

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 Разработка технологии плазменной сварки алюминиевого
трубопровода диаметром 820 мм

Обучающийся

Н.Е. Дементьев

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

Д.Э. Советкин

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

Консультанты

к.ф.-м.н., доцент, Д.А. Романов

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

А.Н. Кирюшкина

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

Тольятти 2025

Аннотация

В выпускной квалификационной работе были проведены исследования по разработке оптимальной технологии сварки алюминиевых трубопроводов, обеспечивающей требуемое качество соединений алюминиевых труб большого диаметра. В ходе выполнения выпускной квалификационной работы проведен анализ существующих методов сварки алюминия, рассмотрены особенности плазменной сварки, а также разработаны рекомендации по выбору режимов сварки, защитных газов и оборудования. Проведены исследования, направленные на оценку влияния параметров сварки на качество шва.

Выпускная квалификационная работа выполнена на (59) листах и состоит из пояснительной записки, включающей в себя такие разделы как: введение, (4) разделов, заключения и списка используемых источников.

Annotation

In the graduate qualification work, research was conducted on developing an optimal welding technology for aluminum pipelines, ensuring the required quality of joints for large-diameter aluminum pipes. During the execution of the graduate qualification work, an analysis of existing aluminum welding methods was performed, the features of plasma welding were considered, and recommendations were developed for selecting welding parameters, shielding gases, and equipment. Research was carried out to assess the influence of welding parameters on weld quality.

The graduate qualification work is 59 pages long and consists of an explanatory note, which includes the following sections: introduction, 4 main sections, conclusion, and a list of references.

Содержание

Введение	5
1 Современное состояние технологии сварки алюминиевых конструкций	6
1.1 Анализ требований к сварному соединению	6
1.2 Базовая технология сварки алюминиевого трубопровода	10
1.3 Анализ преимуществ и недостатков базовой технологии	14
1.4 Анализ источников научно-технической информации по вопросу сварки алюминиевых сплавов	15
1.5 Формулировка задачи выпускной квалификационной работы	17
2 Разработка проектной технологии сварки алюминиевого трубопровода диаметром 820 мм	19
2.1 Обоснование выбора способа сварки	19
2.2 Повышение эффективности плазменной сварки	24
2.3 Описание операций проектного технологического процесса	27
3 Экологичность и безопасность объекта исследование	31
3.1 Описание процесса экспериментов	31
3.2 Идентификация профессиональных рисков	33
3.3 Устранение возникновения профессиональных рисков	35
3.4 Обеспечение пожарной безопасности	37
3.5 Экологическая безопасность	40
4 Экономическое обоснование проектных решений	42
4.1 Анализ исходных данных для экономического обоснования	42
4.2 Оценка фонда времени оборудования	43
4.3 Оценка штучного времени при выполнении операций проектного и базового варианта технологии	44
4.4 Расчет заводской себестоимости рассматриваемых технологий	46
4.5 Расчёт капитальных затрат	51
4.6 Расчет экономических показателей	53
Заключение	55
Список используемых источников	56

Введение

Алюминий и его сплавы широко применяются в различных отраслях промышленности благодаря уникальным свойствам, таким как низкая плотность, высокая коррозионная стойкость, хорошая теплопроводность и экологическая безопасность. Одним из ключевых направлений использования алюминия является производство трубопроводов, для использования в химической промышленности. Однако сварка алюминиевых труб, особенно большого диаметра, связана с рядом технологических сложностей, обусловленных физико-химическими свойствами материала, такими как образование тугоплавкой оксидной пленки, высокая теплопроводность и склонность к деформациям.

В настоящее время для сварки алюминиевых трубопроводов применяются различные методы, включая аргонодуговую сварку (TIG), и механизированную сварку (MIG). Однако каждый из этих методов имеет свои ограничения, особенно при работе с трубами большого диаметра, где требуется обеспечить высокую производительность, минимальные деформации и высокое качество сварного шва.

Актуальность данной работы обусловлена необходимостью повышения эффективности технологии сварки алюминиевых трубопроводов диаметром 820 мм, которая позволит обеспечить высокое качество соединений, снизить затраты на производство и повысить надежность эксплуатации трубопроводов. Особое внимание уделяется выбору оптимальных режимов сварки, защитных газов и оборудования, а также исследованию влияния технологических параметров на механические свойства и микроструктуру сварного шва.

Целью работы является повышение эффективности сварки трубопровода диаметром 820 мм, путем разработки технологии и оборудования плазменной сварки.

1 Современное состояние технологии сварки алюминиевых конструкций

1.1 Анализ требований к сварному соединению

Применение алюминиевых трубопроводов, актуально в химической промышленности, для транспортировки различных агрессивных сред. В настоящей выпускной квалификационной работе рассматривается трубопровод диаметром 820 мм, и толщиной стенки 5 мм, из алюминиевого сплава АМц. На рисунке 1 представлена труба из алюминиевого сплава, части трубопровода.



Рисунок 1 – Труба из алюминиевого сплава диаметром 820мм и толщиной стенки 5мм

Алюминиевый трубопровод собирается путем сварки алюминиевой обечайки, продольным швом, при этом, максимальная длина одной секции составляет 1200 - 1500 мм в зависимости от ширины проката листа (ГОСТ 21631-2019).

Химический состав алюминиевого сплава марки АМЦ представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Состав сплавов АМЦ

Марка сплава	Содержание элементов, %		Свойства	
	Mn	Mg	σ_b , МПа	δ , %
АМц	1,0-1,6	-	130 (170)	23 (10)

Основным компонентом сплава АМц является марганец, который повышает его прочность и коррозионную стойкость. При сварке марганец способствует образованию устойчивой структуры шва, снижая риск появления горячих трещин. Однако избыточное содержание марганца может несколько ухудшать пластичность сварного соединения.

Железо и кремний, присутствующие в сплаве АМц в небольших количествах, могут оказывать двойное влияние на процесс сварки. Железо повышает прочность, но при избытке способствует образованию интерметаллидных фаз, ухудшающих пластичность соединения. Кремний снижает температуру плавления, облегчая процесс сварки, но его повышенное содержание может увеличивать риск появления горячих трещин.

Сварка алюминиевых сплавов, включая сплавы АМц, сопряжена с рядом сложностей, которых в настоящее время полностью не избежать. Эти факторы требуют применения специализированных технологий. Наиболее часто в алюминиевых сварных конструкциях встречаются такие дефекты как: оксидные включения, трещины, пористость шва [28].

Оксидные включения имеют температуру плавления 2050°C, тогда как сам алюминий плавится около 650 °С. Большая плотность оксидной пленки, приводит к тому, что она проникает внутрь шва в виде включений, что ведет к снижению механических свойств шва. Поэтому для избежания образования

включений сварку проводят с использованием медной или керамической подкладки, схема показана на рисунке 2.

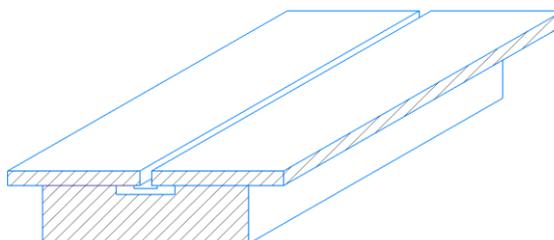


Рисунок 2 – Схема применения подкладки

Исследования показывают [13], что 47 % дефектов обнаружено именно в корне сварного шва в виде оксидных включений.

«Второй трудностью можно считать пористость, примеры изображены на рисунке 3, пористость является одним из часто встречающихся дефектов швов алюминиевых сплавов. Это связано с повышенной растворимостью газов в нагретом металле и задержкой их в нем при остывании. Данной способностью обладает водород, источником которого является влага. Необходима тщательная химическая очистка присадочного материала и механическая обработка с последующим обезжириванием свариваемых кромок» [15].



Рисунок 3 – Сварочный шов с образованием пор

Третья трудность сварки алюминия «высокое значение коэффициента линейного расширения и кристаллизационной усадки, в результате чего сварка конструкций из алюминиевых сплавов сопровождается образованием высокого уровня остаточных напряжений и деформаций. Также в результате этого при сварке возможно образование усадочных раковин»[30].

Эти дефекты снижают прочность соединения и могут стать очагами развития трещин в процессе эксплуатации сварных конструкций. На рисунке 4 представлен пример горячей трещины, возникшей в сварном шве из-за высоких термических напряжений и неправильного выбора режимов сварки.

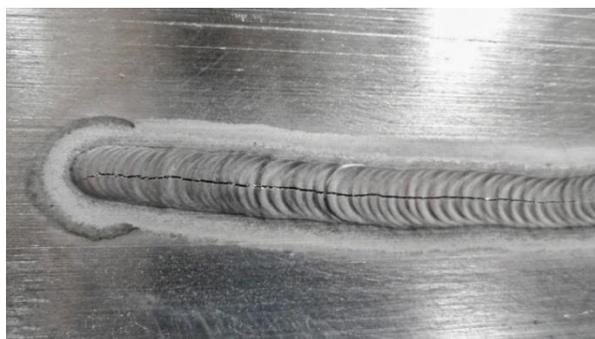


Рисунок 4 – Горячая трещина в сварном шве

Качественное сварное соединение обеспечивается соблюдением технологии сварки: тщательной очистке кромок, правильном подборе присадочного материала, использовании переменного тока и оптимальных параметров сварки [3]. Особое внимание следует уделять защите зоны сварки инертным газом для предотвращения окисления металла.

1.2 Базовая технология сварки алюминиевого трубопровода

Аргонодуговая сварка (TIG) алюминиевых трубопроводов представляет собой процесс, требующий строгого соблюдения методик, тщательной подготовки материалов и оборудования, а также учета уникальных свойств алюминия, таких как высокая теплопроводность, склонность к образованию оксидной пленки и чувствительность к тепловому воздействию. Для обеспечения качественного соединения трубопроводы условно разделяют на сегменты, сварку которых выполняют последовательно, для минимизации деформаций. При работе с крупногабаритными трубами возможно одновременное участие двух сварщиков, располагающихся диаметрально противоположно, что позволяет равномерно распределить тепловую нагрузку и сократить время выполнения работ.

Подготовка поверхности. Перед сваркой алюминиевые трубы подвергают механической и химической очистке. Оксидный слой удаляют с помощью щеток. Поверхность обезжиривают ацетоном или специализированными растворителями, устраняя следы масел и влаги, которые провоцируют порообразование. Для труб с толщиной стенки свыше 4 мм выполняют разделку кромок под углом $60-75^\circ$, формируя зазор 1–3 мм, что обеспечивает полноценный провар корня шва. Разделка кромок производится по ГОСТ 114806-80, с использованием подкладки, схема подготовки кромок изображена на рисунке 5. Неровности и дефекты кромок устраняют фрезерованием или шлифованием с использованием абразивных кругов.

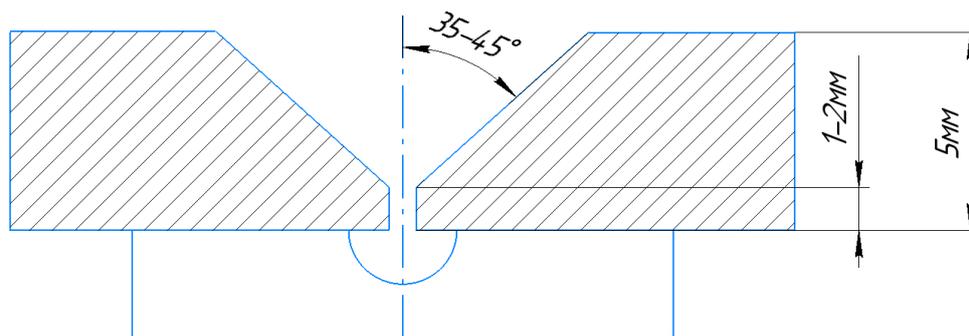


Рисунок 5 – Схема подготовки кромок по ГОСТ 14806-80-C19

Проволоку перед сваркой дополнительно очищают. Вольфрамовые электроды затачивают под углом $30-45^\circ$. Диаметр электрода выбирают исходя из толщины стенки: 1,6 мм для 1–3 мм, 2,4 мм для 4–6 мм. Источник переменного тока настраивают на очистку, что обеспечивает стабильное разрушение оксидной пленки. Расход аргона поддерживают в диапазоне 10–15 л/мин, а для защиты внутренней полости труб применяют поддув газа через гибкие шланги с расходом 5–8 л/мин[26].

«Технология сварки. Сварку выполняют в нижнем положении, горелку перемещают под углом $75-85^\circ$ к поверхности, присадочный материал подают короткими касаниями в переднюю часть сварочной ванны» [2], схема показана на рисунке 6.

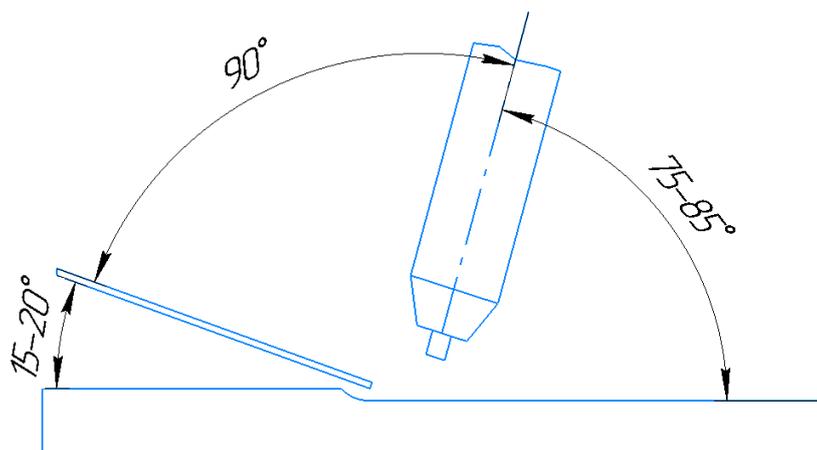


Рисунок 6 – Схема положения горелки при аргодуговой сварке

Дугу возбуждают бесконтактным методом с использованием высокочастотного импульса, избегая касания электродом заготовки. Длину дуги поддерживают в пределах 1,5–2 мм. Для труб с толщиной стенки 5 мм и более выполняют два прохода: первый проход ведут с целью качественного формирования корневого шва на медной подкладке, последующий с заполнением разделки. Первый слой зачищают проволочной щеткой для устранения оксидов[19]. Перед сваркой производится предварительный подогрев изделия.

В качестве источника питания при сварка алюминиевого трубопровода применяют сварочный аппарат ANDELI TIG-250PAC изображенный на рисунке 10, характеристики которого указаны в таблице 2.



Рисунок 7 – Сварочный аппарат “ANDELI TIG-250PAC”

Таблица 2 – Характеристики источника питания

Параметры источника питания	ANDELI “TIG-250 PAC”
Напряжение сети, В	220
Частота сети, Гц	50/60
Максимальный сварочный ток, А	250
Диаметр электродов (min-max), мм	1,6-6
Напряжение холостого хода, В	56
Частота импульса, Гц	0,5-300
Потребляемая мощность, кВт	7,8
КПД, %	85
Тип охлаждения	Воздушное

Базовая технология увеличивает трудоемкость работы, обеспечивает малую повторяемость, требует сварки в несколько проходов.

1.3 Анализ преимуществ и недостатков базовой технологии

Аргонодуговая сварка (TIG – сварка расшифровка) один из наиболее востребованных видов сварки. Сфера применения аргонодуговой сварки достаточно широка. Этот тип сварки выбирается везде, где к сварочным швам предъявляются повышенные требования технологических характеристик.

Этот способ особенно востребован для соединения тонкостенных изделий, а также изделий с разной толщиной стенки, и трудносвариваемых металлов[32].

Преимуществами TIG-сварки алюминия являются, универсальность способа, которая охватывает широкий спектр материалов: от алюминия, магния и нержавеющей сталей до тугоплавких металлов и разнородных соединений [20].

Возможность управления тепловложением в изделие за счет регулировок, балансов полярностей, амплитуд тока прямой и обратной полярности, частоты тока, а также сварки в импульсном режиме[9]. Таким образом обеспечивая контроль, за качеством сварного соединения.

Основным ключевым недостатком базовой технологии является низкая производительность способа, так как требуется нескольких проходов, что одновременно при ведении сварки ручным способом повышает вероятность появления дефектов в виде пор и оксидных включений. Уменьшение количества проходов, положительно скажется на качестве сварного шва.

Другой недостаток, отсутствие повторяемости процесса, что особенно важно при сварке продольных швов. Продольный сварной шов, должен иметь постоянство качества по всей его длине, а также обладать возможностью повторяемости при сварке.

Таким образом, повышение производительности сварки и стабильность качества формирования шва возможно путем, уменьшения количества проходов при сварке алюминиевых обечаек толщиной 5 мм, автоматизации процесса сварки, с возможностью использования базового оборудования.

1.4 Анализ источников научно-технической информации по вопросу сварки алюминиевых сплавов

Для более детального изучения информации по вопросу повышения эффективности сварки алюминиевых трубопроводов, был выполнен поиск научно-технической литературы. Поиск проводился в сети интернет по базам научных статей “Киберленинка”, “eLIBRARY” (научные электронные библиотеки), так же были изучены архивы журналов “Технология машиностроения” и “Сварочное производство”.

В работе [17] показаны преимущества автоматической плазменной сварки проникающей дугой, в сравнении с аргонодуговой сваркой неплавящимся электродом. Также исследованы особенности взаимодействия сжатой дуги со свариваемым материалом.

Данный источник предлагается использовать для обоснования выбора проектного варианта исследования.

«В работе [25] проведено исследование, которое было посвящено изучению особенностей плазменной сварки алюминиевых сплавов при обратной полярности. В нем особое внимание уделялось тому, как технологические параметры взаимосвязаны и как можно эффективно управлять этим процессом. Основным выводом стало то, что количество тепла, выделяемое на аноде плазматрона, можно считать показателем для оценки падения напряжения в дуге. В то же время было обнаружено, что уровень напряжения на аноде практически не зависит от материала, из которого он

сделан. По итогам экспериментов были получены данные о падениях напряжения на анодной части дуги при изменении сварочного тока в диапазоне 50...300А» [25].

Для обоснования выбранной темы исследования, выбора проектной технологии сварки и разработки техпроцесса, предлагается использовать данную статью.

В работе [4] было проведено исследование, которое посвящено сравнению способа плазменной сварки с аргонодуговым неплавящимся электродом. Путем исследования было выявлено что скорость плазменной сварки в несколько раз выше чем у обычной TIG сварки. Также было выявлено что использование сварки сжатой дугой способно обеспечить экономию ресурсов, снижение потребления энергии, газа и присадочной проволоки. Использование плазменной сварки привело к увеличению провара сварочной ванны, что поспособствовало увеличению прочности шва.

Результаты данной работы предлагается использовать для аргументации выбора проектной технологии сварки.

«В работе [14] было проведено исследование по способу плазменной сварки алюминия, также было проведено сравнение сварки трением с перемешиванием и плазменной сварки обратной полярности. Известно что сварка трением с перемешиванием имеет проблемы подбора оптимальных параметров процесса, что приводит к образованию дефектов структуры сварного соединения. Плазменная сварка в свою очередь не склонна к образованию дефектов присущих сварке трением с перемешиванием. Также в работе были проведены исследования по влиянию прямой и обратной полярности при автоматической плазменной сварке» [14].

Результаты данной работы предлагается использовать для аргументации выбора проектной технологии сварки.

В работе [27] были проведены исследования по сравнению механизированной сварки плавящимся электродом MIG, и плазменной сварки. Известно что плазменная сварка позволяет достичь более высокую скорость сварки и снизить пористость, также способна обеспечить очищающий эффект при сварке. Кроме того плазменная сварка контролирует явление образования налета из оксидов Al и Mg, который образуется при MIG сварке в виде черных отложений, которые в свою очередь приводят к сильному разбрызгиванию и образованию паров металла.

Результаты данной работы предлагается использовать для аргументации выбора проектной технологии сварки, выбора метода сварки и разработки технологического процесса проектной технологии.

Таким образом, для выполнения сварки алюминиевого трубопровода требуется рассмотреть технологии механизированной сварки плавящимся электродом, аргодуговой сварки неплавящимся электродом, плазменной сварки и сварки трением с перемешиванием.

1.5 Формулировка задачи выпускной квалификационной работы

Настоящая выпускная квалификационная работа посвящена вопросу повышения эффективности сварки алюминиевых трубопроводов диаметром 820мм. Использование аргодуговой сварки с вольфрамовым электродом, как это определено базовой технологии, отличается малой скоростью выполнения и значительными затратами труда. Более того, конечный результат сварки в значительной мере определяется квалификацией сварщика, а после завершения работ в зоне сварки нередко выявляются дефекты, требующие устранения и повторной сварки.

Для достижения желаемого результата требуется поэтапное решение технических задач, подробное описание которых представлено во второй главе данной выпускной квалификационной работы.

При выполнении первой задачи требуется провести сравнение преимуществ и недостатков разных технологий сварки алюминиевых трубопроводов. После этого важно выбрать наиболее подходящий метод сварки и обосновать его использование в проектом варианте.

Вторая задача — повысить эффективность выбранной технологии сварки через проведение различных исследований. Также необходимо составить список технологических операций, необходимых для реализации проектного варианта по сварке алюминиевого трубопровода, определить все параметры процесса и подобрать соответствующее оборудование.

Третья задача — провести анализ безопасности и экологического влияния проектного способа, включая неблагоприятные и опасные факторы, пожарную безопасность и экологическую безопасность.

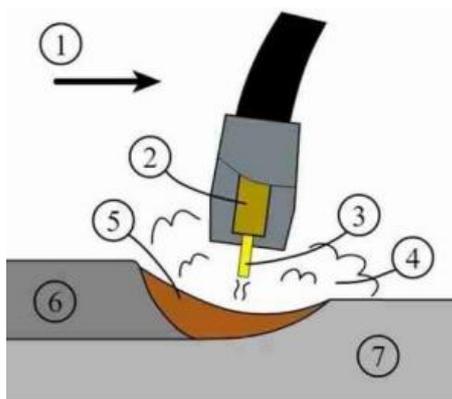
Четвертая задача — провести расчеты экономических показателей для базового варианта и проектного. Обосновать экономическую эффективность для проектного варианта.

2 Разработка проектной технологии сварки алюминиевого трубопровода диаметром 820 мм

2.1 Обоснование выбора способа сварки

Для сварки алюминиевых трубопроводов могут быть применены различные способы сварки, наиболее распространенными из которых являются: механизированная сварка плавящимся электродом, дуговая сварка неплавящимся электродом в среде инертных газов, сварка трением с перемешиванием, плазменная сварка[33].

«На рисунке 8 представлена схема выполнения механизированной сварки плавящимся электродом алюминиевых сплавов в среде защитных газов. Особенностью данного способа является необходимость модернизации или использование специальных подающих механизмов для мягкой алюминиевой проволоки, для предотвращения застревания и заломов проволоки. Также при сварке алюминия происходит быстрое загрязнение сопла горелки, что приводит к образованию дефектов» [29].

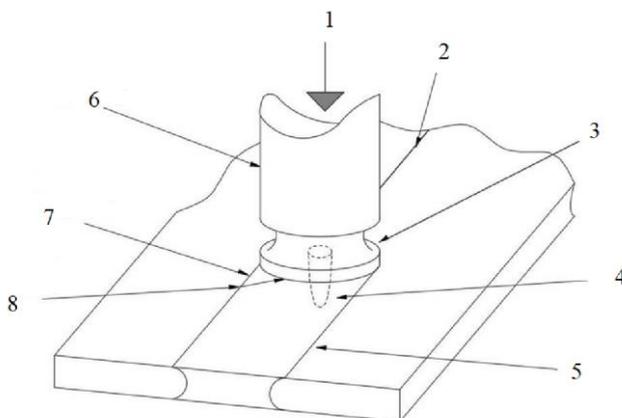


1 – направление сварки, 2 – контактный наконечник, 3 – электродная проволока, 4 – защитный газ, 5 – сварочная ванна, 6 – наплавленный металл, 7 – основной металл

Рисунок 8– Схема выполнения механизированной сварки в защитных газах

«Недостатками механизированного способа сварки алюминия является сильное разбрызгивание, загрязнение сопла, нестабильность дуги и пористость. В числе главного преимущества механизированной сварки следует указать высокую производительность, которая многократно превышает производительность сварки неплавящимся электродом» [15].

На рисунке 9 представлена схема сварки трением с перемешиванием. Данная технология позволяет получать сварные соединения высокого качества, превосходящие по прочности и отсутствию дефектов, дуговые способы сварки.



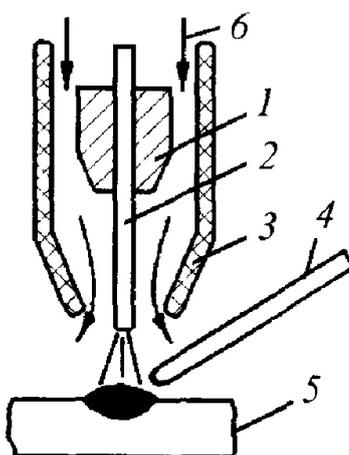
1 - осевое усилие; 2 - соединение; 3 - передняя кромка; 4 - рабочий стержень; 5 - сторона отхода; 6 - корпус; 7 - сторона набегания; 8 - опорный бурт

Рисунок 9 – Схема выполнения сварки трением с перемешиванием

Недостатками сварки трением с перемешиванием является высокая стоимость оборудования, ограниченная способность пространственного перемещения, высокие требования к подготовке кромок, и наличие отверстия в конце шва, которое обусловлено особенностью сварки.

Ключевыми преимуществами можно считать, отсутствие расплавления металла, что предотвращает образование дефектов присущих дуговым способам сварки, высокую прочность шва, которая близка к прочности основного металла, также отсутствие необходимости в защитных газах и присадочных материалах, что уменьшает эксплуатационные расходы[11].

«На рисунке 10 представлена схема дуговой сварки неплавящимся электродом в среде инертного газа. Данный способ обеспечивает получения сварного соединения высокого качества поверхности шва и внутренней структуры, значительно превосходящую механизированную сварку» [9].



1 - мундштук; 2 - электрод; 3 - сопло; 4 - присадочный материал; 5 - изделие; 6 - защитный газ

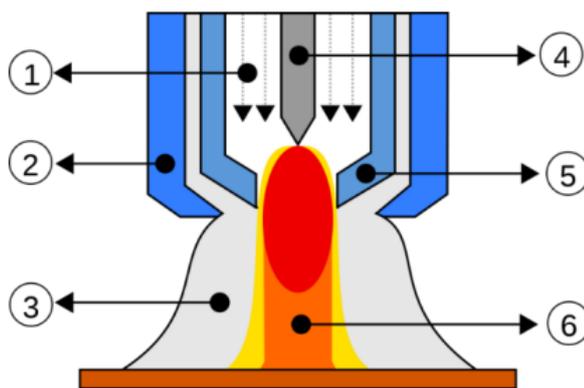
Рисунок 10 – Схема выполнения сварки неплавящимся электродом

«Недостатками сварки неплавящимся электродом является низкая производительность по сравнению с ранее рассмотренными способами, высокие требования к квалификации сварщика, чувствительность к загрязнениям, сложная повторяемость шва для изделий толщиной 5мм

необходимость сварки в несколько проходов, что приводит к образованию дефектов.

Преимуществами сварки является контроль над сварочной ванной, отсутствие разбрызгивания, универсальность способа сварки» [9].

Технология плазменной сварки, схема которой указана на рисунке 11, позволяет добиться повышения эффективности процесса сварки и качества сварного соединения, что обусловлено высокой концентрацией, и интенсивностью тепловложения[1]. Данный способ сварки предусматривает наличие сжатого потока ионизированного газа, что обеспечивает высокую концентрацию энергии, стабильность горения дуги и глубокое проплавление[31].



«1 – плазмообразующий газ, 2 – защитное сопло, 3 – защитный газ, 4 – неплавящийся электрод, 5 – плазмообразующее сопло, 6 – сжатая дуга» [1]

Рисунок 11 – Схема плазменной сварки

«Между неплавящимся электродом и деталью горит плазменная дуга, выполняющая функцию расплавления металла. Повышенная стабильность дуги, высокая скорость сварки, сварка материалов толщиной 5мм в один проход, и возможность использования оборудования TIG сварки для

проведения работ, выгодно отличает плазменную сварку от других рассмотренных способов"» [1].

Недостатками способа можно выделить возможность провисания шва, что можно устранить при использовании подкладки при ведении сварки, и ограниченную мобильность плазменной горелки.

Для определения целесообразности использования рассмотренных способов сварки, была проведена оценка технологических критериев, сформированных путем анализа используемых источников.

При сравнении способов сварки по производительности процесса, лидирующие позиции занимают следующие технологии: сварка трением с перемешиванием, плазменная сварка, механизированная сварка.

По качеству получаемого сварного шва самыми эффективными оказались: плазменная сварка, сварка трением с перемешиванием, и аргонодуговая сварка неплавящимся электродом.

По универсальности метода, лучшими оказались: сварка неплавящимся электродом, механизированная сварка и плазменная сварка.

Анализ условий труда показал что наилучшими способами оказались: плазменная сварка, сварка неплавящимся электродом, механизированная сварка.

Учитывая выявленные преимущества и недостатки каждого способа, для разработки проектной технологии сварки алюминиевых трубопроводов диаметром 820мм, предлагается использовать плазменную сварку, как наиболее эффективное решение.

2.2 Повышение эффективности плазменной сварки

На рисунке 12 представлена схема выполнения плазменной сварки, которая предусматривает подачу плазмообразующего газа через канал указанный на схеме позицией 1, также позицией 2 указано сопло которое обеспечивает направление подачи плазмообразующего газа напрямиком в сварочную ванну, защитный газ обозначен позицией 3 защищает зону сварки от проникновения вредных веществ из внешней среды.

Позиция 4 указывает на вольфрамовый неплавящийся электрод, который является катодом, от которого зажигается дуга, между ним и изделием.

Позицией 5 обозначено плазмообразующее сопло, которое формирует и стабилизирует плазменную струю, сопло сужает и ускоряет поток газа создавая высокоэнергетический направленный поток с температурой до 30 000 °С.

Позиция 6 обозначает саму сжатую дугу, которая и обеспечивает глубокое и стабильное проплавление металла, и позволяет снизить тепловложение в изделие, уменьшая зону термического влияния, примерно на 50-60% и значительно меньшую деформацию изделия.

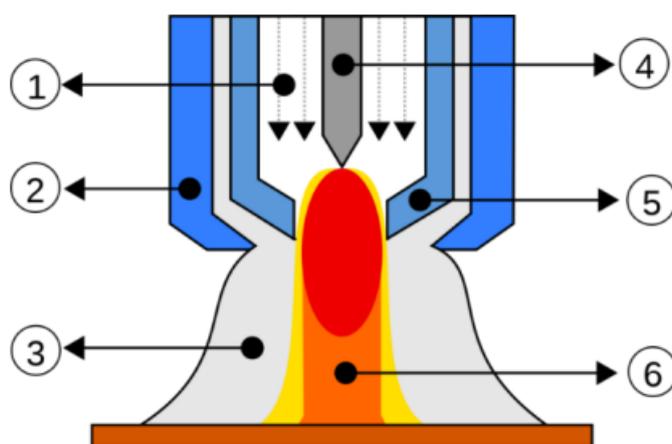


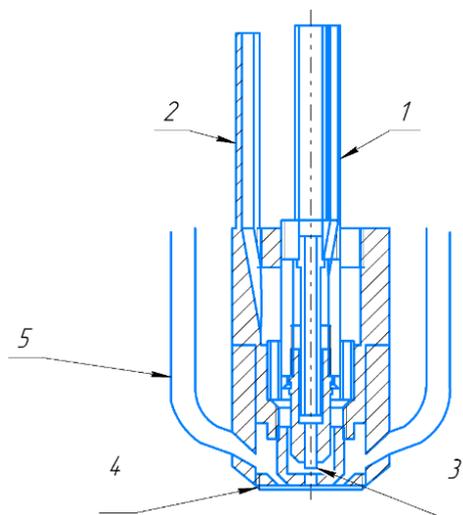
Рисунок 12 – Схема плазменной сварки

«Плазменная сварка демонстрирует ряд технологических преимуществ, которые делают её предпочтительной для ответственных применений. Помимо стабильного проплавления, ключевым достоинством метода является повышенное качество сварного соединения даже при идентичных параметрах сварки (ток, скорость, количество газа) по сравнению с традиционной аргодуговой сваркой неплавящимся электродом. Плазменная сварка способна формировать шов глубина которого может быть в 2 раза больше чем у аргодугового способа сварки. Связано это с высокой концентрацией энергии в сжатой дуге, температура которой достигает 25 000–30 000°С, против 10 000–15 000°С у аргодуговой сварки» [22].

Скорость процесса при плазменной сварке возрастает в 1.5–2 раза за счет более эффективного теплопереноса. Например, при сварке алюминиевого трубопровода толщиной 5 мм сварка сжатой дугой позволяет достичь полного проплавления за один проход со скоростью, в то время как аргодуговая сварка требует двух и более проходов. Это напрямую связано с повышением эффективной мощности сварки. Снижение требований к подготовке деталей — ещё одно критически важное преимущество. Плазменная сварка допускает наличие зазоров до 1.5 мм без потери качества шва, тогда как для сварки неплавящимся электродом в среде защитного газа максимально допустимый зазор не превышает 1 мм. Это достигается за счет стабильности сжатой дуги, которая менее чувствительна к колебаниям расстояния «сопло–изделие» [21].

«Особого внимания заслуживает возможность однопроходной сварки алюминия толщиной до 8 мм. При TIG сварке аналогичные соединения требуют многопроходной технологии с промежуточной зачисткой, что увеличивает время процесса на 40–60% (РД 03-495-02). Плазменная сварка эффективно разрушает оксидную пленку Al_2O_3 , обеспечивая равномерное проплавление и отсутствие непроваров» [23].

На рисунке 13 представлена предлагаемая схема по модернизации плазматрона FY-A200H для увеличения эффективности сварки, которая может быть применена для сварки трубопроводов из алюминиевых сплавов.



1 – плазмообразующий газ, 2 – водяное охлаждение 3 – неплавящийся электрод, 4 – медное сопло, 5 – защитный газ

Рисунок 13 – Схема по модернизации плазматрона FY-A200H

При модернизации был изменен способ подачи защитного газа, ранее использовалась аксиальная подача газа через зазор вокруг электрода, что приводило к нестабильности дуги. В усовершенствованном варианте была внедрена вихревая подача газа с двойным контуром, что позволило уменьшить колебания дуги и повысить эффективность защиты зоны сварки.

Сопло также подверглось доработке, и было увеличено с 4 мм до 6мм, что обеспечило улучшение плотности энергии, и увеличение глубины проплавления свариваемых изделий.

В качестве источника питания предлагается применить сварочный аппарат используемый в базовой технологии.

Сварка проводилась с использованием ЧПУ установки для плазменной сварки, которая изображена на рисунке 14



1 –Источник питания, 2 -механизм подачи проволоки, 3 – плазмотрон,
4 –баллон с защитным и плазмообразующим газами, 5 – рабочая платформа, 6 –
узлы согласования движения плазматрона

Рисунок 14 – Установка для плазменной сварки

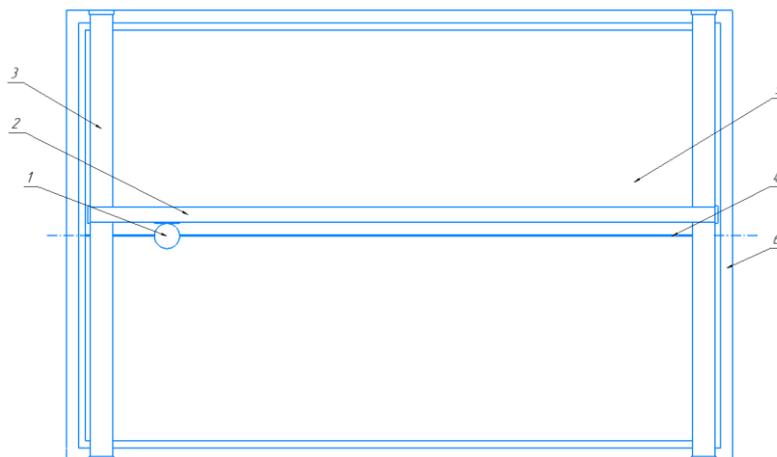
Для повышения качества соединения при плазменной сварке, в качестве присадочной проволоки предлагается использовать проволоку марки АМц.

2.3 Описание операций проектного технологического процесса

Для сварки алюминиевого трубопровода диаметром 820мм, обеспечение высокого качества и эксплуатационных характеристик, определяется правильной подготовкой и последовательностью действий. Сварку алюминиевых трубопроводов следует начинать с гибки листа алюминиевого сплава в обечайку. После гибки требуется установить заготовку в

специализированную оснастку и зафиксировать детали в стык с обеспечением требуемого зазора. Далее нужно провести очистку свариваемых кромок от биологических и химических загрязнений. Первым этапом проводится подготовка и соединение кромок с использованием ГОСТ – 14806-80-С4.

Вторым этапом проводится сборка изделия на стенде с использованием винтовых стяжек, схема базирования изделия указана на рисунке 15.



1 – плазмотрон, 2 – ось х, 3 – ось у, 4- сварной шов по ГОСТ 14806-80-С4, 5 – изделие, 6 – каркас стенда

Рисунок 15 – Схема базирования изделия

Третьим этапом проводится очистка и обезжиривание свариваемых заготовок. Очистка и обезжиривание проводятся для уменьшения образования возможных дефектов, которыми могут являться поры, и снижение прочности шва. Обезжиривание детали проводится на расстоянии 30-50 мм от кромок, с каждой стороны детали.

Четвертым этапом проводится сварка изделия. Сварку проводят на параметрах тока 160...180 А, диаметр присадочной проволоки должен составлять 1.2 мм, скорость перемещения плазмотрона должна составлять 220...250 мм/мин.

Пятым этапом проводится контроль качества сварного соединения на начальном этапе с использованием визуального контроля выявляются видимые дефекты, такие как трещины, поры, непровары. Вторым этапом контроля качества, проводится проверка с помощью ультразвукового дефектоскопа на наличие дефектов в корне шва.

По итогу контроля качества сварной шов должен иметь равномерную ширину и высоту усиления по всей длине, не допускаются наплывы и подрезы, также не допускаются трещины, поры, и непровары.

На рисунке 16 показан сварной шов полученный после модернизации плазматрона, с параметрами сварки выбранными выше.



Рисунок 16 – Сварной шов полученный при плазменной сварке

Так же после контроля качества были проведены испытания шва на прочность, график которых изображен на рисунке 17.

На графике можно видеть что сваренное проектным способом изделие выдерживает нагрузку 15 кН и увеличение удлинения на 72 мм.

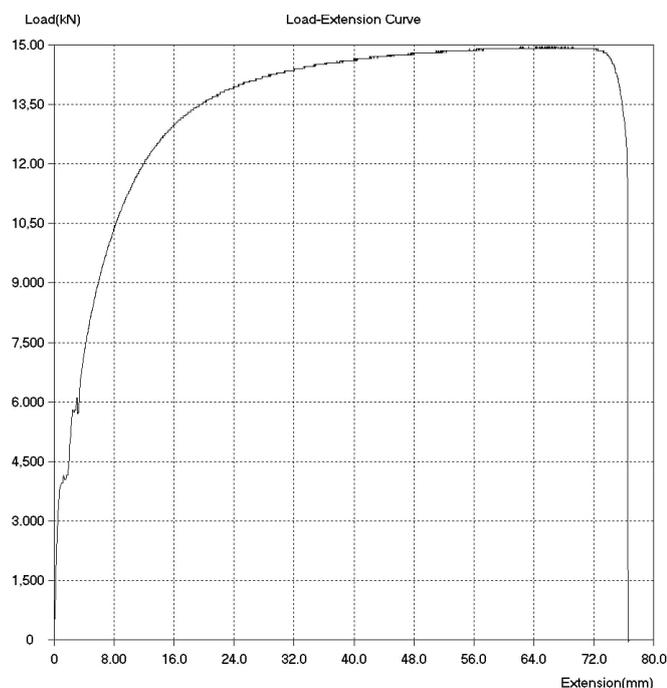


Рисунок 17 – График испытаний на прочность

По итогу проведения испытаний можно сделать вывод что полученный сварной шов полностью удовлетворяет требования по качеству и прочности шва, что позволяет применять плазменные технологии для сварки трубопроводов в химической промышленности.

Поставленные задачи выпускной квалификационной работы следует считать решенными, выбор способа сварки обоснован, и предложены решения по улучшению, также составлена проектная технология сварки алюминиевых трубопроводов.

3 Экологичность и безопасность объекта исследование

3.1 Описание процесса экспериментов

В выпускной квалификационной работе проведено обоснование выбора технологических решений для сварки алюминиевых трубопроводов диаметром 820 мм, а также разработана методика повышения эффективности плазменной сварки. Ключевым элементом проектной технологии является применение плазменной сварки сжатой дугой с автоматизированной подачей присадочной проволоки, модифицированной специалистами кафедры сварочных технологий Тольяттинского государственного университета.

В рамках реализации технологических процессов требуется комплексный подход к обеспечению безопасности, который включает три ключевых направления: охрану труда, пожарную безопасность и экологическую защиту. В рамках охраны труда необходимо систематически выявлять и устранять вредные производственные факторы – химические, физические и биологические, используя современные средства защиты и автоматизированные системы контроля.

Пожарная безопасность обеспечивается через многоуровневую систему профилактики, включающую интеллектуальные системы обнаружения возгораний, автоматизированные установки пожаротушения, регулярные проверки электрооборудования и организацию специальных защитных зон.

Экологическая составляющая производства требует мониторинга и применения наилучших доступных технологий, эффективных систем очистки выбросов, постоянного экологического мониторинга и применения наилучших доступных технологий. Такой комплексный подход позволяет одновременно гарантировать безопасность персонала, предотвращать аварийные ситуации и

минимизировать воздействие на окружающую среду, что соответствует принципам устойчивого развития и международным стандартам промышленной безопасности.

Анализ проектной технологии представлен в таблице 3. Технология разбита на 5 операций, выполнение которых может быть опасно и вредно.

В производственном процессе особое внимание следует уделить оборудованию, которое может стать источником опасных факторов. К нему относятся моечные машины, источники питания, плазмотроны, сварочные установки с ЧПУ, а также оборудование для контроля качества.

Кроме того, сам процесс сварки сжатой дугой представляет значительную опасность, так как сопровождается интенсивным тепловым воздействием, выделением вредных испарений, а также тепловым и ультрафиолетовым излучением. Эти факторы требуют строгого контроля и применения соответствующих мер защиты для обеспечения безопасности персонала и соблюдения экологических норм.

Таблица 2 – Паспортизация технического объекта

Операция	Персонал	Оборудование
1. Гибка листа 2. Очистка	Слесарь- сборщик	1. станок для гибки 2. моечная машина
3. Обезжиривание 4. Сварка	Сварщик	1. источник питания 2. плазмотрон 3. ЧПУ установка для сварки

Продолжение таблицы 2

5. Внешний осмотр	Дефектоскопист	1. лупа
6. Ультразвуковой контроль		2. дефектоскоп 3. контрольный стол

На основании данных, представленных в таблице 3, проведен детальный анализ и идентификация негативных производственных факторов, представляющих потенциальную опасность как для персонала, так и для окружающей среды.

3.2 Идентификация профессиональных рисков

В рамках предыдущего раздела выпускной квалификационной работы был разработан и охарактеризован технологический процесс плазменной сварки алюминиевых трубопроводов диаметром 820 мм. Следует отметить, что внедрение данной технологии сопряжено с рядом профессиональных рисков, которые могут оказывать негативное воздействие на работников.

Анализ показывает, что опасные производственные факторы (способные привести к травматизму) и вредные факторы (вызывающие профессиональные заболевания) формируются не только используемым сварочным оборудованием, но и непосредственно технологическим процессом. В частности, плазменная дуга генерирует интенсивное тепловое и ультрафиолетовое излучение, а также способствует образованию вредных аэрозолей и газообразных продуктов.

В таблице 4 указаны негативные факторы с привязкой к конкретным операциям технологического процесса. На основании этих данных возможен детальный анализ степени риска и разработка комплекса защитных мероприятий.

Таблица 3 – Идентификация негативных производственных факторов

Операция	Негативный фактор
<p>1. Гибка листа</p> <p>2. Очистка</p>	<p>«- перемещающиеся в процессе выполнения подготовительной операции детали и узлы применяемого оборудования, приспособлений;</p> <p>- повышенное загрязнение и загазованность воздуха рабочей зоны</p>
<p>3. Обезжиривание</p> <p>4. Сварка</p>	<p>- движущиеся механизмы производственного оборудования,</p> <p>- повышенное загрязнение и загазованность воздуха рабочей зоны,</p> <p>- повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека,</p> <p>- Повышенная температура поверхностей деталей и оборудования,</p> <p>- инфракрасное излучение в рабочей зоне</p>

Продолжение таблицы 3

5. Внешний осмотр	- наличие на внешних поверхностях применяемого оборудования, приспособлений и инструмента острых кромок, заусенцев;
6. Ультразвуковой контроль	

Представленные в таблице 4 «негативные производственные факторы, возникновение которых возможно в ходе реализации проектной технологии, представляют собой набор стандартных факторов, которые ранее возникали в производстве»[5]. Для решения возникающих проблем применялся стандартный набор технических средств в сочетании с организационными мерами. В дальнейших разделах будет представлен полный список рекомендуемых мероприятий и доступных технических решений, которые могут быть внедрены силами предприятия без привлечения дополнительных ресурсов.

3.3 Устранение возникновения профессиональных рисков

На основе проведенного анализа профессиональных рисков, связанных с внедрением разработанной технологии, был сформирован комплекс практических мер и технических решений. Все предлагаемые мероприятия могут быть реализованы с использованием существующего оборудования и ресурсов предприятия. Для систематизации информации все рекомендуемые решения представлены в таблице 5, где наглядно отражены взаимосвязи между выявленными рисками и методами их минимизации.

Таблица 4 – «Устранение профессиональных рисков»

Наименование негативного фактора	Средство устранения негативного фактора	Индивидуальная защита
1) повышенное загрязнение и загазованность воздуха рабочей зоны	Устройства для удаления загрязненного воздуха	Индивидуальные средства защиты дыхательных путей (респираторы)
2) повышенная температура поверхностей деталей и оборудования	1) оснащение рабочих мест предупреждающими плакатами 2) организация и проведение инструктажа работников на предмет соблюдения техники безопасности	Специальная одежда, перчатки
3) острые кромки, заусенцы	1) оснащение рабочих мест предупреждающими плакатами 2) организация и проведение инструктажа работников на предмет соблюдения техники безопасности	Перчатки, специальная одежда

Продолжение таблицы 4

<p>4) инфракрасное излучение в рабочей зоне</p>	<p>1) ограничение проникновения персонала в опасную зону применением ограждений</p> <p>2) защитные экраны</p>	<p>Перчатки, специальная одежда, маски</p>
<p>5) перемещающиеся в процессе выполнения подготовительной операции детали и узлы применяемого оборудования, приспособлений;</p>	<p>1) оснащение рабочих мест предупреждающими плакатами и табличками</p> <p>2) устройства защитного отключения привода станков</p> <p>3) ограничение проникновения персонала в опасную зону применением ограждений</p>	<p>Перчатки, специальная одежда, маски»[5]</p>

3.4 Обеспечение пожарной безопасности

Сварочное производство представляет собой зону повышенной пожарной опасности, что обусловлено совокупностью технологических особенностей данного процесса. Основными факторами пожарного риска выступают: экстремально высокая температура сварочной дуги, интенсивное тепловое излучение, а также разлет горячих частиц металла и искр на значительные расстояния. Дополнительную опасность создает используемое электротехническое оборудование, работающее под высоким напряжением, что не только увеличивает вероятность возгорания, но и осложняет процесс

ликвидации возможного пожара из-за риска поражения электрическим током. В таблице 6 проведена детальная классификация потенциальных пожароопасных ситуаций, характерных для данного производственного участка, с указанием возможных источников возгорания и факторов, способствующих развитию пожара.

Таблица 5 – «Идентификация класса потенциального пожара

Наименование участка	Участок плазменной сварки алюминиевого трубопровода
Классификация по виду горящего вещества	Пожары, возникающие за счет воспламенения и горения веществ и материалов.
Наименование основных опасных факторов пожара	Повышенная температура воздуха вокруг возгорания; выделение токсичных продуктов горения; снижение видимости; выгорание кислорода
Наименование вторичных опасных факторов пожара	Опасность поражения электрическим током от технологического оборудования на рассматриваемом производственном участке» [5]

Анализ характеристик потенциального возгорания на данном производственном участке позволяет классифицировать его как пожар класса Е что обусловлено одновременным наличием двух основных опасностей: открытого горения материалов и риска поражения электрическим током.

«Основными поражающими факторами такого пожара являются: интенсивный поток перегретого воздуха, направленное тепловое излучение, выделение токсичных продуктов горения, образование плотного аэрозольного облака, разлет горящих частиц и резкое снижение концентрации кислорода в зоне возгорания»[5].

Особую опасность представляет возможное повреждение изоляции электрооборудования и силовых кабелей, что создает дополнительную угрозу электротравматизма для персонала и пожарных расчетов. В таблице 7 систематизирован комплекс специальных средств и мероприятий, направленных на минимизацию каждого из перечисленных опасных факторов возгорания. Предложенные решения учитывают специфику сварочного производства и направлены на обеспечение максимально эффективной защиты как технологического оборудования, так и работающего персонала.

Таблица 6 - Средства нейтрализации негативных факторов пожара

«Первичные средства пожаротушения	Емкость с песком, переносные углекислотные огнетушители.
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
Пожарные сигнализация, связь и оповещение	Кнопка оповещения, звуковые оповещатели, речевые оповещатели, световые оповещатели» [18]

При разработке системы противопожарной безопасности необходимо в первую очередь сосредоточиться на превентивных мерах, направленных на минимизацию вероятности возникновения возгораний. Ключевыми профилактическими мероприятиями являются: поддержание чистоты и порядка на рабочих местах, строгий контроль за отсутствием

легковоспламеняющихся материалов (таких как бумага, текстиль, полимерные упаковки) в производственной зоне. Обязательным требованием становится регулярное проведение инструктажей по пожарной безопасности для всех сотрудников.

В случае возникновения пожара критически важными становятся оперативные действия: немедленная локализация очага возгорания и применение первичных средств пожаротушения. Для обеспечения эффективных действий персонала необходимо организовать систематическое обучение правилам работы с огнетушителями и другим противопожарным оборудованием. Дополнительной защитной мерой выступает проведение регулярных тренировок по эвакуации и практических занятий по отработке действий при пожаре, что позволяет значительно снизить потенциальные риски для жизни и здоровья сотрудников.

3.5 Экологическая безопасность

При создании современных производственных технологий необходимо учитывать два ключевых аспекта: обеспечение безопасности для работников и минимизацию экологического воздействия. В условиях растущей экологической ответственности промышленных предприятий особую актуальность приобретают принципы устойчивого развития и ресурсосберегающих технологий. Современные производственные решения должны проходить тщательную экологическую экспертизу на предмет выявления потенциально опасных антропогенных факторов, способных вызвать необратимые изменения в природных экосистемах за счет накопительного эффекта. Реализуемый комплекс природоохранных мероприятий направлен на сокращение техногенного влияния и сохранение

ключевых компонентов биосферы - воздушного бассейна, водных ресурсов и почвенного покрова.

Данный раздел выпускной квалификационной работы посвящен анализу мер безопасности при внедрении технологии плазменной сварки алюминиевых трубопроводов крупного диаметра 820 мм. В ходе исследования был проведен детальный анализ потенциально опасных производственных факторов, способных негативно повлиять на здоровье сотрудников и привести к профессиональным заболеваниям или производственным травмам.

На основании проведенного анализа разработан комплекс стандартных технических и организационных решений, позволяющих либо полностью устранить, либо минимизировать до безопасного уровня воздействие вредных производственных факторов. Все предлагаемые защитные мероприятия основаны на использовании типового оборудования и стандартных практик, уже применяемых на современных промышленных предприятиях, что исключает необходимость разработки специализированных средств защиты.

4 Экономическое обоснование проектных решений

4.1 Анализ исходных данных для экономического обоснования

Для проведения экономических расчётов использованы исходные данные, включающие применяемые технологии и расчётные коэффициенты, которые указаны в таблице 7. Внедрение предложенных решений способствует устранению выявленных недостатков, а также увеличению производительности и улучшению качества сварочных процессов. Достижение ожидаемого экономического эффекта обусловлено снижением затрат на материалы и повышением общего уровня качества работ.

Таблица 7 – Исходные данные для экономического обоснования

Параметр	Обозначение	Единица измерения	Принимаемое значение по варианту технологии	
			базовый	проектный
«Число рабочих смен в сутках	Ксм	-	1	1
Разряд работников	Рр	-	V	V
Часовая тарифная ставка	Сч	Р/час	300	300
Коэффициент доплат	Кдоп	%	12	12
Коэффициент отчислений на дополнительную ЗП	Кд	-	1,88	1,88
Коэффициент отчислений на социальные нужды	Ксн	%	34	34
Коэффициент выполнения нормы	Квн	-	1,1	1,1
Стоимость оборудования	Цоб	Руб.	150 тыс.	200 тыс.
Норма амортизации оборудования	Ка	%	21,5	21,5
Мощность оборудования	Муст	кВт	12	20
Коэффициент транспортно-заготовительных расходов	Кт-з	%	5	5
Стоимость электрической энергии	Цэ-э	Р/ кВт	3,4	3,4
Коэффициент полезного действия	КПД	-	0,85	0,85
Коэффициент затрат на монтаж и демонтаж оборудования	Кмон Кдем	%	3	5
Площадь под оборудование	S	м ²	40	40
Стоимость эксплуатации площадей	Сэсп	(Р/м ²)/год	2000	2000
Цена производственных площадей	Цпл	Р/м ²	30000	30000
Норма амортизации площади	На.пл.	%	5	5
Коэффициент дополнительной производственной площади	Кпл	-	3	3

Продолжение таблицы 7

Коэффициент эффективность капитальных вложений	Ен	-	0,33	0,33
Коэффициент цеховых расходов	Кцех	-	1,5	1,5
Коэффициент заводских расходов» [6]	Кзав	-	1,15	1,15

Исходные данные служат основой для определения себестоимости (технологической, цеховой, заводской) по базовому и проектному вариантам. Далее предстоит определить размер капитальных затрат. Оценка эффективности предлагаемых мер будет осуществлена путем расчета основных экономических показателей: «повышение производительности труда, снижение технологической себестоимости, снижение трудоемкости, условно-годовая экономия и годовой экономический эффект» [7].

4.2 Оценка фонда времени оборудования

Анализируемые варианты технологического процесса предполагают использование оборудования, персонала и производственных площадей. Для расчета годовой программы, затрат и капиталовложений необходимы значения номинального (F_n) и эффективного ($F_{\text{э}}$) фондов рабочего времени. $F_{\text{э}}$ меньше F_n из-за потерь времени, учитываемых коэффициентом B (принимаем $B=7\%$). Поскольку проектный вариант использует существующие мощности, годовой фонд времени останется неизменным относительно базового. «Расчет F_n требует задания числа смен ($K_{\text{см}}=1$) и рабочих дней ($D_p=277$). Продолжительность смены ($T_{\text{см}}=8$ часов) сокращается на $T_{\text{п}}=1$ час в $D_{\text{п}}=7$ предпраздничных дней. На основе этих данных определяется годовой фонд времени» [6].

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

«При расчетах для данной технологии принято значение коэффициента потерь рабочего времени $B = 7\%$. Соответственно, эффективный фонд времени определяется следующим образом» [6]:

$$F_{\text{э}} = F_{\text{н}}(1-B/100) = 2209 \cdot (1 - 7/100) = 2054 \text{ часов.} \quad (2)$$

«Для оценки экономической эффективности предлагаемых мер в расчётах используется величина эффективного фонда времени $F_{\text{э}}=2054$ часов» [6].

4.3 Оценка штучного времени при выполнении операций проектного и базового варианта технологии

«Расчет штучного времени для проектного и базового технологических процессов производится на основе норм труда, установленных технологической картой. Данная величина $t_{\text{шт}}$ представляет собой сумму следующих компонентов: основного (машинного) времени $t_{\text{маш}}$ вспомогательного времени $t_{\text{всп}}$ (подготовительно-заключительные и вспомогательные операции), времени на отдых $t_{\text{отд}}$ подготовительно-заключительного времени $t_{\text{п-з}}$ и времени обслуживания $t_{\text{обсл}}$ (ремонт и обслуживание оборудования)» [6].

$$t_{\text{шт}} = t_{\text{п-з}} + t_{\text{о}} + t_{\text{в}} + t_{\text{отл}} + t_{\text{обсл}} \quad (3)$$

Значение для базового варианта рассчитано согласно формуле (3)

$t_{\text{шт}} = 1,05 + 21 + 2,1 + 1,05 + 1,68 = 27,3$ часов. Для проектного варианта согласно формуле (3) составляет $t_{\text{шт}} = 1,05 + 12,5 + 2,1 + 1,05 + 1,68 = 17,3$ часов.

Для расчета годовой программы используется формула

$$Пг = Fэ / штт. \quad (4)$$

Полученные выше значения позволяют узнать расчетную величину: $Пг = 2054/27,3 = 76$ деталей для базового варианта и $Пг = 2054/17.3 = 118$ деталей для проектного варианта.

«С учётом реальной потребности производства предлагается для выполнения дальнейших экономических расчётов принимать 1000 исправляемых дефектов в год. С учётом годового эффективного фонда времени $Fэ = 2054$ часов, годовой программы $Пг = 100$, коэффициента выполнения нормы $Квн = 1,03$, штучного времени $штт$ количество оборудования рассчитывается как» [7]

$$прасч = штт \cdot Пг / (Fэ \cdot Квн). \quad (5)$$

По расчетам согласно формуле (5) для базового варианта $прасч. =$

$$27.3 \cdot 100 / (2054 \cdot 1,03) = 1,29, \text{ для проектного варианта получаем } прасч. =$$

$$17.3 \cdot 100 / (2054 \cdot 1,03) = 0,81.$$

«Далее при выполнении расчетов принимаем количество оборудования для базового технологического процесса $n=2$. Количество оборудования для проектного технологического процесса $n=1$. На основе этого, выполняем расчет коэффициента загрузки оборудования $Кз$ » [6]:

$$Кз = прасч / n. \quad (6)$$

По расчётам согласно формуле (6) коэффициент загрузки оборудования для базовой технологии равен $Кз = 1.29/2 = 0.645$, для проектной технологии

$$Кз = 0.81/1 = 0.81$$

«Коэффициент загрузки оборудования ($Кз$) для проектного и базового вариантов технологического процесса является ключевым параметром при

определении капитальных затрат. Снижение коэффициента загрузки оборудования в проектной технологии объясняется повышением производительности» [6].

4.4 Расчет заводской себестоимости рассматриваемых технологий

«Выполнение операций проектного и базового технологического процесса осуществляется с использованием расходных материалов. Затраты на эти материалы рассчитываются на основе трех параметров: коэффициента транспортно-заготовительных расходов ($K_{т-з}$), определяющего дополнительные издержки на доставку и заготовку; цены материалов (C_m), отражающей стоимость единицы ресурса, и нормы расхода материалов (H_p), устанавливающей количество материалов на операцию. Для расчета применяется следующая формула» [6]:

$$M = C_m \cdot H_p \cdot K_{т-з} . \quad (7)$$

Согласно формуле (7), для базового варианта получаем $M_{баз.} = 5000 \cdot 4 \cdot 1.05 = 21000$ рублей, для операции проектного технологического процесса: $M_{баз.} = 5000 \cdot 3 \cdot 1.05 = 15750$ рублей.

«Величина заработной платы $Z_{осн}$ является частью фонда заработной платы. Данная величина рассчитывается для ранее выбранных значений штучного времени $t_{шт}$, и тарифной ставки, которую для рассматриваемых вариантов будем учитывать $C_ч = 300$ рублей. Также учитывается коэффициент доплат $K_d = 1,88$ » [6].

$$Z_{осн} = t_{шт} \cdot C_ч \cdot K_d. \quad (8)$$

Для базового варианта размер заработной платы $Z_{осн} = 300 \cdot 27,3 \cdot 1,88 = 15397$ рублей; для проектной технологии $Z_{осн} = 300 \cdot 17,3 \cdot 1,88 = 9757$ рублей.

Величина дополнительной заработной платы $Z_{доп}$ рассчитывается по формуле:

$$Z_{доп} = Z_{осн} \cdot K_{доп} / 100. \quad (9)$$

« $K_{доп}$ принимаем равным 12%. Представленные выше данные позволяют нам получить расчетные величины, для базового варианта: $Z_{доп} = 21000 \cdot 12/100 = 2520$ рублей, а для проектного процесса $Z_{доп} = 15750 \cdot 12/100 = 1890$ рублей» [6].

«Величина ФЗП рассчитывается как сумма дополнительной заработной платы и основной, полученные выше данные позволяют получить расчетные величины для базовой технологии: $ФЗП = 15397 + 2520 = 17917$ рублей, и для проектной $ФЗП = 9757 + 1890 = 11647$ рублей» [6].

«Размер отчислений на социальные нужды $O_{сн}$ пропорционален размеру фонда заработной платы ФЗП, для рассматриваемых условий принимается значение коэффициента отчислений на социальные нужды $K_{сн} = 34\%$, с учётом которого» [7]:

$$O_{сн} = ФЗП \cdot K_{сн}. \quad (10)$$

Для базового варианта отчисления на социальные нужды равны: $O_{сн} = 17917 \cdot 34/100 = 6091$ рублей, и $O_{сн} = 11647 \cdot 34/100 = 3960$ рублей для проектной технологии.

Величина затрат на оборудование рассчитывается на основании амортизационных отчислений и затрат на электрическую энергию

Норма амортизации принимается равной $N_a = 21,5 \%$, стоимость оборудования для базового варианта принимается $C_{об} = 150000$ рублей, для проектного $C_{об} = 200000$ рублей

$$A_{об} = \frac{C_{об} \cdot N_a \cdot t_{маш}}{F_3 \cdot 100} \quad (11)$$

Для базового варианта согласно формуле (10), $A_{об} = 150000 \cdot 21,5 \cdot 27,3 / 2054 / 100 = 428,63$ рублей. Для проектной технологии $A_{об} = 200000 \cdot 21,5 \cdot 17,3 / 2054 / 100 = 2485,54$ рублей.

«Затраты на электрическую энергию при выполнении базового и проектного технологического процессов рассчитываются с учетом мощности оборудования и стоимости электрической энергии» [6]:

$$P_{ээ} = M_{уст} \cdot t_{маш} \cdot C_{ээ} / КПД \quad (12)$$

Используя формулу (12), мы получаем расчетные величины: $P_{ээ} = 9,4 \cdot 27,3 \cdot 3,2 / 0,7 = 1173,12$ рублей для базовой технологии, $P_{ээ} = 8,6 \cdot 17,3 \cdot 3,2 / 0,8 = 595,12$ рублей для проектной технологии.

Затраты на оборудование являются частью себестоимости и считаются по формуле (13), с учетом ранее полученных данных:

$$Z_{об} = A_{об} + P_{ээ} \quad (13)$$

При подстановке ранее полученных данных для базового варианта $Z_{об} = 428,63 + 1173,12 = 1601,75$ рублей, для проектного варианта $Z_{об} = 2485,54 + 595,12 = 3080,66$ рублей.

«Размер технологической себестоимости $C_{тх}$ определяется исходя из ранее определённых значений затрат на материалы M , отчислений на социальные нужды $O_{сн}$, фонда заработной платы $FЗП$, затрат на производственные площади $Z_{пл}$ и затрат на оборудование $Z_{об}$ » [6]:

$$C_{\text{тех}} = M + \Phi\text{ЗП} + O_{\text{сс}} + \text{Зпл} + \text{Зоб} . \quad (14)$$

«Полученные выше исходные значения позволяют получить расчетные величины: $C_{\text{тех}} = 21000 + 17917 + 6091 + 1601 + 4000 = 50609$ рублей, для базового варианта, и $C_{\text{тех}} = 15750 + 11647 + 3960 + 3080 + 2000 = 34437$ рублей.

Цеховая себестоимость $C_{\text{цех}}$ определяется из ранее посчитанной технологической себестоимости» [6]:

$$C_{\text{цех}} = C_{\text{тех}} + \text{Зосн} \cdot K_{\text{цех}}. \quad (15)$$

«По расчетам с использованием формулы (15), цеховая себестоимость для базовой технологии $C_{\text{цех}} = 50609 + 1,5 \cdot 15397 = 73704$ рублей, для проектной $C_{\text{цех}} = 34437 + 1,5 \cdot 9757 = 49072$ рублей» [6].

«Расчет заводской себестоимости определяется исходя из цеховой себестоимости» [6]:

$$C_{\text{зав}} = C_{\text{цех}} + \text{Зосн} \cdot K_{\text{зав}}. \quad (16)$$

«Полученные ранее данные позволяют получить расчетные величины $C_{\text{зав}} = 73704 + 1,15 \cdot 15397 = 91410$ рублей для базового варианта технологии, и для проектного процесса $C_{\text{зав}} = 34437 + 1,15 \cdot 9757 = 45657$ рублей» [5].

«Определенные ранее данные производственной себестоимости указаны в таблице 8. На основании этих данных построена сравнительная диаграмма, которая отображена на рисунке 12» [6].

Таблица 8 – «Данные расчета заводской себестоимости»

Показатель	Условное обозначение	Базовый вариант	Проектный вариант
1. Затраты на материалы	M	21000	15750

Продолжение таблицы 8

2. Фонд заработной платы	ФЗП	17917	11647
3. Отчисления на соц. нужды	Осн50	6091	3960
4. Затраты на оборудование	Зоб	1601	3080
5. Затраты на площади	Зпл	4000	2000
6. Технологическая себестоимость	Стех	50609	34437
7. Цеховые расходы	Рцех	15397	9757
8. Цеховая себестоимость	Сцех	73704	49072
9. Заводские расходы	Рзав	17706	11220
10. Заводская себестоимость» [6]	Сзав	91410	45657

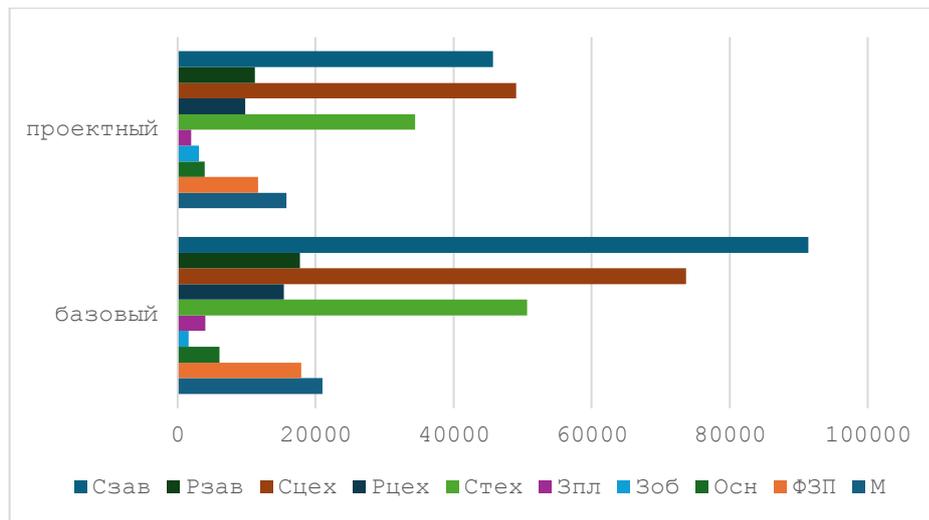


Рисунок 12 – Состав заводской себестоимости

4.5 Расчёт капитальных затрат

Рассчитаем капитальные затраты на реализацию базового варианта.

$$\text{Цоб.б.} = \text{Цперв.} - (\text{Цперв.} \cdot \text{Тсл.На} / 100). \quad (17)$$

Согласно (17) $\text{Цоб.б.} = 270000 - (270000 \cdot 3 \cdot 21,5 / 100) = 95850$ рублей.

Капитальные затраты по базовому варианту рассчитываются как:

$$\text{Кобщ. б.} = \text{Цоб.б.} \cdot \text{Кз.б.} \quad (18)$$

Согласно указанным выше исходным значениям получаем

$$\text{Кобщ. б.} = 95850 \cdot 0,62 = 59427 \text{ рублей.}$$

«Для расчёта капитальных затрат для проектной технологии требуется учесть капитальные вложения в производственные площади и капитальных затрат на производственные площади» [6]:

$$\text{Кобщ. пр.} = \text{Коб. пр.} + \text{Кпл. пр.} + \text{Ксоп.} \quad (19)$$

«Расчет величины капитальных затрат для проектного варианта рассчитывается с учетом коэффициента транспортно-заготовительных расходов, $K_{тз} = 1,05$ и коэффициента загрузки оборудования $K_z = 0,31$, выполним расчёт капитальных затрат» [6]:

$$K_{об.пр.} = Ц_{об. пр.} \cdot K_{тз} \cdot K_{зп}. \quad (20)$$

Полученные выше значения позволяют получить величину

$$K_{об.пр.} = 850000 \cdot 1,05 \cdot 0,31 = 276675 \text{ рублей.}$$

«Сопутствующие капитальные затраты рассчитываем с учетом коэффициента расходов на демонтаж $K_{дем} = 0,05$ » [6].

$$P_{дем} = Ц_{об. б.} \cdot K_{дем}. \quad (21)$$

$$P_{дем} = 800000 \cdot 0,05 = 12500 \text{ рублей}$$

«Расходы на монтаж рассчитываются с учетом $K_{мон} = 0,05$ рассчитываются» [6]:

$$P_{монт} = Ц_{об. пр.} \cdot K_{м.} \quad (22)$$

«С учетом выше представленных данных получаем величину

$$P_{монт} = 850000 \cdot 0,05 = 40000 \text{ рублей}» [6].$$

«Величина сопутствующих расходов $P_{соп}$, определяется как» [6]:

$$P_{соп} = P_{дем} + P_{монт}. \quad (23)$$

«С учетом выше представленных данных получаем расчетную величину

$$P_{соп} = 12500 + 40000 = 52500 \text{ рублей}» [6].$$

«Далее с использованием данных в формуле (19), получаем общие капитальные затраты $K_{общ. пр.} 276675 + 52500 = 329175$ рублей» [6].

«Далее проводим расчет дополнительных капитальных вложений, с учетом капитальных затрат базовой и проектной технологий» [6]:

$$K_{\text{доп}} = K_{\text{общпр}} - K_{\text{общб}} \quad (24)$$

«Указанные выше значения позволяют узнать расчетную величину

$$K_{\text{доп}} = 329175 + 59427 = 388602 \text{ рублей} \text{» [6].}$$

Величина $K_{\text{уд}}$ определяется с четом годовой программы:

$$K_{\text{уд}} = K_{\text{общ}} / П_{\text{г}} . \quad (25)$$

«С помощью исходных данных представленных выше получаем расчетную величину $K_{\text{уд}} = 59427/100 = 594$ рублей по базовой технологии и $K_{\text{уд}} = 329175/100 = 3291$ рублей по проектной технологии» [6].

4.6 Расчет экономических показателей

«Для обоснования эффективности предлагаемых в работе решений применяются объективные показатели, расчёт которых выполняется с использованием полученных ранее значений» [7].

«Снижение трудоемкости рассчитывается как» [6]:

$$\Delta t_{\text{шт}} = (t_{\text{шт б}} - t_{\text{шт пр}}) \cdot 100 \% / t_{\text{шт б}} . \quad (26)$$

«Представленные данные помогают получить расчетную величину

$$\Delta t_{\text{шт}} = (27,3 - 17,3) \cdot 100 \% / 27,3 = 36 \% \text{» [6].}$$

«Повышение производительности $П_{\text{т}}$ рассчитывается как» [6]:

$$П_{\text{т}} = 100 \cdot \Delta t_{\text{шт}} / (100 - \Delta t_{\text{шт}}) . \quad (27)$$

«Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину $P_T = 100 \cdot 36 / (100 - 36) = 56\%$ » [6].

«Следующим показателем является уменьшение технологической себестоимости $\Delta C_{\text{тех}}$ рассчитывается как» [6]:

$$\Delta C_{\text{тех}} = (C_{\text{тех.б.}} - C_{\text{тех.пр.}}) \cdot 100\% / C_{\text{тех.б.}} \quad (28)$$

«Подставив исходные данные полученные ранее получаем расчётную величину $\Delta C_{\text{тех}} = (50609 - 34437) \cdot 100\% / 50609 = 32\%$ » [6].

«Расчет условно-годовой экономии ведется по формуле» [6]:

$$Э_{\text{уг}} = (C_{\text{зав.б.}} - C_{\text{зав.пр.}}) \cdot P_T = (91410 - 45657) \cdot 1000 = 4575300 \text{ рублей.} \quad (29)$$

«Срок окупаемости дополнительных вложений $T_{\text{ок}}$ рассчитывается как» [6]:

$$T_{\text{ок}} = K_{\text{доп}} / Э_{\text{уг}} = 388602 / 4575300 = 0,08 \text{ года.} \quad (30)$$

«Величина годового экономического эффекта $Э_{\text{г}}$ рассчитывается как» [6]:

$$Э_{\text{г}} = Э_{\text{уг}} - E_n \cdot K_{\text{доп.}} \quad (31)$$

Проведенные экономические расчеты подтверждают высокую эффективность предложенного варианта сварки. Рост производительности труда вырос на 56%.

Уровень технологической себестоимости упал на 32%. Благодаря этим факторам затраты на внедрение данного решения окупится за 0.08 года.

Проведенный анализ структуры производственной себестоимости сравниваемых технологических вариантов демонстрирует значительную экономическую эффективность проектного решения.

Заключение

Настоящая выпускная квалификационная работа посвящена решению задачи по повышению эффективности плазменной сварки алюминиевых трубопроводов диаметром 820 мм. Ключевая цель выпускной квалификационной работы – добиться повышения производительности и качества плазменной сварки.

Применение сварки неплавящимся электродом в среде инертного газа, которое предусмотрено базовой технологией, характеризуется низкой производительностью и более трудоемким процессом работы. Так же качество сварного шва в значительной степени зависит от квалификации сварщика.

Для обоснования решений предлагаемых в настоящей выпускной квалификационной работе был выполнен поиск научно-технической литературы. Поиск проводился в сети интернет по базам научных статей “Киберленинка”, “eLIBRARY” (научные электронные библиотеки), так же была применена база кандидатских и докторских диссертаций “Диссеркэт”, архивы журналов “Технология машиностроения” и “Сварочное производство”.

Поиск информации проводится с использованием поисковой системы “Яндекс”, по ключевым словам, “сварка алюминиевых сплавов”, “статья”, “диссертация”, “журнал сварочное производство”.

Также применим материалы полученные в процессе выполнения практик и курсовых работ.

По итогам анализа исходных данных по вопросу сварки алюминиевых трубопроводов, было принято решение использовать плазменную сварку.

Список используемых источников

1. Аввакумов И. И., Шакиров А. Р. ПЛАЗМЕННАЯ СВАРКА //СОВРЕМЕННОЕ ПЕРСПЕКТИВНОЕ РАЗВИТИЕ НАУКИ, ТЕХНИКИ И ТЕХНОЛОГИЙ. – 2023. – С. 23-25.
2. Атрощенко В.В., Бычков В.М., Селиванов А.С. Экспериментальное определение предельных токовых нагрузок для лантанированных вольфрамовых электродов // Вестник УГАТУ. 2009. Т. 13. No 1 (34). С. 161-165.
3. Брилев В. В. ОСОБЕННОСТИ СВАРКИ АЛЮМИНИЯ // Вестник магистратуры. 2019. №1-2 (88).
4. Горшкова О.О. НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В СВАРОЧНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ // Современные наукоемкие технологии. 2021. № 2. С. 14-18.
5. Горина Л.Н. Обеспечение безопасных условий труда на производстве: учебное пособие / Л. Н. Горина. – Тольятти: ТолПИ, 2000. – 68 с.
6. Краснопевцева И.В. Экономическая часть дипломного проекта: метод. указания / И. В. Краснопевцева – Тольятти: ТГУ, 2008. – 38 с.
7. Кудинова Г.Э. Организация производства и менеджмент: метод. указания к выполнению курсовой работы. / Г. Э. Кудинова. – Тольятти: ТГУ, 2005. – 35 с.
8. Коновалов Г. С., Емченко С. В., Сомпольцева А. А. ВОЗМОЖНОСТЬ ЗАМЕНЫ СПОСОБА СВАРКИ ПРИ ЗАВАРКЕ ДЕФЕКТОВ НА ОТЛИВКАХ ГРЕБНЫХ ВИНТОВ ИЗ АЛЮМИНИЕВО-ЖЕЛЕЗО-НИКЕЛЕВЫХ БРОНЗ // StudNet. 2021. №7.
9. Кожевиков В. Ю., Харазов В. Г. АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ АРГОНОДУГОВАЯ СВАРКА НЕПЛАВЯЩИМСЯ ЭЛЕКТРОДОМ //Математические методы в технике и технологиях-ММТТ. – 2016. – №. 2. – С. 222-225.

10. Лопухов Ю. И., Токтаубаев Б. М. Исследование ИМПУЛЬСНОЙ сварки TIG ВЫСОКОПРОЧНОГО ЧУГУНА с шаровидным графитом //Вестник Восточно-Казахстанского государственного технического университета им. Д. Серикбаева. – 2016. – №. 2. – С. 101-105.
11. Людмирский Ю. Г., Котлышев Р. Р. Сварка трением с перемешиванием алюминиевых сплавов в строительстве //Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. – 2010. – №. 3. – С. 15-22.
12. Максимов В. Д., Круглова О. А., Куц Л. Е. Исследование прочностных характеристик сварных соединений аргонодуговой сваркой //МОЛОДЕЖЬ И СИСТЕМНАЯ МОДЕРНИЗАЦИЯ СТРАНЫ. – 2019. – С. 300-303.
13. Мигачева Г. Н. Анализ дефектов сварки трубопроводов // Достижения науки и образования. 2018. №3 (25).
14. Овчинников В. В., Растопчин Р. Н. Плазменная сварка высокопрочных алюминиевых сплавов //Научные технологии в машиностроении. – 2020. – №. 7. – С. 3-11.
15. Рабкин Д. М., Лозовская А. В., Склабинская И. Е. Металловедение сварки алюминия и его сплавов. Киев : Наукова думка, 1992. 160 с.
16. Рабкин Д. М., Игнатъев В. Г., Довбищенко И. В. Сварка алюминия и его сплавов. Киев : Изд-во "Наукова думка", 1983. 80 с.
17. Сидоров В. П., Советкин Д. Э. ЭФФЕКТИВНАЯ МОЩНОСТЬ ПОЛЯРНОСТЕЙ В СВОБОДНОЙ ДУГЕ С РАЗНОПОЛЯРНЫМИ ИМПУЛЬСАМИ ТОКА // Вестник ПНИПУ. Машиностроение, материаловедение. 2021. №2.
18. Стрельников И. В., Коновалов А. В. Определение оптимальной геометрии вольфрамового электрода при точечной сварке сжатой дугой // Известия вузов. Машиностроение. 2011. №6.

19. Шубин В.И. Стойкость прямоугольных и круглых вольфрамовых электродов при длительной работе // Сварочное производство. 1979. No 1. С. 12-13.
20. Шиганов И., Холопов А. Лазерная сварка алюминиевых сплавов //Фотоника. – 2010. – №. 3. – С. 6-11.
21. Щицын Ю.Д. Плазменные технологии в сварочном производстве: учеб. пособие / Перм. гос. техн. ун-т. Пермь, 2004. – Ч. 1. – 73 с.
22. Щицын Ю. Д., Косолапов О. А., Струков Н. Н. Распределение энергии в сжатой дуге при работе плазмотрона на токе прямой и обратной полярности // Вестник ПНИПУ. Машиностроение, материаловедение. 2010. №2.
23. Щицын Ю. Д. и др. Плазменная сварка алюминиевых сплавов повышенной толщины //Тяжелое машиностроение. – 2014. – №. 1. – С. 27-31.
24. Щицын Ю. Д. Разработка технологии и оборудования аддитивного производства металлических изделий плазменной наплавкой плавящимся электродом
25. Щицын Ю. Д., Беленин Д. С., Неулыбин С. Д. Определение падения напряжения на анодном участке дуги при плазменной обработке металлов // Вестник ПНИПУ. 2015. № 2. С. 5-12.
26. Kah P. Automation of Aluminum Alloy Welding //International Review of Mechanical Engineering (I. RE. ME). – 2014.
27. Lee H., Park S., Kang C. Y. Effect of plasma current on surface defects of plasma-MIG welding in cryogenic aluminum alloys //Journal of Materials Processing Technology. – 2015. – Т. 223. – С. 203-215.
28. Mathers G. Welding of Aluminium and Its Alloys, Woodhead Publishing, 2002.
29. Pulsed MIG may solve aluminum fabrication problems - Q&A, Miller, [Online]. Available: http://www.millerwelds.com/resource_s/articles/Aluminum-pulsed-MIG-GMAW-questions/. [Accessed 31 August 2013].

30. Tong H. Ueyama T. Nakata K. High speed welding of aluminium alloy sheets using laser assisted alternating current pulsed metal inert gas process, *Science and Technology of Welding and Joining*, Vol. 8, n. 3, pp. 229-234, 2003.
31. Rizvi S. A., Ali W. Multi attribute decision making parametric optimization in weld bead by gas metal arc welding through grey relation analysis: A case study // *International Journal of Engineering, Science and Technology*. – 2020. – T. 12. – №. 2. – C. 59-66.
32. Sattar A. et al. Optimization of TIG welding parameters for Ti-6Al-4V titanium alloy using the Taguchi design of experiment // *NUST Journal of Engineering Sciences*. – 2022. – T. 15. – №. 2. – C. 65-77.
33. Ślęzak T. Welding of S960QL High-Strength Steel by the Manual–Automated MAG Technique—A Study of Mechanical Properties, Residual Stresses and Fracture Mechanisms in the Heat-Affected Zone // *Materials*. – 2024. – T. 17. – №. 23. – C. 5792.