зачистив металл шва от шлака.

В случае случайного обрыва дуги или при смене электродов дугу следует зажигать, отступив 15...20 мм от кратера. При этом следует предварительно очистить место зажигания дуги от шлака и окалины.

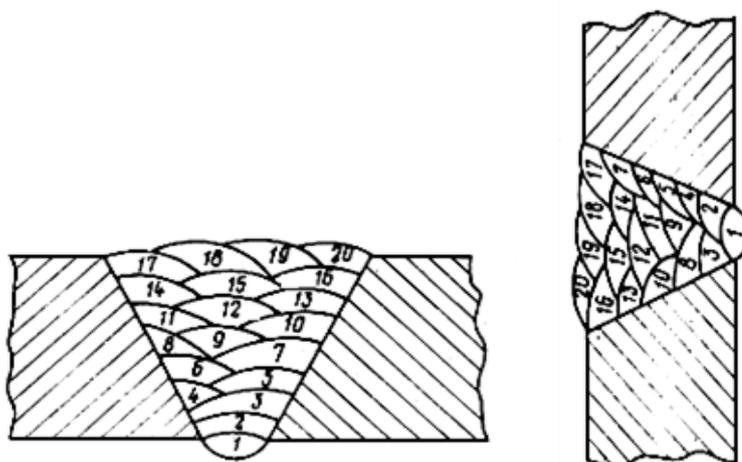


Рисунок 1.8 – Рекомендуемая последовательность наложения слоев при сварке горизонтальных и вертикальных стыков



Рисунок 1.9 – Сварочный выпрямитель ВД-306 УЗ

Таблица 1.10 – Техническая характеристика сварочного выпрямителя ВД-306 УЗ

Показатель	Размерность	Значение
Номинальное напряжение питающей сети	В	3 x 380
Частота питающей сети	Гц	50
Номинальный сварочный ток	А	400
Номинальное рабочее напряжение	В	32,6
Напряжение холостого хода	В	80
Потребляемая мощность при номинальном выпрямленном токе	кВА	12,8
Количество сварочных постов	шт.	1
Номинальный КПД	%	92
Режим работы, ПН	%	100
Габаритные размеры, Д x Ш x В	мм	425 x 300 x 345
Цена	руб.	31000

После сварки каждого слоя следует производить тщательное удаление шлака и проверку слоя на отсутствие трещин и пор. В случае обнаружения этих дефектов дефектное место следует полностью удалить и повторно заварить

После сварки стыки трубы следует очистить от шлака, брызг и окалины.

Рекомендуемый порядок выполнения корневого шва и последующих слоев при сварке неповоротных стыков труб изображён на рис. 1.10. Необходимо обеспечивать смещение точек начала сварки каждого слоя, равное 20...25 мм.

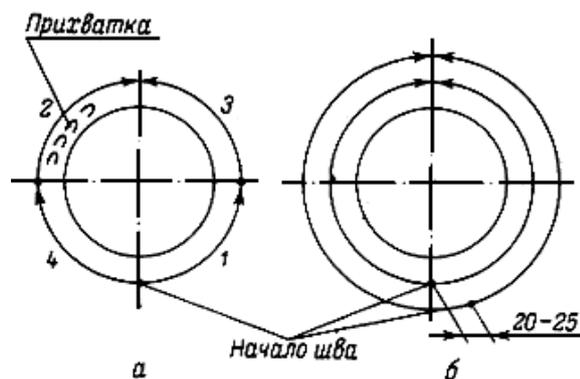


Рисунок 1.10 – Рекомендуемая последовательность выполнения неповоротного стыка:

а - корневой слой; б - второй и последующие слои

Контроль качества

Для обеспечения требуемого уровня качества кольцевых сварных соединений трубопроводов необходимо выполнять:

- пооперационный контроль;
- визуальный контроль;
- контроль по макрошлифам (в случае двухсторонней сварки под флюсом);
- контроль неразрушающими физическими методами;
- механические испытания образцов сварных соединений;
- регистрацию параметров процесса сварки.

Таблица 1.11 – Методы контроля качества

Метод контроля	Объем контроля	Документы по контролю	Нормы оценки качества
Внешний осмотр	100%	ПБ 03-605-03, ГОСТ 16037-80	СНиП 3.05.05-84
Радиографический	100%	ГОСТ 7512-82, 18-06-ИК-77 ГОСТ 24034-80 ОСТ 26-291-79	СНиП 3.05.05-84
Металлографические исследования	100%	ПБ 03-605-03 ИЗ4-70-013-84 ГОСТ 22838-77	СНиП 3.05.05-84
Испытание гидравлическим давлением	100 %	СНиП 3.05.05-84	СНиП 3.05.05-84

Таблица 1.12 – Дефекты при ручной дуговой сварке по базовой технологии

Дефекты	Причины образования дефектов
1.Занижение шва	1.1) превышение угол разделки кромок
	1.2) превышение зазора при сборке
	1.3) несоблюдение техники сварки
2.Непровары	2.1) превышение величины притупления кромок
	2.2) малая погонная энергия при сварке
	2.3) низкое качество подготовки поверхностей деталей
	2.4) неправильная форма разделки кромок
	2.5) низкое качество зачистки шва после выполнения прохода
	2.6) смещение электрода при сварке
	2.7) малые зазоры при сборке
3.Наплывы	3.1) превышение длины дуги (повышенное напряжение)
	3.2) неправильный наклон электрода (неправильное ведение)
	3.3) превышение скорости сварки
	3.4) смещение электрода при сварке
	3.5) превышение тока сварки
4.Подрезы	4.1) превышение длины дуги
	4.2) неправильный наклон электрода (неправильное ведение)
	4.3) превышение скорости сварки
	4.4) превышение тока сварки
5.Включения	5.1) нарушение технологии сварки
	5.2) низкое качество основного металла
	5.3) нарушение защиты
	5.4) низкое качество подготовки поверхности деталей
6.Свищи	6.1) нарушение защиты
	6.2) низкое качество основного металла
7.Трещины	7.1) низкое качество основного металла
	7.2) нарушение защиты
	7.3) превышение скорости охлаждения
	7.4) большое время между сваркой и термообработкой
	7.5) чрезмерная жесткость конструкция изделия
8.Поры	8.1) низкое качество основного металла
	8.2) низкое качество подготовки свариваемых кромок
	8.3) сварка отсыревшими электродами
	8.4) сварка электродами увеличенного диаметра
	8.5) некачественная защита
	8.6) превышение длинны дуги
	8.7) превышение скорости сварки

Для радиографического контроля применяется аппарат рентгеновского контроля Арина-7 (рис. 1.11).

Таблица 1.13 – Техническая характеристика аппарата рентгеновского контроля Арина-7

Показатель	Размерность	Значение
Рабочее напряжение на аноде рентгеновской трубки, не менее	кВ	250
Экспозиционная доза рентгеновского излучения на расстоянии 0,5м от торца аппарата за 1,5 мин, не менее	мР	1000
Просвечиваемая толщина стали с помощью высококонтрастных рентгеновских пленок	мм	40
Просвечиваемая толщина стали с флуоресцентными усиливающими экранами	мм	80
Габаритные размеры (высоковольтный блок)	мм	580x130x210
Габаритные размеры (пульт управления)	мм	380x270
Масса (высоковольтный блок)	кг	8,5
Масса (пульт управления)	кг	6,8
Цена	руб.	270000



Рисунок 1.11 – Аппарат рентгеновского контроля Арина-7

Для стилоскопирования применяется стилоскоп СЛП-1 (рис. 1.12). По результатам стилоскопирования содержание хрома должно составлять 16...24 %, никеля 9...14 %, марганца 1...2,5 %, необходимо наличие в металле шва ниобия.



Рис. 1.12 – Стилоскоп СЛУ-1

Таблица 1.14 – Техническая характеристика стилоскопа СЛУ-1

Показатель	Размерность	Значение
Спектральный диапазон:	нм	390...700
Разрешающая способность	нм	0,089
Фокусное расстояние объектива	мм	322,2
Минимальная контактная площадка:	мм	40x100
Габаритный размер (стилоскоп)	мм	175x190x695
Габаритный размер (блок питания)	мм	375x150x350
Габаритный размер (источник света)	мм	300x180x380
Ток дуги	А	7
Ток искры	А	3,5
Масса комплекта	кг	35
Цена	руб.	52000

В результате применения базовой технологии в условиях аварийного ремонта трубопровода наблюдается большое количество дефектов (табл. 1.12).

2. АНАЛИЗ СПОСОБОВ СВАРКИ, РЕКОМЕНДОВАННЫХ РД 03-615-03 ДЛЯ РЕМОНТНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ТРУБОПРОВОДА

При выполнении конструкций из жаропрочных аустенитных хромоникелевых сталей (10X18H10T, 12X18H10T и др.) в основном применяется дуговая сварка плавлением. При сварке нержавеющей стали могут быть применены следующие способы сварки [7, 10, 4]:

- ручная дуговая сварка покрытыми электродами;
- механизированная и автоматизированная сварка проволокой сплошного сечения в защитных газах (Ar, CO₂, Ar + CO₂);
- сварка порошковой проволокой в среде защитных газов;
- сварка самозащитной порошковой проволокой.

2.1. Ручная дуговая сварка

При сварке покрытыми электродами аустенитных хромоникелевых сталей могут применяться следующие отечественные марки электродов, которые имеют преимущественно основной и рутиловый вид покрытия [11, 12]: ЦЛ-11, ЦТ-15, ОЗЛ-7, ОЗЛ-8, Л-40М, ЗИО-3, ЦТ-15-1, НБ-38, ОЗЛ-36 и т.д. (тип Э-08X19H10Г2Б, Э-07X20H9 по ГОСТ 10052-75).

Кроме отечественных электродов нашли применение электроды зарубежного производства. В частности, фирма ESAB предлагает электроды марок ОК61.25, ОК61.30, ОК61.35, ОК61.81, ОК61.85, ОК63.34. Эти электроды соответствуют отечественным аналогам и имеют основной и рутиловый вид покрытия (тип Э-07X20H9 по ГОСТ 10052-75).

Перечисленные выше электроды отечественного и зарубежного производства имеют высокие сварочно-технологические свойства, позволяют получать наплавляемый металл шва, имеющий устойчивость против горячих трещин и пор, стойкость против межкристаллитной коррозии, жаростойкость.

Преимуществами ручной дуговой сварки аустенитных нержавеющей сталей являются:

- высокая мобильность сварщика;
- относительная простота технологии и оборудования для сварки;
- малая стоимость оборудования.

В качестве недостатков ручной дуговой сварки покрытыми электродами следует отметить:

- высокая стоимость сварочных материалов;
- расход электродов на огарки;
- высокая зависимость качества сварки от кондиций сварщика;
- низкая производительность;
- уменьшение качества вследствие вынужденных перерывов горения дуги при смене электрода.

2.2. Механизированная сварка в защитных газах

проволокой сплошного сечения

В настоящее время в мире производство сварочных материалов ориентировано на совершенствование структуры производства, модернизацию и оснащение современным оборудованием, увеличение доли высокотехнологичных сварочных материалов. Наблюдается тенденция к снижению объемов производства покрытых электродов, что объясняется заметным снижением доли ручной сварки покрытыми электродами и увеличением доли механизированной и автоматизированной сварки в защитных газах проволоками сплошного сечения и порошковыми проволоками. Это позволяет достигнуть максимального экономического эффекта, высоких показателей качества и производительности труда сварщика [13].

Как показывают статистические данные по мировому рынку сварочных материалов, в настоящий момент можно наблюдать развитие производства

сварочных материалов от штучных электродов в сторону материалов для механизированной и автоматизированной сварки [14].

Преимуществами механизированной сварки в защитных газах проволоками сплошного сечения являются:

- уменьшение потерь металла на огарки;
- повышение производительности сварки;
- повышение качества сварки за счёт отсутствия вынужденных обрывов дуги;
- общее повышение стабильности качества сварки.

Недостатками механизированной сварки в защитных газах проволоками сплошного сечения являются:

- уменьшение мобильности сварщика за счёт применения газовых баллонов;
- сложность обеспечения качественной защиты зоны горения сварочной дуги в монтажных условиях;
- разбрызгивание металла при сварке.

2.3. Механизированная сварка в защитных газах порошковой проволокой

При замене сварки штучными электродами на сварку порошковой проволокой в среде защитных газов на объектах химического машиностроения и нефтегазопроводах из нержавеющей хромоникелевых сталей можно наблюдать экономию дорогостоящих легирующих металлов (хром и никель). Это происходит из-за того, что при ручной сварке штучными электродами коэффициент перехода легирующих элементов значительно меньше, чем при сварке порошковыми проволоками. Так потери хрома и никеля составляют 60...65%, а при сварке порошковыми проволоками – всего 15...20% [3, 14].

В настоящее время на рынке предлагается большое количество порошковых проволок с достаточно широкой областью их применения. Имеется масса оборудования и технологий производства от фирм «Hobart», «ESAB», «Lincoln Electric», «Thyssen-Böhler», «Kobelco», «S.A.F.-Oerlicon»,

«Elga» и др., которые производят порошковые проволоки для сварки в CO₂ и смеси газов (Ar + CO₂).

Таким образом, преимуществами сварки порошковой проволокой в среде защитных газов является:

- улучшение условий перехода легирующих элементов в металл шва;
- улучшенные свойства наплавленного металла по сравнению со сваркой штучными электродами и проволоками сплошного сечения.
- уменьшение разбрызгивания металла;
- повышение производительности сварки.

В качестве недостатка сварки порошковой проволокой в среде защитных газов можно отметить:

- уменьшение мобильности сварщика за счёт применения газовых баллонов.

2.4. Сварка самозащитной порошковой проволокой

Механизированная сварка в защитных газах открытой дугой при монтаже на открытых площадках делает необходимой защиту сварочной ванны от ветра и атмосферных осадков, это существенно затрудняет само проведение сварочных работ.

Дальнейшее повышение уровня механизации сварочных работ в монтажных условиях технологических трубопроводов из аустенитных хромоникелевых сталей возможно может быть достигнуто путём применения самозащитных порошковых проволок, которые обеспечат высокие эксплуатационные свойства сварных соединений. Применение самозащитной порошковой проволоки позволяет получать состав металла шва, который аналогичен электродам типа Э-08Х19Н10Г2Б (марок ЦЛ-11, ЦТ-15 и т.п.), что обеспечивает требуемый уровень механических характеристик металла шва. По производительности сварки порошковая самозащитная проволока соответствует механизированной сварке проволокой сплошного сечения в защитных газах.

Таким образом, сварка самозащитной порошковой проволокой при монтаже технологических трубопроводов из аустенитной стали даёт следующие преимущества:

- снижение трудоемкости и повышение производительности сварочных работ;
- повышение мобильности способа за счёт отказа от использования баллонов с защитным газом.

Недостатками сварки самозащитной порошковой проволокой являются:

- высокая стоимость импортных проволок;
- неоднородность металла шва по содержанию легирующих элементов.

2.5. Анализ научных работ по теме ВКР

В ходе выполнения курсовой работы по дисциплине «Основы научных исследований» был произведён поиск в сети ИНТЕРНЕТ с использованием поисковика Yandex и ключевых слов «технологический трубопровод», «дефекты сварки», «ремонт трубопроводов», «контроль качества», «аустенитная сталь». Основной упор сделаем на публикации в тематических журналах (если найдём) и диссертационные исследования.

В работе [15] предложена методика прогнозирования и повышения остаточного ресурса трубопроводов, позволяющая обеспечение их безопасной эксплуатации после проведения работ по аварийному ремонту. Выполнены чертежи штамповой оснастки, позволяющей производство накладных элементов, имеющих штампованные закругленные патрубки.

В работе [1] предложены эффективные методики и технологии для контроля качества сварных соединений с использованием результатов видеомониторинга их поверхности. Предложенная методика и технология контроля позволяют повысить эффективность сварочного производства и могут применяться в адаптивных системах управления технологическими процессами сварки.

В работе [16] предложена методика УЗК аустенитных сварных швов. Исследования показали эффективность применения УЗ контроля в условиях содержания ферритной фазы более 4...5% для швов в конструкциях из нержавеющей сталей с толщиной стенки толщиной 4...30 мм. Установлено, что выявляемость шлаковых включений при УЗК и РК примерно одинаковое, а выявляемость пор выше при РК.

В работе [5] предложен новый состав самозащитной порошковой проволоки для сварки аустенитных хромоникелевых сталей в условиях монтажа, а также усовершенствованный подающий механизм проволоки.

Результаты этой работы будут применены при анализе возможных способов сварки и при составлении проектной технологии, если будет принято решение использовать сварку самозащитной проволокой.

В работе [17] рассмотрено наложение на свариваемые детали в процессе сварочного цикла вибрационных и ультразвуковых колебаний. Эти колебания улучшают механические свойства и стойкость к межкристаллитной коррозии сварных швов из стали 12Х18Н10Т. Были получены графические зависимости, характеризующие свойства металла шва в зависимости от режима вибрационной и ультразвуковой обработки. Были даны предложения, позволяющие повысить качество сварных соединений из стали 12Х18Н10Т.

2.6 Задачи выпускной квалификационной работы

Проведённый анализ состояния вопроса позволяет сформулировать задачи выпускной работы, решение которых приведёт к достижению поставленной цели:

- 1) Провести анализ способов сварки для ремонта трубопровода;
- 2) Разработать проектную ремонтную технологию сварки трубопровода с использованием сварки порошковой самозащитной проволоки;

- 3) предложить мероприятия по повышению эффективности сварки трубопровода самозащитной порошковой проволокой в условиях монтажа;
- 4) Экономически обосновать проект.

3. РАЗРАБОТКА ПРОЕКТНОЙ РЕМОНТНОЙ ТЕХНОЛОГИИ СВАРКИ ТРУБОПРОВОДА

3.1. Повышение эффективности сварки самозащитной порошковой проволокой

Главным недостатком сварки порошковой самозащитной проволокой является низкая стабильность качества, которая возникает вследствие отставания плавления сердечника проволоки от плавления её оболочки. Такое отставание получается из-за того, что сварочный ток, протекая по проволоке, распределяется по её сечению неравномерно. Большая часть сварочного тока проходит по металлической оболочке проволоки, так как она имеет высокую электропроводность по сравнению с сердечником. Нагрев оболочки проволоки током на участке вылета из токоподвода происходит с достаточно высокой скоростью, равной $100 \dots 500 \text{ }^\circ\text{C}/\text{с}$.

Материал сердечника проволоки имеет низкую температуропроводность, которая вместе с высокой скоростью нагрева оболочки проволоки приводит к превышению разности температуры оболочки проволоки над температурой сердечника проволоки. В результате этого происходит отставание скорости плавления сердечника от плавления оболочки проволоки. Это приводит к просыпанию части шихты в сварочную ванну, засорению ее неметаллическими включениями, ухудшению условий защиты электродных капель от внешней среды, усилению разбрызгивания электродного металла.

Для устранения этих негативных явлений предлагается следующее эффективное решение. Оболочка проволоки условно разбивается на n равных участков, к которым подводят сварочный ток. Подводимый к участкам сварочный ток распределяется по убывающему закону в направлении движения проволоки. Выбор длины участка проволоки, на котором осуществляется подвод тока, производят из соотношения:

$$1,2j \leq L_T \leq 2,0j \quad (3.1)$$

где L_T - длина рассредоточенного токоподвода, мм;

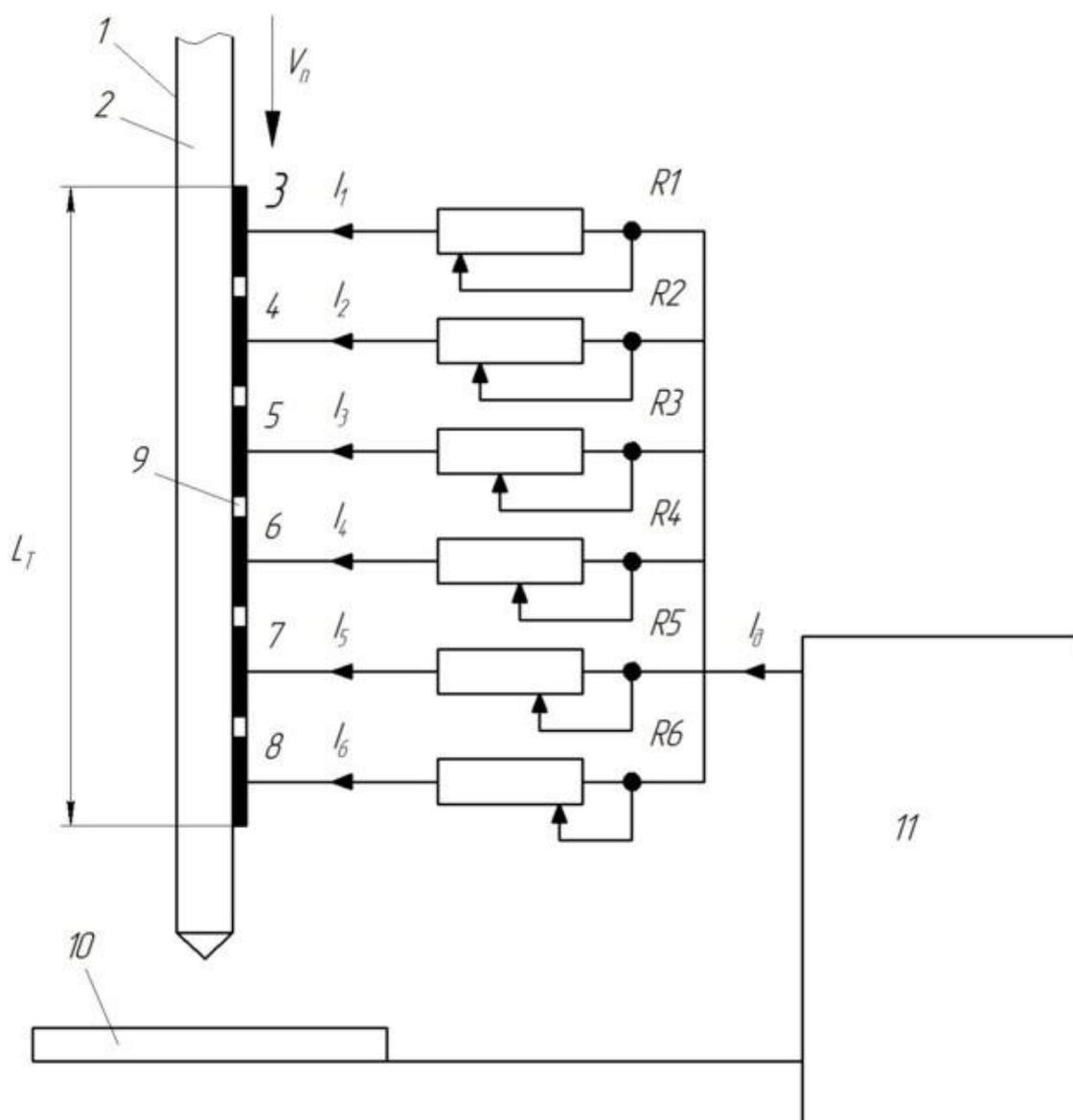
j - плотность сварочного тока, А/мм².

Тока распределяют по длине оболочки дискретным способом, разделяя токоподвод на участки, которые электрически изолированы друг от друга и расположены вдоль проволоки последовательно друг за другом. К ним производят подключение отдельных источников питания. Также возможно осуществление питания от одного источника, при условии подключения участков токоподвода через регулировочные реостаты. Величину тока на участках по ходу движения проволоки задают таким образом, чтобы на каждом последующем участке ток убывал. Сварку ведут по заданной технологии (рис. 3.1).

При подводе сварочного тока вдоль оболочки проволоки увеличивается число и площадь электрического контакта между токоподводом и оболочкой. Это приводит к тому, что плотность тока в каждом таком контакте уменьшается. Это уменьшает температуру нагрева оболочки в каждом из контактов и сглаживает её распределение вдоль проволоки. В результате этого происходит снижение скорости нагрева оболочки проволоки, уменьшается разность температур оболочки и сердечника, что способствует их равномерному плавлению. Кроме того, отсутствие локального перегрева оболочки сглаживает распределение температуры по периметру проволоки и в её продольном направлении. Это стабилизирует каплеобразование и перенос капель расплавленного электродного металла, что оказывает положительное влияние на процесс плавления проволоки.

В процессе перемещения проволоки от верхнего токоподвода к нижнему происходит повышение температуры её оболочки. Это вызывает повышение электрического сопротивления, поэтому необходимо уменьшить токовую нагрузку на последних участках проволоки, чтобы устранить вероятность локального перегрева её оболочки. Это и достигается путём

распределения тока в направлении движения проволоки по убывающему закону (линейному, экспоненциальному, логарифмическому и пр.).

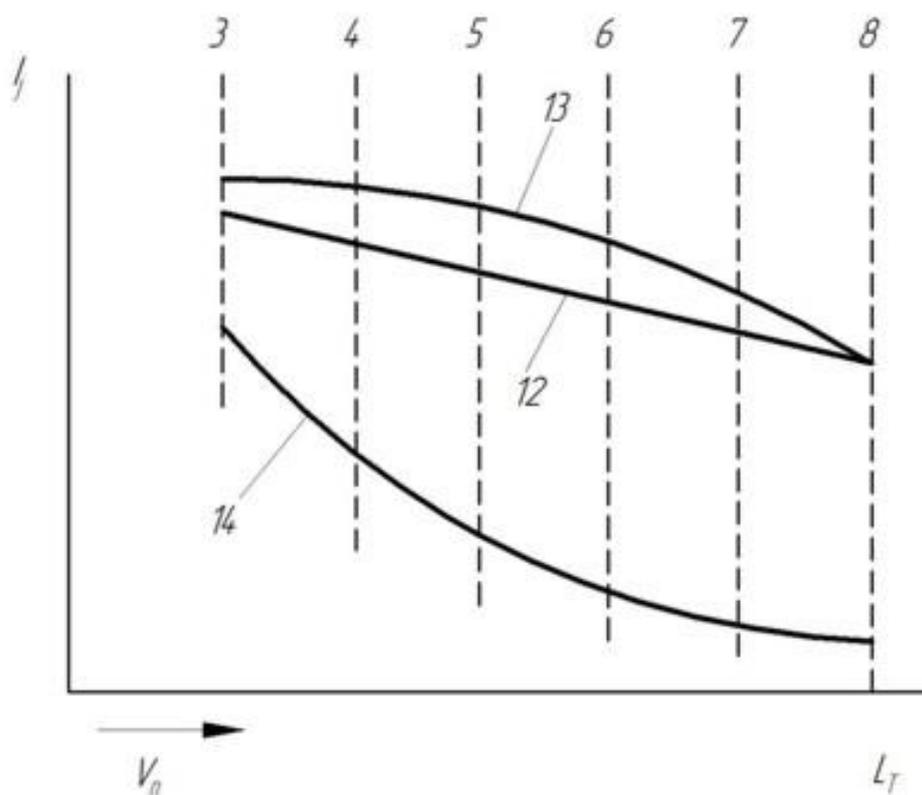


1 - оболочка проволоки; 2 - порошковая проволока; 3...8 - участки токоподвода, 9 - изолирующие прокладки; 10 - изделие; 11 - источник питания; I - сварочный ток; $R1...R6$ - балластные реостаты; V_n - скорость подачи проволоки

Рисунок 3.1 – Схема токоподвода

Производят рассредоточивание подвода сварочного тока (рис. 3.1) по длине оболочки 1 порошковой проволоки 2 на отрезке длиной L_T . Это отрезок разделяют участки в количестве 3...8 штук, которые электрически изолированы друг от друга при помощи диэлектрических прокладок 9. К

изделию 10 и токоподводу производят подключение сварочного источника питания 11. Программирование распределения тока в цепи каждого участка 3...8 осуществляют с применением балластных реостатов R1...R6. Сопротивление балластных реостатов R1...R6 изменяют обратно пропорционально величине тока, который необходимо получить на каждом участке. Необходимо добиваться, чтобы величина тока на каждом последующем участке токоподвода в направлении движения проволоки была меньше, на предыдущем. Т.е. должно выполняться условие $I_1 > I_2 > I_3 > I_4 > I_5 > I_6$. Закон изменения тока следует задавать в зависимости от допустимой токовой нагрузки на токоподводах и требуемого нагрева оболочки. Задаваемый закон может быть прямолинейным (кривая 12), экспоненциальным (кривая 13), параболическим (кривая 14).



12 - линейная зависимость нагрева проволоки; 13 - экспоненциальная зависимость нагрева проволоки; 14 - параболическая зависимость нагрева проволоки

Рисунок 3.2 – Изменение плотности тока по заданному закону

3.2 Состав самозащитной порошковой проволоки

По результатам поиска в сети ИНТЕРНЕТ были найдены несколько описаний состава самозащитной порошковой проволоки для сварки аустенитных сталей:

- 1) Авторское свидетельство СССР № 809366. Состав порошковой проволоки / К.А. Ющенко, Г.В. Фадеева, Ю.Н. Каховский, В.С. Савченко. – 1967 [18].
- 2) Патент № 5861605 США. High nitrogen flux cored welding wire for Cr-Ni type stainless steel. – 1999 [19].
- 3) Авторское свидетельство СССР № 1605451. Состав порошковой проволоки / К.А. Ющенко, Г.В. Фадеева, Ю.Н. Каховский, В.С. Савченко.- 1995 [20].

Первый вариант самозащитной порошковая проволоки [18] предназначен для сварки сталей типа X18H10T, содержит малоуглеродистую стальную оболочку и сердечник из порошкообразной шихты, которая состоит из компонентов согласно табл. 3.1.

Таблица 3.1 – Состав шихты самозащитной порошковой проволоки согласно изобретению [18]

Компонент	Содержание компонента, %
Однофазный дисперсный нихром	51...58
Плавиновый шпат	16...20
Рутил	15...18
Ферротитан	4...8
Мрамор	3...5
Ферромарганец	2...4
Ферросилиций	2...4

Такая самозащитная порошковая проволока благодаря содержанию указанных в табл. 3.1 компонентов шихты имеет следующие положительные особенности:

- высокая стабильность горения дуги;
- хорошее формирование сварного шва;
- легкая отделимость шлаковой корки;
- удовлетворительная защита сварочной ванны;
- достаточное легирование металла шва хромом и никелем, которое осуществляется за счет введения в состав шихты порошка нихрома.

Недостатком проволоки является то, что в качестве оболочки ленты используется малоуглеродистая сталь. Кроме того, в шихте используется однофазный дисперсный нихром, который имеет высокую стоимость и сильно слёживается в сердечнике. Также следует отметить, что эта проволока не обеспечивает высокой производительности сварки. Применение такой проволоки не позволит обеспечить стойкость металла шва к межкристаллитной коррозии из-за неравномерного распределения основных легирующих компонентов хрома и никеля [3, 21].

Второй вариант порошковой проволоки [19] предназначен для сварки аустенитных хромоникелевых сталей. Состав проволоки (табл. 2.2) предусматривает наличие оболочки из аустенитной хромоникелевой стали и порошкообразной шихты.

Таблица 3.2 – Состав порошковой проволоки согласно изобретению [19]

Компонент	Содержание компонента, %
Рутил	4,0...8,0
Металлический фторид	0,05...0,7
Двуокись кремния	0,3...3,0
Азот	0,05...0,30
Окись алюминия	0,05...1,5
Металлический карбонат	0...1,0
Двуокись циркония	0...0,5
Оболочка из нержавеющей стали	остальное

Такой состав проволоки по сравнению с предыдущим [18] позволяет достигнуть большей идентичности металла шва и основного металла. Также становится возможным повысить стойкость сварного соединения к межкристаллитной коррозии, что достигается равномерным распределением легирующих элементов хрома и никеля, расширения ферритной фазы. Производительность сварки повышается благодаря использованию оболочки из аустенитной хромоникелевой стали.

Недостатком такой проволоки является малое содержание шлакогазообразующих компонентов: рутила недостаточно, отсутствуют мрамор и плавиковый шпат, что существенно ухудшает условия защиты сварочной ванны, делает необходимым дополнительное применение защитного газа. Это делает возможным появление различных дефектов в шве: поры, свищи и пр. Также следует отметить отсутствие в шихте проволоки легирующих элементов (хром, никель, марганец, титан). Из-за этого следует ожидать недостаточного легирования сварного шва и снижения стойкости к межкристаллитной коррозии.

Третий вариант проволоки [20] состоит из оболочки, которая изготовлена из нержавеющей хромистой стали и содержит углерод 0,01...0,025 %, хром 24,0...27,0% и шихту (табл. 3.3) с коэффициентом заполнения 20...30 %.

Этот вариант проволоки предусматривает использование оболочки из низкоуглеродистой хромистой стали, поэтому даёт меньшую идентичность металла шва основному металлу и худшую равномерность распределения хрома и никеля в металле шва. Однако он обеспечивает большую стойкость к общей и межкристаллитной коррозии благодаря комплексному легированию через шихту металла шва никелем, ниобием, ванадием. Также следует отметить возможность получения проволок малого (0,8...1,6 мм) диаметра и хорошую защиту в монтажных условиях за счёт введения необходимого количества шлакообразующих компонентов.

Таблица 3.3 – Состав шихты порошковой проволоки согласно изобретению [20]

Компонент	Содержание компонента, %
Электролитический никель	30,0...54,0
Рутил	5,0...25,0
Плавиновый шпат	5,0...25,0
Магнезит	5,0...20,0
Феррониобий	2,0...7,0
Металлический марганец	1,5...15,0
Металлический хром	1,0...16,0
Оксид хрома	0,6...5,0
Феррованадий	0,6...5,0
Гексафторсиликат натрия	0,6...3,0
Калий-натриевая силиканая глыба	0,5...4,0

Недостатком этого варианта проволоки является необходимость применения большого количества дорогостоящего никеля, содержание которого в шихте предусматривается в количестве 30...54 %. Поскольку никель находится в шихте, а не в оболочке, он выгорает существенно сильнее, что снижает производительность сварки и повышает её себестоимость. Также при сварке такой проволокой следует ожидать неравномерного распределения никеля и хрома в металле сварного шва из-за того, что хрома содержится в ленте, а никель – в шихте.

Так как в шихте этой проволоки отсутствует ферротитан, при сварке возникает неоднородность металла шва и основного металла, снижаются вязкопластические свойства сварного соединения и стойкость к межкристаллитной коррозии.

Предлагаемая для проектного варианта технологии сварки самозащитная порошковая проволока содержит нержавеющей стальную оболочку из стали 04X18H10T и порошкообразный сердечник (табл. 3.4).

Таблица 3.4 – Состав шихты предлагаемой порошковой проволоки

Компонент	Содержание компонента, %
Рутиловый концентрат	32,0...38,0
Плавленого-шпатовый концентрат	24,0...32,0
Мрамор	7,0...13,0
Хром металлический	5,0...12,0
Ферросиликомарганец	4,5...7,0
Ферротитан	3,0...9,0
Феррониобий	2,0...7,0
Окись хрома	1,0...7,0
Феррованадий	0,6...5,0
Порошок никелевый	0,5...5,0

Низкое содержание углерода в ленте из стали 04X18H10T позволяет получить в металле шва содержание углерода не более 0,07 %, а при применении углеродистой оболочки из таких низкоуглеродистых сталей как 08кп или 10пс содержание углерода металле шва может достигать 0,12 %.

Такое низкое содержание углерода и дополнительная стабилизация ниобием из содержащегося в шихте проволоки феррониобия (2,0...7,0 %) существенно повышает стойкость металла шва против межкристаллитной и общей коррозии. Поскольку содержание углерода в металле шва ожидается порядка 0,04...0,07 %, то содержание ниобия в нём должно составлять приблизительно в 8 раз больше, т.е. до 0,32...0,056 %. Это и достигается при феррониобия в шихте проволоки 2,0...7,0 %,

Дополнительно стойкость металла шва против межкристаллитной коррозии повышается введении в проволоку феррованадия в количестве 0,6...5,0 %. Ванадий связывает углерод и уменьшает выделение карбидов хрома из твёрдого раствора, поэтому повышает стойкость металла шва против межкристаллитной коррозии. Также ванадий повышает скорость диффузии хрома в аустенит и способствует выравниванию концентрации

хрома по телу зерна в критическом интервале температур, что повышает стойкость металла шва против межкристаллитной коррозии [22, 23].

Металлический хром в количестве 5,0...12,0 % и никелевый порошок в количестве 0,5...5,0 % позволяют долегировать металл сварного шва основными легирующими элементами – никелем и хромом. Это повышает стойкость сварного шва к общей и межкристаллитной коррозии.

Окись хрома в количестве 1,0...7,0 % снижает выгорание хрома и обеспечивает стойкость шва к межкристаллитной и общей коррозии. Такое содержание оксида хрома в составе порошковой проволоки улучшит отделение шлаковой корки и устранит пригар.

Рутиловый концентрат в количестве в отличие 32,0...38,0 % обеспечит высокую стабильность горения дуги, полное покрытие сварного шва шлаком и легкое отделение шлака от поверхности шва.

Мрамор в количестве 7,0...13,0 % улучшит газовую и шлаковую защиту металла шва, уменьшит разбрызгивание.

Плавленый шпат в количестве 24,0...32,0 % обеспечивает газовую защиту сварочной ванны и покрытие шва шлаком. Если увеличить его содержание выше 32 %, то может наблюдаться ухудшение стабильности горения дуги и увеличение выделений вредных сварочных аэрозолей.

Ферросиликомарганец в количестве 4,5...7,0 % обеспечит высокие механические свойства металла шва, временное сопротивление разрыву составит не менее 490 Н/мм^2 , высокое качество шва и повышение стойкости против кристаллизационных трещин [22, 23].

Ферротитан в количестве 3,0...9,0 % обеспечит легирование металла шва титаном, что позволит получить однородность химического состава металла шва и основного металла. Также произойдет повышение прочностных и вязкопластических свойств металла шва. Поскольку титан является ферритизатором, он позволяет расширить ферритную фазу и обеспечивает высокую коррозионную стойкость сварных соединений [22].

3.3. Проектная технология сварки технологического трубопровода

При сварке порошковой проволокой необходимо обеспечить выполнение следующих условий [24, 25]

- 1) лёгкое зажигание и равномерное горение сварочной дуги, отсутствие чрезмерного разбрызгивания металла и шлака;
- 2) равномерное покрытие шлаком наплавленного металла и легкость его удаления после охлаждения;
- 3) отсутствие пор, трещин и шлаковых включений в наплавленном металле.

Поверхность свариваемых деталей перед сваркой очищают от грязи и масла.

Прихватки при сборке изделий необходимо выполнять порошковой проволокой, аналогичной принятой к сварке трубопровода. Прихватки размещают в местах расположения сварных швов, при этом их длина должна составлять 100...150 мм, количество прихваток – не менее 3, прихватки должны быть расположены равномерно по длине стыка труб.

Поверхность сборочных прихваток необходимо тщательно зачистить от шлака и подвергнуть внешнему осмотру на предмет отсутствия пор и трещин. Забракованные прихватки удаляют шлифмашинкой и выполняют заново.

Комплект оборудования для сварки самозащитной порошковой проволокой включает в себя следующее оборудование:

- специальный источник сварочного тока - Idealarc DC-400 (рис. 3.3);
- механизм подачи порошковой проволоки LN-23P (рис. 3.4);
- варочная горелка К345 со шлангом и кабелями с внесёнными изменениями.

Сварку корневого слоя шва производим ручную дуговую с применением источника питания Idealarc DC-400 и сварочных электродов ЦТ-15 короткой дугой на обратной полярности, ток – 80...100 А, диаметр электрода 3 мм.



Рисунок 3.3 – Источник питания сварочной дуги Idealarc DC-400



Рисунок 3.4 – Механизм подачи порошковой проволоки LN-23P

Количество заполняющих слоёв – 5, облицовочных слоёв – 1. Перед сваркой первого слоя шва порошковой проволокой тщательно зашлифовывают корневой слой абразивным кругом до состояния «чистый металл». Заполнение разделки производим с применением источника питания Idealarc DC-400 и порошковой проволоки. Сварку проводят способом «сверху-вниз». Первый заполняющий слой выполняют по методу «слой за один проход». Второй и последующие заполняющие слои

выполняют по методу «слой за два прохода». Облицовочный слой выполняют по методу «слой за три прохода».

Таблица 3.4 – Техническая характеристика источника питания Idealarc DC-400

Показатель	Размерность	Значение
Напряжение питающей сети	В	220
Частота питающей сети	Гц	50
Диапазон регулирования сварочного тока	А	60...500
Диапазон изменения напряжения	В	12...42
Количество сварочных постов	шт.	1
Номинальный к.п.д. источника	%	97
Номинальная продолжительность включения	%	100
Габаритные размеры, Д x Ш x В	мм	698 x 566 x 840
Масса источника	кг	215
Цена	руб.	563000

Таблица 3.5 – Техническая характеристика механизма подачи проволоки LN-23P

Показатель	Размерность	Значение
Количество роликов	шт.	2
Тип охлаждения	-	воздушное
Напряжение питания	В	115
Диапазон скорости подачи	м/мин	0,76...4,3
Габаритные размеры, Д x Ш x В	мм	520x230x480
Масса	кг	12,3
Цена	руб.	158000

Таблица 3.6 – Параметры сварки самозащитной порошковой проволокой

Диаметр проволоки	Ток сварки	Напряжение на дуге	Скорость подачи	Вылет проволоки	Полярность
2 мм	280...320 А	28...30 В	210 м/ч	20...25 мм	обратная

4 БЕЗОПАСНОСТЬ И ЭКОЛОГИЧНОСТЬ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА

4.1 Технологическая характеристика объекта

Оборудование для сварки технологического трубопровода самозащитной порошковой проволокой включает в себя:

- фаскосниматель Мангуст-325;
- центратор ЦЗН-325;
- машинка угловая шлифовальная;
- специальный источник сварочного тока - Idealarc DC-400;
- механизм подачи порошковой проволоки LN-23P;
- варочная горелка К345 со шлангом и кабелями;
- стенд гидроиспытательный;
- аппарат рентгеновского контроля Арина-7;
- стилоскоп СЛУ-1.

Таблица 4.1 – Технологический паспорт объекта

Технологическая операция, вид выполняемых работ	Должность работника, который выполняет операцию технологического процесса	Применяемые устройства, оборудование, приспособления	Применяемые вещества и материалы
1	2	3	4
1. Подготовка кромок	Слесарь-сборщик	- фаскосниматель Мангуст-325 - машинка угловая шлифовальная	Круг абразивный
2. Сборка	Слесарь-сборщик	- центратор ЦЗН-325	-
3. Прихватка	Электросварщик на автоматических и полуавтоматических машинах	- источник питания Idealarc DC-400 - механизм подачи LN-23P - горелка К345 - машинка угловая шлифовальная	Сварочная проволока

1	2	3	4
4. Сварка корневого слоя шва	Электросварщик автоматических полуавтоматических машинах	на и - источник питания Idealarc DC-400 - машинка угловая шлифовальная	Электроды ЦТ-15
5. Заполнение разделки	Электросварщик автоматических полуавтоматических машинах	на и - источник питания Idealarc DC-400 - механизм подачи LN-23P - горелка K345 - машинка угловая шлифовальная	Сварочная проволока
	Дефектоскопист рентгенографирования	- аппарат рентгеновского контроля Арина-7	Радиографическая плёнка

4.2 Идентификация персональных рисков [27, 28, 29]

Таблица 4.2 – Идентификация профессиональных рисков

Производственно-технологическая операция, вид выполняемых работ	Опасный и /или вредный производственный фактор	Источник опасного и /или вредного производственного фактора
1	2	3
1. Подготовка кромок	- наличие острых кромок, заусенцев и шероховатостей на поверхности заготовок, инструмента и оборудования - движущиеся части машин и механизмов, производственного оборудования - повышенное запыление и загазованность воздуха в рабочей зоне - повышенное напряжение в электрической цепи, для которой существует опасность замыкания через человека	- фаскосниматель Мангуст-325 - машинка угловая шлифовальная
2. Сборка	- наличие острых кромок, заусенцев и шероховатостей на поверхности заготовок, инструмента и оборудования - движущиеся части машин и механизмов, производственного оборудования	- центратор ЦЗН-325

1	2	3
3. Прихватка	<ul style="list-style-type: none"> - высокое значение температуры поверхностей у оборудования и материалов - повышенное напряжение в электрической цепи, для которой существует опасность замыкания через человека - повышенный уровень ультрафиолетовой радиации - повышенный уровень инфракрасной радиации 	<ul style="list-style-type: none"> - источник питания Idealarc DC-400 - машинка угловая шлифовальная - сварочная проволока; - электроды ЦТ-15
4. Сварка корневого слоя шва		
5. Заполнение разделки		
6. Контроль качества	<ul style="list-style-type: none"> - наличие острых кромок, заусенцев и шероховатостей на поверхности заготовок, инструмента и оборудования - движущиеся части машин и механизмов, производственного оборудования - повышенный уровень ионизирующих излучений в рабочей зоне 	- аппарат рентгеновского контроля Арина-7

4.3 Методы и средства снижения профессиональных рисков [30]

Таблица 4.3 - 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	2	3
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 предостерегающих надписей, соответствующей окраски, установка ограждений	-
3. Высокое значение температуры поверхностей у оборудования и материалов	Периодический инструктаж по технике безопасности	Спецодежда, перчатки

1	2	3
4. Повышенное напряжение в электрической цепи, для которой существует опасность замыкания через человека	Организация заземления электрических машин и периодического контроля изоляции.	-
5. Повышенный уровень ультрафиолетовой радиации	Экранирование зоны сварки при помощи щитов	Спецодежда, маска сварщика
6. Повышенный уровень инфракрасной радиации	Экранирование зоны сварки при помощи щитов	Спецодежда, маска сварщика
7. Повышенный уровень ионизирующих излучений в рабочей зоне	Экранирование, увеличение расстояния от источника излучения и ограничение времени пребывания оператора	-

4.4 Обеспечение пожарной безопасности

Таблица 4.4 - Идентификация классов и опасных факторов пожара

Участок, подразделение	Оборудование	Класс пожара	Опасные факторы пожара	Сопутствующие проявления факторов пожара
Участок сварки трубопровода	- источник питания Idealgas DC-400, машинка угловая шлифовальная	пожары, которые протекают при воспламенении и горении веществ и материалов на электроустановках, имеющих электрическое напряжение (E)	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 4.5 - Технические средства обеспечения пожарной безопасности

Ящики с песком, кошма, огнетушитель ОВП-80	Первичные средства тушения для
'	Мобильные средства тушения для
'	Стационарные системы и установки для тушения и
'	Пожарная автоматика
Краны пожарные напорные пожарные рукава	Пожарное оборудование
Наличие плана эвакуации, распыратор	Средства индивидуальной защиты и спасения людей при пожаре
Наличие лопаты, багра, топора	Пожарный инструмент
Телефон в помещении начальника участка, кнопка извещения о пожаре	Пожарные сигнализация, связь и оповещение.

Таблица 4.6 – Организационные (организационно-технические) мероприятия по обеспечению пожарной безопасности

Наименование технологического процесса, оборудования, технического объекта	Наименование видов реализуемых организационных (организационно-технических) мероприятий	Предъявляемые требования по обеспечению пожарной безопасности, реализуемые эффекты
Сварка технологического 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.

4.5 Обеспечение экологической безопасности
технологического объекта

Таблица 4.7 – 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 технологического трубопровода	Подготовка деталей, 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 4.8 – Разработанные организационно-технические мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия технического объекта на окружающую среду

Наименование технического объекта	Сварка технологического 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.

5. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОЕКТА

5.1 Исходные данные для экономического расчёта

В работе предложена проектная технология и оборудование для проведения ремонтной сварки технологических трубопроводов из нержавеющей стали. Базовая технология предусматривает использование ручной дуговой сварки покрытыми электродами. Проектная технология предусматривает замну ручной дуговой сварки на механизированной сваркой самозащитной проволокой. Применение проектной технологии позволяет снизить трудоемкость сварки и улучшает качество сварных соединений благодаря устранению человеческого фактора, повышению стабильности горения дуги, улучшению защиты сварного шва. Расчет экономической эффективности будем производить по изменяющимся операциям технологии сварки. Это даст возможность обосновать открытие производства по производству порошковой проволоки в России.

Таблица 5.1 – Исходные данные для экономического расчёта [31, 33]

№	Показатели	Ед. изм.	Усл. обозн.	Значение по вар.	
				Баз.	Пр.
1	2	3	4	5	6
1	Количество рабочих смен	-	Ксм	2	2
2	Разряд рабочего		Р.р.	IV	IV
3	Часовая тарифная ставка	Руб./час	Сч	200	200
4	Коэффициент отчислений на доп. з/пл	%	Кдоп.	12	12
5	Коэффициент доплат к основной з/пл		Кд.	1,88	1,88
6	Норма амортизации оборудования	%	На	21,5	21,5
7	Норма амортизации на площади	%	На.пл.	5	5
8	Коэффициент отчислений на соц. нужды.	%	Ксс	34	34

Продолжение таблицы 5.1

1	2	3	4	5	6
9	Стоим. эксп. площадей	(Р/м ²)/год	Сэксп.	2000	2000
10	Цена приобр. площадей	Р/м ²	Цпл.	3000	3000
11	Площадь, занимаемая оборудованием	м ²	S	50	50
12	Коэф -т. транспортно-заготовит. расходов	%	Кт -з	5	5
13	Коэф. затрат на монтаж и демонтаж	%	Кмонт. Кдем.	3	5
14	Цена оборудования: - фаскосниматель Мангуст-325 - центратор ЦЗН-325 - печь для проковки - машинка угловая шлифовальная - сварочный выпрямитель ВД-306 - специальный источник сварочного тока - Idealarc DC-400 - механизм подачи порошковой проволоки LN-23P со сварочной горелкой K345 - аппарат рентгеновского контроля Арина-7 - стилоскоп СЛУ-1 ВСЕГО:	Руб.	Цоб		
				546000	546000
				4500	4500
				9500	9500
				6000	6000
				31000	-
				-	563000
				-	158000
				270000	270000
				52000	52000
				919000	1609000
15	Коэффициент на доп. площадь	-	Кпл.	3	3
16	Потребляемая мощность	кВт	Муст	12	20
17	Стоимость э-энергии	Р/ кВт	Цэ-э	2,88	2,88
18	Коэф-т выполн. нормы	-	Квн	1,1	1,1
19	Коэф-т полезн. действия	-	КПД	0,85	0,97
20	Нормативный коэф. эффективности доп. кап. вложений	-	Ен	0,33	0,33
21	Цеховые расходы	-	Кцех	1,5	1,5
22	Заводские расходы	-	Кзав	1,15	1,15
23	Цена сварочных материалов	Руб./кг	М		
	- электроды ЦТ-15			528	528
	- порошковая самозащитная проволока			-	1100

5.2 Расчёт фонда времени работы оборудования

Производим расчёт номинального годового фонда времени работы оборудования по формуле:

$$F_H = (D_p \cdot T_{cm} - D_n \cdot T_n) \cdot C, \quad (5.1)$$

где D_p – количество рабочих дней в году;

T_{cm} – продолжительность смены;

T_n – количество часов, на которые происходит уменьшение рабочей смены в день пред праздниками;

D_n – количество таких дней;

C – количество смен.

$$F_H = (277 \cdot 8 - 7 \cdot 1) \cdot 1 = 2209 \text{ ч.}$$

При этом расчёт эффективного фонда времени работы оборудования производим по формуле:

$$F_э = F_H \cdot (1 - B/100), \quad (5.2)$$

где B – плановые потери рабочего времени.

$$F_э = 2209 \cdot (1 - 7/100) = 2054 \text{ ч.}$$

5.3 Расчет времени на проведение сварки, годовой программы и коэффициента загрузки оборудования

Определяем количество наплавленного металла шва по формуле:

$$Q_H = F \cdot l_{ш} \cdot \gamma_m, \quad (5.3)$$

где F – площадь поперечного сечения наплавленного металла, см^2 ;

$l_{ш}$ – длина шва, см;

γ_m – удельный вес наплавленного металла, г/см^3 .

$$Q_H = 2,76 \cdot 100 \cdot 7,8 = 2153 \text{ г}$$

Определяем основное время сварки:

$$t_{осн} = \frac{Q_H}{\alpha_n \cdot I_{св}}, \quad (5.4)$$

где α_n – коэффициент наплавки, $\text{г} \cdot \text{А/ч}$;

$I_{св}$ – ток сварки, А.

$$t_{осн}^{баз} = \frac{2153}{10,5 \cdot 100} = 2,05 \text{ ч}$$

$$t_{осн}^{пр} = \frac{2153}{17 \cdot 300} = 0,40 \text{ ч}$$

Так как основное время сварки по проектному варианту предусматривает выполнение корня шва с применением ручной дуговой сварки штучными электродами, то вычисление по формуле (4.4) будет не совсем точным. Поэтому основное время увеличим на 20%:

$$t_{осн}^{пр} = 0,40 + 20\% = 0,48 \text{ ч.}$$

Определяем вспомогательное время сварки:

Таблица 5.2 - Состав вспомогательного времени сварки $t_{всп}$, ч

Операция	Базовый вариант	Проектный вариант
1. Подготовка стыка	0,16	0,16
2. Сборка стыка и прихватка	0,32	0,32
3. Смена электрода	0,12	-
4. Зачистка швов от шлака	0,13	0,13
5. Зачистка соединения от брызг	0,04	0,04
6. Осмотр и промер шва	0,1	0,1
ВСЕГО	0,87	0,75

Определяем штучное время сварки:

$$t_{шт} = (t_{осн} + t_{всп}) \cdot K_1 \cdot k, \quad (5.5)$$

где K_1 – коэффициент, учитывающий затраты времени на отдых, обслуживание рабочего места и естественные надобности ($K_1=1,17$);

k – поправочный коэффициент для работы вне помещений ($k=1,2$).

$$t_{шт}^{баз} = (2,05 + 0,87) \cdot 1,17 \cdot 1,2 = 4,10 \text{ ч.},$$

$$t_{шт}^{пр} = (0,48 + 0,75) \cdot 1,17 \cdot 1,2 = 1,73 \text{ ч.}$$

Расчёт годовой программы объемов работ производим по формуле:

$$Пг = Fэ / t_{шт} \quad (5.6)$$

где $Fэ$ – эффективный фонд времени работы оборудования;

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

$$Пг.баз. = 2054 / 4,10 = 500 \text{ стыков в год};$$

$$Пг.пр. = 2054 / 1,73 = 1187 \text{ стыков год.}$$

Для дальнейших расчётов принимаем $Пг = 500$ стыков

Расчёт необходимого количества оборудования производим по формуле:

$$n_{расч} = \frac{t_{шт} \cdot Пг}{Fэ \cdot K_{вн}} \quad (5.7)$$

где $t_{шт}$ – штучное время;

$Пг$ – годовая программа выпуска изделий;

$Fэ$ – эффективный фонд времени работы оборудования;

$K_{вн}$ – коэффициент выполнения нормы.

$$n_{расч.б} = \frac{4,10 \cdot 500}{2054 \cdot 1,03} = 0,97 \text{ ед.}$$

$$n_{расч.пр} = \frac{1,73 \cdot 500}{2054 \cdot 1,03} = 0,41 \text{ ед.}$$

Для проектной и базовой технологии принимаем по 1 единице оборудования.

Вычисляем коэффициент загрузки оборудования по формуле:

$$Kз = n_{расч} / n_{пр} \quad (5.8)$$

где $n_{расч}$ – расчетное количество,

$n_{пр}$ – принятое количество.

$$K_{з.баз.} = 0,97 / 1 = 0,97$$

$$K_{з.пр.} = 0,41 / 1 = 0,41$$

5.4 Расчет заводской себестоимости сравниваемых вариантов

Базовая технология предусматривает применение ручной дуговой сварки штучными электродами ЦТ-15, Проектный вариант технологии предлагает использование механизированной сварки самозащитной порошковой проволокой (заполнение разделки) и покрытыми электродами ЦТ-15 (заварка корня шва). На эти материалы рассчитаем затраты исходя из разработанной технологии.

Расчёт массы электродов:

$$Q_{\text{эë}} = \frac{Q_i}{\beta}, \quad (5.9)$$

где β - коэффициент перехода металла электрода в шов с учётом потерь на огарки ($\beta=0,6$)

$$Q_{\text{эë}}^{\text{баз}} = \frac{2153}{0,6} = 3588 \text{ г.}$$

$$Q_{\text{эë}}^{\text{пр}} = \frac{111}{0,6} = 185 \text{ г.}$$

Расчёт массы порошковой проволоки:

$$Q_{\text{пв}} = \frac{Q_i}{\beta \cdot K_3},$$

где K_3 – коэффициент заполнения проволоки ($K_3=0,8$)

β - коэффициент перехода металла проволоки в шов ($\beta=0,99$)

$$Q_{\text{пв}}^{\text{баз}} = \frac{2153}{0,99 \cdot 0,8} = 2718$$

Рассчитываем затраты на материалы по базовой и проектной технологии:

$$M = C_M \cdot H_p \cdot K_{\text{Т-З}}, \quad (5.10)$$

где C_M – стоимость материала;

$K_{\text{Т-З}}$ – коэффициент транспортно-заготовительных расходов.

$$M_{\text{баз.}} = 3,588 \cdot 528 \cdot 1,05 = 1989,20 \text{ руб.}$$

$$M_{\text{пр.}} = (0,185 \cdot 528 + 2,718 \cdot 1100) \cdot 1,05 = 3241,85 \text{ руб.}$$

Фонд заработной платы производственных рабочих

Этот фонд (далее ФЗП) складывается из дополнительной и основной зарплаты.

Расчёт основной заработной платы производим по формуле:

$$Z_{\text{осн}} = t_{\text{шт}} \cdot Cч \cdot Kд \quad (5.11)$$

где $Cч$ – часовая тарифная ставка;

$Kд$ – коэффициент доплат к основной заработной плате

$$Z_{\text{осн.баз.}} = 4,10 \cdot 200 \cdot 1,88 = 1541,60 \text{ руб.}$$

$$Z_{\text{осн.пр.}} = 1,73 \cdot 200 \cdot 1,88 = 650,48 \text{ руб.}$$

Дополнительную заработную плату рассчитываем как:

$$Z_{\text{доп}} = Z_{\text{осн}} \cdot K_{\text{доп}} / 100 \quad (5.12)$$

где $K_{\text{доп}}$ – коэффициент, учитывающий отчисления на дополнительную заработную плату

$$Z_{\text{доп.баз.}} = 1541,60 \cdot 12 / 100 = 184,99 \text{ руб.};$$

$$Z_{\text{доп}} = 650,48 \cdot 12 / 100 = 78,06 \text{ руб.}$$

$$\text{ФЗП}_{\text{баз.}} = 1541,60 + 184,99 = 1726,59 \text{ руб.};$$

$$\text{ФЗП}_{\text{пр.}} = 650,48 + 78,06 = 728,54 \text{ руб.}$$

Расчёт отчислений на социальные нужды производим по формуле:

$$O_{\text{сс}} = \text{ФЗП} \cdot K_{\text{сс}} / 100, \quad (5.13)$$

где $K_{\text{сс}}$ – коэффициент, учитывающий отчисления на социальные нужды.

$$O_{\text{сс.баз.}} = 1726,59 \cdot 34 / 100 = 587,04 \text{ руб.}$$

$$O_{\text{сс.пр.}} = 728,54 \cdot 34 / 100 = 247,70 \text{ руб.}$$

Расчёт затрат на содержание и эксплуатацию оборудования производим по формуле:

$$Z_{\text{об}} = A_{\text{об}} + P_{\text{э-э}}, \quad (5.14)$$

где $A_{\text{об}}$ – амортизация оборудования;

$P_{\text{э-э}}$ – расходы на электроэнергию;

Расчёт затрат на амортизацию оборудования производим по формуле:

$$A_{об} = \frac{Ц_{об} \cdot На \cdot t_{МАШ}}{F_{э} \cdot 100} \quad (5.15)$$

где $Ц_{об}$ – стоимость оборудования;

$На$ – норма амортизации оборудования.

$$\dot{A}_{iá} \cdot \dot{á} = \frac{919000 \cdot 21,5 \cdot 4,10}{2054 \cdot 100} = 394,40 \text{ руб.}$$

$$\dot{A}_{i\ddot{\delta}} \cdot \ddot{\delta} = \frac{1609000 \cdot 21,5 \cdot 1,73}{2054 \cdot 100} = 291,37 \text{ руб.}$$

Расчёт затрат на электроэнергию производим по формуле:

$$D_{\dot{Y}\ddot{Y}} = \frac{\dot{I} \cdot \overset{\circ}{\underset{\circ}{\text{ON}}\ddot{\delta}} \cdot t_{i\dot{á}\ddot{\delta}} \cdot \ddot{O}_{\dot{Y}\ddot{Y}}}{\hat{E}\ddot{I}\ddot{A}} \quad (5.16)$$

где $M_{уст}$ – мощность установки;

$Ц_{э-э}$ – стоимость электроэнергии;

КПД – коэффициент полезного действия

$$D_{\dot{Y}\ddot{Y}\dot{á}} = \frac{12 \cdot 4,10 \cdot 2,88}{0,85} = 166,70 \text{ руб.}$$

$$D_{\dot{Y}\ddot{Y}\ddot{\delta}} = \frac{20 \cdot 1,73 \cdot 2,88}{0,97} = 102,73 \text{ руб.}$$

$$З_{об.баз.} = 394,40 + 166,70 = 561,10 \text{ руб.}$$

$$З_{об.пр.} = 291,37 + 102,73 = 394,10 \text{ руб.}$$

Расчёт затрат на содержание и эксплуатацию площадей производим по формуле:

$$З_{пл} = P_{пл} + A_{пл}, \quad (5.17)$$

где $P_{пл}$ – расход на эксплуатацию и содержание площадей;

$A_{пл}$ – амортизация площадей.

Расчёт расходов на содержание площадей производим по формуле:

$$P_{пл} = \frac{C_{экспл} \cdot S \cdot t_{шт}}{F_{э}}, \quad (5.18)$$

где $C_{экспл}$ – затраты на содержание площадей

S – площадь, занимаемая оборудованием.

$$D_{\dot{I}\ddot{E}\ddot{A}} = \frac{2000 \cdot 50 \cdot 4,10}{2054} = 199,61 \text{ руб.}$$

$$D_{i \text{ ЕТД}} = \frac{2000 \cdot 50 \cdot 1,73}{2054} = 84,23 \text{ руб.}$$

Амортизацию площади рассчитываем по формуле:

$$A_{\text{ПЛ}} = \frac{C_{\text{ПЛ}} \cdot Na_{\text{ПЛ}} \cdot S \cdot t_{\text{шт}}}{F_{\text{э}} \cdot 100}, \quad (5.19)$$

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

$C_{\text{ПЛ}}$ – стоимость приобретения площадей

$$\dot{A}_{i \text{ ЕА}} = \frac{3000 \cdot 5 \cdot 50 \cdot 4,10}{2054 \cdot 100} = 14,97 \text{ руб.}$$

$$\dot{A}_{i \text{ ЕТД}} = \frac{3000 \cdot 5 \cdot 50 \cdot 1,37}{2054 \cdot 100} = 5,00 \text{ руб.}$$

$$Z_{\text{ПЛ.Баз}} = 199,61 + 14,97 = 214,58 \text{ руб.}$$

$$Z_{\text{ПЛ.Пр.}} = 84,23 + 5,00 = 89,23 \text{ руб.}$$

Расчёт технологической себестоимости производим по формуле:

$$C_{\text{ТЕХ}} = M + \Phi\text{ЗП} + \text{Осс} + Z_{\text{ОБ}} + Z_{\text{ПЛ}} \quad (5.20)$$

$$C_{\text{ТЕХ.Баз}} = 1989,20 + 1726,59 + 587,04 + 561,10 + 214,58 = 5078,51 \text{ руб.}$$

$$C_{\text{ТЕХ.Пр.}} = 3241,85 + 728,54 + 247,70 + 394,10 + 89,23 = 4701,22 \text{ руб.}$$

Расчёт цеховой себестоимости производим по формуле:

$$C_{\text{ЦЕХ}} = C_{\text{ТЕХ}} + Z_{\text{ОСН}} \cdot K_{\text{ЦЕХ}} \quad (5.21)$$

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

$$C_{\text{ЦЕХ.Баз}} = 5078,51 + 1,5 \cdot 1541,60 = 5078,51 + 2312,40 = 7390,91 \text{ руб.},$$

$$C_{\text{ЦЕХ.Пр.}} = 4701,22 + 1,5 \cdot 650,48 = 4701,22 + 975,72 = 5677,14 \text{ руб.}$$

Расчёт заводской себестоимости производим по формуле:

$$C_{\text{ЗАВ}} = C_{\text{ЦЕХ}} + Z_{\text{ОСН}} \cdot K_{\text{ЗАВ}} \quad (5.22)$$

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

$$C_{\text{ЗАВ.Баз}} = 7390,91 + 1,15 \cdot 1541,60 = 7390,91 + 1772,84 = 9163,75 \text{ руб.},$$

$$C_{\text{ЗАВ.Пр.}} = 5677,14 + 1,15 \cdot 650,48 = 5677,14 + 748,05 = 6425,19 \text{ руб.}$$

5.5 Калькуляция заводской себестоимости сварки

Таблица 5.2 – Заводская себестоимость сварки

№ п/п	ПОКАЗАТЕЛИ	Усл. обоз.	Калькуляция., руб	
			Базов	Проек
1	Материалы	М	1989,20	3241,85
2	Фонд оплаты труда	ФЗП	1726,59	728,54
3	Отчисления на соц. нужды	Осс	587,04	247,70
4	Расходы на оборудование	Зоб	561,10	394,10
5	Затраты на площади	Зпл	214,58	89,23
	Себестоимость технологич.	Стех	5078,51	4701,22
6	Расходы цеховые	Рцех	2312,40	975,72
	Себестоимость цеховая	Сцех	7390,91	5677,14
7	Расходы заводские	Рзав	1772,84	748,05
	Себестоимость заводская	Сзав	9163,75	6425,19

5.6 Расчет капитальных затрат на сварку

Расчёт капитальных затрат по базовому варианту технологии производим по формуле:

$$K_{\text{ОБЩЕ}} = K_{\text{ОББ}} = n \cdot C_{\text{ОБ.Б}} \cdot K_{\text{З.Б.}}, \quad (5.23)$$

где $K_{\text{З}}$ – коэффициент загрузки оборудования;

$C_{\text{ОБ.Б}}$ – остаточная стоимость оборудования с учетом срока службы, руб.;

n – количество оборудования, необходимого для выполнения производственной программы.

$$C_{\text{ОБ.Б}} = C_{\text{ПЕРВ.}} - (C_{\text{ПЕРВ.}} \cdot T_{\text{СЛ}} \cdot N_{\text{А}} / 100), \quad (5.24)$$

где $C_{\text{ПЕРВ.}}$ – стоимость приобретения оборудования, руб.;

$T_{\text{СЛ}}$ – срок службы оборудования на момент написания ВКР, лет;

$N_{\text{А}}$ – норма амортизации оборудования, %.

$$C_{\text{ОБ.Баз.}} = 919000 - (919000 \cdot 3 \cdot 21,5 / 100) = 326245 \text{ руб.}$$

$$K_{\text{ОБЩ.Баз.}} = 326245 \cdot 0,97 = 316458 \text{ руб.}$$

Расчёт общих капитальных затрат по проектному варианту технологии производим по формуле:

$$K_{\text{ОБЩ.Прю}} = K_{\text{ОБ.Пр.}} + K_{\text{ПЛ.Пр.}} + K_{\text{СОП.Пр.}}, \quad (5.25)$$

где $K_{\text{ОБ}}$ – капитальные вложения в оборудование;

$K_{\text{ПЛ}}$ – капитальные вложения 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);

$K_{\text{СОП}}$ – сопутствующие капитальные вложения.

$$K_{\text{ОБПР}} = \Pi_{\text{ОБПР}} \cdot K_{\text{Т-З}} \cdot K_{\text{ЗБ}} \quad (5.26)$$

$$K_{\text{ОБ.Пр.}} = 1609000 \cdot 1,05 \cdot 0,41 = 692674 \text{ руб.}$$

$$K_{\text{СОП}} = K_{\text{ДЕМ}} + K_{\text{МОНТ}} \quad (5.27)$$

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

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

$$K_{\text{ДЕМ}} = \Pi_{\text{Б}} \cdot K_{\text{ДЕМ}} \quad (5.28)$$

где $K_{\text{ДЕМ}}$ – коэффициент, учитывающий затраты на демонтаж.

$$K_{\text{ДЕМ}} = 919000 \cdot 0,05 = 45950 \text{ руб.}$$

$$K_{\text{МОНТ}} = \Pi_{\text{ПР}} \cdot K_{\text{МОНТ}}, \quad (5.29)$$

где $K_{\text{МОНТ}}$ – коэффициент, учитывающий затраты на монтаж проектного оборудования.

$$K_{\text{МОНТ}} = 1609000 \cdot 0,05 = 80450 \text{ руб.}$$

$$K_{\text{СОП}} = 45950 + 80450 = 126400 \text{ руб.}$$

$$K_{\text{ОБЩ.Пр.}} = 692674 + 126400 = 819074 \text{ руб.}$$

Расчёт дополнительных капитальных вложений производим по формуле:

$$K_{\text{ДОП}} = K_{\text{ОБЩПР}} - K_{\text{ОБЩБ.}} \quad (5.30)$$

$$K_{\text{ДОП}} = 819074 - 316458 = 502616 \text{ руб.}$$

Расчёт удельных капитальных вложений производим по формуле:

$$K_{\text{УД}} = K_{\text{ОБЩ}} / \Pi_{\text{Г}}, \quad (5.31)$$

где Π_{Γ} – годовая программа выпуска.

$K_{уд.Баз.} = 316458/500 = 632,92$ руб. на стык

$K_{уд.Пр} = 819074/500 = 1638,15$ руб. на стык

5.7 Показатели экономической эффективности разрабатываемой технологии

Расчёт показателя снижения трудоемкости производим по формуле:

$$\Delta t_{шт} = \frac{t_{штБ} - t_{штПр}}{t_{штБ}} \cdot 100\% \quad (5.32)$$

$$\Delta t_{\phi\delta} = \frac{4,10 - 1,73}{4,10} \cdot 100\% = 58\%$$

Расчёт показателя повышения производительности труда производим по формуле:

$$\Pi_{\Gamma} = \frac{100 \cdot \Delta t_{шт}}{100 - \Delta t_{шт}} \quad (5.33)$$

$$\dot{I}_{\phi\delta} = \frac{100 \cdot 58}{100 - 58} = 138\%$$

Расчёт показателя снижения технологической себестоимости производим по формуле:

$$\Delta C_{тех} = \frac{C_{техБ} - C_{техПр}}{C_{техБ}} \cdot 100\% \quad (5.34)$$

$$\Delta \tilde{N}_{\phi\delta} = \frac{5078,51 - 4701,22}{5078,51} \cdot 100\% = 7\%$$

Расчёт условно-годовой экономии производим по формуле:

$$\mathcal{E}_{у.г.} = (C_{завБ} - C_{завПр}) \cdot \Pi_{\Gamma} \quad (5.35)$$

$$\mathcal{E}_{у.г.} = (9163,75 - 6425,19) \cdot 500 = 1369280 \text{ руб.}$$

Расчёт срока окупаемости дополнительных капитальных вложений производим по формуле:

$$T_{ок} = \frac{K_{доп}}{\mathcal{E}_{у.г.}} \quad (5.36)$$

$$\dot{O}_{i \dot{E}} = \frac{502616}{1369280} = 0,37 \text{ года}$$

Расчёт годового экономического эффекта в сфере производства производим по формуле:

$$\text{Эг} = \text{Эуг} - \text{Ен} \cdot \text{Кдоп} \quad (5.37)$$

$$\text{Эг} = 1369280 - 0,33 \cdot 502616 = 1203416 \text{ руб.}$$

5.8 Заключение по экономическому разделу

В предложенной проектной технологии для проведения ремонтной сварки технологических трубопроводов из нержавеющей стали произведена замена ручной дуговой сварки на механизированную сварку самозащитной проволокой. Применение проектной технологии позволило получить повышение производительности труда на 138 % и снижение технологической себестоимости на 7%.

Внедрение проектной технологии в производство позволит получить годовой экономический эффект в размере 1,2 млн. рублей. Капитальные затраты в размере 0,5 млн. рублей окупятся через 0,37 года.

Таким образом, можно сделать вывод о высокой экономической эффективности проектной технологии и целесообразности её внедрения в производство.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ПО ВЫПУСКНОЙ РАБОТЕ

В работе была поставлена цель - повышение производительности монтажных условиях технологических трубопроводов из стали 12X18H10T за счёт применения перспективных способов сварки.

В результате анализа состояния вопроса были сформулированы задачи работы:

- 1) провести анализ способов сварки для ремонта трубопровода;
- 2) разработать проектную ремонтную технологию сварки трубопровода с использованием сварки порошковой самозащитной проволоки;
- 3) предложить мероприятия по повышению эффективности сварки трубопровода самозащитной порошковой проволокой в условиях монтажа;
- 4) экономически обосновать проект.

В ходе выполнения работы были выполнены следующие действия:

1) Проанализирована базовая технология сборки и сварки, сформулированы её недостатки и способы их устранения.

2) Произведён анализ возможных способов сварки, в качестве проектного варианта выбрана механизированная сварка самозащитной порошковой проволокой.

3) Предложена конструкция сварочной горелки, которая позволит существенно повысить стабильность горения порошковой проволоки.

4) Предложен состав порошковой проволоки, который должен существенно повысить производительность сварки, улучшить газовую защиту и стойкость шва к общей и межкристаллитной коррозии.

5) Составлен проектный технологический процесс с учётом нового способа сварки.

6. В ходе экономических расчётов доказана эффективность проекта. Годовой экономический эффект составляет 1,2 млн. рублей при дополнительных капитальных затратах в 0,5 млн. рублей.

На основании вышеизложенного цель проекта считаю достигнутой.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Тет Аунг Разработка видеокomпьютерной системы автоматической классификации дефектов сварных соединений : дис. ... канд. техн. наук : 05.13.01, 05.02.11 / Тет Аунг; МГТУ им. Н. Э. Баумана. – М., 2015. – 143 с.
2. Завьялов, А.П. Совершенствование методов оценки технического состояния технологических трубопроводов по результатам диагностирования : дис. ... канд. техн. наук : 25.00.19 / Алексей Петрович Завьялов ; Российский государственный университет нефти и газа им. И.М. Губкина. – Москва, 2006. – 101 с.
3. Гаврилов, С. Н. Перспективы применения и разработки сварочных материалов для сварки аустенитных хромоникелевых сталей в монтажных условиях / С. Н. Гаврилов, О. В. Хицов, А. Д. Ниров, Р. Л. Пломодьяло // Научный журнал КубГАУ. – 2013. – № 4 – с.1-9 с.
4. Суворов, А. Ф. Сварочно-монтажные работы в трубопроводном строительстве: учеб. пособие для вузов / А. Ф. Суворов [и др.] // М.: ЗАО «Звезда», 2006. – 240 с.
5. Гаврилов, С.Н. Разработка самозащитной порошковой проволоки для сварки аустенитных хромоникелевых сталей в монтажных условиях : дис. ... канд. техн. наук : 05.03.06 / Сергей Николаевич Гаврилов ; Кубанский государственный технологический университет. – Краснодар, 2007 –191 с.
6. Сорокин, В. Г. Марочник сталей и сплавов / В. Г. Сорокин, А. В. Волосникова, С. А. Вяткин [и др.]. – М.: Машиностроение, 1989. – 640 с.
7. Сварка в машиностроении: Справочник. В 4-х т. / Ред. кол.: Г. А. Николаев (пред.) [и др.] / Под ред. А. И. Акулова, – М.: Машиностроение, 1978 – т.2. – 462 с.
8. Земзин, В. Н. Жаропрочность сварных соединений / В. Н. Земзин – Л.: Машиностроение, 1972. – 272 с.

9. Лозинский, М. Г. Исследование структуры аустенитной стали при различных формах цикла упруго-пластического высокотемпературного деформирования / М. Г. Лозинский, А. Н. Романов, В. В. Малов // В кн.: Структурные факторы малоциклового разрушения металлов – М.: Наука, 1977 – С.65-86.
10. Тавастшерна, Р. И. Изготовление и монтаж технологических трубопроводов / Р. И. Тавастшерна: – М.: «Высшая школа», 1967. – 287 с.
11. Правила устройства и безопасной эксплуатации технологических трубопроводов ПБ 03-585-03. – М.: НПО ОБТ, 2003. – 288 с.
12. Алешин, Н. П. Сварка. Резка. Контроль : справочник в 2 т. / Н.П. Алешин, Г.Г. Чернышев [и др.]; под ред. Н. П. Алешина. – М.: Машиностроение, 2004. – Т.2. – 478 с.
13. Мойсов, Л. П. Порошковая проволока – сварочный материал XXI века / Л. П. Мойсов // Монтажные и специальные работы в строительстве. – 2002. – № 9. – С. 7–10.
14. Кусков, Ю. В. Эволюция производства сварочных материалов и перспективы нового тысячелетия / Б. В. Кусков, Г. Н. Полищук // Сб. докл. II Международная конференция по сварочным материалам стран СНГ: Орел, – 2001. – С.97–98.
15. Мельникова, Н. А. Совершенствование технологии аварийного ремонта трубопроводов : дис. ... канд. техн. наук : 25.00.19, 05.26.03 / Наталья Александровна Мельникова ; ГУП ИПТЭР. – Уфа, 2006. – 133 с.
16. Бобров, В.А. Особенности ультразвукового контроля сварных соединений сосудов и аппаратов из хромоникелевых сталей аустенитного и аустенитно-ферритного классов / В.А. Бобров // Ультразвуковой и радиографический контроль сосудов и аппаратов из нержавеющей и двухслойных сталей в процессе изготовления и эксплуатации: Тезисы докладов. – М.: ОАО «НИИХИММАШ», 2007 – с. 3.
17. Зарипов, М.З. Исследование влияния вибрационных и ультразвуковых колебаний в процессе сварки на свойства сварных соединений нефтегазового

оборудования из стали 12X18H10T / М. З. Зарипов, И. Г. Ибрагимов, Р. Г. Ризванов // Нефтегазовое дело. – 2010. – № 2 – С. 1–11.

18. Состав порошковой проволоки : а. с. 1593061 СССР : МПК В23К 35/368 / К. А. Ющенко, Г. В. Фадеева, Ю. Н. Каховский, В. С. Савченко ; заявл. 28.10.88 ; опубл. 30.12.94.

19. High nitrogen flux cored welding wire for Cr-Ni type stainless steel : пат. 5861605 США : МПК В23К 35/368 / Т. Ogawa, Т. Maruyama, S. Nishiyama, S. Ozaki ; заявл. 25.10.1996 ; опубл. 19.01.1999. – 17 с.

20. Состав порошковой проволоки : а. с. 1605451 СССР : МПК В23К 35/368 / К. А. Ющенко, Г. В. Фадеева, Ю. Н. Каховский, В. С. Савченко ; заявл. 28.10.1988 ; опубл. 27.10.1995.

21. Самозащитная порошковая проволока для сварки аустенитных хромоникелевых сталей : пат. 2281843 Рос. Федерация : МПК В 23 К 35/368 / С. Н. Гаврилов, Д. Л. Поправка, В. Н. Очагов ; заявл. 27.12.2004 ; опубл. 20.08.2006, Бюл. № 23. – 9 с.

22. Смирнов, И. В. Сварка специальных сталей и сплавов: учебное пособие / И. В. Смирнов – Тольятти: Изд-во ТГУ, 2007. – 301 с.

23. Суптель, А. М. Механизированная сварка порошковой проволокой (курс лекций для специалистов-сварщиков) / А. М. Суптель. – Киев: Наукова думка, 1976. – 22 с.

24. Суптель, А. М. Механизированная сварка порошковой проволокой (курс лекций для специалистов-сварщиков) / А. М. Суптель. – Киев: Наукова думка, 1976. – 22 с.

25. Походня, К. И. Сварка порошковой проволокой / К. И. Походня, А. М. Ступель, В. Н. Шлепаков. – Киев: Наукова думка, 1972.- 224 с.

26. Иоффе, И. С. Сварка порошковой проволокой / И. С. Иоффе, М. В. Ханпетов. – М: Высшая школа, 1986. – 95 с.

27. Владимиров, А. И. Экология нефтегазового комплекса: учебное пособие / А. И. Владимиров, В. В. Ремизова. – М.: Изд-во «Нефть и газ» РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2003. – 416 с.

28. ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация». – М.: Издательство госстандарт, 1974. – 34 с.
29. ГОСТ 12.1.007-76 ССБТ «Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности». – М.: Издательство госстандарт, 1976. – 41 с.
30. Белов С. В. Охрана окружающей среды / С. В. Белов. – М.: Машиностроение, 1990. – 372с.
31. Великанов, К. М. Экономика и организация производства в дипломных проектах: Учеб. пособие для машиностроительных вузов / К. М. Великанов, Э. Г. Васильева, В. Ф. Власов [и др]. – Л: Машиностроение отделение, 1996 – 285 с.
32. 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, – 135с.
33. Краснопевцева, И. В. Экономическая часть дипломного проекта: Метод. указания / И. В. Краснопевцева. – Тольятти: ТГУ, 2008. – 38 с.