

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

Институт машиностроения

(наименование института полностью)

Кафедра «Сварка, обработка материалов давлением и родственные процессы»

(наименование)

15.03.01 «Машиностроение»

(код и наименование направления подготовки, специальности)

«Современные технологические процессы изготовления деталей

в машиностроении»

(направленность (профиль)/специализация)

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)**

на тему Технология сборки-сварки бойлера объемом 10000 л из стали 12X18H10T

Обучающийся

К.П. Овчарова

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

Д.Э. Советкин

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

Консультанты

к.э.н., доцент О.М. Сярова

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

к.ф.-м.н., доцент Д.А. Романов

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

Тольятти 2025

Аннотация

При изготовлении металлических конструкций различного назначения все большую популярность приобретает аустенитная хромоникелевая сталь. Несмотря на её большую стоимость по сравнению с низкоуглеродистыми и низколегированными сталями применение нержавеющей сталей окупается за счёт увеличения срока службы конструкции и возможности повторного использования стали после утилизации конструкции.

В настоящей выпускной квалификационной работе поставлена цель – повышение эффективности сварки оболочковых конструкций из нержавеющей аустенитных сталей на примере бойлера объемом 10 кубических метров.

На основании экспертной оценки альтернативных способов сварки обоснован выбор сварки в защитных газах проволокой сплошного сечения для построения проектной технологии.

На основании анализа научной литературы предложен способ сварки с импульсным управлением, значительно повышающий эффективность сварочных процессов.

Предложенные технические решения легли в основу проектной технологии, операции по выполнению которой сформулированы при решении второй задачи. При этом особое внимание уделено вопросу автоматизации и механизации основных и вспомогательных процессов, что позволяет повысить производительность выполнения сварочных работ.

Содержание

Введение	5
1 Анализ исходных данных и известных решений	6
1.1 Описание бойлера, конструкции и условий его работы.	6
1.2 Анализ материала для изготовления элементов корпуса бойлера.	9
1.3 Особенности базовой технологии сборки и сварки элементов бойлера	11
1.4 Предварительный обзор источников научно-технической информации.	15
1.5 Постановка задач на выполнение выпускной квалификационной работы.	18
2 Построение проектной технологии сборки и сварки корпуса бойлера.	19
2.1 Обоснование выбора способа сварки для построения проектной технологии.	19
2.2 Повышение эффективности сварки в защитных газах проволокой сплошного сечения	27
2.3 Механизация и автоматизация сварочных операций	31
2.4 Описание операций технологического процесса.	34
3 Промышленная безопасность производственного участка.	41
3.1 Описание технологического объекта и постановка оценочной задачи	41
3.2 Идентификация негативных производственных факторов.	42
3.3 Нейтрализация негативных производственных факторов.	44
3.4 Пожарная безопасность производственного участка	46
3.5 Обеспечение экологической безопасности производственного участка.	48

4 Экономическая эффективность предлагаемых технических решений.	50
4.1 Исходные данные для экономического расчёта.	50
4.2 Фонд времени работы оборудования.	52
4.3 Расчёт штучного времени и годовой программы производства. .	53
4.4 Заводская себестоимость.	55
4.5 Капитальные затраты по рассматриваемым вариантам.	60
4.6 Расчёт изменяющихся технологических показателей.	62
Заключение	64
Список используемой литературы и используемых источников.	65

Введение

При изготовлении металлических конструкций различного назначения все большую популярность приобретает аустенитная хромоникелевая сталь. Несмотря на её большую стоимость по сравнению с низкоуглеродистыми и низколегированными сталями применение нержавеющей сталей окупается за счёт увеличения срока службы конструкции и возможности повторного использования стали после утилизации конструкции. В настоящее время при изготовлении конструкций из нержавеющей сталей значительная роль отводится процессам ручной дуговой сварки, для чего разработаны такие марки электродов, как ЦЛ-11, ОЗЛ-8 ЦТ-15 и многие другие. На мировом рынке также представлено значительное количество покрытых электродов для сварки нержавеющей сталей, например, ОК-61.25 производства концерна ESAB. Повышение экономических показателей сварочного производства связано с заменой ручной дуговой сварки на механизированные и автоматические способы, что становится причиной проведения модернизации производственных участков и замены технологического оборудования.

Типовой деталью из нержавеющей сталей, для изготовления которой применяется сварка является бак водонагревателя. При этом нагрев воды в промышленных условиях предусматривает применение баков объемом несколько кубических метров.

Изложенное выше позволяет судить об актуальности выбранного направления исследования и поставленной цели – повышение эффективности сварки оболочковых конструкций из нержавеющей аустенитных сталей на примере бойлера объемом 10 кубических метров.

«При генерировании технических решений в выпускной квалификационной работе необходимо отдавать предпочтение разработкам современной российской сварочной науки, что позволяет обеспечить промышленный суверенитет в условиях ограничения поставок в Россию высокотехнологичного оборудования и материалов» [21].

1 Анализ исходных данных и известных решений

1.1 Описание бойлера, конструкции и условий его работы

В настоящей выпускной квалификационной работе рассматривается вопрос повышение эффективности сварочных операций при изготовлении бойлеров из аустенитной стали объемом 10 тысяч литров. Согласно действующей нормативной документации бойлером является устройство для подогрева воды. В промышленности для подогрева значительных объемов воды служат бойлеры косвенного действия, в которых подогревающим элементом служит среда, повышение температуры которой применяется вынесенный источник нагрева. Применение бойлеров большого объема позволяет не только нагревать жидкости проточным способом, но и осуществлять их накопление. На рисунке 1 представлен теплообменник, выполненный по системе накопительного бойлера рабочим объемом 10 тысяч литров. В теплопередающие трубки в качестве теплоносителя подается водяной пар при давлении 1 МПа температурой 150 °С. В межтрубное пространство в зависимости от назначения теплообменника может подаваться как вода, если рассматриваемый теплообменник применяется для систем водяного отопления, так и бензин, если теплообменник применяется в системах переработки и передачи топлив. Бойлер выполнен из нержавеющей аустенитной стали

В состав бойлера входит сборный корпус, который обозначен на схеме позицией 1. Данная деталь имеет два приварных штуцера и приварные крепежные фланцы с двух концов. С верхней части к корпусу 1 при помощи болтов М20 через фланцевое соединение прикрепляется верхняя крышка, которая обозначена на схеме позицией 2. Верхняя крышка 2 имеет два приварных штуцера, приварной крепежный фланец и приваренное кольцевым швом днище. Нижняя крышка, обозначенная на схеме позицией 3, имеет приварной крепежный фланец

Также в конструкции рассматриваемого бойлера предусмотрены распределительная камера 4 и трубный пучок 5. При сборке бойлера в него устанавливается уже заранее сваренный и подготовленный трубный пучок, изготовление которого происходит на другом предприятии и в настоящей выпускной квалификационной работе не рассматривается, так сварка трубного пучка представляет из себя отдельный сложный вопрос. Ограничимся общей информацией по трубному пучку. Сварка труб с трубной доской проходит с применением сварки неплавящимся электродом в инертном газе. Материал трубной доски и трубок сталь 12Х18Н10Т.

В настоящей выпускной квалификационной работе более подробно рассмотрим вопрос сварки элементов корпуса бойлера. Толщина стенки оболочковых элементов рассматриваемой конструкции бойлера составляет 5 мм.

Следует отметить, что большинство сварных швов в конструкции имеет незначительную длину, расположены в различном пространственном положении и имеют траекторию, отличную от прямолинейной. По этому при сварке применение автоматизированных способов сварки сильно затруднено, а при изготовлении конструкции применяется ручная дуговая сварка согласно ГОСТ 5264.

Сборка элементов бойлера происходит с применением стальных гаек М20 в количестве 108 штук. Усилие затяжки болтов должно составлять порядка 122 Н·м. При сборке бойлера допускается несоосность его элементов не более 1,5 мм на 1000 мм. Для уплотнения прилегающих поверхностей применяется резиновая уплотнительная манжета в количестве двух штук. В конструкции выполнено четыре стыковых кольцевых шва, четыре замкнутых шва по вварке штуцеров, четыре тавровых кольцевых шва, четыре нахлесточных шва.

При гидравлических испытаниях бойлера в межтрубное пространство подают давление 0,8 МПа. В трубное пространство подают давление до 1,2 МПа.

1.2 Анализ материала для изготовления элементов корпуса бойлера

Для изготовления элементов корпуса бойлера применяются заготовки из аустенитной коррозионно-стойкой стали 12X18H10T. Содержание химических элементов в этой стали представлено в таблице 1. Данная сталь применяется для изготовления конструкций, работа которых сопряжена с агрессивным действием химических сред, нагревом и контактом с пищей человека. Химически нейтральные среды могут иметь температуру до 600 °С, а коррозионные среды могут иметь температуру до 390 °С. Данная сталь выдерживает действие азотной, уксусной, фосфорной кислоты, растворов солей и щелочей.

Таблица 1 – Содержание химических элементов в стали 12X18H10T

«C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Cu	Ti
<0,12	<0,8	<2	9-11	<0,02	<0,035	17-19	<0.3	0,5 – 0,7» [19]

«Высокая коррозионная стойкость, присущая рассматриваемой стали, обеспечивается за счёт содержащегося в ней хрома и никеля. Однако наличие этих элементов в повышенной по сравнению с низкоуглеродистыми и низколегированными сталями концентрации вызывают проблемы со свариваемостью. Первой проблемой следует указать высокую опасность образования горячих трещин» [18]. Еще одной проблемой является «охрупчивание металла и межкристаллитная коррозия сварного шва. Рассматриваемая сталь по сравнению с низкоуглеродистыми сталями имеет повышенный коэффициент линейного расширения и усадки при кристаллизации. В результате этого при выполнении сварных конструкций повышается уровень остаточных напряжений и деформаций. Нарушение техники сварки и несоблюдение задаваемых параметров режима сварки приводит к повышенному выгоранию легирующих элементов» [18] и усугублению описанных выше трудностей сварки рассматриваемой стали.

Для снижения межкристаллитной коррозии при сварке следует избегать перегрева металла, применяя режимы с повышенной скоростью сварки и принудительное охлаждение сварного шва. Поверхность металла сварного шва должна быть гладкой и не иметь резких переходов к основному металлу. Швы, которые обращены к агрессивной среде, должны быть сварены в заключительной очереди.

При сварке и восстановительной наплавке деталей из стали 12X18H10T необходимо бороться с возникновением в наплавленном металле горячих трещин, причиной чего является низкая прочность стали при температурах, близких к температуре кристаллизации, в результате чего растягивающие напряжения, возникающие в результате кристаллизационного уменьшения металла в объеме, превышают предел прочности металла в нагретом состоянии и вызывают. Также при наплавке с применением штучных электродов возникает проблема выгорания легирующих элементов, в результате чего обедняется состав металла сварного шва. Для предотвращения обеднения сварного шва легирующими элементами следует поддерживать минимальную длину сварочной дуги, а в качестве сварочных материалов применять электроды с повышенным содержанием легирующих элементов с учётом их выгорания при сварке.

«Повышение эффективности сварки легированных сталей достигается при применении импульсного управления переносом электродного металла, при котором выгорание и тепловое воздействие на основной металл снижаются по сравнению с традиционными способами сварки. Также отмечается положительное влияние импульсного управления на структуру металла сварного шва и стойкость против горячих трещин. Ударное воздействие на поверхность сварочной ванны приводит к лучшему выделению из неё растворенных газов и стабильному формированию корневого слоя шва при выполнении сварки по узкому зазору» [18].

1.3 Особенности базовой технологии сборки и сварки элементов бойлера

Перемещение заготовок по предприятию выполняют с применением внутрицехового транспорта и мостового крана, который имеет грузоподъемность 5 тонн. На первой операции проходит входной контроль состояния заготовок для выполнения элементов корпуса бойлера. «Заготовки выполняются из листового проката. В процессе приемки проводят осмотр состояния всех листов с обеих сторон. Не допускается на поверхности листа вздутия, трещин, раковин и разрывов» [18]. «Устранение дефектов на поверхности листа выполняется с применением шлифования, при этом толщина листа может быть уменьшена не более чем на 0,25 мм. В противном случае лист с дефектами для заготовок признается негодным. На кромках листа не должно быть расслоений, разрывов» [18]. Контроль состояния листов выполняется визуальный, дополнительные приборы и средства измерения не применяются. Запрещается применять для исправления дефектов листов сварку. Каждый лист из партии проверяется по толщине с применением толщинометра.

Для разделения листового проката при выполнении заготовок применяется механическая резка, точность которой должна составлять не менее 0,5 мм. Применение термической резки не рекомендовано. Качество и точность реза должны обеспечивать последующую сборку без приложения значительных усилий и дополнительной подрезки листовых заготовок. Резку листов выполняют с применением дисковых ножниц Н4422, представленных на рисунке 2-а. Вальцовка обечаек выполняется на «четырёхвалковой листогибочной машине ИБ-2416, которая представлена на рисунке 2-б. Днища в количестве двух штук для каждого бойлера выполняются с применением холодной штамповки на представленном на рисунке 2-в гидравлическом прессе К04.К3533А. Усилие штамповки составляет 2 МН. Пресс позволяет выполнять штамповку деталей из заготовок толщиной до 10 мм» [18].

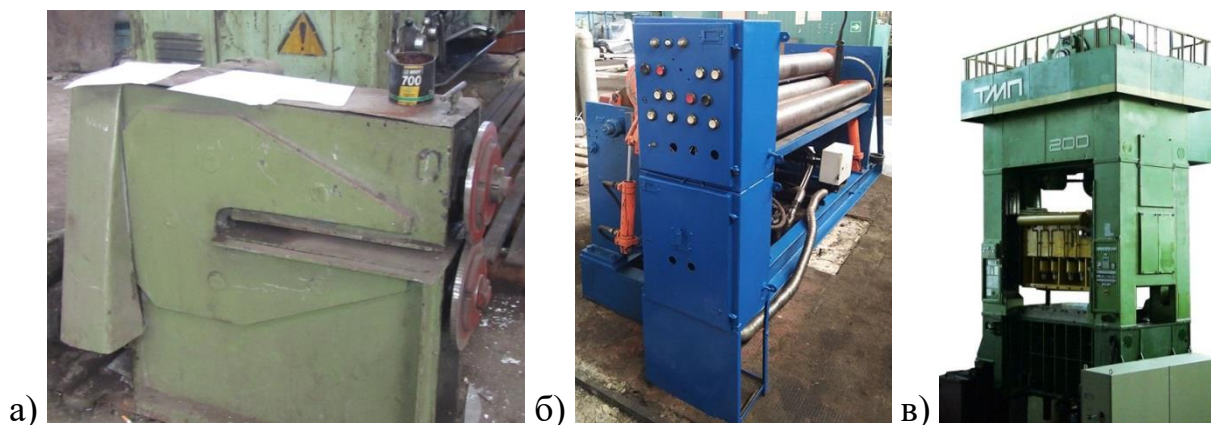


Рисунок 2 – Оборудование для выполнения заготовительных операций: дисковые ножницы (а), вальцовочная машина (б) и гидравлический пресс (в)

С применением внутрицехового заготовки поступают на участок сборки и сварки. Перед сваркой выполняют обезжиривание кромок, для чего применяется уайт-спирит. Кромки следует обезжирить «на ширину 20...25 мм с обеих сторон заготовки. После обезжиривания проводят сушку кромок сжатым воздухом. После такой обработки допускается пролеживание заготовок не более 30 минут, если время превышено, необходимо обезжирить кромки второй раз» [18].

«Для сборки применяется приспособление, включающее в себя набор ложементов с пневматическими прижимами. Точность сборки должна составлять не менее 0,5 мм. Сборку проводят с применением прихваток длиной 60...70 мм с расстоянием между прихватками 300...350 мм. Прихватки должны быть высотой 3...4 мм. при зажигании и гашении сварочной дуги запрещено выводить кратеры на основной металл.

Прихватки выполняют с применением сварочных электродов ЭА-400/10Т диаметром 3 мм. Ток составляет 70...90 ампер. При этом обеспечивается получение сварного шва с высокой стойкостью против межкристаллитной коррозии. Применение данных электродов позволяет не применять термическую обработку сварного соединения. Перед использованием сварочные электроды должны быть прокалены в представленной на рисунке 3-а печи ПСПЭ 90-400 и помещены с

представленную на рисунке 3-б резервную печь ПСПЭ 10-40, которая предварительно разогрета до 70 °С. Температура проковки составляет 120...150 °С, длительность проковки составляет 1 час. Выемку электродов из резервной печи проводят по одному перед самым использованием» [18].

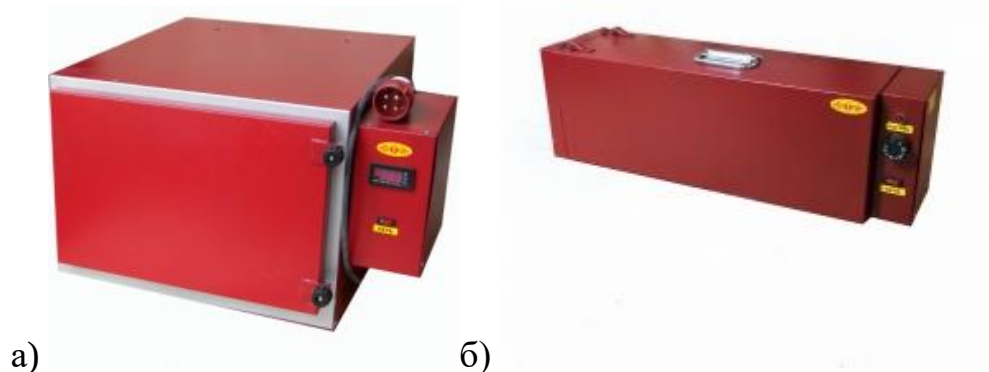


Рисунок 3 – Печь ПСПЭ 90-400 (а), печь ПСПЭ 10-400 (б)

«В качестве источника сварочного тока используется представленный на рисунке 4 сварочный инвертор Idealarc DC-655, мощность которого позволяет выполнять сварку на диаметр электрода до 6 мм. Источник оснащен интеллектуальной системой легкого зажигания сварочной дуги и позволяет выполнять сварку при изготовлении ответственных конструкций из низкоуглеродистых, низколегированных и высоколегированных сталей. Применение данного источника питания возможно как при ручной дуговой сварке, так и при автоматической сварке под флюсом и при проведении механизированной сварки в защитных газах» [18].



Рисунок 4 – Источник питания Idealarc DC-655

После выполнения прихваток и их остывания следует очистить поверхность металла от шлака и брызг, визуально проконтролировать качество. Не допускается резких переходов наплавленного металла на основной металл, трещины и непровары. Выходящие на поверхность единичные поры не должны быть размером больше 2 мм. Если в прихвате обнаружены дефекты, её следует полностью зачистить и переварить.

После того, как прихватки были проверены и проверена точность сборки, проводят сварку швов. Её выполняют с применением сварочных электродов ЭА-400/10Т диаметром 4 мм. Ток составляет 100...120 ампер. При выполнении кольцевого шва перекрытие должно составлять 15...20 мм. запрещается останавливать сварку до полного завершения сварного шва. Кратеры выводят на наплавленный металл на расстояние 15...20 мм. Кратер необходимо тщательно заправлять. Зажигание дуги также выполняют на наплавленном металле с последующим перемещением дуги к началу сварного шва.

Далее проводят очистку сварных швов и их контроль. После выполнения сварки проводят «контроль качества, для чего применяют визуальный осмотр и ультразвуковой контроль. Визуальный осмотр проводят на 100% сварных швов, ультразвуковой контроль проводят на 30 %. Для выполнения визуального контроля» [18] применяют лупу с увеличением в 4...7 раз, которая дополнительно снабжена подсветкой. «Не допускается грубая чешуйчатость поверхности сварного шва. Подрезы и наплывы металла должны иметь размеры не более 0,5 мм. При ультразвуковом контроле не допускаются внутренние поры размером более 1 мм» [18], цепочки пор и шлаковых включений, не допускается наличие между слоями несплавлений.

Дефектное место следует зачистить механическим способом и переварить с последующим контролем качества. Допускается не более двух повторных сварок на одном месте.

1.4 Предварительный обзор источников научно-технической информации

«Для того, чтобы при построении проектной технологии применить наиболее современные и эффективные способы организации сварочного производства, были проведены литературные изыскания в области расширения технологических возможностей сварки конструкций из нержавеющей аустенитных сталей. Поиск источников научно-технической информации выполнялся с применением системы ГУГЛ по ключевым словам. Кроме того, был выполнен экспертный поиск в таких информационных ресурсах, как Киберленинка (содержит тексты научных статей по техническим наукам), ДиссерКэт (содержит тексты диссертаций и авторефератов к диссертациям)» [9].

В первой работе [4] представлен обзор наиболее распространенных при изготовлении конструкций из нержавеющей сталей способов сварки и применяемых при этом сварочных материалов. На основании анализа особенностей выполнения каждого способа показано преимущество сварки самозащитными порошковыми проволоками, что позволяет внести внедрение этого способа сварки в число приоритетных задач сварочного производства. «Доказана высокая эффективность применения сварки самозащитной проволокой на объектах химического машиностроения.

Данная работа показывает высокую эффективность при изготовлении конструкций из нержавеющей аустенитных сталей сварки самозащитной порошковой проволокой и будет использована при обосновании выбора способа сварки для построения проектной технологии» [4].

Во второй работе [6] «выполнена оценка современного технического состояния производства на операции приварки кожуха к фланцу при изготовлении сосудов из стали 12X18H10T. Выполнена модернизация сварочной установки» [6], которая позволили вести сварку одновременно двух швов. Установлено, что применение аргонодуговой сварки плавящимся

электродом позволяет обеспечить требуемый уровень качества сварных соединений. Расчёт с применением предлагаемой математической модели позволяет оптимизировать параметры режима сварки кольцевых швов при изготовлении конструкций из нержавеющей сталей.

Данная работа демонстрирует высокую эффективность при изготовлении конструкций из нержавеющей аустенитных сталей таких способов сварки, как сварка в защитных газах проволокой сплошного сечения и аргонодуговая сварка неплавящимся электродом. Причем оба этих способа при выполнении кольцевых швов могут быть автоматизированы и применяться совместно.

В третьей работе [15] на основании проведенных исследований могут выработаны рекомендации «по выбору типа источника питания и оптимальных параметров режима сварки при выполнении конструкций из нержавеющей аустенитных сталей. Применение инверторного источника питания по сравнению» [15] с диодным сварочным выпрямителем позволяет повысить качество сварного соединения за счёт увеличения эффективной мощности и «управляемого переноса электродного металла. Увеличение зоны термического влияния при этом, которое может считаться негативным эффектом, компенсируется меньшими потерями легирующих элементов за счёт большего их перехода из электродного металла в металл сварного шва. Также применение инверторного источника питания позволяет на 40 % уменьшить размеры зерна наплавленного металла, что повышает механические свойства сварного шва» [15].

«Данная работа демонстрирует высокую эффективность применения ручной дуговой сварки и будет использована при анализе базовой технологии сварки и обосновании выбора способа сварки для построения проектной технологии» [15].

В четвертой работе [12] показано, что «применение импульсной подачи проволоки при сварке и наплавке деталей из нержавеющей сталей позволяет повысить стабильность процесса горения сварочной дуги и уменьшить

разбрызгивание электродного металла. Кроме того, повышается стабильность формирования наплавленного валика. Следует отметить, что положительные результаты несколько меньше по сравнению с результатами применения импульсной подачи проволоки на низкоуглеродистых сталях, что объясняется различием теплофизических и химических свойств. Дальнейшие исследования в области повышения эффективности сварки и наплавки» [12] в защитных газах деталей из нержавеющей сталей следует вести в области комбинированного управления подачей проволоки и электрическими параметрами горения сварочной дуги.

Данная работа демонстрирует высокую эффективность сварки в защитных газах проволокой сплошного сечения и будет использована при обоснования выбора способа сварки для построения проектной технологии.

В пятой работе «на основании математического моделирования установлены закономерности перехода газов из газовой составляющей проволоки и шлаковой составляющей проволоки в металл сварного шва. На основании проведенных исследований предложен состав порошковой проволоки, обеспечивающий высокое качество сварного шва и сопротивление его коррозии при изготовлении конструкций из нержавеющей аустенитных сталей» [3].

«Данная работа демонстрирует высокую эффективность сварки самозащитной порошковой проволокой при изготовлении конструкций из нержавеющей аустенитных сталей и будет использована при обоснования выбора способа сварки для построения проектной технологии» [3].

«На основании рассмотренных источников научно-технической информации и полученных при обучении на кафедре сварки знаний для построения проектной технологии сварки элементов корпуса бойлера необходимо рассмотреть такие способы, как ручная дуговая сварка, сварка неплавящимся электродом в инертных газах, сварка под флюсом, сварка порошковой проволокой, сварка проволокой сплошного сечения в защитных газах» [18].

1.5 Постановка задач на выполнение выпускной квалификационной работы

Настоящая выпускная квалификационная работа посвящена решению вопросов, связанных с повышением эффективности сварочных операций при изготовлении элементов корпуса бойлера объемом 10 кубических метров из аустенитной нержавеющей стали. В ходе работы над введением выполнено обоснование актуальности выбранного направления исследования и формулировка цели выпускной квалификационной работы. В ходе анализа базовой технологии были сформулированы недостатки, «устранение которых позволит поставленную цель достигнуть. Для этого необходимо правильно сформулировать задачи выпускной квалификационной работы, последовательное решение которых обеспечит выполнение работы и достижение поставленной цели. Первой задачей является обоснование выбора способа сварки для построения проектной технологии изготовления элементов корпуса бойлера. Для решения такой задачи необходимо выполнить анализ преимуществ и недостатков каждого рассматриваемого способа и на основании выставления экспертной оценки принять решение о необходимости применения конкретного способа сварки. Второй задачей является построение технологического процесса сборки и сварки элементов корпуса бойлера, что предусматривает составление перечня технологических операций, выбор оборудования, назначение параметров режима и формулировку требований к выполнению каждой операции» [18]. Далее на основании результатов, полученных в ходе исполнительского раздела, следует выполнить два оценочных раздела. В ходе первого оценочного раздела предстоит рассмотреть вопросы обеспечения безопасности труда и экологической безопасности при сборке и сварке рассматриваемой конструкции согласно предлагаемой технологии [10], [11]. Во втором оценочном разделе предстоит выполнить экономическое обоснование предлагаемых решений с оценкой эффективности их внедрения на производстве [2], [5].

2 Построение проектной технологии сборки и сварки корпуса бойлера

2.1 Обоснование выбора способа сварки для построения проектной технологии

Одним из самых универсальных способов является ручная дуговая сварка, схема которой представлена на рисунке 5. Оборудование для ручной дуговой сварки в достаточном количестве присутствует на предприятиях, а сам процесс не требует значительной подготовки для проведения ремонтной сварки, что позволяет приступать к выполнению работ практически незамедлительно. Однако из-за неустранимых недостатков ручной дуговой сварки её доля в промышленности неуклонно снижается, на что указывает ряд аналитиков [13], [14].



Рисунок 5 – Схема выполнения ручной дуговой сварки

Одним из недостатков ручной дуговой сварки является высокая токсичность образующегося при горении покрытого электрода аэрозоля. Также следует указать на низкую стабильность качества сварных соединений, которое в значительной мере зависит от квалификации сварщика, что

становится дополнительной проблемой в условиях кадрового голода. Также ручная дуговая сварка может быть признана экономически малоэффективной из-за потери металла на разбрызгивание и электродные огарки, а также по причине низкой производительности. Некоторое улучшение показателей ручной дуговой сварки достигается применением импульсных технологий, новых сварочных материалов и совершенствования техники сварки, но перечисленные проблемы при этом полностью не решаются, в результате чего необходимо вести поиск новых способов сварки для построения технологии сварки.

В работе [15] велись исследования по повышению эффективности ручной дуговой сварки оболочковых конструкций из стали 12X18H10T. Экспериментальную наплавку валиков вели в нижнем положении с применением электродов ОК-61.30 диаметром 3 мм. наплавку валиков вели с применением двух источников питания. Первый источник питания представлял собой диодный выпрямитель ВДУ-506, а второй источник питания представлял собой инверторный источник ARC-200i. Скорость наплавки составляла 2...3 метра в час при ширине наплавляемого валика 12...13 мм и высоте валика 2...3 мм. Значение силы сварочного тока составляло от 60 до 140 ампер. Изменение силы тока проводили ступенчато с шагом 20 ампер, при этом эффективная тепловая мощность сварочной дуги изменялась в диапазоне от 1490 до 3060 Вт. Химический состав наплавленного металла анализировался с применением рентгено-флуоресцентного спектрометра X-MET 5000. Микроструктуру наплавленного металла определяли с применением металлографического микроскопа METAM PB-22. Выявление сварных соединений проводили с применением реактива глицерин / соляная кислота / азотная кислота, компоненты в котором были взяты в соотношении 4 к 4 к 3. В зависимости от особенностей протекания процесса травления время травления для каждого образца выбиралось индивидуально. Температурные поля рассчитывались с применением разработанной на кафедре сварки программы TPOLE, которая

позволяет учитывать размеры и теплофизические свойства наплавляемых пластин, параметры режима экспериментальной наплавки. На основании проведенных исследований могут быть выработаны рекомендации по выбору типа источника питания и оптимальных параметров режима сварки при выполнении конструкций из нержавеющей аустенитных сталей. Применение инверторного источника питания по сравнению с диодным сварочным выпрямителем позволяет повысить качество сварного соединения за счёт увеличения эффективной мощности и управляемого переноса электродного металла. Увеличение зоны термического влияния при этом, которое может считаться негативным эффектом, компенсируется меньшими потерями легирующих элементов за счёт большего их перехода из электродного металла в металл сварного шва. Также применение инверторного источника питания позволяет на 40 % уменьшить размеры зерна наплавленного металла, что повышает механические свойства сварного шва.

Одним из эффективных способов сварки конструкций из аустенитных нержавеющей сталей является сварка неплавящимся электродом в инертном газе. Схема выполнения этого способа представлена на рисунке 6.

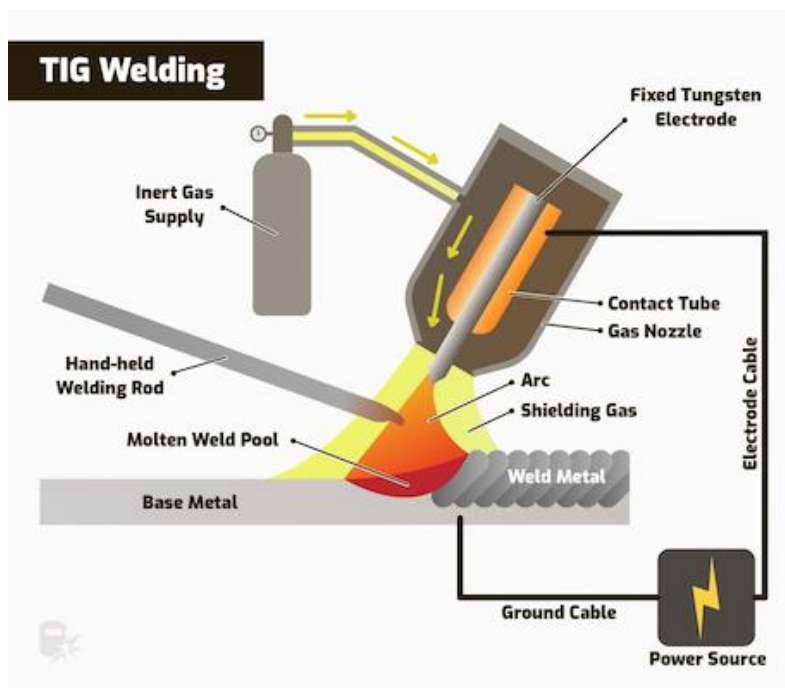


Рисунок 6 – Схема выполнения аргонодуговой сварки неплавящимся электродом

«Данный способ сварки обеспечивает самое высокое качество сварки из всех рассматриваемых альтернативных способов и обладает необходимой универсальностью. Оборудование для сварки неплавящимся электродом, приобретенное предприятием, может быть применено для сварки целого ряда изделий, что исключает опасность простоя. Также следует учесть улучшение условий труда сварщика по сравнению с ручной дуговой сваркой. Однако производительность сварки неплавящимся электродом среди рассматриваемых способов сварки самая минимальная, поэтому данный способ варки может быть использован для комбинированного выполнения сварных швов, когда корневым слоем выполняется с применением сварки неплавящимся электродом, а заполнение разделки ведется более производительным способом» [18].

«По сравнению со сваркой неплавящимся электродом сварка проволокой сплошного сечения в защитных газах позволяет увеличить производительность до трех раз» [16]. Схема выполнения способа представлена на рисунке 7.

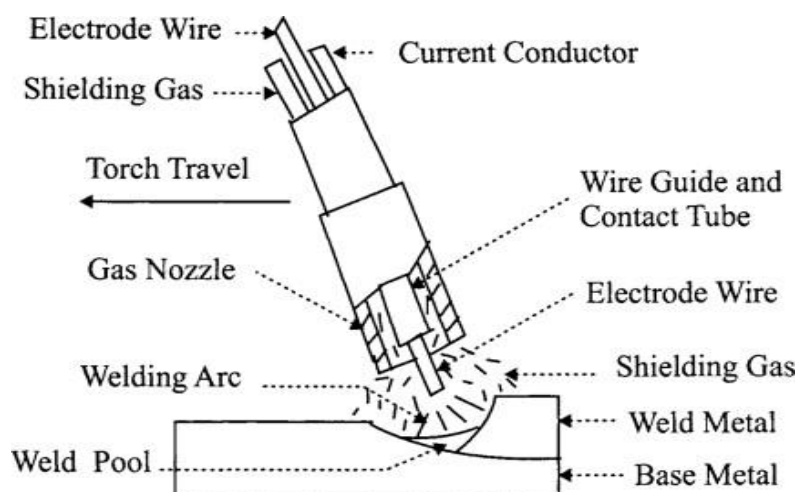


Рисунок 7 – Схема сварки в защитных газах проволокой сплошного сечения

В ходе выполнения этого способа сварки расплавленный металл сварочной ванны характеризуется большей, по сравнению с ручной дуговой сваркой и сваркой под флюсом вязкостью. В результате этого упрощается стабилизация положения сварочной ванны при различной пространственной

ориентации. Так как «при сварке в защитных газах отсутствует необходимость замены электрода и очистки поверхности шва от шлака, производительность и качество сварки повышается. Также следует указать на улучшение условия труда сварщика при механизированной сварке в защитных газах» [6], так как состав сварочного аэрозоля в этом случае менее вреден, чем при ручной дуговой сварке. В работе [6] выполнена оценка современного технического состояния производства на операции приварки кожуха к фланцу при изготовлении сосудов из стали 12X18H10T. Выполнена модернизация сварочной установки, которая позволили вести сварку одновременно двух швов. Установлено, что применение аргонодуговой сварки плавящимся электродом позволяет обеспечить требуемый уровень качества сварных соединений. Расчёт с применением предлагаемой математической модели позволяет оптимизировать параметры режима сварки кольцевых швов при изготовлении конструкций из нержавеющей сталей. В работе [4] показано, что «применение импульсной подачи проволоки при сварке и наплавке деталей из нержавеющей сталей позволяет повысить стабильность процесса горения сварочной дуги и уменьшить разбрызгивание электродного металла. Кроме того, повышается стабильность формирования наплавленного валика. Следует отметить, что положительные результаты несколько меньше по сравнению с результатами применения импульсной подачи проволоки на низкоуглеродистых сталях, что объясняется различием теплофизических и химических свойств» [12]. «Дальнейшие исследования в области повышения эффективности сварки и наплавки в защитных газах деталей из нержавеющей сталей следует вести в области комбинированного управления подачей проволоки и электрическими параметрами горения сварочной дуги» [12].

«Механизированная сварка самозащитной проволокой, схема которой представлена на рисунке 8, является компромиссным вариантом, сочетающим в себе положительные качества ручной дуговой сварки и механизированной сварки» [17], [20].



Рисунок 8 – Схема выполнения сварки порошковой проволокой

В работе [4] «были рассмотрены такие способы, как ручная дуговая сварка, для которой представлен перечень наиболее распространенных марок сварочных электродов, механизированная и автоматическая сварка проволокой сплошного сечения в защитных газах» [4], для которой показаны основные мировые тенденции по производству оборудования и сварочных материалов, сварка порошковыми проволоками, для которой показаны преимущества и перспективы развития. Показано, что с точки зрения легирования металла сварного шва наиболее перспективным представляется сварка порошковой проволокой, так как этот процесс обеспечивает минимальное выгорание хрома и никеля. Так. При ручной дуговой сварке потери хрома и никеля могут достигать 60...65 %, при сварке в защитных газах проволокой сплошного сечения потери никеля и хрома составляют 20...25 %, а при сварке порошковыми проволоками удастся уменьшить потери легирующих элементов до 15...20 %. На основании экономических расчетов доказана высокая эффективность применения самозащитных проволок при замене ими ручной дуговой сварки для изготовления аналогичных конструкций. Сравнительный анализ применения электродов ЦЛ-11 и порошковой проволоки ПП-НЖ-1 показал, что производительность сварки повышается на 100...150 % и приближается к сварке проволокой сплошного

сечения, а снижение себестоимости сварки составляет 2 % при пересчете на 1 кг наплавленного металла.

При использовании порошковой проволоки состав порошкового наполнителя проволоки может быть изменен в широком диапазоне без изменения технологии производства проволоки, в результате упрощается легирование сварного шва, существенно снижается стоимость сварочных материалов. При сварке порошковой проволокой некоторую проблему может создавать повышенная мягкость проволоки, в результате чего существенно увеличивается частота заломов и застреваний в подающих механизмах. Также следует принять во внимание повышенную текучесть расплавленного шлака и металла сварочной ванны, из-за чего повышаются требования к сборке и подготовке кромок, ухудшаются условия формирования корневого слоя шва. При плавлении порошковой проволоки может наблюдаться неравномерность нагрева проволоки по сечению, в результате чего часть нерасплавившегося шлака просыпается в сварочную ванну и становится причиной образования пор и шлаковых включений.

Самым производительным из рассматриваемых способов сварки следует признать сварку под флюсом, схема которой представлена на рисунке 9.

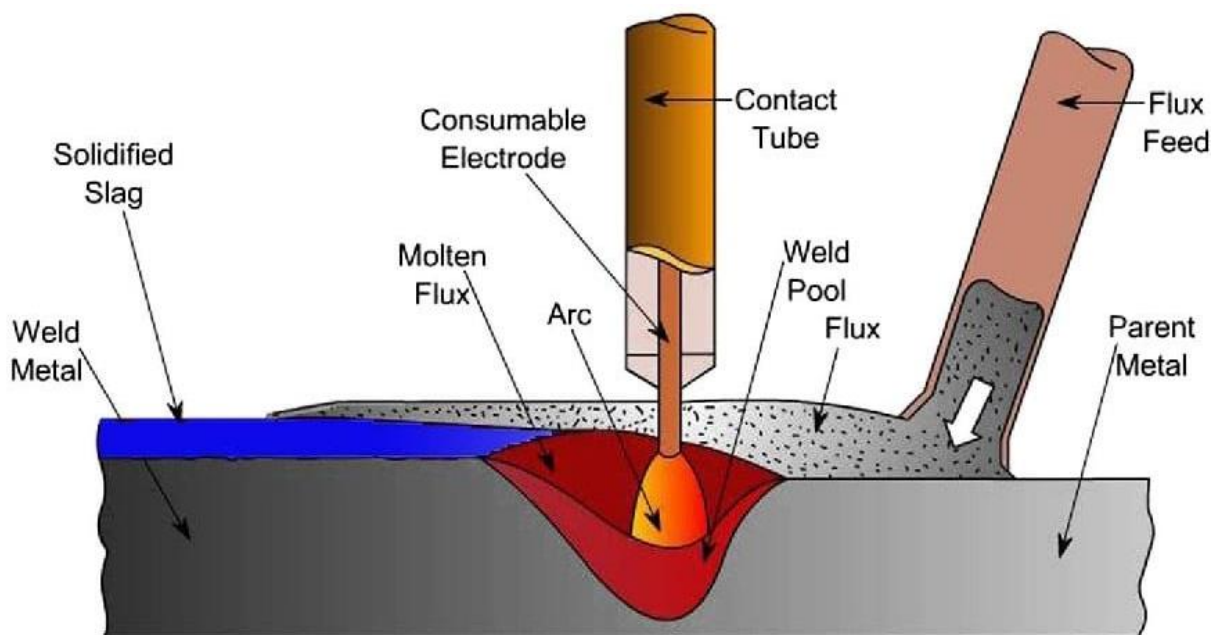


Рисунок 9 – Схема выполнения автоматической сварки под флюсом

Применение автоматической сварки под флюсом помимо высокой производительности обеспечивает существенное улучшение условий труда, так как сварочная дуга горит под слоем флюса, что частично решает проблему вредного излучения и сварочного аэрозоля. Кроме того, сварка под флюсом позволяет получать соединения стабильно высокого качества. Первым недостатком является повышение требований к сборке стыка, так как расплавленный металл и шлак при сварке под флюсом обладают повышенной текучестью, в результате чего возможно затекание металла в зазор между деталями. Кроме того, при сварке под флюсом повышается опасность образования напоров, пор и шлаковых включений. Также следует принимать во внимание сложность удержания флюса на поверхности, стык может иметь различное пространственное положение.

На основании анализа преимуществ и недостатков рассмотренных способ сварки для построения проектной технологии сборки и сварки элементов корпуса бойлера предлагается применить сварку в защитных газах проволокой сплошного сечения. Это способ сварки не только обеспечивает повышение производительности по сравнению с ручной дуговой сваркой и сваркой неплавящимся электродом в инертных газах, но и может быть автоматизирован и роботизирован с применением современных технических средств.

При построении проектной технологии следует обеспечить устранение отмеченных ранее недостатков сварки в защитных газах проволокой сплошного сечения, для чего следует применить предлагаемые современным производителем сварочного оборудования разработки в области импульсного управления сварочной дугой. В настоящий момент на мировом и отечественном рынке сварочных источников питания представлено значительное количество, реализующих различные алгоритмы управления горением сварочной дуги источников питания.

2.2 Повышение эффективности сварки в защитных газах проволокой сплошного сечения

Применение сварки в защитных газах при построении технологических процессов производства ответственных конструкций ограничено по причине недостатков, присущих этому «способу сварки: повышенное разбрызгивание вследствие малой пространственной стабильности дуги, высокая склонность к образованию трещин из-за повышенной вязкости расплавленного металла сварочной ванны, сложность формирования корневого слоя шва. Мировой производитель сварочного оборудования интенсивно внедряет алгоритмы управления сварочными процессами, реализующие импульсный характер переноса электродного металла» [7], [8], [9]. Такое управление сварочными процессами реализуется как при сварке в чистом углекислом газе, при сварке в газовых смесях и при сварке в аргоне. Как показали результаты исследований и производственный опыт, добавка в углекислый газ аргона позволяет частично подавить разбрызгивание металла при сварке, уменьшить пористость и улучшить внешний вид соединения, получая гладкую поверхность наплавленного металла. Уменьшение пористости в случае применения газовых смесей объясняется, скорее всего, уменьшением содержания водорода в наплавленном металле. Также применение газовых смесей позволяет уменьшить наплывы и сделать более гладкой зону перехода наплавленного металла на основной металл конструкции, что обеспечивается благодаря повышению текучести расплавленного металла. Добавка аргона в углекислый газ до 10 % не повышает значительно стоимость используемой защитной смеси, но позволяет получить описанные выше положительные эффекты. Сварка аустенитных сталей возможна как в среде углекислого газа, так и в газовых смесях и чистом аргоне.

Формирование соединения при сварке в значительной степени зависит от особенностей переноса электродного металла, разновидности которого при различных параметрах режима сварки представлены на рисунке 10.

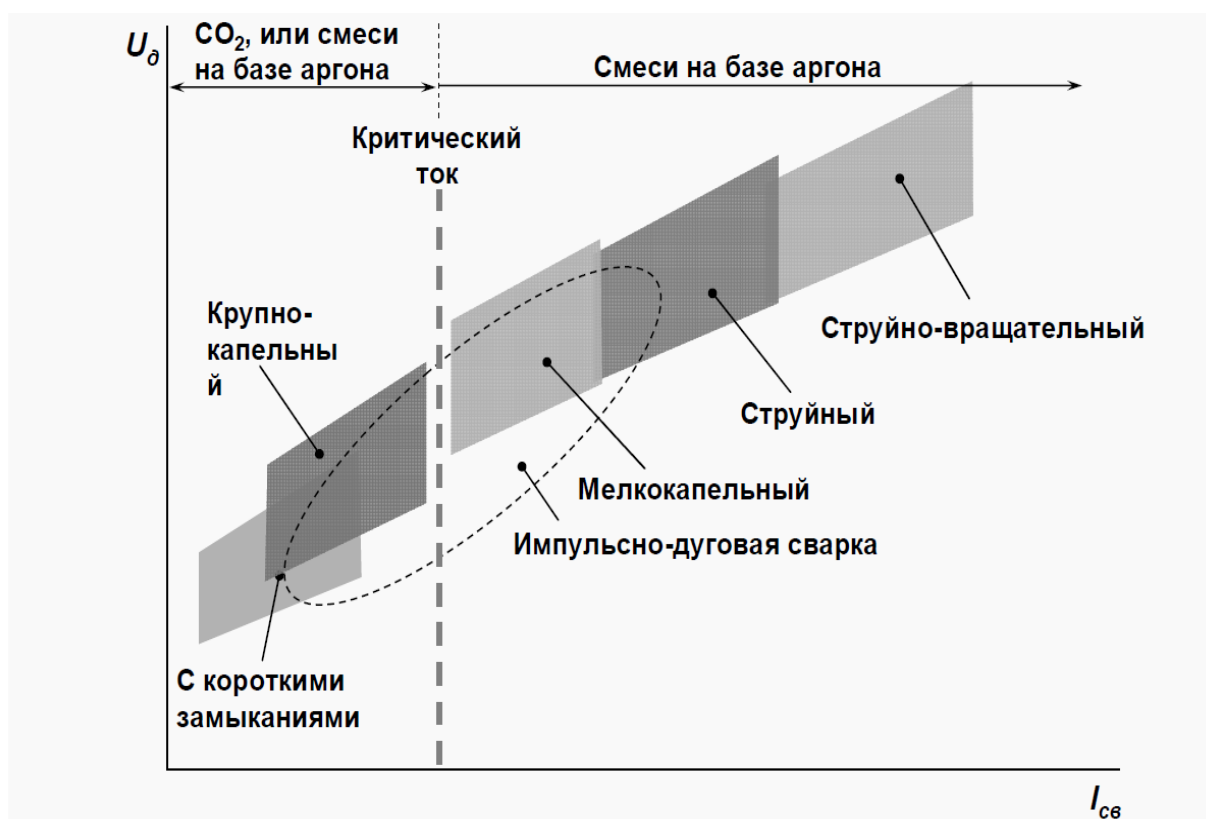


Рисунок 10 – Виды переноса электродного металла при различных параметрах режима сварки

В России и странах бывшего СССР проблемой сварки с импульсным управлением занимались такие ученые, как Б.Е. Патон, И.И. Заруба, А.Г. Потапьевский, Д.А. Дудко, Н.Г. Дюргеров и многие другие достойные представители сварочного науки. Значительного прогресса удалось достичь начиная с конца прошлого века, когда фирмой Lincoln Electric был предложен инверторный источник питания, позволяющий реализовать алгоритм управления переносом электродного металла, существенно расширяющий возможности сварки в защитных газах. Применение алгоритмов импульсного управления горением сварочной дуги позволяет существенно уменьшить размер кристаллитов металла, что улучшает механические и эксплуатационные свойства сварных соединений. Кроме того, при реализации импульсного управления горением сварочной дуги удастся успешно бороться с разбрызгиванием и выгоранием электродного металла, что существенно улучшает внешний вид сварной конструкции и уменьшает трудоемкость её

изготовления. Достигаемая повышенная проплавляющая способность дуги упрощает проведение работ при сварке в узкую разделку.

При реализации проектной технологии для повышения эффективности «сварки в защитных газах предлагается применить разработку российских исследователей в области импульсного управления переносом электродного металла, функциональная схема которой представлена на рисунке 11. В состав установки входит: «силовой тиристор 1, коммутирующий дроссель 2, коммутирующий конденсатор 3, вспомогательный тиристор 4, диоды 5 и 9, зарядный дроссель 6, источник постоянного тока 7, конденсатор 8, последовательный дроссель 10, шунтирующий диод 11; дополнительная обмотка коммутирующего дросселя 12, диодный мост 13» [1]. Применение предлагаемого изобретения позволяет модернизировать имеющееся на предприятии сварочное оборудование, обеспечивая сварку в импульсном режиме.

Применение сварки на импульсных режимах в отличие от традиционной сварки на стационарных режимах позволяет устранить проблему разбрызгивания электродного металла, при этом потери электродного металла уменьшаются в 1,8...2,5 раз. Также применение импульсного режима положительно сказывается на тепловом балансе, в результате чего повышается эффективный КПД сварки, а затраты электрической энергии на формирование соединения снижаются на 15...18 %. Наложение импульсов тока и напряжения на сварочную дугу приводит к импульсно-ударному воздействию на поверхность сварочной ванны, что способствует более полному выделению растворенных в ней газов, снижает пористость и трещины в сварном шве. Кроме того, существенно улучшается формирование сварного шва в узкую разделку и уменьшается размер зерен металла, что положительно сказывается на эксплуатационных свойствах соединения.

На рисунке 12 представлена осциллограмма тока и осциллограмма напряжения, получаемые при использовании предлагаемого устройства импульсного управления.

2.3 Механизация и автоматизация сварочных операций

Повышение производительности и точности сборки обечаек предлагается достигнуть за счёт применения представленного на рисунке 13 приспособления, в состав которого входит две стойки, обозначенные позициями 2, которые закрепляются на основании 1. Для фиксации краев обечайки применяется система пневматических прижимов, обозначенный позицией 7. Сварка обечайки выполняется односторонняя с применением импульсного управления переносом металла, что позволяет эффективно формировать корневой слой шва. С обратной стороны обечайки на консоли 4 установлена медная подкладка, обозначенная позицией 8. Применение сменных стоек 9 позволяет настраивать приспособление на сборку и сварку обечаек различного диаметра. Поворот консоли 4 выполняется относительно оси 10, что делает возможным размещение «обечайки и её выемку после сварки. При сборке обечайки под сварку её закрепляют на консоли и подводят под прижимную балку 5, опирая на кронштейн 3. Работа системы пневматических прижимов 7 обеспечивается подачей в рабочие камеры сжатого воздуха от пневмораспределителя 8. Сварка продольного шва обечайки проходит автоматически с применением головки, которая перемещается вдоль формирующей медной подкладки 8» [1].

Перемещение сварочной головки выполняется с применением представленной на рисунке 14 сварочной колонны, в состав которой входит направляющая 7, «вертикальная направляющая 2, механизм горизонтального перемещения 11, привод горизонтального перемещения 10, суппорт 5, привод суппорта 9, консоль 3, сварочная горелка 4, механизм подачи проволоки 1, катушка с проволокой 6, вращатель 12, ходовой винт вертикального перемещения 8» [1].

Питание сварочной дуги обеспечивается представленным на рисунке 15 выпрямителем ВДУ-506. При механизированной сварке применяется представленный на рисунке 15 полуавтомат ПМ 4.33.

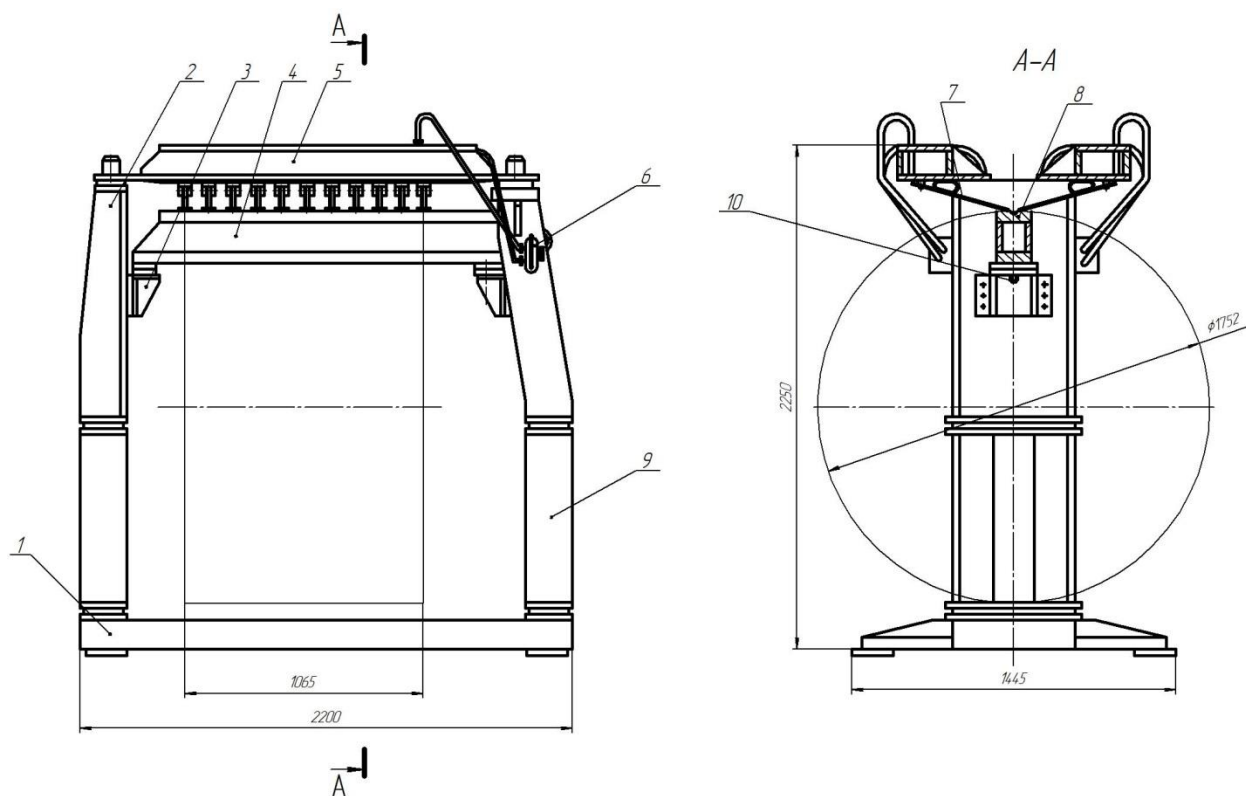


Рисунок 13 – Сборочное приспособление для выполнения продольного шва на обечайках

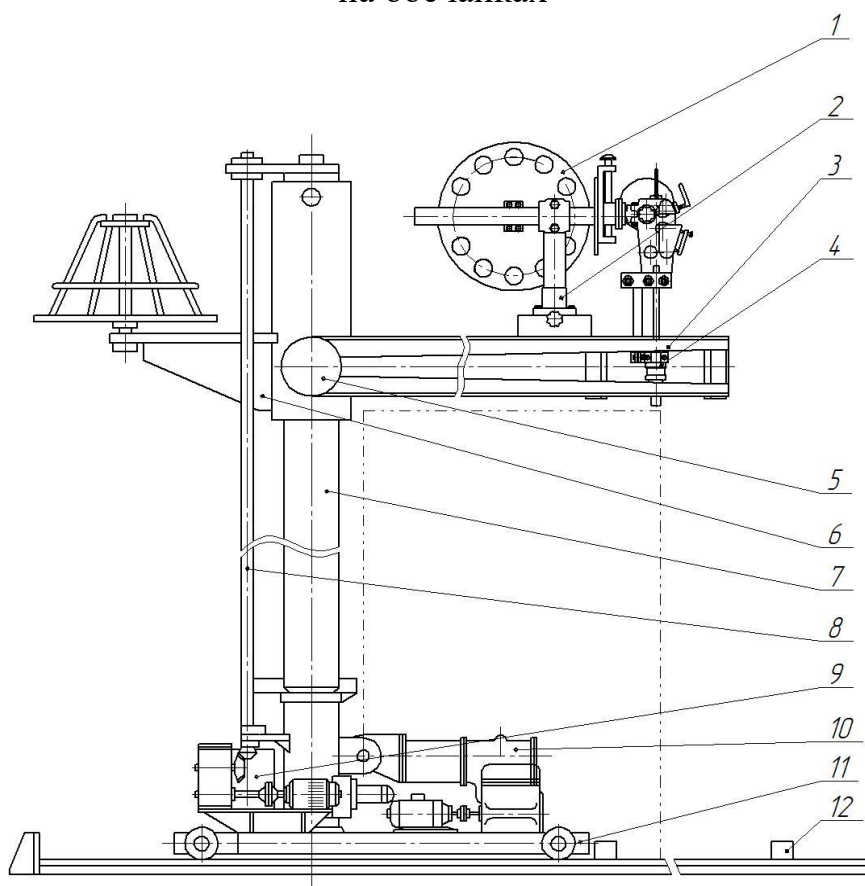


Рисунок 14 – Сварочная колонна

Перемещение заготовок по территории сварочного цеха выполняется с применением представленного на рисунке 16 мостового крана грузоподъемностью 5 тонн.



Рисунок 15 – Оборудование для выполнения механизированной варки люка котла цистерны и выполнения прихваток: источник питания ВДУ-506 (а) и полуавтомат ПМ 4.33 (б)

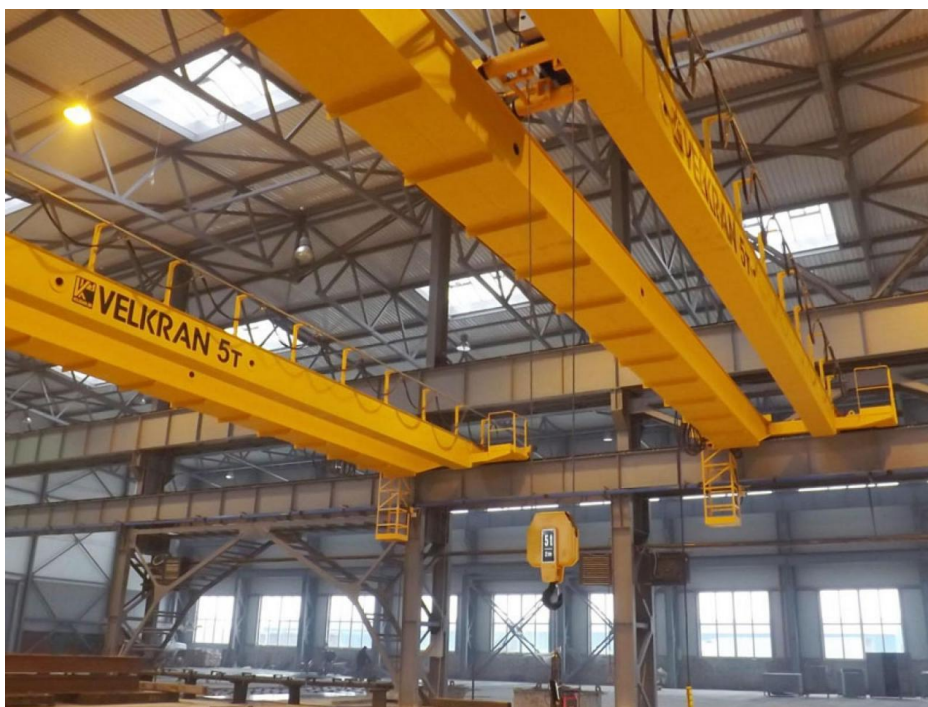


Рисунок 16 – Цеховой мостовой кран грузоподъемностью 5 тонн

Применение описанных в настоящем разделе механизмов позволяет повысить производительность и снизить трудоемкость работ при выполнении сварочных операций изготовления корпуса бойлера.

2.4 Описание операций технологического процесса

Перемещение заготовок по предприятию выполняют с применением внутрицехового транспорта и мостового крана, который имеет грузоподъемность 5 тонн.

На первой операции проходит входной контроль состояния заготовок для выполнения элементов корпуса бойлера. При «входном контроле листового проката проводят оценку его состояния визуально с обеих сторон листа. Наличие на поверхности листов разрывов, раковин и трещин не допускается. Устранение дефектов на поверхности листа выполняется с применением шлифования, при этом толщина листа может быть уменьшена не более чем на 0,25 мм. В противном случае лист с дефектами для заготовок признается негодным. На кромках листа не должно быть расслоений, разрывов» [18]. Контроль состояния листов выполняется визуальный, дополнительные приборы и средства измерения не применяются. Запрещается применять для исправления дефектов листов сварку. Каждый лист из партии проверяется по толщине с применением толщинометра. Технологический эскиз первой операции представлен на рисунке 17.

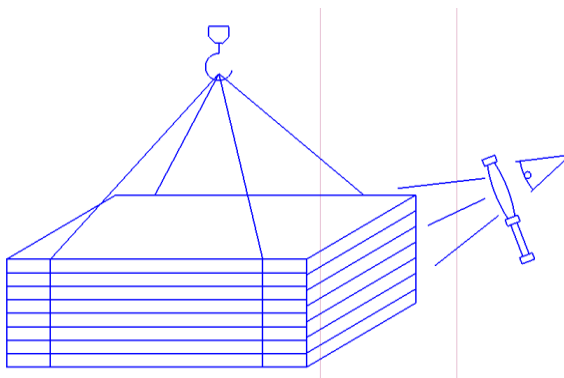


Рисунок 17 – Технологический эскиз первой операции

Вторая операция – заготовительная. Для разделения листового проката при выполнении заготовок применяется механическая резка, точность которой должна составлять не менее 0,5 мм. Применение термической резки не рекомендовано. Качество и точность реза должны обеспечивать

последующую сборку без приложения значительных усилий и дополнительной подрезки листовых заготовок. Резку листов выполняют с применением дисковых ножниц Н4422. Технологический эскиз второй операции представлен на рисунке 18.

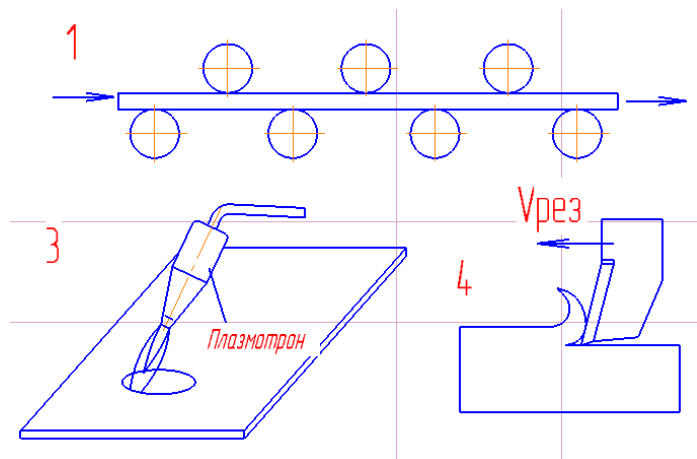


Рисунок 18 – Технологический эскиз второй операции

Третья операция - гибка заготовок. Вальцовка обечаек выполняется на четырехвалковой листогибочной машине ИБ-2416 Днища в количестве двух штук для каждого бойлера выполняются с применением холодной штамповки гидравлическом прессе К04.К3533А. Усилие штамповки составляет 2 МН. Пресс позволяет выполнять штамповку деталей из заготовок толщиной до 10 мм. Технологический эскиз третьей операции представлен на рисунке 19.

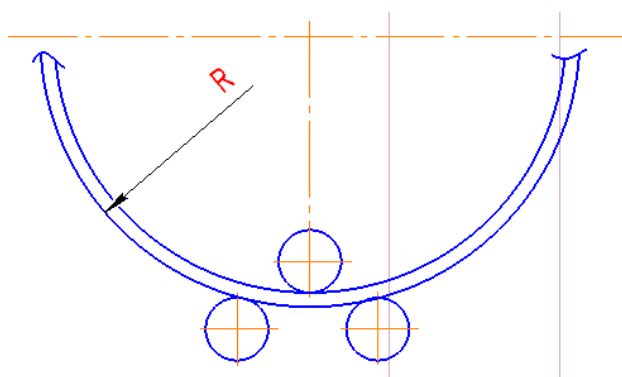


Рисунок 19 – Технологический эскиз третьей операции

Далее заготовки при помощи мостового крана грузоподъемностью 5 тонн перемещаются на участок сварки. Это четвертая операция – транспортная, технологический эскиз которой представлен на рисунке 20.

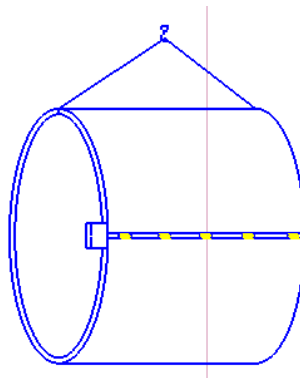


Рисунок 20 – Технологический эскиз четвертой операции

Пятая операция – сборки и сварка продольного шва обечайки. Обечайка зажимается в приспособлении, которое было описано выше, и позиционируется таким образом, чтобы продольный шов на обечайке относительно сварочной головки находился в нижнем положении, что позволит наиболее качественно сформировать сварное соединение. Применение импульсного управления дает возможность выполнить одностороннюю сварку с качественным формированием корневого слоя шва. «Сварку ведут на постоянном токе обратной полярности. Действующее значение сварочного тока при сварке принимается равным 240...260 ампер при напряжении на дуге 26...30 вольт. Скорость подачи проволоки составляет 230...240 метров в час, расход газовой смеси устанавливается в диапазоне 14...16 литров в минуту. В качестве защитной газовой смеси применяется смесь» [18] с содержанием углекислого газа 90 % и аргона 10 %. Уменьшение содержания в смеси аргона по сравнению с применяющимися обычно смесями позволительно по причине применения импульсного управления переносом электродного металла, что устраняет разбрызгивание и существенно уменьшает выгорание легирующих элементов. Сварку ведут проволокой состава Св-08Х20Н9СБТЮ. Повышенное содержание легирующих элементов в сварочной проволоке по сравнению с основным металлом необходимо для компенсации их выгорания при сварке. Технологический эскиз пятой операции представлен на рисунке 21. Сам процесс сварки продольного шва обечайки представлен на рисунке 22.

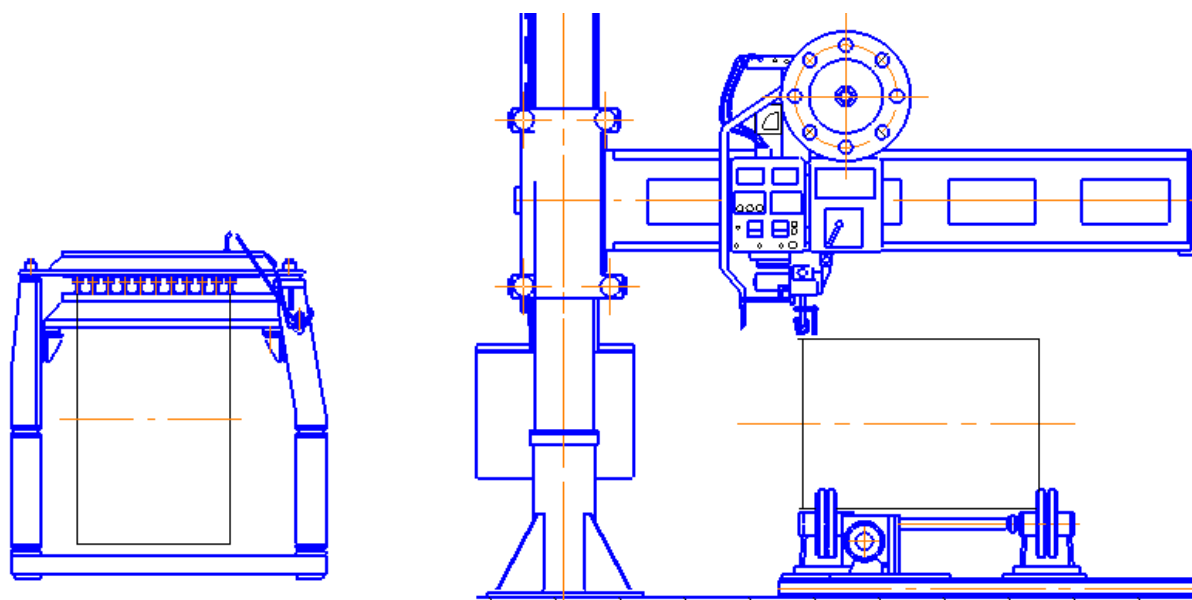


Рисунок 21 – Технологический эскиз пятой операции



Рисунок 22 – Сварка продольного шва обечайки на стенде

Шестая операция – сборка обечаек и прихватка кольцевых стыков. Сборка выполняется на специальном приспособлении. При сборке смещение кромок не должно превышать 0,5 мм, а зазор должен находиться в диапазоне 0...2 мм. Расстояние между продольными швами на обечайках должно быть не менее 200 мм. Для выполнения прихваток применяется сварочный выпрямитель ВДУ-506, с установленным на нем формирователем сварочных импульсов, и полуавтомат ПМ 4.33. Действующее значение сварочного тока при выполнении прихваток принимается равным

160...200 ампер при «напряжении на дуге 20...26 вольт. Скорость подачи проволоки составляет 230...240 метров в час, расход газовой смеси устанавливается в диапазоне 9...12 литров в минуту. В качестве защитной газовой смеси применяется смесь» [18] с содержанием углекислого газа 90 % и аргона 10 %. Сварку ведут проволокой состава Св-08Х20Н9СБТЮ диаметром 1,2 мм. После выполнения прихваток и их остывания следует очистить поверхность металла от шлака и брызг, визуально проконтролировать качество. Не допускается резких переходов наплавленного металла на основной металл, трещины и непровары. Выходящие на поверхность единичные поры не должны быть размером больше 2 мм. Если в прихвате обнаружены дефекты, её следует полностью зачистить и переварить. Технологический эскиз шестой операции представлен на рисунке 23.

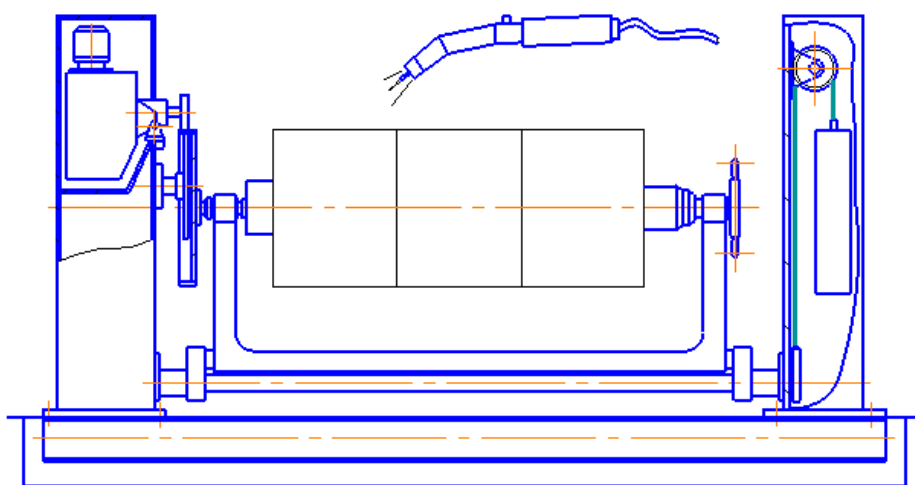


Рисунок 23– Технологический эскиз шестой операции

Седьмая операция – сварка кольцевых швов, которая выполняется на стенде с применением вращателя. Сварка ведется в нижнем положении, что обеспечивает стабильное формирование сварного шва. Применение импульсного управления дает возможность выполнить одностороннюю сварку с качественным формированием корневого слоя шва. Сварку ведут на постоянном токе обратной полярности. Действующее значение сварочного

тока при сварке принимается равным 240...260 ампер при напряжении на дуге 26...30 вольт. Скорость подачи проволоки составляет 230...240 метров в час, расход газовой смеси устанавливается в диапазоне 14...16 литров в минуту. В качестве защитной газовой смеси применяется смесь с содержанием углекислого газа 90 % и аргона 10 %. Сварку ведут проволокой состава Св-08Х20Н9СБТЮ диаметром 1,6 мм. Технологический эскиз седьмой операции представлен на рисунке 24.

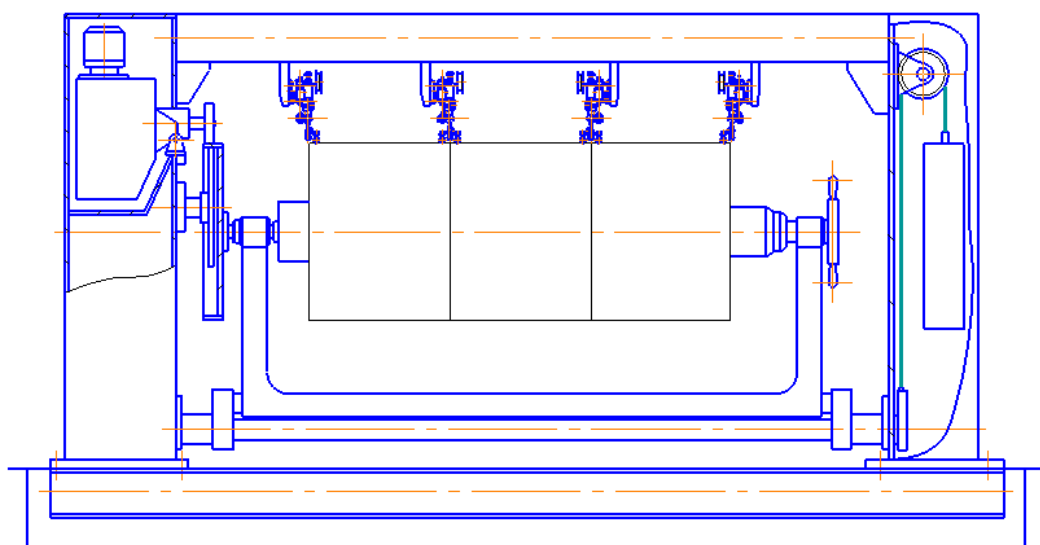


Рисунок 24– Технологический эскиз седьмой операции

Далее проводят очистку сварных швов и их контроль. После выполнения сварки проводят «контроль качества, для чего применяют визуальный осмотр и ультразвуковой контроль. Визуальный осмотр проводят на 100% сварных швов, ультразвуковой контроль проводят на 30 %. Для выполнения визуального контроля» [18] применяют лупу с увеличением в 4...7 раз, которая дополнительно снабжена подсветкой. «Не допускается грубая чешуйчатость поверхности сварного шва. Подрезы и наплывы металла должны иметь размеры не более 0,5 мм. При ультразвуковом контроле не допускаются внутренние поры размером более 1 мм» [18], цепочки пор и шлаковых включений, не допускается наличие между слоями несплавления. Дефектное место следует зачистить механическим способом и переварить с

последующим контролем качества. Допускается не более двух повторных сварок на одном месте.

Выводы по второму разделу

Второй раздел выпускной квалификационной содержит описание решения технических задач, постановка которых была выполнена в первом разделе.

На основании экспертной оценки альтернативных способов сварки обоснован выбор сварки в защитных газах проволокой сплошного сечения для построения проектной технологии.

На основании анализа научной литературы предложен способ сварки с импульсным управлением, значительно повышающий эффективность сварочных процессов.

Предложенные технические решения легли в основу проектной технологии, операции по выполнению которой сформулированы при решении второй задачи. При этом особое внимание уделено вопросу автоматизации и механизации основных и вспомогательных процессов, что позволяет повысить производительность выполнения сварочных работ.

На основании вышеизложенного следует признать, что сформулированные в первом разделе задачи полностью решены, однако вывод о целесообразности применения предлагаемых решений при построении технологических процессов современного производства можно будет сделать на основании выполнения двух оценочных разделов. В первом оценочном разделе, следует выполнить идентификацию негативных производственных факторов и предложить меры защиты от них. Также следует рассмотреть вопросы обеспечения пожарной безопасности и экологической безопасности производства [2], [5]. Во втором оценочном разделе следует провести сравнение экономических показателей базового и проектного вариантов технологии. На основании последующего сравнительного анализа рассчитанных экономических показателей производства следует сделать заключение об эффективности внедрения предлагаемых решений [10], [11].

3 Промышленная безопасность производственного участка

3.1 Описание технологического объекта и постановка оценочной задачи

В настоящей выпускной квалификационной работе представлены технические решения, позволяющие повысить экономические показатели производства, выполняющего изготовление бойлеров из нержавеющей стали. До выполнения экономического обоснования необходимо рассмотреть возможность построения производства с обеспечением необходимого уровня промышленной безопасности, пожарной безопасности и экологической безопасности. Предварительная оценка операций проектного технологического процесса выполняется на основании его упрощенного алгоритма, представленного в таблице 2, которая позволяет получить необходимую информацию о перечне выполняемых операций, персонале, применяемом оборудовании и материалах, что является достаточным для идентификации опасных и вредных производственных факторов, которыми характеризуется рассматриваемый производственный участок, на котором предлагается реализовать проектную технологию. Укрупненный технологический процесс представляет совокупность восьми операций. Для выполнения контрольных операций задействован дефектоскопист. Для выполнения заготовительной операции, операции гибки и транспортировки задействован слесарь-сборщик. Для выполнения операций сборки и сварки обечайки, сборки и прихватки обечаек, сварки кольцевых швов задействован сварщик на полуавтоматических и автоматических сварочных машинах. Применяемое при выполнении операций оборудование может стать причиной возникновения негативных производственных факторов, при этом, если фактор не ухудшает состояние персонала, то он признается нейтральным и в дальнейшем не учитывается. Поэтому следует идентифицировать только негативные факторы (опасные или вредные).

Таблица 2 – Укрупненная характеристика проектного технологического процесса сборки и сварки бойлеров из нержавеющей стали

Операция	Персонал	Оборудование
Входной контроль	Дефектоскопист	- кран-балка - комплект визуального контроля - линейка металлическая
Заготовительная	Слесарь-сборщик	- семивалковые вальцы - дисковые ножницы - «кромкострогальный станок
Гибка	Слесарь-сборщик	- листогибочная машина - кран-балка
Транспортировка	Слесарь-сборщик	- кран мостовой
Сборка и сварка обечайки	Сварщик на автоматических и полуавтоматически машинах	- источник питания - сварочная головка - газовое оборудование - сварочная колонна - устройство импульсной дуги
Сборка и прихватка обечаек	Сварщик на автоматических и полуавтоматически машинах	- источник питания - полуавтомат сварочный - газовая аппаратура - устройство импульсной дуги
Сварка кольцевых швов	Сварщик на автоматических и полуавтоматически машинах	- источник питания - сварочная головка - газовое оборудование - сварочная колонна - устройство импульсной дуги
Контроль качества	Дефектоскопист	- машина шлифовальная - дефектоскоп - комплект цветовой дефектоскопии» [18]

Таким образом, на основании представленной в таблице информации может быть выполнена идентификация опасных и вредных производственных факторов, оказывающих негативное воздействие на персонал предприятия.

3.2 Идентификация негативных производственных факторов

При выполнении операций сварки и наплавки неизбежно возникают негативные факторы, действие которых на персонал предприятия может привести к формированию или прогрессированию заболеваний, тогда такие факторы относят к вредным; или сопровождают получение травмы и случаи отрицательного выживания, тогда такие факторы относят к опасным.. В

таблице 3 представлен перечень возникающих опасных и вредных производственных факторов.

Таблица 3 – Негативные производственные факторы при реализации операций проектного технологического процесса сборки и сварки бойлеров

Наименование операции	Опасный или вредный производственный фактор
Входной контроль	- острые кромки, заусенцы и шероховатости на поверхности заготовок - движущиеся части машин и механизмов - отсутствие или недостатков естественного освещения - отсутствие или недостатков искусственного освещения
Заготовительная	- острые кромки и заусенцы и шероховатости н поверхности заготовок - движущиеся части машин и механизмов - отсутствие или недостатков естественного освещения - отсутствие или недостатков искусственного освещения
Гибка	
Транспортировка	
Сборка и сварка обечайки	- чрезмерное загрязнение воздушной среды в зоне дыхания - повышенный уровень шума - «опасные и вредные производственные факторы, связанные с электрическим током - движущиеся части машин и механизмов - острые кромки и заусенцы и шероховатости н поверхности заготовок - инфракрасное излучение - ультрафиолетовое излучение - химические вещества в аэрозольном состоянии - повышенная температура поверхностей
Сборка и прихватка обечаек	
Сварка кольцевых швов	
Контроль качества	- повышенный уровень ультразвуковых колебаний - острые кромки, заусенцы и шероховатости на поверхности заготовок» [5] - химические вещества в твердом, жидком и газообразном состоянии

Источниками опасных и вредных факторов становится применяемое при выполнении технологических операций оборудование и инструмент, сама сварочная дуга или условия работы на производственном участке. Представленные в таблице негативные производственные факторы соответствуют ГОСТ 12.0.003-2015 и представляют набор стандартных формулировок в количестве двенадцати штук. Технические средства и методики, направленные на нейтрализацию действия этих факторов на персонал, по-видимому, будут являться стандартным набором средств, находящимся в арсенале современного предприятия.

3.3 Нейтрализация негативных производственных факторов

В таблице 4 для рассматриваемых негативных производственных факторов представлен перечень технических средств и организационных мероприятий, направленных на обеспечение безопасности задействованного персонала. Необходимо оценить эффективность этих средств для обоснования отсутствия необходимости выработки специальных решений. В представленной таблице рассматривается двенадцать негативных факторов, действие которых на персонал предприятия должно быть устранено.

Анализ негативных производственных факторов должен учитывать кумулятивный эффект, заключающийся в накоплении негативного действия в течении продолжительного времени и острого его проявления. Также следует принимать во внимание, что действующие совместно факторы могут усиливать друг друга, что повышает их опасность и вредоносность.

В арсенале средств, призванных нейтрализовать действие негативных факторов, числятся средства технического характера, организационные мероприятия и средства личной защиты. Значительная роль отводится организационным мероприятиям, от своевременности и полноты проведения которых в значительной степени зависит безопасность труда.

Как показывает практика, именно нарушение трудовой дисциплины становится причиной большинства несчастных случаев на производстве. Также следует принимать во внимание необходимость поддержания порядка на рабочем месте, что позволяет лучше организовать производственный процесс и обеспечить его безопасность по отношению к участникам.

Также следует постоянно проверять комплектность и «исправность» средств индивидуальной защиты, состояние которых должно контролировать как руководство предприятия, так и сам персонал. Для обслуживания технических средств безопасности труда должны привлекаться квалифицированные работники» [5].

Таблица 4 – Средства и методики для устранения профессиональных рисков

Негативный фактор	Технические средства	Инд. средства
химические вещества в аэрозольном состоянии	- устройства местного удаления загрязненного воздуха и общеобменной вентиляции	защитные маски
повышенная температура поверхностей	- «оснащение рабочих мест предупреждающими плакатами и табличками	специальная одежда, перчатки, защитные маски
чрезмерное загрязнение воздушной среды в зоне дыхания	- устройства местного удаления загрязненного воздуха и общеобменной вентиляции	индивидуальные средства защиты дыхательных путей
движущиеся части машин и механизмов	устройства защитного отключения привода станков	Специальная одежда, перчатки
опасные и вредные производственные факторы, связанные с электрическим током	- организация и проведение периодического инструктажа работников на предмет соблюдения техники безопасности - контроль изоляции и заземления - защитное заземление, защитное отключение	защитная одежда, диэлектрические коврики
острые кромки и заусенцы и шероховатости и поверхности заготовок	- оснащение рабочих мест предупреждающими плакатами и табличками	Специальная одежда, перчатки
инфракрасное излучение	- ограничение проникновения персонала в опасную зону применением ограждений - защитные экраны	специальная одежда, перчатки, защитные маски
ультрафиолетовое излучение	- ограничение проникновения персонала в опасную зону применением ограждений - защитные экраны	специальная одежда, перчатки, защитные маски» [5]
отсутствие или недостатков естественного освещения	- контроль уровня освещенности рабочего места - дополнительная подсветка	индивидуальная подсветка
отсутствие или недостатков искусственного освещения	- контроль уровня освещенности рабочего места - дополнительная подсветка	индивидуальная подсветка
повышенный уровень ультразвуковых колебаний	- ограничение проникновения персонала в опасную зону	защита расстоянием и уменьшением времени воздействия
химические вещества в твердом, жидком и газообразном состоянии	- оснащение рабочих мест предупреждающими плакатами и табличками	Специальная одежда, перчатки

Представленные в таблице 4 сведения свидетельствуют о комплексном решении задач промышленной безопасности и достаточности предлагаемых стандартных средств.

3.4 Пожарная безопасность производственного участка

При сварке и наплавке обязательным инструментом является свободно горящая дуга, характеризующаяся повышенной температурой, интенсивным инфракрасным и ультрафиолетовым излучением, разлетом брызг расплавленного металла. Также опасность с точки зрения пожарной безопасности представляют нагретые до высоких температур поверхности деталей. Электрическое оборудование при нарушении целостности проводки также вызывает возгорание вследствие разлета искр и интенсивного нагрева. Кроме того, «наличие подвода электричества существенно затрудняет тушение пожара и ухудшает его протекание. В таблице 5 выполнена идентификация пожара, возникновение которого следует предотвратить.

Таблица 5 – Идентификация пожара на производственном участке

Наименование участка	Участок сборки и сварки бойлеров из нержавеющей стали
Наименование оборудования	Оборудование для механической обработки, сварочное оборудование, термическое оборудование, дефектоскоп
Классификация по виду горящего вещества	Пожары, которые происходят за счет воспламенения и горения веществ и материалов на электроустановках, запитанных электрическим напряжением (Е)
Наименование основных опасных факторов пожара	Пламя, повышенная температура воздуха, токсические продукты горения, уменьшение концентрации кислорода в воздухе, снижение видимости из-за задымления, искры
Наименование вторичных опасных факторов пожара	Поражение персонала электрическим током» [5], падение на персонал элементов конструкции здания и оборудования

Для оперативного тушения возникающих пожаров и уменьшения ущерба от них необходимо выполнить идентификацию факторов пожара и классифицировать его. К таким факторам относят разлетающиеся при горении искры, застилающее обзор и мешающее ориентироваться в пространстве задымление, отравляющие людей токсические продукты горения, приводящее к удушью уменьшение содержания в воздухе кислорода, волны горячего воздуха и само пламя. Также при пожаре возможно падение на людей элементов оборудования и строительной конструкции при её разрушении. На

основании результатов проведенного анализа возникающий на рассматриваемом производственном участке пожар может быть отнесен к категории «Е», так как ещё одним поражающим фактором является электрический ток, поражение которым может произойти при тушении пожара. В таблице 6 представлены средства, обеспечивающие устранение опасных факторов такого пожара, которые следует быть готовым применить на рассматриваемом производственном участке.

Таблица 6 – Средства устранения факторов пожара

«Первичные средства пожаротушения	Емкость с песком, переносные углекислотные огнетушители
Мобильные средства пожаротушения	Специализированные расчеты (вызываются)
Стационарные установки системы пожаротушения	Нет необходимости
Средства пожарной автоматики	Установки пожарной сигнализации, пожарного оповещения
Пожарное оборудование	Пожарный кран
Средства индивидуальной защиты и спасения людей при пожаре	План эвакуации
Пожарный инструмент (механизированный и немеханизированный)	Ведро конусное, лом, лопата штыковая
Пожарная сигнализация, связь и оповещение» [5]	Кнопка оповещения, звуковые оповещатели, речевые оповещатели, световые оповещатели

Применяемые для предотвращения пожара мероприятия должны отвечать требованиям системности и целостности, т.е. на каждом этапе следует производственного цикла необходимо обеспечить нейтрализацию опасностей, позволяющих возникнуть пожару. Следует руководствоваться приоритетностью предупредительных мероприятий. Поэтому особое внимание следует уделить средствам и мероприятиям, обеспечивающим предотвращение появления возгорания на «рассматриваемом производственном участке. Для этого запрещается складирование на нем мусора: ветошь, картон, бумага, элементы упаковки, куски пенопласта. Необходимо проведение инструктажа персонала по обеспечению пожарной безопасности» [5].

3.5 Обеспечение экологической безопасности производственного участка

«При реализации технологических процессов необходимо руководствоваться не требованиями промышленной безопасности и пожарной безопасности, но и условиями минимизации вреда, наносимого окружающей среде при выполнении операций проектного технологического процесса. В настоящей выпускной квалификационной работе рассматривается сборка» [2] и сварка цилиндрических бойлеров из нержавеющей стали, который представляет опасность для элементов природы – гидросферы, литосферы и атмосферы. В таблице 7 представлены мероприятия и средства, обеспечивающие защиту природных компонентов от негативных экологических факторов рассматриваемого производства.

Таблица 7 – Мероприятия и средства по защите природных компонентов от негативных экологических факторов при сварке бойлеров

Участок	Участок сборки и сварки бойлеров из нержавеющей стали
Защита атмосферы	Вентиляционная система, обслуживающая производственный участок, должна быть оснащена системой фильтров, обеспечивающей сбор и утилизацию выделяющихся вредных компонентов. Запрещается сжигание промышленного мусора, полученного в ходе функционирования рассматриваемого производственного участка. Инструктаж персонала по необходимости соблюдения экологических норм.
Защита гидросферы	Запрещается сливать в канализационную систему цеха машинное масло и другие отходы производства. Инструктаж персонала по необходимости соблюдения экологических норм. Очистка и повторное использование технической воды, позволяющие уменьшить расход водных ресурсов. Запрещается использование для технических нужд питьевой воды.
Защита литосферы	Обеспечить отдельный сбор и утилизацию промышленного мусора, возникающего в ходе функционирования рассматриваемого производственного участка. Запрещается закапывание и несанкционированное выбрасывание промышленного мусора. Инструктаж персонала по необходимости соблюдения экологических норм. Рециклинг промышленных отходов, позволяющий значительно уменьшить негативную нагрузку со стороны предприятия на литосферу.

Предлагаемые средства носят комплексный характер и обеспечивают при условии соблюдения минимизацию антропогенного действия.

Выводы по экологическому разделу

Экологический раздел содержит оценку предлагаемых технологических решений с точки зрения обеспечения безопасности труда, пожарной безопасности и экологической безопасности производственного участка. Для идентификации негативных факторов проведен анализ технологического процесса сборки и сварки бойлера. Рассматриваемые негативные производственные факторы могут быть отнесены к опасным и вредным, защита от их «действия реализуется путем применения стандартных средств и организационных мероприятий. Установлена достаточность стандартных средств для обеспечения производственной безопасности и отсутствие необходимости разработки специальных средств. На основании рассмотрения вопросов пожарной безопасности рассматриваемого производственного участка составлен перечень средств» [5] по обеспечению пожарной безопасности и предотвращению возникновения пожара на предприятии. Установлено, что основной упор следует сделать на предотвращение возникновения ситуаций, в которых возможно возникновение пожара. Также были предложены мероприятия по защите составляющих природы – атмосферы, литосферы и гидросферы от негативного воздействия со стороны производственного участка. Особое внимание следует уделить селективному сбору промышленных отходов и недопустимости несанкционированного их выбрасывания, что может привести к загрязнению гидросферы и литосферы. Таким образом, предлагаемые в настоящей выпускной квалификационной работе технические решения не представляют существенной угрозы работникам предприятия и окружающей среде. Все возникающие при реализации проектной технологии негативные воздействия могут быть нейтрализованы с применением стандартных средств и мероприятий. Таким образом, предлагаемые в настоящей выпускной квалификационной работе решения могут быть обеспечены необходимым уровнем промышленной, пожарной и экологической безопасности. Их внедрение в современное производство допускается действующей нормативной документацией.

4 Экономическая эффективность предлагаемых технических решений

4.1. Исходные данные для экономического расчёта

Ранее был составлен технологический процесс сборки и сварки при изготовлении бойлеров значительного объема из нержавеющей стали. При анализе «способов сварки выполнено обоснование применения сварки в защитных газах проволокой сплошного сечения. На основании достижений в области управления сварочными процессами предложены меры по повышению эффективности выбранного способа сварки» [10]. Далее сформулированы требования к выполнению операций проектного технологического процесса.

Импульсный характер горения дуги позволяет повысить пространственную стабильность дуги, улучшить прочностные и структурные характеристики сварного шва. За счёт повышения производительности ожидается снижение размеров фонда заработной платы, а повышение качества позволяет экономить на сварочных материалах, электрической энергии и фонде заработной платы, так как существенно снижается количество брака и работ по его исправлению. В таблице 8 «представлены исходные данные, которые будут применены для расчёта экономических показателей. С применением этих данных предстоит рассчитать временные и экономические показатели базового и проектного вариантов технологии сварки» [10].

Поскольку в выпускной квалификационной работе рассматривается процесс изготовления массивной ответственной детали, то экономические расчёты будут проводиться исходя из работы производственного участка в одну смену. Вывод о целесообразности внедрения в производство предлагаемых технических решений следует сделать на основании экспертной оценки меняющихся экономических показателей рассматриваемых вариантов технологии.

Таблица 8 – Данные для расчета экономических показателей производства

Параметр	Обозначение	Единица измерения	Принимаемое значение по варианту технологии	
			базовый	проектный
«Число рабочих смен в сутках	$K_{см}$	-	1	1
Разряд работников	P_p	-	V	V
Часовая тарифная ставка	$Cч$	Р/час	150	150
Коэффициент доплат	$K_{доп}$	%	12	12
Коэффициент отчислений на дополнительную ЗП	K_d	-	1,88	1,88
Коэффициент отчислений на социальные нужды	$K_{сн}$	%	34	34
Коэффициент выполнения нормы	$K_{вн}$	-	1,1	1,1
Стоимость оборудования	$Ц_{об}$	руб.	250 тыс.	1200 тыс.
Норма амортизации оборудования	K_a	%	21,5	21,5
Мощность оборудования	$M_{уст}$	кВт	25	40
Коэффициент транспортно-заготовительных расходов	$K_{т-з}$	%	5	5
Стоимость электрической энергии	$Ц_{э-э}$	Р/ кВт	3,02	3,02
Коэффициент полезного действия	$K_{пд}$	-	0,7	0,85
Коэффициент затрат на монтаж и демонтаж оборудования	$K_{мон}$ $K_{дем}$	%	3	5
Площадь под оборудование	S	м ²	100	100
Стоимость эксплуатации площадей	$C_{эксп}$	(Р/м ²)/год	2000	2000
Цена производственных площадей	$Ц_{пл}$	Р/м ²	30000	30000
Норма амортизации площади	$На.пл.$	%	5	5
Коэффициент дополнительной производственной площади	$K_{пл}$	-	3	3
Коэффициент эффективности капитальных вложений	E_n	-	0,33	0,33
Коэффициент цеховых расходов	$K_{цех}$	-	1,5	1,5
Коэффициент заводских расходов» [10]	$K_{зав}$	-	1,15	1,15

Дальнейшие экономические показатели рассчитываются на основании представленных в настоящей таблице исходных данных. Алгоритм оценки эффективности предусматривает отдельное определение временных показателей рассматриваемого производства, отдельный расчёт составляющих технологической себестоимости, цеховых и заводских расходов, капитальных вложений.

4.2 Фонд времени работы оборудования

Начальным этапом для расчета экономических показателей производства является определение его временных параметров, к которым, в первую очередь, следует отнести годовой фонд времени работы оборудования F_H и «эффективный фонд времени работы оборудования F_3 , связанные друг с другом через коэффициент рабочего времени B . Годовой фонд времени работы оборудования F_H в дальнейшем определяет годовую программу и влияет на последующие расчеты.

Рассматриваемое в настоящей выпускной квалификационной работе производство предусматривает работу в одну смену, таким образом, для расчетов принимается количество смен $K_{см}=1$. Общее число рабочих дней в одном календарном году принимается равным $D_p=277$. Нормальная продолжительность рабочей смены для проведения последующих расчетов принимается равной $T_{см}=8$ часов. В предпраздничные дни уменьшение продолжительности рабочей смены составляет $T_{п}=1$ час. Количество предпраздничных дней в году для выполнения расчетов принимается равным $D_{п}=7$ дней. На основании вышеизложенного может быть рассчитано значение годового фонда времени:

$$F_H = (D_p \cdot T_{см} - D_{п} \cdot T_{п}) \cdot K_{см} = (277 \cdot 8 - 7 \cdot 1) \cdot 1 = 2209 \text{ часов.} \quad (1)$$

Эффективный фонд времени работы оборудования позволяет учесть потери рабочего времени» [10] через коэффициент B , значение которого для рассматриваемого случая построения технологического процесса принимается $B=0,07$. На основании вышеизложенного

$$F_3 = F_H(1-B) = 2209 \cdot (1 - 0,07) = 2054 \text{ часов.} \quad (2)$$

Расчет показателей экономической эффективности в дальнейшем выполняем с учетом рассчитанного выше значения эффективного фонда времени $F_3 = 2054$ часа.

4.3 Расчёт штучного времени и годовой программы производства

Расчёт капитальных вложений и экономической эффективности внедрения в производство предлагаемых решений требует для своего проведения задания годовой программы производства Π_{Γ} . Для его определения предварительно следует задаться значением штучного времени $t_{шт}$ для базового и проектного вариантов технологии, которые могут упрощенно рассчитывать по составляющим: «машинное время $t_{маш}$, значение которого задается по результатам анализа особенностей базового и проектного вариантов технологического процесса; вспомогательное время $t_{всп}$, которое задается через машинное время и составляет 10 % от него; время на обслуживание рабочего места $t_{обсл}$, которое задается через машинное время и составляет 5 % от него; времени на личный отдых $t_{отд}$, которое задается через машинное время и составляет 5 % от него; подготовительно-заключительное время $t_{пз}$, которое задается через машинное время и составляет 1 % от него. Таким образом, расчёт штучного времени по упрощенной схеме» [10] выполняется как

$$t_{шт} = t_{маш} + t_{всп} + t_{обсл} + t_{отд} + t_{пз} . \quad (3)$$

Расчёт по формуле (3) для базового варианта построения технологического процесса позволяет получить значение штучного времени для выполнения работы: $t_{шт} = 18 \cdot (100\% + 10\% + 5\% + 5\% + 1\%) = 31,5$ часа. Расчёт по формуле (3) для проектного варианта построения технологического процесса позволяет получить значение штучного времени для выполнения работы: $t_{шт} = 7 \cdot (100\% + 10\% + 5\% + 5\% + 1\%) = 12,25$ час.

Далее рассчитывается годовая программа как отношение эффективного фонда времени оборудования F_3 и штучного времени $t_{шт}$ как

$$\Pi_{\Gamma} = F_3 / t_{шт} . \quad (4)$$

Расчёт по формуле (4) для базового варианта построения технологического процесса позволяет получить значение годовой программы $\Pi_{\Gamma} = 2054/31,5 = 65$ бойлеров за год. Расчёт по формуле (4) для проектного варианта построения технологического процесса позволяет получить значение годовой программы $\Pi_{\Gamma} = 2054/12,25 = 167$ бойлеров за год. С учётом потребностей рассматриваемого производства для значения годовой программы принимается $\Pi_{\Gamma} = 40$ бойлеров за один год. Далее следует выполнить расчёт количества оборудования $n_{\text{расч}}$ для проектного и базового вариантов технологического процесса, для чего «следует применить ранее рассчитанное значение эффективного фонда времени F_3 , годовой программы Π_{Γ} и штучного времени $t_{\text{шт}}$ с учётом коэффициента выполнения нормы $K_{\text{вн}}$, значение которого в рассматриваемом варианте производства принимается $K_{\text{вн}} = 1,03$ » [10]:

$$n_{\text{расч}} = t_{\text{шт}} \cdot \Pi_{\Gamma} / (F_3 \cdot K_{\text{вн}}). \quad (5)$$

«Расчёт по формуле (5) для базового варианта построения технологического процесса позволяет получить количество оборудования $n_{\text{расч.}} = 31,5 \cdot 40 / (2054 \cdot 1,03) = 0,6$. Расчёт по формуле (5) для проектного варианта построения технологического процесса позволяет получить количество оборудования $n_{\text{расч.}} = 12,25 \cdot 40 / (2054 \cdot 1,03) = 0,2$ » [10]. Следует принять ближайшее большее натуральное значение, которое для проектного и базового вариантов составляет 1 и 1 соответственно. Коэффициент загрузки оборудования K_3 , который рассчитывается как отношение расчётного и принимаемого количества оборудования по вариантам технологии:

$$K_3 = n_{\text{расч}} / n. \quad (6)$$

Расчёт по формуле (6) для базового и проектного вариантов позволяет получить $K_3 = 0,6/1 = 0,6$ и $K_3 = 0,2/1 = 0,2$ соответственно, что объясняется повышением производительности труда при реализации проектного варианта технологического процесса.

4.4 Заводская себестоимость

Для определения размеров технологической себестоимости $C_{\text{тех}}$ проведения работ согласно рассматриваемым вариантам технологического процесса необходимо выполнить отдельный расчёт составляющих: «затрат на материалы M , фонда заработной платы ФЗП, отчислений на социальные нужды $O_{\text{сс}}$, затрат на оборудование $Z_{\text{об}}$ и затрат на площади $Z_{\text{пл}}$. Расчёт расходов на сварочные материалы проводится с учётом их цены $C_{\text{м}}$, нормы расхода $H_{\text{р}}$ и коэффициента транспортно-заготовительных расходов $K_{\text{тз}}$, значение которого для рассматриваемого производства согласно таблице исходных данных составляет $K_{\text{тз}} = 1,05$ » [10]:

$$M = C_{\text{м}} \cdot H_{\text{р}} \cdot K_{\text{тз}} . \quad (7)$$

Расчёт по формуле (7) для базового варианта технологии позволяет получить $M = 976 + 8611 = 9587$ руб. Расчёт по формуле (7) для проектного варианта позволяет получить $M_{\text{баз.}} = 958 + 1240 + 1642 = 3840$ руб.

«Фонд заработной платы ФЗП предприятия характеризует расходы на основную заработную плату $Z_{\text{осн}}$ и дополнительную заработную плату $Z_{\text{доп}}$, которые рассчитываются с учетом часовой тарифной ставки $C_{\text{ч}}$, коэффициента доплат $K_{\text{д}}$ и коэффициента дополнительных затрат $K_{\text{доп}}$. Для рассматриваемого производства по таблице исходных данных принимается $C_{\text{ч}}=150$ руб., $K_{\text{д}}=1,88$ и $K_{\text{доп}}=0,12$. Расчёт величины $Z_{\text{осн}}$:

$$Z_{\text{осн}} = t_{\text{шт}} \cdot C_{\text{ч}} \cdot K_{\text{д}}. \quad (8)$$

Применение (8) для базового варианта позволяет получить величину $Z_{\text{осн}} = 31,5 \cdot 150 \cdot 1,88 = 8883$ руб.» [10]. Применение (8) для проектного варианта позволяет получить величину $Z_{\text{осн.}} = 12,25 \cdot 150 \cdot 1,88 = 3455$ руб.

Расчёт величины $Z_{\text{доп}}$ предусматривает применение следующей математической зависимости:

$$Z_{\text{доп}} = Z_{\text{осн}} \cdot K_{\text{доп}}. \quad (9)$$

Применение (9) для базового варианта позволяет получить величину $Z_{\text{доп}} = 8883 \cdot 0,12 = 1066$ руб. Применение (9) для проектного варианта позволяет получить величину $Z_{\text{доп}} = 3455 \cdot 0,12 = 415$ руб.

Расчёт величины ФЗП:

$$\text{ФЗП} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}. \quad (10)$$

Применение (10) для базового варианта позволяет получить величину $\text{ФЗП} = 8883 + 1066 = 9949$ руб.. Применение (10) для проектного варианта позволяет получить величину $\text{ФЗП} = 3455 + 415 = 3870$ руб.

Уменьшение значения ФЗП для проектного варианта по сравнению с базовым вариантом технологии происходит по причине повышения производительности труда, а не снижения часовой тарифной ставки, таким образом, работники предприятия с учётом снижения трудоемкости процесса не теряют в заработной плате.

«Размер отчислений на социальные нужды $O_{\text{сн}}$ определяется с учетом ранее определенных значений ФЗП для рассматриваемых вариантов и коэффициента отчислений на социальные нужды $K_{\text{сн}}$, значение которого для рассматриваемого» [10] производства из таблицы исходных значений принимается $K_{\text{сн}} = 0,34$. Расчёт величины $O_{\text{сн}}$:

$$O_{\text{сн}} = \text{ФЗП} \cdot K_{\text{сн}}. \quad (11)$$

Применение (11) для базового варианта позволяет получить величину $O_{\text{сн}} = 9949 \cdot 0,34 = 3383$ руб. Применение (11) для проектного варианта позволяет получить величину $O_{\text{сн}} = 3870 \cdot 0,34 = 1316$ руб. «Для того, чтобы рассчитать размер затрат на оборудование $Z_{\text{об}}$, необходимо предварительно определить составляющие: амортизационные отчисления $A_{\text{об}}$ и затраты на электрическую энергию $P_{\text{э}}$ » [10]. При расчете величины $A_{\text{об}}$ применяются ранее определенные значения $F_{\text{э}}$ и $t_{\text{маш}}$, а также принятые для рассматриваемого производства норма амортизации $N_{\text{а}}$ и стоимость

оборудования $\Pi_{об}$, значения которых берутся из таблицы исходных данных.

Расчёт величины $A_{об}$:

$$A_{об} = \frac{\Pi_{об} \cdot H_a \cdot t_{маш}}{F_3 \cdot 100}. \quad (12)$$

Применение (12) для базового варианта «позволяет получить величину $A_{об} = 250000 \cdot 21,5 \cdot 31,5 / 2054 / 100 = 824$ руб. Применение (12) для проектного варианта даёт $A_{об} = 1200000 \cdot 21,5 \cdot 12,25 / 2054 / 100 = 5129$ руб.» [10]. Для расчёта величины $P_{эз}$ выполняется применяется «цена электрической энергии $\Pi_{эз}$, установленная мощность применяемого оборудования $M_{уст}$, машинное время $t_{маш}$ и коэффициент полезного действия. Эти значения были рассчитаны ранее или принимаются из таблицы исходных данных. Расчёт величины $P_{эз}$ » [10]:

$$P_{эз} = M_{уст} \cdot t_{маш} \cdot \Pi_{эз} / \text{КПД}. \quad (13)$$

«Применение (13) для базового варианта позволяет получить величину $P_{эз} = 31,5 \cdot 25 \cdot 3,2 / 0,7 = 3600$ руб. Применение (13) для проектного варианта позволяет получить величину $P_{эз} = 12,25 \cdot 40 \cdot 3,2 / 0,85 = 1844$ руб.» [10]

Величина затрат на оборудование $Z_{об}$ определяется как сумма $A_{об}$ и $P_{эз}$:

$$Z_{об} = A_{об} + P_{эз}. \quad (14)$$

Применение (14) для базового варианта позволяет получить величину затрат на оборудование $Z_{об} = 824 + 3600 = 3424$ руб. Применение (14) для проектного варианта позволяет получить величину $Z_{об} = 5129 + 1844 = 6973$ руб.

Полученные значения составляющих позволяют рассчитать полное значение технологической себестоимости $C_{тех}$ выполняется как сумма затрат на материалы M , фонда заработной платы ФЗП, отчислений на социальные нужды $O_{сс}$, затрат на оборудование $Z_{об}$:

$$C_{тех} = M + \text{ФЗП} + O_{сс} + Z_{об}. \quad (15)$$

«Применение (15) для базового варианта позволяет получить величину $C_{\text{тех}} = 9587 + 9949 + 1754 + 3424 = 24714$ руб. Применение (15) для проектного варианта позволяет получить $C_{\text{тех}} = 3840 + 3870 + 1316 + 6973 = 15999$ руб.» [10].

Снижение технологической себестоимости в проектном варианте технологии обеспечивается за счёт уменьшения размеров фонда заработной платы, затрат на материалы и затрат на оборудование, что объясняется применением более производительного оборудования с расширенными технологическими возможностями.

Для расчётного определения «цеховой себестоимости $C_{\text{цех}}$ необходимо применить ранее рассчитанное значение технологической себестоимости $C_{\text{тех}}$ и основной заработной платы $Z_{\text{осн}}$, а также коэффициент цеховых расходов $K_{\text{цех}}$, значение которого для рассматриваемого производства принимается из таблицы исходных данных $K_{\text{цех}}=1,5$. Расчёт величины $C_{\text{цех}}$:

$$C_{\text{цех}} = C_{\text{тех}} + Z_{\text{осн}} \cdot K_{\text{цех}}. \quad (16)$$

Применение (16) для базового варианта позволяет получить величину $C_{\text{цех}} = 24714 + 1,5 \cdot 8883 = 24714 + 13324 = 38038$ руб. Применение (16) для проектного варианта позволяет получить $C_{\text{цех}} = 15999 + 1,5 \cdot 3455 = 15999 + 5183 = 21182$ руб.

Для расчётного определения заводской себестоимости $C_{\text{зав}}$ необходимо применить ранее рассчитанные значения цеховой себестоимости $C_{\text{цех}}$ и основной заработной платы $Z_{\text{осн}}$, а также коэффициент заводских расходов $K_{\text{зав}}$, значение которого для рассматриваемого производства принимается из таблицы исходных значений $K_{\text{зав}}=1,15$. Расчёт величины $C_{\text{зав}}$:

$$C_{\text{зав}} = C_{\text{цех}} + Z_{\text{осн}} \cdot K_{\text{зав}}. \quad (17)$$

Применение (17) для базового варианта позволяет получить значение $C_{\text{зав}} = 38038 + 1,15 \cdot 8883 = 38038 + 10215 = 48253$ руб. Применение (17) для проектного варианта дает $C_{\text{зав}} = 21182 + 1,15 \cdot 3455 = 21182 + 3973 = 25155$ руб.

Для анализа которых на рисунке 25 представлена диаграмма, демонстрирующая состав заводской себестоимости по базовому и проектному вариантам технологического процесса» [10]. Калькуляция представлена в таблице 9.

Таблица 9 – Калькуляция заводской себестоимости

«Показатель	Обозначение	Базовый	Проектный
1 Затраты на материалы	M	9587	3840
2 Фонд заработной платы	$\Phi ЗП$	9949	3870
3 Отчисления на соц. нужды	O_{CH}	1754	1316
4 Затраты на оборудование	$Зоб$	3424	6973
5 Технологическая себестоимость	$C_{тех}$	24714	15999
6 Цеховые расходы	$P_{цех}$	13324	5183
7 Цеховая себестоимость	$C_{цех}$	38038	21182
8 Заводские расходы	$P_{зав}$	10215	3973
9 Заводская себестоимость» [10]	$C_{зав}$	48253	25155

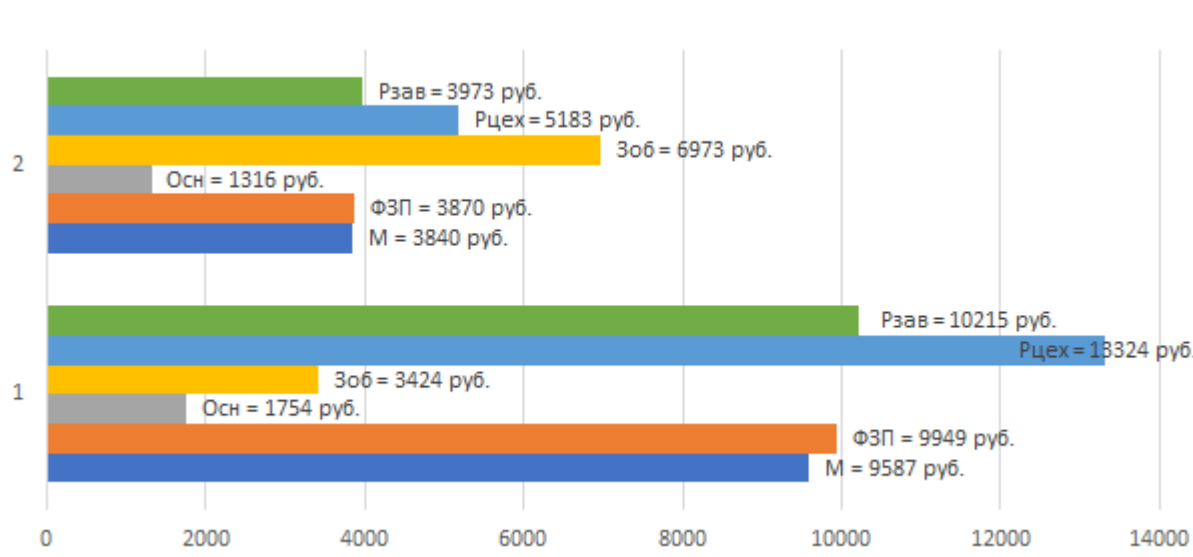


Рисунок 25 – Состав заводской себестоимости

Снижение заводской себестоимости в проектном варианте технологии обеспечивается за счёт уменьшения величины технологической себестоимости и величины цеховых и заводских расходов. Высокая эффективность предлагаемых решений доказывается уменьшением величины заводской себестоимости в проектном варианте по сравнению с базовым вариантом. Далее требуется рассчитать капитальные затраты.

4.5 Капитальные затраты по рассматриваемым вариантам

«Первоначально следует определиться с «величиной остаточной стоимости оборудования $\Pi_{об.б.}$, использование которого выполнялось при реализации базовой технологии. При продолжительности эксплуатации $T_c=2$ года и цене оборудования $\Pi_{перв}= 250$ тыс. руб. с учетом нормы амортизационных отчислений $H_a=21,5 \%$ » [10]:

$$\Pi_{об.б.} = \Pi_{перв} - (\Pi_{перв} \cdot T_{сл} \cdot H_a / 100). \quad (18)$$

«Применение (18) для базового варианта позволяет получить величину $\Pi_{об.б.} = 250000 - (250000 \cdot 2 \cdot 21,5 / 100) = 142500$ руб.» [10]

Величина общих капитальных затрат $K_{общ.б.}$ в базовом варианте технологии, рассчитывается по ранее полученному коэффициенту загрузки K_z и остаточной стоимости $\Pi_{об.б.}$:

$$K_{общ.б.} = \Pi_{об.б.} \cdot K_{з.б.} = 1 \cdot 142500 \cdot 0,6 = 85500 \text{ рублей}. \quad (19)$$

«Капитальные затраты на оборудование при реализации проектного технологического процесса $K_{об.пр.}$ рассчитываются с учётом цены оборудования по проектному варианту $\Pi_{об.пр.}$, коэффициента транспортно-заготовительных расходов $K_{тз}$ и коэффициента загрузки оборудования K_z , расчётное значение которого составляет $K_z=0,2$. Из таблицы исходных данных принимается $\Pi_{об.пр.}=1200$ тыс. рублей, $K_{тз}=1,05$. Капитальные затраты по на оборудование по проектному варианту составят» [10]

$$K_{об.пр.} = \Pi_{об.пр.} \cdot K_{тз} \cdot K_{зп} = 1200000 \cdot 1,05 \cdot 0,2 = 252000 \text{ руб.} \quad (20)$$

«Далее рассчитывают расходы на демонтаж оборудования с учётом коэффициента расходов на демонтаж $K_{дем}=0,05$ и цены оборудования $\Pi_{об.б.}= 250$ тыс. рублей определяют как» [10]

$$P_{дем} = \Pi_{об.б.} \cdot K_{д} = 250000 \cdot 0,05 = 12500 \text{ руб.} \quad (21)$$

«Далее рассчитывают расходы на монтаж оборудования с учётом коэффициента расходов на монтаж $K_{\text{мон}}=0,05$ и цены оборудования $\Pi_{\text{об.пр.}}=1200$ тыс. рублей определяют как» [10]

$$P_{\text{монт}} = \Pi_{\text{об. пр.}} \cdot K_{\text{м}} = 1200000 \cdot 0,05 = 60000 \text{ рублей.} \quad (22)$$

«Далее рассчитываем величину сопутствующих расходов как сумму расходов на демонтаж $P_{\text{дем}}$ и расходов на монтаж $P_{\text{монт}}$ » [10]:

$$K_{\text{соп}} = P_{\text{дем}} + P_{\text{монт}} = 12500 + 60000 = 72500 \text{ рублей.} \quad (23)$$

«Величину капитальных затрат по проектной технологии $K_{\text{общ.пр.}}$ рассчитывается как сумма сопутствующих расходов $K_{\text{соп}}$ и капитальных затрат на оборудование $K_{\text{об.пр.}}$ » [10]:

$$K_{\text{общ. пр.}} = K_{\text{об. пр.}} + K_{\text{соп.}} = 252000 + 72500 = 324500 \text{ руб.} \quad (24)$$

«Размер дополнительных капитальных затрат $K_{\text{доп}}$ вычисляется с учётом ранее определенных капитальных затрат по базовой технологии $K_{\text{общ. б.}}$ и капитальных затрат по проектной технологии $K_{\text{общ. пр.}}$ » [10]:

$$K_{\text{доп}} = K_{\text{общпр}} - K_{\text{общб}} = 324500 - 85500 = 239000 \text{ рублей.} \quad (25)$$

«Размер удельных капитальных затрат $K_{\text{уд}}$ рассчитывается по капитальным вложениям $K_{\text{доп}}$ с учётом годовой программы $\Pi_{\text{г}}$ » [10]:

$$K_{\text{уд}} = K_{\text{общ}} / \Pi_{\text{г}}. \quad (26)$$

Для базового варианта технологического процесса величина удельных капитальных затрат составляет $K_{\text{уд}} = 85500/40 = 2138$ рублей» [10] за один бойлер. Для проектного варианта технологического процесса величина удельных капитальных затрат составляет $K_{\text{уд}} = 324500/40 = 8113$ рублей за один бойлер. С учетом рассчитанных капитальных затрат могут быть определены изменяющиеся показатели эффективности внедряемого процесса.

4.6 Расчёт изменяющихся технологических показателей

Доказательство целесообразности внедрения предлагаемых технологических решений в современное производство выполняется по результатам анализа «показателей экономической эффективности». Снижение трудоемкости $\Delta t_{шт}$ оценивается по изменению значения штучного времени $t_{шт}$:

$$\Delta t_{шт} = (t_{шт\ б} - t_{шт\ пр}) \cdot 100 \% / t_{шт\ б} = (31,5 - 12,25) \cdot 100 \% / 31,5 = 61 \%. \quad (27)$$

Расчёт повышения производительности труда P_T :

$$P_T = 100 \cdot \Delta t_{шт} / (100 - \Delta t_{шт}) = 100 \cdot 61 / (100 - 61) = 156 \%. \quad (28)$$

Расчёт снижения технологической себестоимости:

$$\Delta C_{тех} = (C_{тех.б.} - C_{тех.пр.}) \cdot 100\% / C_{тех.б.} = (24714 - 15999) \cdot 100\% / 24714 = 35 \% \quad (29)$$

Условно-годовая экономия» [10] $\mathcal{E}_{уг}$ позволяет оценить величину экономического эффекта без учета капитальных вложений и рассчитывается с учётом разности заводской себестоимости $C_{зав}$ по вариантам технологии и годовой программы P_T :

$$\mathcal{E}_{уг} = (C_{зав.б.} - C_{зав.пр.}) \cdot P_T = (48253 - 25155) \cdot 40 = 923920 \text{ рублей}. \quad (30)$$

Эффективность внедрения предлагаемых технологических решений характеризуется сроком окупаемости $T_{ок}$:

$$T_{ок} = K_{доп} / \mathcal{E}_{уг} = 239000 / 923920 = 0,3 \text{ года}. \quad (31)$$

Расчёт годового экономического эффекта $\mathcal{E}_T$ с учетом коэффициента окупаемости затрат $E_H=0,33$:

$$\mathcal{E}_T = \mathcal{E}_{уг} - E_H \cdot K_{доп} = 923920 - 0,33 \cdot 239000 = 845050 \text{ рублей}. \quad (32)$$

С использованием рассчитанных показателей эффективности можно судить о целесообразности внедрения предлагаемых решений.

Выводы по экономическому разделу

При выполнении настоящей выпускной квалификационной работы рассматривались вопросы повышения эффективности сварочных операций при изготовлении бойлеров из нержавеющей сталей. На основании достижений в области управления сварочными процессами предложены меры по повышению эффективности сварки. Далее составлена проектная технология, реализованная применительно к рассматриваемому изделию. На основании анализа особенностей протекания базового и проектного вариантов технологического процесса рассчитаны временные показатели производства. Далее с использованием исходных данных проведен расчёт составляющих технологической себестоимости проведения сварочных работ, в ходе которого установлено, что внедрение предлагаемых технологических решений позволяет уменьшить размер фонда заработной платы и отчислений на социальные нужды за счёт повышения производительности труда. Также это привело к значительному уменьшению цеховых и заводских расходов, что положительно сказалось на уменьшении заводской себестоимости проведения сварочных работ. Таким образом, за счёт применения более прогрессивного оборудования и технологий при внедрении предлагаемых решений в производство удастся уменьшить трудоемкость выполнения работ на 61 %, повысить производительность процесса на 156 %. За счёт уменьшения размера основных составляющих технологической себестоимости её величина уменьшается на 35 %. При капитальных вложениях 239 тыс. рублей срок окупаемости составляет 0,3 года, а экономический эффект составляет 0,85 млн. рублей. Размер ожидаемого экономического эффекта может быть многократно повышен при расширении области применения предлагаемых решений. Предлагаемые решения могут быть реализованы на предприятиях, выполняющих сварку оболочковых конструкций. Следует признать эффективность внедрения предлагаемых в настоящей выпускной квалификационной работе технологических решений.

Заключение

При изготовлении металлических конструкций различного назначения все большую популярность приобретает аустенитная хромоникелевая сталь. Несмотря на её большую стоимость по сравнению с низкоуглеродистыми и низколегированными сталями применение нержавеющей сталей окупается за счёт увеличения срока службы конструкции и возможности повторного использования стали после утилизации конструкции. В настоящей выпускной квалификационной работе поставлена цель – повышение эффективности сварки оболочковых конструкций из нержавеющей аустенитных сталей на примере бойлера объемом 10 кубических метров. На основании экспертной оценки альтернативных способов сварки обоснован выбор сварки в защитных газах проволокой сплошного сечения для построения проектной технологии. На основании анализа научной литературы предложен способ сварки с импульсным управлением, значительно повышающий эффективность сварочных процессов. Предложенные технические решения легли в основу проектной технологии, операции по выполнению которой сформулированы при решении второй задачи. При этом особое внимание уделено вопросу автоматизации и механизации основных и вспомогательных процессов, что позволяет повысить производительность выполнения сварочных работ. При внедрении предлагаемых решений в производство удастся уменьшить трудоемкость выполнения работ на 61 %, повысить производительность процесса на 156 %. За счёт уменьшения размера основных составляющих технологической себестоимости её величина уменьшается на 35 %. Экономический эффект составляет 0,85 млн. рублей. Предлагаемые решения могут быть реализованы на предприятиях, выполняющих сварку оболочковых конструкций. Следует признать эффективность внедрения предлагаемых в настоящей выпускной квалификационной работе технологических решений.

Список используемой литературы и используемых источников

1. Авторское свидетельство № 1007871 СССР, МКИ В23К9/09. Устройство для сварки / Пирожков Е. Д., Чумак Л. Ф., Анкудинов В. А. № 3357427/25-27, заяв. 19.11.81; опубл. 30.03.83, Бюл. № 12. 3 с.
2. Белов С. В. Охрана окружающей среды. М. : Машиностроение, 1990. 372 с.
3. Гаврилов С. Н. Разработка самозащитной порошковой проволоки для сварки аустенитных хромоникелевых сталей в монтажных условиях: Автореферат диссертации на соискание учёной степени кандидата технических наук. Краснодар: Кубанский государственный технологический университет. 2007.
4. Гаврилов С. Н. Хинцов О. В., Ниров А. Д. Перспективы применения и разработки сварочных материалов для сварки аустенитных хромоникелевых сталей в монтажных условиях // Научный журнал КубГАУ. 2013. № 4. С. 18–29.
5. Горина Л. Н. Обеспечение безопасных условий труда на производстве: учебное пособие. Тольятти : ТолПИ, 2000. 68 с.
6. Жилин П. Л., Конищев Б. П., Осипов В. В. Оптимизация скорости аргонодуговой сварки цилиндрических деталей из нержавеющей стали 12Х18Н10Т // Трубы Нижегородского государственного технического университета им. Р. Е. Алексеева 2013. № 4. С. 183-188.
7. Карасев М. В., Вышемирский Е. М., Беспалов В. И. Особенности современных установок для механизированной сварки плавящимся электродом в защитных газах // Автоматическая сварка. 2004. № 12. С. 38–41.
8. Карасев М. В., Копиленко Е. А., Павленко Г. В. Основные тенденции развития производства сварочного оборудования в объединении «СЭЛМА-ИТС» и его применение в России и странах СНГ // Автоматическая сварка. 2002. № 5. С. 52–57.

9. Карасев М. В., Работницкий Д. Н., Павленко Г. В. Сравнительный анализ сварочно-технологических свойств современных выпрямителей для сварки в защитных газах // Сварка в Сибири. 2003. № 2. С. 17–22.
10. Краснопевцева И. В. Экономическая часть дипломного проекта : метод. указания. Тольятти : ТГУ, 2008. 38 с.
11. Кудинова Г. Э. Организация производства и менеджмент : метод. указания к выполнению курсовой работы. Тольятти : ТГУ, 2005. 35 с.
12. Лебедев В. А., Лендел И. В. Совершенствование механизированной дуговой сварки и наплавки нержавеющей сталей с импульсной подачей электродной проволоки // ВІСНИК Донбаської державної машинобудівної академії. 2016. № 2. С. 156–159.
13. Мазур А.А., Маковецкая О.К., Пустовойт С.В., Петрук В.С. Экономико-статистический обзор мирового и региональных рынков сварочных материалов // Автоматическая сварка. 2019. № 9. С. 45–51.
14. Маковецкая О.К. Состояние и тенденции развития мирового рынка основных конструкционных материалов и сварочной техники // Автоматическая сварка. 2015. № 10. С. 54–61.
15. Мамадалиев Р. Г., Кусков В. А., Бахматов П. Н. Влияние режимов сварки и различных источников тока на формирование сварного шва стали 12Х18Н10Т // Обработка металлов. 2018. № 4. С. 35-45.
16. Потапьевский А. Г., Сараев Ю. Н., Чинахов Д. А. Сварка сталей в защитных газах плавящимся электродом. Техника и технология будущего : монография. Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2012. 208 с.
17. Розерт Р. Применение порошковых проволок для сварки в промышленных условиях // Автоматическая сварка. 2014. № 6-7. С. 60–64.
18. Смирнов И. В. Сварка специальных сталей и сплавов. М. : Лань. 2019. 268 с.
19. Сорокин В. Г., Волосникова А. В., Вяткин С. А. Марочник сталей и сплавов. М. : Машиностроение, 1989. 640 с.

20. Шлепаков В. Н., Гаврилюк Ю. А., Котельчук А. С. Современное состояние разработки и применения порошковых проволок для сварки углеродистых и низколегированных сталей // Автоматическая сварка. 2010. № 3. С. 46–51.

21. Ярковский А. Н., Алабян С. С., Морозенкова О. В. Последствия западных санкций и ответных санкций РФ // Российский внешнеэкономический вестник. 2015. № 9. С. 3-11.