

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

Институт машиностроения

(наименование института полностью)

Кафедра «Сварка, обработка материалов давлением и родственные процессы»

(наименование кафедры)

15.02.02.65 «Машиностроение»

(код и наименование направления подготовки, специальности)

«Оборудование и технология сварочного производства»

(направленность (профиль)/специализация)

## ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ

на тему Технология сборки и сварки раздвижных ворот самолетного ангара

Студент

И.Н. Тайгунов

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

Г.М. Короткова

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Консультанты

В.Г. Виткалов

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

И.В. Краснопевцева

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

А.Н. Москалюк

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

**Допустить к защите**

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

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

(личная подпись)

«      »        20       г.

Тольятти 2018

## АННОТАЦИЯ

Цель дипломного проекта – повышение качества соединений каркаса ворот ангаров, выполненных дуговой сваркой.

Для достижения поставленной цели в работе были решены следующие задачи: разработан технологический процесс механизированной сварки изделия в защитных газах с применением импульсной подачи сварочной проволоки; подобрано сварочное оборудование; подобрано оборудование для импульсной подачи; разработана оснастка для реализации данного технологического процесса; предусмотрены мероприятия по охране здоровья и жизни производственного персонала; произведена оценка экономической эффективности предложенных мероприятий.

Пояснительная записка содержит 61 стр., 14 рисунков, 8 таблиц.

В работе предложено заменить базовую технологию сварки штучными электродами механизированной сваркой проволокой сплошного сечения при импульсной ее подаче. Подобраны режимы сварки. Разработан типовой технологический процесс. Для реализации технологического процесса разработана сборочная оснастка.

Для защиты от опасных и вредных производственных факторов произведен расчет вентиляции, заземления оборудования, освещения.

Определен экономический эффект.

## Содержание

Введение.....	5
1 Анализ исходных данных и известных технических решений .....	6
1.1 Описание изделия и условий его эксплуатации .....	6
1.2 Обоснование вида производства .....	7
1.3. Подбор материала для изготовления каркаса .....	9
1.4. Базовый технологический процесс сварки каркаса.....	11
1.5. Выбор подходящего способа сварки.....	14
1.6 Задачи работы.....	19
2 Разработка технологического процесса сборки – сварки изделия.....	20
2.1 Повышение эффективности механизированной сварки .....	20
3 Оборудование. ....	27
4 Безопасность и экологичность проекта. ....	28
3.1 Технологическая характеристика объекта .....	28
4.2 Персональные риски, сопровождающие внедрение проектной.....	30
технологии в производство .....	30
4.3 Предлагаемые мероприятия по снижению профессиональных.....	31
рисков в ходе внедрения в производство проектной технологии.....	31
4.4 Предлагаемые мероприятия по обеспечению пожарной.....	32
безопасности разрабатываемого технологического объекта.....	32
4.5 Оценка экологической безопасности разрабатываемого.....	34
технологического объекта.....	34
4.6 Заключение по разделу .....	35
5 Экономическая эффективность проекта.....	36
5.1 Исходные данные для экономического обоснования .....	36
сравниваемых вариантов .....	36
5.2 Определение норм штучного времени <b>Ошибка! Закладка не определена.</b>	
5.3. Капитальные вложения в оборудование <b>Ошибка! Закладка не определена.</b>	
5.4 Определение себестоимости двух вариантов. <b>Ошибка! Закладка не определена.</b>	

5.5 Цеховая себестоимость.....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
5.6 Заводская себестоимость.....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
5.7 Расчет экономической эффективности проекта	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
Выводы по экономическому разделу .....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
Заключение .....	51
Список использованных источников .....	52

## Введение

Ангары для хранения и ремонта самолетов должны закрываться воротами. Учитывая, что габариты самолетов, даже сравнительно небольшого Ту-134 составляют – высота 9 метров, размах крыла 29 метров. Следовательно, ворота ангара должны обеспечивать перекрытие такого проема. Поэтому их делают сдвижными. Важной частью ворот ангаров являются каркасы. Каркас – пространственная конструкция выполненная из сортового металлопроката, труб прямоугольных. Между собой детали соединяются сваркой.

Базовая технология сварки каркаса, заложенная проектировщиками, предусматривает сборку с использованием универсальных сборочных приспособлений, и ручную дуговую сварку штучными электродами. Это отработанный технологический процесс, не требующий сложного оборудования. Однако данный технологический процесс характеризуется высоким расходом присадочного материала. Качество изготовления каркаса по базовому технологическому процессу зависит от квалификации и субъективных качеств исполнителей. Кроме того, ручная дуговая сварка характеризуется низкой производительностью.

Целью проекта является – повышение качества соединений каркаса ворот ангаров, выполненных дуговой сваркой.

# 1 Анализ исходных данных и известных технических решений

## 1.1 Описание изделия и условий его эксплуатации

Каркас секции раздвижных ворот представляет собой пространственную конструкцию. Его габаритные размеры 6200х4100х150 мм, рис. 1.1. Эксплуатируется изделие на открытом воздухе. Но вторая сторона обращена к ангару. Поэтому диапазон температур эксплуатации может составлять +40...-40°C. Ворота защищены лакокрасочным покрытием.

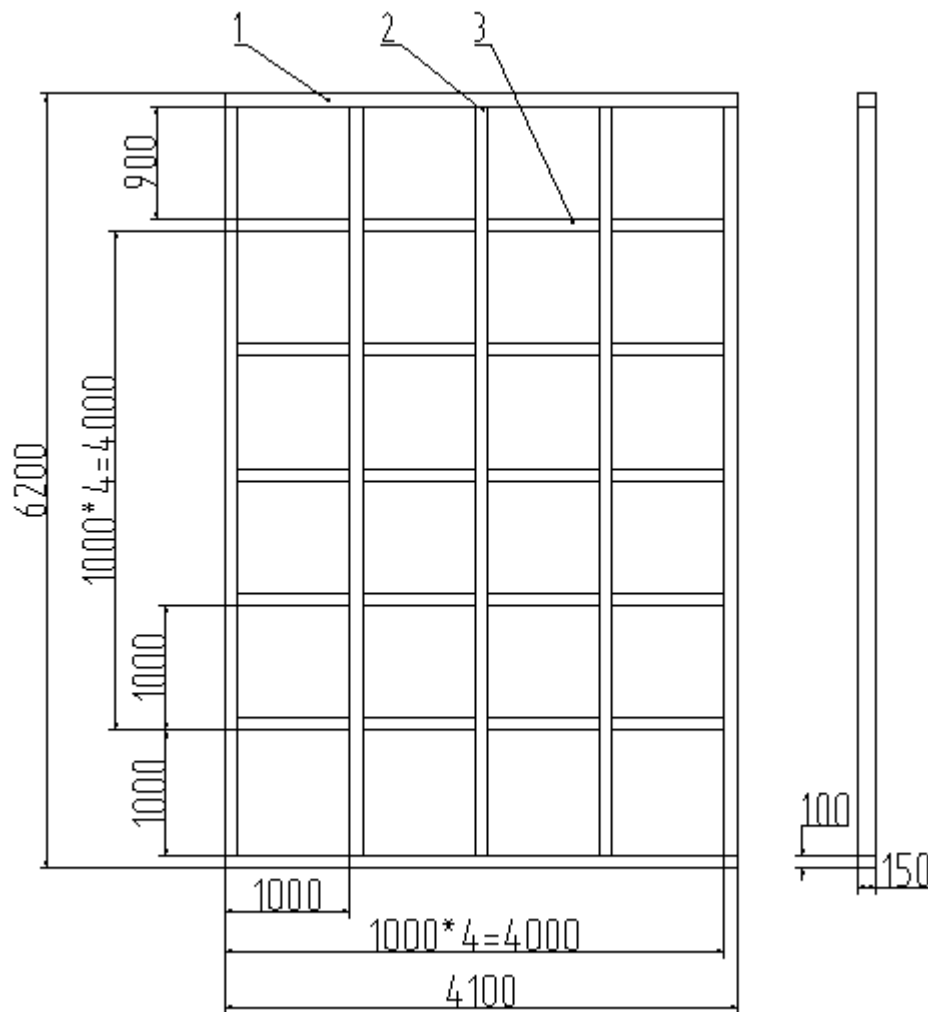


Рисунок 1.1 – Общий вид каркаса ворот

Общий вес каркаса составляет 366 килограмм. Точность изготовления по габаритам должна быть обеспечена в пределах  $\pm 10$  мм.

Каркас состоит из следующих деталей и узлов: 1) труба прямоугольная 150x100 5 шт. длиной 6000 мм; 2) труба прямоугольная 150x100 2 шт. длиной 4100 мм.; 3) труба прямоугольная 150x100 длиной 900 мм 20 шт;

В базовой технологии предусмотрена ручная дуговая сварка деталей ворот согласно ГОСТу 5264-80 штучными электродами МР-3. В конструкции представлены 2 вида соединений – тавровые, стыковые.

## 1.2 Обоснование вида производства

По широте номенклатуры выпускаемой продукции и объему выпуска производство классифицируют на массовое, серийное и единичное.

Характерным для массового производства являются большие объемы выпуска продукции в течение продолжительного времени. Рабочие места организуют таким образом, чтобы на одном рабочем месте выполнялась одна операция. Другой особенностью организации рабочих мест в условиях массового производства является применение специализированного высокопроизводительного оборудования и значительный уровень механизации и автоматизации процессов обработки.

В качестве типичных примеров массового производства можно привести изготовление автомобилей, тракторов, мотоциклов, велосипедов, подшипников, бытовой техники.

Применяемое при массовом производстве оборудование, как правило, является дорогостоящим, но за счет массового выпуска продукции оно окупается в сжатые сроки.

Характерным для серийного производства является изготовление деталей (узлов) повторяющимися партиями. Серийное производство, в свою очередь, с учетом количества изделий в партии подразделяют на мелкосерийное, среднесерийное и крупносерийное.

В машиностроении применяется, в основном, серийный тип производства. В серийном производстве обработка деталей и сборка узлов построены на основе дифференциации операций. Отдельную операцию закрепляют за конкретным рабочим местом. В связи с этим необходима периодическая переналадка оборудования для того, чтобы перейти на обработку следующей партии деталей. Хотя технологические операции обработки могут выполняться на универсальном оборудовании, требуется их оснащение как специализированными приспособлениями так и универсальными. В некоторых случаях является целесообразным применение специализированных измерительных приборов.

Средняя квалификация работников в случае серийного производства выше, чем в случае массового производства.

Характерным при единичном производстве являются незначительные объемы выпуска одинаковых изделий. Причем, зачастую, не предусматривается их изготовление повторно [8,13].

Для рабочих мест в условиях единичного производства характерным является разнообразие операций и использование универсального технологического оборудования, универсальной технологической оснастки и измерительных средств [8,13].

Специальная технологическая оснастка может применяться только в случаях, когда иначе изготовить деталь невозможно. Разнообразие выполняемых работ требует рабочих высокой квалификации.

Зная тип производства можно осуществить подбор оптимального оборудования, правильно организовать рабочие места. Анализируя количество производимых за год трансформаторов (50), вес и габариты определим тип производства как мелкосерийное. В условиях мелкосерийного производства характерно применение малой механизации и автоматизации технологических процессов, использование универсального оборудования и оснастки. Следовательно, при внедрении технологии изготовления потребуется применить средства малой механизации.



### 1.3. Подбор материала для изготовления каркаса

Для изготовления каркаса не требуется применение каких-либо дефицитных или специальных сталей. Разработчики предусмотрели сталь С245. Поэтому можно использовать низкоуглеродистые низколегированные стали, например сталь 09Г2С. Она используется при выполнении различных металлических конструкций с применением сварки, которые работают под давлением в условиях воздействия температуры  $-70...+425$  °С. В качестве заменителей стали 09Г2С может выступать стали марки 09Г2 и 09Г2Т, 09Г2ДТ и 10Г2С.

Сталь 09Г2С сваривается без ограничений, т.е. её сварке не требует применения предварительного подогрева и проведения последующей термической обработки.

Таблица 1.1 – Химсостав стали 09Г2С

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	N	Cu	As
≤0,11%	от 0,5% до 0,8%	от 1,3% до 1,7%	≤0,3%	≤0,04%	≤0,035%	≤0,3%	≤0,008%	≤0,3%	≤0,08%

Таблица 1.2 – Физико-механические свойства стали марки 09Г2С при комнатной температуре [3]

Сортамент	$\sigma_B$	$\sigma_T$	$\delta_5$
Лист	470 МПа	265 МПа	22 %

Реакция на термический цикл стали 09Г2С несколько отличается от реакции обычной низкоуглеродистой стали. Основное различие заключается в некотором увеличении склонности к образованию в металле шва и околошовной зоне закалочных структур в условиях повышенных скоростей охлаждения. Повышенные скорости охлаждения в сварных швах стали 09Г2С кроме феррита и перлита вызывают образование мартенсита, бейнита и остаточного аустенита. Обнаруживаемый в таких швах мартенсит носит

бесструктурный характер, а бейнит представлен феррито-карбидной смесью с высокой степенью дисперсности. Количество этих структурных составляющих может изменяться и зависит от параметров нагрева в процессе сварки. Снижение погонной энергии приводит к повышению содержания бейнита, аустенита и мартенсита в шве, а также к увеличению их дисперсности.

Закалочные структуры при их малом количестве оказывают незначительное воздействие на физико-механические свойства металла. При этом значительное увеличение доли закалочных структур в сварном шве и околошовной зоне резко уменьшают пластичность металла и снижают его стойкость против хрупкого разрушения. Марганец, кремний и другие легирующие элементы способствует образованию большего количества закалочных структур в сварном соединении. Сварку конструкций из стали 09Г2С необходимо производить на режимах с меньшей погонной энергией, чем сварку конструкций из низкоуглеродистой стали.

Равнопрочность металла шва и основного металла может быть достигнута благодаря легированию шва элементами, которые переходят из основного металла. Также повышение прочности металла шва и его стойкости против хрупкого разрушения может быть достигнуто путём дополнительного легирования металла шва через сварочную проволоку.

При выполнении сварных конструкций из стали 09Г2С стойкость металла шва против кристаллизационных трещин ниже, чем при использовании низкоуглеродистых сталей. Это происходит из-за повышенного содержания углерода и воздействия отдельных легирующих компонентов, таких как кремний. Стойкости против трещин может быть повышена путём снижения содержания в металле шва таких элементов как углерод и сера, что достигается применением сварочной проволоки с пониженным содержанием углерода и серы. Существенное влияние на прочность сварных соединений оказывает правильное проектирование

технологии сварки, предусматривающей рациональную последовательность сварки швов, обеспечивающей нужную величину провара.

#### 1.4. Базовый технологический процесс сварки каркаса

Первая операция технологического процесса – входной контроль.

- 1) проверка сопроводительной документации (сертификаты, паспорта) на применяемые прямоугольные трубы и другие детали; осуществление контроля соответствия труб и других деталей требованиям технических условий и чертежей, проверка соответствия проектной документации устанавливаемых прямоугольных труб и других деталей;
- 2) проверка качества сварочных материалов, правильности назначения режимов прокали и хранения сварочных материалов; проверка правильности сварочных материалов по их маркировке;
- 3) проверка состояния сварочного оборудования, сварочного инструмента, контрольно-измерительных приборов, измерительного инструмента, сборочной оснастки; проверка возможности сборки стыка с необходимыми геометрическими параметрами; проверка возможности обеспечения режимов сварки и остывания стыков; проверка наличия средств индивидуальной защиты, необходимых для выполнения операций технологического процесса;
- 4) проверка квалификации работников и ей соответствия выполняемым работам, проверка проведения необходимых инструктажей, наличие у работников соответствующих удостоверений и других разрешающих документов;
- 5) проверка наличия лицензии на выполнение работ, проекта проведения работ, аттестации технологии сварки, операционных технологических карт;
- б) проверка соответствия условий выполнения работ требованиям безопасности.

Вторая операция технологического процесса – подготовительная. Производят разделку кромок труб, которую выполняют с

применением ручной кислородной резки. Для этой операции применяется резак ГРМ-70, который предназначен для резки металла толщиной 3...50 мм. Вес резака составляет 630 грамм. Применяют редукторы ДКП-1-65 (кислородный), а также ДАП 1-65 (ацетиленовый). По окончании резки осуществляется зачистка кромок с применением абразивных кругов и притупление кромок с применением абразивных кругов. Для этого используется машинка шлифовальная угловая МШУ-1-6-230 и абразивные круги 14A80T264.

У подготовленных под сварку кромок необходимо контролировать шероховатость на соответствие требуемым значениям. Необходимо устранить неровные части, выступы, заусенцы мешающие плотному примыканию кромок друг к другу. Устранение производят до сборки с использованием абразивного круга или напильника, при этом не допускается наличие острых углов, а также резких переходов.

Завершающая операция технологического процесса является контроль качества.

Проверку качества сварных швов трубопроводов проводят систематическим пооперационным контролем, визуальным осмотром, контролем геометрических характеристик, неразрушающими методами контроля; разрушающими испытаниями образцов соединения, выпиленных при опытной сварке и металлографическими исследованиями.

Проведение пооперационного контроля предусматривает выполнение следующих операций:

- а) проверка сварочных материалов и труб на качество соответствие требованиям нормативной документации (стандарты и технические условия);
- б) проверка подготовки торцов труб под сварку, а также качество сборки стыков (угол скоса кромок, несовпадение кромок, величина зазоров в стыке труб, правильность центровки труб, правильность расположения и количество выполненных прихваток, отсутствие трещин в прихватках);
- в) проверяют температуру предварительного подогрева;

г) проверяют качество и технологию сварки (значения параметров режима сварки, соблюдение порядка наложения швов, качество послойной зачистки сварных швов от шлака);

д) проверяют соблюдение параметров режима термической обработки сварных соединений.

При выполнении прихваток их следует равномерно распределять по всему периметру стыка, обеспечивая при этом расстояние от заводских продольных швов труб до края прихватки не менее 0,1 метра.

При сварке прихваток необходимо использовать те же режимы сварки, что и при сварки корневого слоя. Параметры сварки различных слоев шва которые представлены в таблице 1.3. Применяются электроды с основным видом покрытия марки УОНИ 13/55

В процессе сварки следует предотвращать стык от перемещений или любых других внешних воздействий до полного завершения корневого слоя шва. После того, как сварили корневой слой шва и сняли центратор, приступают к заполнению разделки стыка. При сварке применяется постоянный ток обратной полярности

Визуальному контролю подвергаются все сварные соединения.

Перед выполнением визуального осмотра требуется провести зачистку как самого шва, так и прилегающего металла (на ширине не менее двух сантиметров по обе стороны шва) от различных видов загрязнений, которые включают в себя брызги расплавленного металла, шлак, окалина.

К результатам внешнего осмотра сварных швов предъявляют следующие требования:

- а) стандартная форма и размеры сварного шва;
- б) мелкая чешуйчатость поверхности сварного шва, не допускается наличие ноздреватости, свищей, скоплений пор, прожогов, незаплавленных кратеров, наплывов.
- в) должен быть обеспечен плавный переход от наплавленного металла к основному металлу трубы.

## 1.5. Выбор подходящего способа сварки

Определение наиболее подходящего для наших целей способа сварки необходимо производить с учётом свариваемости металла, необходимости использования высокотехнологичного оборудования, реализующего процесс сварки, квалификации сварочного и обслуживающего персонала, а также с учетом экономических показателей.

В рассматриваемом нами случае трубопроводы выполнены из стали марки 09Г2С, которая является легкосвариваемой. По этой причине нецелесообразно в качестве вариантов применяемых способов сварки рассматривать электронно-лучевую, лазерную и другие специальные способы. Также данные способы сварки не применимы в монтажных условиях, требуют наличия высококвалифицированного персонала и дорогостоящего сварочного оборудования

Такие способы сварки целесообразно применять только при сварке уникальных деталей или при использовании сложносвариваемых материалов.

В случае использования **газопламенной** сварки стык свариваемых деталей разогревается с помощью горелки до температуры плавления металла, в результате чего образуется сварочная ванна. Затем пламя перемещают вдоль стыка, формируя сварной шов. При отсутствии воздействия пламени расплавленный металл остывает и кристаллизуется.

Если необходимо сформировать усиление на сварном шве, то при сварке в пламя вводят присадочный пруток, материал которого, расплавляясь, попадает в сварочную ванну. Газопламенная сварка показана на рисунке 1.2.

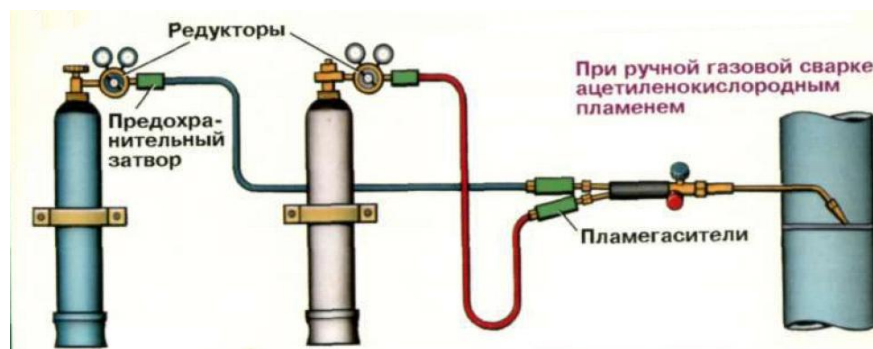


Рисунок 1.2 - Газопламенная сварка

Газопламенная сварка применяется не столь часто из-за невозможности механизации, сложности применяемого оборудования, необходимости контроля состава газового пламени. Необходима высокая квалификация рабочего персонала с допуском для проведения данного типа сварочных работ. Кроме того, возникающий из-за применения газового пламени перегрев может привести к дефектности всего сварного соединения.

Наиболее распространённым способом сварки является ручная дуговая сварка, которая показана на рисунке 1.3.

Главными достоинствами метода «ручная дуговая сварка» является относительная простота сварочного оборудования, высокая мобильность способа, обеспечивающая возможность сварки в различных пространственных положениях, а также возможность сварки широкого спектра материалов. Основным недостатком ручной дуговой сварки является сложность механизации и затруднённая автоматизация процесса сварки. По этой причине данный способ сварки является низкопроизводительным и характеризуется неоптимальным расходом материала из большого количества остаточных «огарков» электродов.

При этом относительно низкие значения тока сварки затрудняют повышение производительности способа.

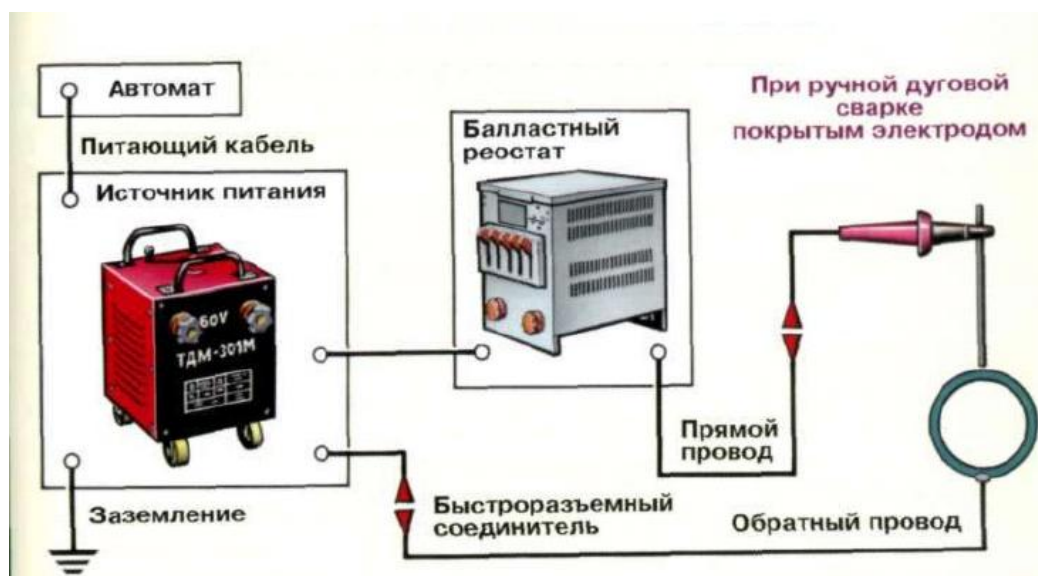


Рисунок 1.3 – Электродуговая сварка отдельными электродами

При сварке трубопроводных систем с проходом более 8 см при толщине стенок 4 и более миллиметров наиболее распространенным способом сварки является ручная дуговая сварка, осуществляемая с помощью электродов с защитным покрытием.

Примечательно, что данный способ сварки в 2 раза дешевле газовой сварки. данный способ сварки применяется в монтажных условиях, где использование средств механизации затруднительно.

В числе недостатков дуговой сварки с применением штучных электродов следует отметить: во-первых, ручной труд; во-вторых, необходимость высокой квалификации сварщика для получения стабильного качества сварных швов, которое напрямую зависит от квалификации и кондиции сварщика; в-третьих, необходимость частой смены электродов и прерывание процесса сварки; в-четвёртых, отсутствие возможности механизации и автоматизации процесса сварки изделий.

Сварка порошковой проволокой (рис. 1.4) является одним из наиболее перспективных электродуговых процессов формирования сварных соединений с требуемыми свойствами и химсоставом. В начале 1950-х годов И.И. Фрумин предложил применять порошковую проволоку для автоматической наплавки под флюсом валков прокатных станов. Было



организовано производство наплавочной порошковой проволоки на Магнитогорском метизно-металлургическом заводе. Идея использования порошковой проволоки в качестве сварочного материала оказалась весьма плодотворной. Во второй половине XX в. проводили исследования электрофизических, металлургических и технологических процессов сварки и наплавки порошковой проволокой. В результате разработано большое количество различных типов порошковых проволок разного назначения, созданы и отлажены технологии сварки и наплавки, а также промышленное оборудование и технологии производства порошковых проволок. Созданы материалы для сварки и наплавки в защитных газах, материалы, не требующие дополнительной защиты (самозащитные порошковые проволоки), порошковые проволоки для подводной, дуговой (электрогазовой) и электрошлаковой сварки с принудительным формированием металла швов, а также для десульфурации и легирования металлических расплавов.

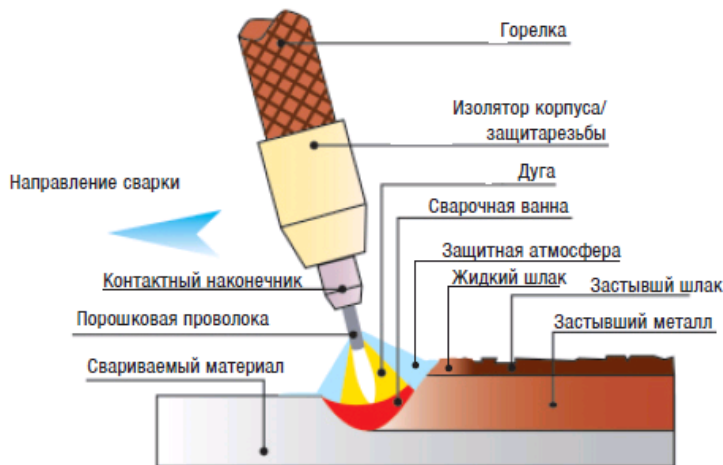


Рисунок 1.4 – Схема дуговая сварка с использованием порошковой проволоки

При сварке стыков труб при любых диаметрах поперечного сечения и при толщине стенок 3 миллиметра и более возможно применение механизированную сварки в среде  $\text{CO}_2$  газа. Схема данного вида сварки представлена на рисунке 1.5.

При этом сварки проводятся на токах обратной полярности с использованием переносных полуавтоматов А-929С (А-1011), А-825М, А-547 и др.

Для осуществления механизированной сварки в среде  $\text{CO}_2$  газа требуется следующее оборудование: механизм, подающий проволоку, шкаф управления процессом сварки, осушитель защитного газа, катушка для хранения проволоки, баллон с  $\text{CO}_2$ , площадка для подогревания баллона с газом, источник сварочного тока, редуктор.

Присадочная проволока должна подбираться с учетом марки свариваемых труб. Диаметр поперечного сечения сварочной проволоки – 1,2 миллиметра. При выполнении швов в нижнем положении разрешено использование проволоки диаметром 1,6 миллиметров.

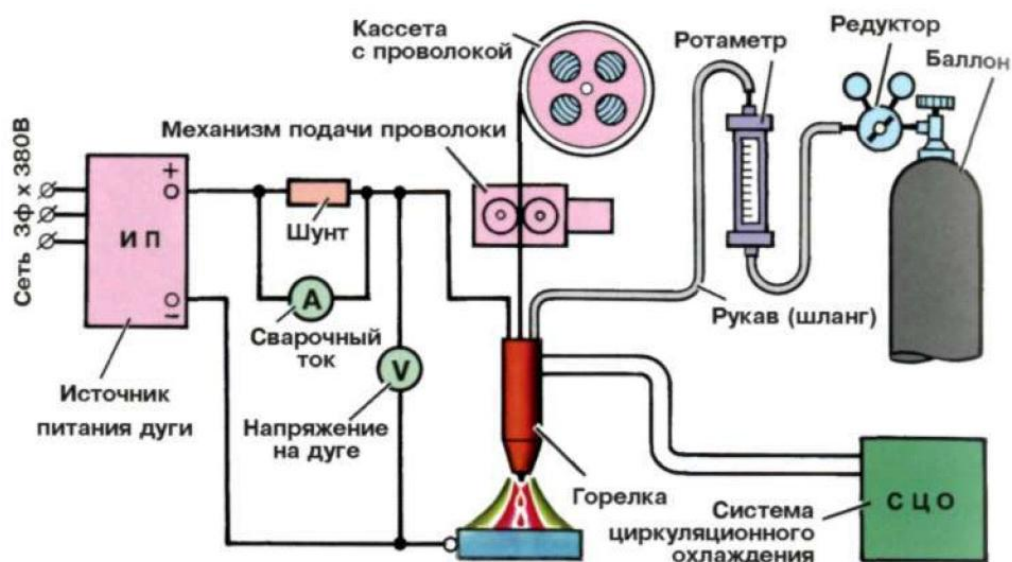


Рисунок 1.5 – Схема сварки в среде защитного газа с использованием электродной проволоки

Достоинствами сварки в среде  $\text{CO}_2$  газа являются относительно высокая производительность процесса сварки, простота реализации способа, возможность выполнения сварки в любых пространственных положениях сварного шва.

Недостатками сварки в среде  $\text{CO}_2$  газа являются наличие эффекта разбрызгивания расплавленного металла, сниженная мобильность сварщика из-за применяемого оборудования, низкая пластичность металла в зоне сварки.

Промышленное применение дуговой сварки плавящимся электродом в защитных газах постоянно расширяется, и есть все основания полагать, что это будет происходить и в будущем. В литературных источниках [6] указано, что дуговая сварка в защитных газах наиболее распространена среди других способов сварки плавлением.

В различных сферах машиностроения доля полуавтоматической сварки с использованием проволок сплошного сечения достигает 75... 85 %. При этом процесс сварки продолжает модернизироваться путем внедрения новых технологий.

Основными задачами применения новых технологий являются увеличение показателей производительности сварочного производства, также повышения качества соединений.

## 1.6 Задачи работы

Анализ конструктивных особенностей изделия, условий его эксплуатации программы выпуска позволяет рекомендовать для сварки каркаса сварку в среде активного газа.

Таким образом, сформулируем следующие задачи работы: разработать технологический процесс импульсной механизированной сварки изделия в защитных газах; подобрать сварочное оборудование; подобрать оборудование для виброобработки; разработать оснастку для реализации данного технологического процесса; предусмотреть мероприятия по охране здоровья и жизни производственного персонала; произвести оценку экономической эффективности предложенных мероприятий.

## 2 Разработка технологического процесса сборки – сварки изделия

### 2.1 Повышение эффективности механизированной сварки

Развитие алгоритмов управления технологическими процессами позволило осуществить совершенствование различных подходов к управлению сварочной дугой. Одним из таких перспективных подходов является введение импульсов тока, с помощью которых можно осуществлять управление массопереносом электродного материала в сварочную ванну.

Многие исследователи занимались проблемой управления массопереносом электродного материала в сварочную ванну при сварке в среде защитных газов. Среди них можно выделить Сагирова Х. Н., Дюргерова Н.Г., Патона Б. Е., Ленивкина В. А., Потапьевского А. Г., Шейко П. П., Князькова А. Ф., Болдырева А. М., и др.

Уже существуют исследования [8,9] объясняющие воздействие формы осциллограммы тока на массоперенос электродного материала в среде защитных газов, благодаря которым стало возможным управлять как формой шва, так и структурой металла шва.

Управления импульсам сварочного тока позволяет:

- управлять процессом массоперенос электродного материала в сварочную ванну;
- снижать потери электродного материала на угар и разбрызгивание;
- осуществлять выполнение сварки в разных пространственных положениях.

Развитие элементной базы в радиоэлектронике привело к появлению силовых транзисторов, отличающихся высоким быстродействием. Это позволило физически реализовать подходы импульсного управления массопереносом электродного материала и стабилизации устойчивости горения дуги.

Алгоритм импульсного управления заключается в следующем:

1) Сначала происходит дуговой разряд, в результате которого образуется крупная капля расплавленного электродного материала, и одновременно с этим расплавленный металл из сварочной ванны, под действием давления дуги, вытесняется из-под электрода.

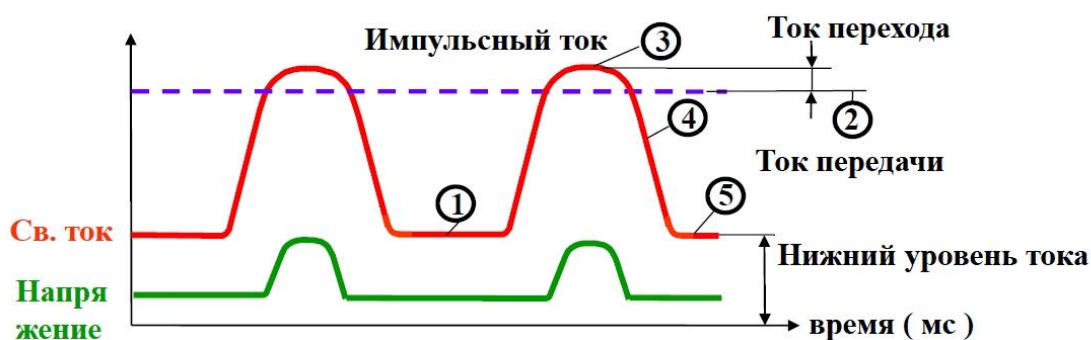
2) Затем производится снижение тока в течение временного периода  $t_{\pi}$  равный 3-4 миллисекундам. За этот период времени давление паров на каплю электродного материала снижается и капля приближается к сварочной ванне с расплавленным металлом.

3) При коротком замыкании в течение 1 миллисекунды значение сварочного ток резко понижают. Это необходимо для обеспечения электродной капли со сварочной ванной. После этого напряжение дуги восстанавливают до исходных значений, а ток короткого замыкания растет на протяжении 2-4 миллисекунд.

4) В конце временного периода короткого замыкания на протяжении 1 миллисекунды сварочный ток понижают для обеспечения разрыва перемычки между расплавленной каплей электрода и проволокой без удара газодинамического характера.

5) Затем напряжение дуги восстанавливается до исходных значений. В некоторых случаях возможно кратковременное поддержание повышенного значения напряжения, для обеспечения надежного зажигания дуги.

Данный алгоритм управления электрическими процессами при сварке в  $\text{CO}_2$  газе обеспечивает снижения эффекта разбрызгивания металла и способствует устойчивому горению дуги.



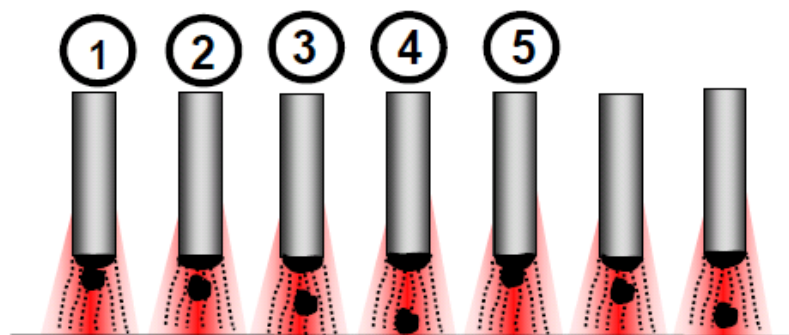


Рисунок 2.1 – Схема импульсной сварки

Первые алгоритмы управления дуговой сваркой, основанные на регулировании сварочного тока были предложены Зайцевым М. П. в начале 50-х годов прошлого столетия. С тех пор было опубликовано множество научных статей на тему применения импульсных методов при управлении дуговой сваркой.

Основными достоинствами импульсно-дуговой сварки являются:

- возможность обеспечения мелкокапельного массопереноса электродного материала при значениях сварочного токах намного меньше критических;
- возможность уменьшения вложения тепла металл при требуемой глубине проплавления, что существенно снижает эффект термических напряжений и термических деформаций свариваемых деталей;
- снижение сложности сварки при различных пространственных положениях сварного соединения;
- возможность повышения качества металла сварного шва и его физико-механических свойств.

Основная идея алгоритмов управления массопереносом электродного металла заключается в воздействии на различные величины и время приложения сил, отвечающих за образование электродной капли и ее перенос в сварочную ванну.

Сейчас используются различные принципы управления переносом электродного материала в зону сварки:

- Управление механическими воздействиями на электродную проволоку для придания ей движения в требуемые промежутки времени [11, 12].
- Управление электрическими параметрами процесса дуговой сварки в среде защитных газов [13, 14, 15].
- Управление силой потока защитного газа, оказывающего воздействие на расплавленную каплю электрода [16].

## 2.2 Описание устройства для импульсной сварки

Устройство [17] для сварки (рис. 2.2) состоит из источника 1 постоянного тока, к положительному выводу которого подсоединены включенные последовательно коммутирующий дроссель 2, силовой тиристор 3, резистор 4, и сварочный дроссель 5. Через зарядный тиристор 11, а катод второго диода 10 соединен с анодом третьего диода 13, причем катод последнего соединен с катодом силового тиристора 3, при этом первая обкладка фильтрующего конденсатора 12 подключена к положительному выводу источника 1; вторая обкладка фильтрующего конденсатора 12 подключена к точке соединения катода второго диода 10 и анода третьего диода 13, а точка соединения анода второго диода 10 и катода зарядного тиристора 11 подключена к отрицательному выводу источника 1. Управление устройством осуществляется схемой 14 управления.

Ниже, на рисунке 2.3 показаны осциллограммы сварочного тока и напряжения дуги при импульсном управлении сваркой. Сначала происходит короткое замыкание (поз. 1) в результате чего возбуждается дуга на прямой полярности (поз. 2). Затем начинается дозирование энергии на расплавление одной капли электродного материала. Затем сварочную дугу обрывают (поз 3). Капля электродного материала под действием сил поверхностного натяжения и сил тяжести располагается соосно с электродом, что облегчает перенос электродного металла при коротком замыкании. В момент начала

короткого замыкания (поз. 4) полярность сварочного тока меняют на обратную. После возбуждения дуги на обратной полярности (поз 5) дозируют энергию на расплавление одной капли причем учитывая различные условия плавления электрода на прямой и обратной полярности, время горения дуги на обратной полярности устанавливают в 1,3...1,5 раза больше, чем на прямой полярности. По окончании дозирования дугу вновь обрывают (поз 6). Далее весь цикл повторяется.

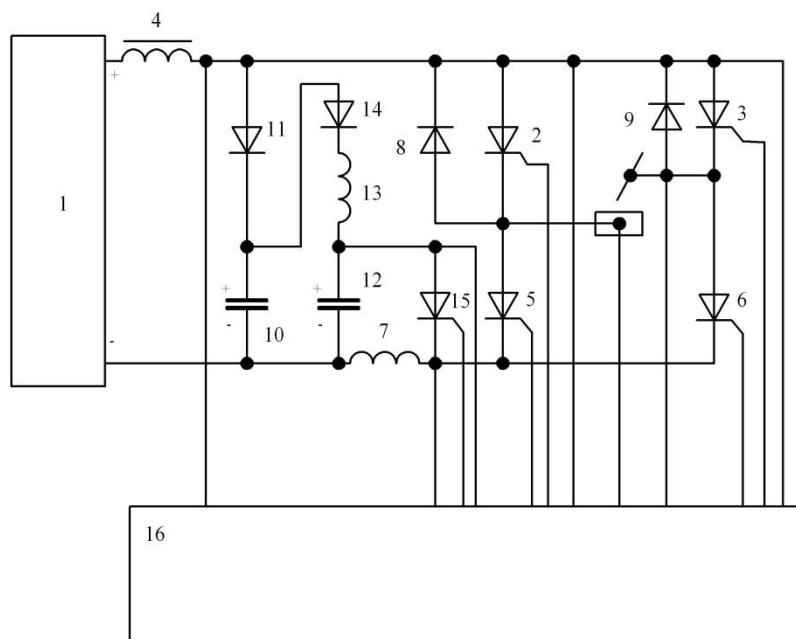
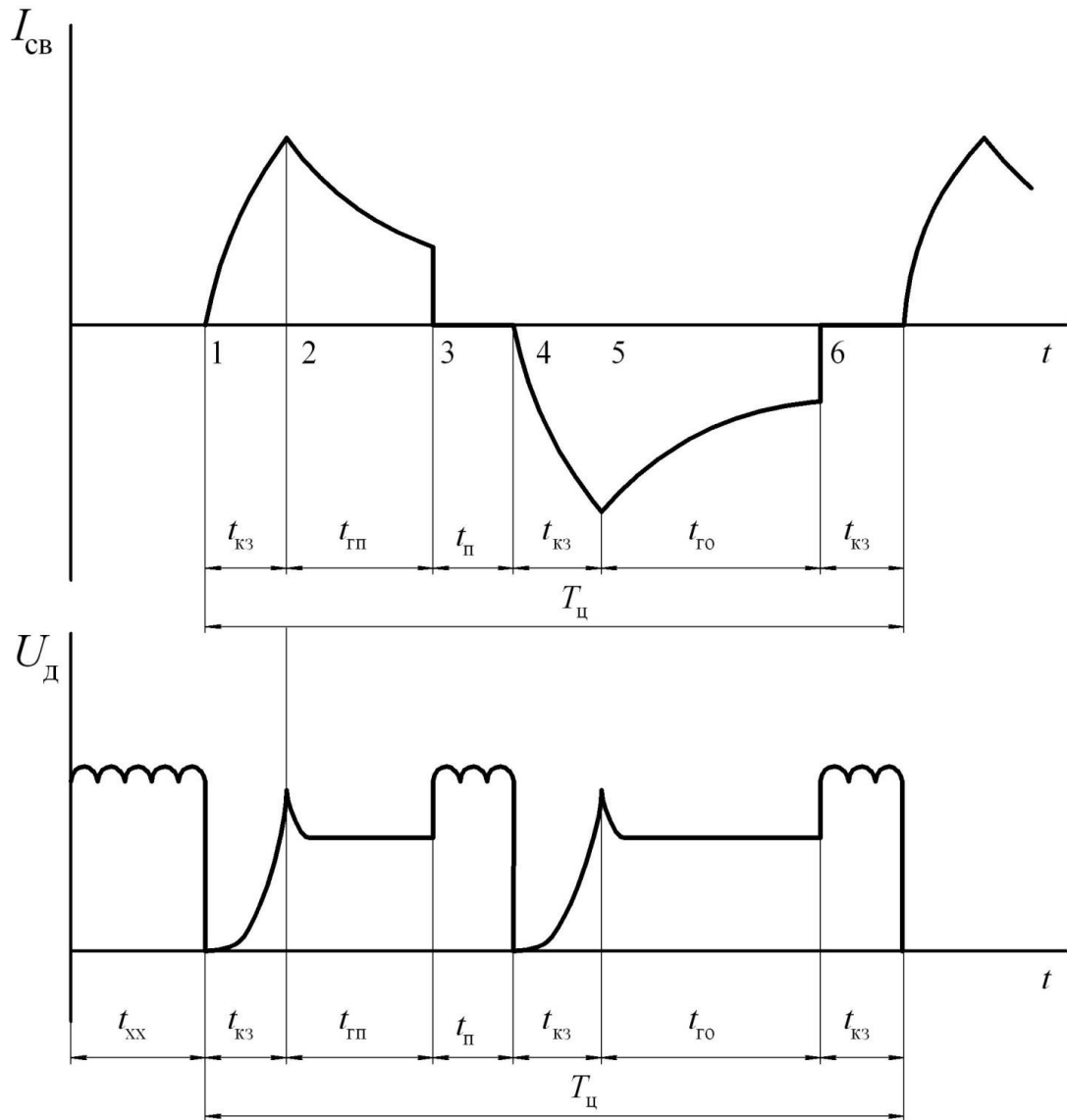


Рисунок 2.2 – Принципиальная схема устройства

Включение силовых тиристоров 2 и 6 обеспечивает прямую полярность на дуге и в дальнейшем они условно именуется как тиристоры прямой полярности, а силовые тиристоры 3 и 5 соответственно как тиристоры обратной полярности, два диода 8 и 9, шунтирующие силовые тиристоры анодной группы в обратном направлении, конденсатор фильтра 10, нижняя обкладка которого подключена к отрицательному полюсу источника питания 1, а верхняя через блокирующий диод 11 — к анодной группе силовых тиристоров преобразователя, коммутирующий конденсатор 12, нижняя обкладка которого подключена к отрицательному полюсу источника питания, а верхняя через зарядный дроссель 13 и блокирующий диод 14 — к верхней обкладке конденсатора фильтра 10, а через вспомогательный



тиристор 15 — к катодной группе тиристорov преобразователя блок управлений тиристорами 16.



$t_{кз}$  — временной период в течении которого происходит короткое замыкание дугового промежутка;  $t_{хх}$  — временной период холостого хода;  $t_{гп}$  — временной период в течении которого дуга горит на токе прямой полярности;  $t_{го}$  — временной период в течении которого дуга горит на токе обратной полярности;  $t_{п}$  — временной период паузы ставочного тока;  $T_{ц}$  — временной период в течении которого происходит расплавление и массоперенос электродного материала

Рисунок 2.3 – Осциллограммы сварочного тока и напряжения дуги

Таким образом, определенные параметры режима сварки для толщин 0,8-1,0 мм согласно [26] следующие. Частота импульсов 70 Гц, при расстоянии между захватами 150 мм, скорости сварки 10 мм/с, напряжении холостого хода источника 34 В.

Контроль качества, как и в базовой технологии, включает в себя визуальный контроль, 100%: непровары, трещины, шлаковые включения не допускаются.

### 3 Оборудование.

Для выполнения швов дуговой сваркой в среде  $\text{CO}_2$  используют как стандартное, так и специализированное сварочное оборудование. В том числе для сварки узлов кузова на конвейере применяется шланговый полуавтомат для дуговой сварки в среде защитных газов типа Origo MIG C240 PRO / C240s PRO, рисунок 1.2 или подобные, рисунок 1.3.



Рисунок 3.1 - Сварочный полуавтомат Origo MIG C240 PRO

## 4 Безопасность и экологичность проекта.

### 3.1 Технологическая характеристика объекта

В проектной технологии предлагается заменить способ ручной дуговой сварки штучными электродами на механизированную сварку с защитных газах с импульсной подачей проволоки. Как показывает практика, одним из путей улучшения санитарно-гигиенических характеристик дуговой сварки как раз и является применение импульсных источников питания, которые позволяют снизить избыточную энергию дуги, осуществлять управление переносом электродного металла, уменьшить его разбрызгивание. Таким образом уменьшается выделение в воздух рабочей зоны вредных веществ в составе сварочного аэрозоля. Становится возможным повышать качество сварных соединений, управлять геометрическими параметрами сварного шва, снижать энерго- и ресурсозатраты на процесс сварки и, предположительно, снижать выделение вредных веществ в воздух рабочей зоны. Последнее остается весьма актуальной задачей при решении проблемы защиты рабочих и окружающей среды от неизбежных вредных выделений сварочных аэрозолей, особенно при применении легированных электродных проволок.

Проектная технология сварки предусматривает выполнение следующих операций:

- 1) Подготовка кромок труб;
- 2) Сборка каркаса, прихватка, контроль;
- 3) Сварка;
- 4) Контроль качества сварки

Таблица 4.1 - Технологический паспорт объекта

Наименование технологической операции, выполняемые работы	Должность работника, выполняющего данную технологическую операцию	Оборудование, устройства и приспособления, применяемые при выполнении технологической операции	Вещества и материалы, применяемые при выполнении технологической операции
1	2	3	4
1. Подготовка кромок труб	Слесарь-сборщик, электросварщик на автоматических и полуавтоматических машинах	1) вращатель 2) плазменно-воздушный резак 3) Щётка металлическая 4) машинка угловая шлифовальная	1) рукавицы 2) круг абразивный 3) ацетилен 4) кислород
2. Сборка, прихватка, контроль	Электросварщик на автоматических и полуавтоматических машинах	1) центратор наружный 2) сварочный полуавтомат Сварог MIG 350 3) стропы 4) шаблон УШС-3 5) линейка металлическая 6) машинка угловая шлифовальная	7) проволока Св-08Г2С Ø 1,2 мм 8) газ углекислый
3. Сварка	Электросварщик на автоматических и полуавтоматических машинах	1) сварочный полуавтомат Сварог MIG 350 2) стропы 3) шаблон УШС-3 4) машинка угловая шлифовальная	1) проволока Св-08Г2С Ø1,2 мм 2) газ углекислый
4. Контроль качества сварки	Дефектоскопист	1) лупа х4 2) шаблон сварщика УШС-3 3) стенд гидроиспытательный	-

## 4.2 Персональные риски, сопровождающие внедрение проектной технологии в производство

Таблица 4.2 –Профессиональные риски, сопровождающие осуществление проектной технологии

Наименование технологической операции, выполняемые работы	Опасные и вредные производственные факторы, сопровождающие осуществление проектной технологии	Источник появления опасного или вредного производственного фактора
1	2	3
1. Подготовка кромок труб	<ul style="list-style-type: none"> <li>- острые кромки, заусенцы и шероховатости, присутствующие на поверхностях заготовок, инструмента и оборудования;</li> <li>- подвижные части механизмов, производственного оборудования и машин</li> <li>- повышенное значение напряжения в электрической цепи, для которой присутствует риск замыкания через тело человека</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>1) вращатель</li> <li>2) плазменно-воздушный резак</li> <li>3) Щётка металлическая</li> <li>4) машинка угловая шлифовальная</li> </ul>
2. Сборка, прихватка, контроль	<ul style="list-style-type: none"> <li>- острые кромки, заусенцы и шероховатости, присутствующие на поверхностях заготовок, инструмента и оборудования;</li> <li>- подвижные части механизмов, производственного оборудования и машин</li> <li>- повышенное значение напряжения в электрической цепи, для которой присутствует риск замыкания через тело человека;</li> <li>- повышенное значение напряжения в электрической цепи, для которой присутствует риск замыкания через тело человека;</li> <li>- высокая температура нагрева поверхности оборудования, заготовок и сварочных материалов;</li> <li>- повышенное значение уровня инфракрасной радиации в рабочей зоне</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>1) центратор наружный</li> <li>2) сварочный полуавтомат Сварог MIG 350</li> <li>3) стропы</li> <li>4) шаблон УШС-3</li> <li>5) линейка металлическая</li> <li>6) машинка угловая шлифовальная</li> </ul>

1	2	3
3. Сварка	<ul style="list-style-type: none"> <li>- острые кромки, заусенцы и шероховатости, присутствующие на поверхностях заготовок, инструмента и оборудования;</li> <li>- подвижные части механизмов, производственного оборудования и машин</li> <li>- повышенное значение напряжения в электрической цепи, для которой присутствует риск замыкания через тело человека;</li> <li>- повышенное значение напряжения в электрической цепи, для которой присутствует риск замыкания через тело человека;</li> <li>- высокая температура нагрева поверхности оборудования, заготовок и сварочных материалов;</li> <li>- повышенное значение уровня инфракрасной радиации в рабочей зоне</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>1) сварочный полуавтомат (Сварог MIG 3502) стропы</li> <li>3) шаблон УШС-3</li> <li>4) машинка угловая шлифовальная</li> </ul>
4. Контроль качества сварки	<ul style="list-style-type: none"> <li>- острые кромки, заусенцы и шероховатости, присутствующие на поверхностях заготовок, инструмента и оборудования;</li> <li>- подвижные части механизмов, производственного оборудования и машин</li> <li>- повышенное значение напряжения в электрической цепи, для которой присутствует риск замыкания через тело человека</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>1) лупа х4</li> <li>2) шаблон сварщика УШС-3</li> <li>3) стенд гидроиспытательный</li> </ul>

#### 4.3 Предлагаемые мероприятия по снижению профессиональных рисков в ходе внедрения в производство проектной технологии

Таблица 4.3 - Методы и средства снижения воздействия опасных и вредных производственных факторов

Опасные и вредные производственные факторы, сопровождающие осуществление проектной технологии	Наименование предлагаемого организационного мероприятия и технического средства, осуществляющего защиту, снижение и устранение данного опасного и вредного производственного фактора	Наименование средства для осуществления индивидуальной защиты работника
1	2	3
- Острые кромки, заусенцы и шероховатости, присутствующие на поверхностях заготовок, инструмента и оборудования	Проведение периодического инструктажа по вопросам техники безопасности	Перчатки, спецодежда.

- Подвижные части механизмов, производственного оборудования и машин	Нанесение предостерегающих надписей, соответствующая окраска, применение ограждения	-
- Высокая температура нагрева поверхности оборудования, заготовок и сварочных материалов	Проведение периодического инструктажа по вопросам техники безопасности	Спецодежда, перчатки
- Повышенное значение напряжения в электрической цепи, для которой присутствует риск замыкания через тело человека	Устройство и периодический контроль заземления электрических машин и изоляции	-
- Повышенное значение уровня инфракрасной радиации в рабочей зоне	Осуществление экранирования зоны сварки с использованием щитов	Спецодежда, маска сварщика

#### 4.4 Предлагаемые мероприятия по обеспечению пожарной безопасности разрабатываемого технологического объекта

Таблица 4.4 - Технические средства, обеспечивающие пожарную безопасность технологического объекта

Наименование первичного средства для осуществления тушения	Наименование мобильного средства для осуществления тушения	Наименование стационарных систем и установок для осуществления тушения	Наименование пожарной автоматики	Наименование пожарного оборудования, применяющегося для тушения	Наименование средств индивидуальной защиты и спасения людей, применяющихся при тушении	Наименование пожарного инструмента	Наименование пожарной сигнализации, связи и систем оповещения
Ящики с песком, кошма, огнетушитель	-	-	-	-	План эвакуации,	Лопата, багор, топор	кнопка извещения о пожаре



Таблица 4.5 - Идентификация классов и опасных факторов пожара

Участок, подразделение	Оборудование	Класс пожара	Опасные факторы пожара	Сопутствующие проявления факторов пожара
Участок, на котором осуществляется сварка трубопровода	Установка для индукционного нагрева, источник питания сварочной дуги	пожары, которые происходят за счет воспламенения и горения веществ и материалов на электроустановках, запитанных электрическим напряжением (Е)	Пламя и искры; тепловой поток; повышенная температура окружающей среды; повышенная концентрация токсичных продуктов горения и термического разложения; уменьшение концентрации кислорода; снижение видимости в дыму	замыкания на проводящих токе частях технологических установок, агрегатов изделий высокого напряжения; термохимическое действие используемых при пожаре огнетушащих веществ, на предметы и людей

Таблица 4.6 – Проведение организационных и технических мероприятий по обеспечению пожарной безопасности

Наименование технологического процесса	Реализуемое организационное или техническое мероприятие	Требования по обеспечению пожарной безопасности
Подготовка кромок, сборка каркаса, сварка каркаса и контроль качества сварных соединений	Проведение ознакомительных мероприятий с рабочим персоналом и служащими, целью которых является доведение до них правил пожарной безопасности, использования средств наглядной агитации по пожарной безопасности. Учения по обеспечению пожарной безопасности с производственным персоналом и служащими	Необходимо обеспечить достаточное количество первичных средств пожаротушения, применение защитных экранов с целью ограничения разлёта искр.

4.5 Оценка экологической безопасности разрабатываемого  
технологического объекта

Таблица 4.7 – Идентификация экологических факторов технического объекта

Реализуемый технологический процесс	Операции, входящие в состав технологического процесса	Негативное воздействие технического объекта на атмосферу	Негативное воздействие технического объекта на гидросферу	Негативное воздействие технического объекта на литосферу
Подготовка кромок, сборка каркаса, сварка каркаса и контроль качества сварных швов и околовшовной зоны	Подготовка стыка, сборка труб под сварку, выполнение сварки, контроль качества сварных швов и околовшовной зоны	Выделяемые при сварке газообразные частицы и сажа	Проявитель и закрепитель рентгеновских снимков	Бумажная и полиэтиленовая упаковка от вспомогательных материалов; бытовой мусор, преимущественно стальной металлолом .

Таблица 4.8 – Организационно-технические мероприятия обеспечивающие снижение негативного антропогенного воздействия технического объекта на окружающую среду

Наименование технического объекта	Сварка трубопровода
Мероприятия, позволяющие снизить негативное антропогенное воздействие на литосферу	Следует предусмотреть установку контейнеров, позволяющих проводить селективный сбор производственных отходов и бытового мусора. Необходима установка отдельного контейнера для сбора металлолома. На контейнеры следует нанести соответствующие надписи. Необходимо проведение инструктажа среди рабочих сварочного участка по вопросу правильного складывания мусора и отходов в контейнеры.

#### 4.6 Заключение по разделу

В процессе выполнения данного раздела выпускной квалификационной работы выявлены производственные факторы представляющие опасность для рабочих сварочного участка и окружающей среды.

Выполнен анализ возможных вариантов их устранения и снижения воздействия. Анализ показал, что применяемые на предприятии стандартные средства обеспечения безопасности и санитарии производства обеспечат безопасность рабочих и окружающей среды.

Разрабатывать специальные и дополнительные средства защиты не нужно.

Для устранения угрозы окружающей среде необходимо особое внимание обратить на соблюдение технологического регламента, производственной санитарии т.д.

## 5 Экономическая эффективность проекта

Базовый вариант изготовления каркаса ворот предусматривает ручную дуговую сварку штучными электродами. Разработан проектный вариант который предусматривает применение ручной механизированной сварки в среде CO<sub>2</sub> проволокой Св08Г2С диаметром 1,2 мм.

Характеристика сравниваемых вариантов представлена в таблице 5.1. Здесь указаны недостатки базового варианта, и как они будут устранены в проектном.

Сравнительная характеристика базового варианта и проектного представлена в таблице 5.1. Здесь указаны недостатки базового варианта, и как они будут устранены в проектном.

Таблица 5.1.

Базовый вариант	Проектный вариант
Низкая производительность труда	При механизированной наплавке ток больше, увеличена скорость сварки.
Сварщик контролирует множество параметров технологического процесса, нужен квалифицированный сварщик.	Механизирована подача присадки, контролируется меньшее количество параметров, экономим ФЗП.

### 5.1 Исходные данные для экономического обоснования

#### сравниваемых вариантов

Исходные данные необходимые для проведения расчетов, занесены в таблицу 5.2.

## 5.1 Исходные данные для расчетов

Исходные данные отражены в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Исходные данные

№ п/п	Показатели	Усл. обозн.	Ед. изм.	Варианты	
				Баз.	Проект.
1	2	3	4	5	6
1	Программа годовая наплавки лопастей	Нпр	шт	100	100
2	Цена присадки.	Цэл	Руб/кг	78	64
3	Часовая тарифная ставка	Сч	Руб/час	74,89	53,16
4	Значение коэффициента, устанавливающего размер доплат к основной заработной плате	Кд	-	1,88	1,88
5	Значение коэффициента, устанавливающего размер отчислений на дополнительную заработную плату	Кдоп	%	10	10
6	Значение коэффициента, учитывающего размер отчислений на социальные нужды.	Осн	%	30	30
7	Кэф. транспортно-заготовительных расходов	ктз	-	1,05	1,05
8	Рыночная стоимость применяемого технологического оборудования	Цоб	Руб	85000	270000
9	Установленная норма амортизационных отчислений на используемое в технологическом процессе оборудование	На	%	18	18
10	Рыночная цена флюса	Цфл	Руб/кг	-	28
11	Значение коэффициента полезного действия технологического оборудования	КПД	-	0,78	0,8
12	Стоимость расходуемой на проведение технологии электрической энергии	Цээ	Руб/кВт	2,2	2,2
13	Удельный расход защитного газа	Узг	М <sup>3</sup> /час	50	-
14	Стоимость защитного газа	Цзг	Руб/м <sup>3</sup>	50	-
15	Стоимость аренды площади	Сэкспл	Руб/м <sup>2</sup>	1800	1800
17	Площадь, которая занята технологическим оборудованием	S	М <sup>2</sup>	8	11
18	Стоимость приобретения производственных площадей	Цпл	Руб/м <sup>2</sup>	3000	3000

Продолжение таблицы 5.2

1	2	3	4	5	6
19	Принятая величина коэффициента затарт по демонтажу оборудования базового варианта	-	%	2	2
20	Значение коэффициента, который учитывает цеховые расходы	Кцех		2,50	2,50
21	Значение коэффициента, который учитывает заводские расходы	Кзав		1,8	1,8
22	Принятое значение нормативного коэффициента эффективности капитальных вложений	Ен	-	0,33	0,33
23	Норма амортизационных отчислений на площадь	Напл	%	2	2

### 5.2 Вычисление времени на операцию наплавки

Для определения временных затрат на выполнение операций технологического процесса используем расчётную зависимость:

$$t_{шт} = t_{маш} + t_{всп} + t_{обсл} + t_{отл} + t_{п-з}, \quad (5.1)$$

где  $t_{шт}$  – общее время, которое затрачивает персонал на выполнение операций технологического процесса;

$t_{маш}$  – время, которое затрачивает персонал непосредственно на выполнение сварочных операций;

$t_{всп}$  – время, которое затрачивает персонал на подготовку к работе сварочного оборудования и составляет 10% от  $t_{маш}$ ;

$t_{обсл}$  – время, которое затрачивает персонал на обслуживание, текущий и мелкий ремонт сварочного оборудования и составляет 5%  $t_{маш}$ ;

$t_{отл}$  – время, которое затрачивает персонал на личный отдых, составляет 5%  $t_{маш}$ ;

$t_{п-з}$  – время на подготовительно – заключительные операции, 1%  $t_{маш}$ .

Машинное время рассчитаем по зависимости:

$$t_o = \frac{60 * M_{напл.мет} * L_{ш}}{I_{св.} * \alpha_{напл}}, \quad (5.2)$$

где:  $M_{напл.мет}$  – масса наплавленного металла, кг/м;

$L_{ш}$  – протяженность сварных швов в корпусе, м;

$I_{св}$  – значения параметров тока сварки, А;

$\alpha_{напл}$  – коэффициент наплавки, примерно 9 Г/А\*час.

Для определения веса наплавленного металла воспользуемся зависимостью:

$$M_{напл.мет} = \rho \cdot F_H \cdot 10^{-3} \quad (5.3)$$

где  $\rho$  – плотность стали, г/см<sup>3</sup> (для стали  $\rho = 7,8$  г/см<sup>3</sup>);

$F_H$  – поперечного сечение валика, мм<sup>2</sup>.

$$\begin{aligned} F_H &= F_1 + F_2 + F_3 + F_4 + F_5 + F_6 = 21 + 24 + 27 + 27 + 30 + 33 = \\ &= 129 \text{ мм}^2. \end{aligned}$$

Общая длина наплавленных валиков на лопасть, рассчитанная согласно данным чертежа дефектного изделия, составит 13551,85 см.

Подставляя данное значение в 5.3 вычислим:

$$M_{напл.мет.б} = 7,8 \cdot 129 \cdot 10^{-3} = 1,006 \text{ кг/м.}$$

Подставляя полученное значение длины шва в 5.2 определим машинное время, расходуемое производственным персоналом на сварку всех обечаек корпуса

$$t_{об} = \frac{60 \cdot 1,006 \cdot 135,518}{200 \cdot 9} = 4,81 \text{ час} = 288,75 \text{ мин.}$$

Зависимость для расчета машинного времени автоматической сварки несколько отличается от 5.2.

$$t_o = \frac{60 \cdot L_{ш}}{V_{св}} \quad (5.4)$$

где  $V_{св}$  – скорость автоматического перемещения сварочной головки, 30 м/час;

$L_{ш}$  – с учетом того, что конструкция корпуса неизменна, также неизменно, если сравнивать с базовым вариантом технологии, м.

$$t_{опр} = \frac{60 \cdot 135,518}{40} = 215,277 \text{ мин.} = 3,587 \text{ час.}$$

Подставив в (5,1) заданные значения, получим:

$$t_{штб} = 258,049 \text{ мин.} = 5,967 \text{ час.}$$

$$t_{штпр} = 266,849 \text{ мин.} = 4,447 \text{ час.}$$

### 5.3 Капитальные вложения в оборудование

Расчётное определение величины капитальных затрат, сопровождающих реализацию технологии производим с использованием следующей зависимости:

$$K_{общ} = K_{пр} + K_{соп} \quad (5.5)$$

где:  $K_{пр}$  – прямые капитальные вложения в оборудование, руб.;

$K_{соп}$  – сопутствующие капитальные вложения в оборудование, руб.

Прямые капитальные вложения могут быть определены согласно зависимости:

$$K_{пр} = \sum C_{об} * k_з \quad (5.6)$$

где  $\sum C_{об}$  – суммарная цена оборудования, руб.;

$k_з$  – коэффициент загрузки оборудования.

Количество оборудования определяем с использованием формулы:

:

$$n_{об.расчетн} = \frac{N_{пр} * t_{шт}}{\Phi_{эф} * 60} \quad (5.7)$$

где:  $N_{пр}$  – принятое значение годовой программы, шт.;

$t_{шт}$  – затрачиваемое штучное время на сварку одного изделия, мин.;

$\Phi_{эф}$  – величина эффективного фонда времени работы сварочного оборудования, час.

Для выполнения  $N_{пр}$  округлим полученное количество оборудования до целых значений в большую сторону ( $n_{об.прин}$ ).



Тогда расчётное определение величины коэффициента загрузки оборудования выполним с использованием зависимости:

$$k_3 = \frac{n_{\text{об.расчетн}}}{n_{\text{об.прин}}} \quad (5.8)$$

Величина эффективного фонда времени работы сварочного оборудования:

$$\Phi_{\text{эф}} = (D_k - D_{\text{вых}} - D_{\text{пр}}) * T_{\text{см}} * S * (1 - k_{\text{р.п}}) \quad (5.9)$$

где:  $D_k$  – количество дней в году;

$D_{\text{вых}}$  – выходные дни;

$D_{\text{пр}}$  – праздничные дни;

$T_{\text{см}}$  – продолжительность рабочей смены, час;

$S$  – количество рабочих смен;

$k_{\text{р.п}}$  – потери времени работы оборудования на ремонт и переналадку (0,06).

$$\Phi_{\text{эф.}} = (365 - 110 - 14) * 8 * 1 * (1 - 0,06) = 1812 \text{ час.}$$

$$n_{\text{об.расчетнб}} = \frac{100 * 358,049}{1812 * 60} = 0,65 \text{ шт}$$

$$n_{\text{об.расчетнпр}} = \frac{100 * 266,849}{1812 * 60} = 0,49 \text{ шт}$$

$$k_{\text{зб}} = \frac{0,65}{1} = 0,65$$

$$k_{\text{зпр}} = \frac{0,49}{1} = 0,49$$

$$K_{\text{прб}} = 85000 * 0,65 = 55250 \text{ руб.}$$

$$K_{\text{прр}} = 276000 * 0,49 = 135240 \text{ руб.}$$

Принятая величина сопутствующих капитальных вложений определяется по зависимости:

$$K_{con} = K_{монт} + K_{дем} + K_{площ} \quad (5.10)$$

$K_{монт}$  – принятое значение коэффициента расходов на монтаж оборудования;

$K_{дем}$  – принятое значение затрат на демонтаж технологического оборудования для реализации базового процесса;

$K_{площ}$  – затраты на производственные площади под новое оборудование.

$$K_{монт} = \Sigma Ц_{об} * k_{монт} \quad (5.11)$$

где:  $k_{монт}$  – значение коэффициента, учитывающего затраты на монтаж технологического оборудования для реализации проектного процесса, = 0,2.

$$K_{монт} = 276000 * 0,2 = 55200 \text{ руб.}$$

$$K_{дем} = \Sigma Ц_{об} * k_{дем} \quad (5.12)$$

где:  $k_{дем}$  – коэффициент, учитывающий расходы на демонтаж, = 0,2.

$$K_{дем} = 85000 * 0,2 = 17000 \text{ руб.}$$

Затраты на площадь, дополнительно занимаемую под новое оборудование, рассчитываем по формуле:

$$K_{площ} = S_{площ} * Ц_{площ} * g * k_3 \quad (5.13)$$

где:  $g$  – коэффициент, учитывающий проходы и проезды = 3.

$$K_{площ} = 10 * 3000 * 3 * 0,49 = 44100 \text{ руб}$$

$$K_{ОБЩ}^{БАЗ} = K_{пр} = 55250 \text{ руб.}$$

$$K_{ОБЩ}^{ПР} = 31980 + 55200 + 17000 + 44100 = 148280 \text{ руб.}$$

Расчётное определение величины удельных капитальных вложений выполняем с использованием зависимости

$$K_{уд} = \frac{K_{общ.}}{N_{пр}} \quad (5.14)$$

$$K_{уд}^{БАЗ} = 55250 / 100 = 552,5 \text{ руб.}$$

$$K_{уд}^{ПП} = 148280/100 = 1482,80 \text{ руб.}$$

#### 5.4 Расчет технологической себестоимости сравниваемых вариантов.

Затраты на материалы

$$ЗМ = ЗМ_{ОСН} + ЗМ_{ВСП}$$

Затраты на основные материалы остаются неизменными, поэтому их не учитываем

Затраты на вспомогательные материалы, используемые при реализации базового варианта технологии, определяем с использованием формулы

$$ЗМ_{СВ} = ЗМ_{СВПР} + ЗЗГ \quad (5.15)$$

Затраты на электродную проволоку

$$ЗМ_{СВПР} = Ц_{ПР} * Н_{ПР}; \quad (5.16)$$

где  $Ц_{ПР}$  – цена электродной проволоки, руб/кг;

$Н_{ПР}$  = норма расхода электродной проволоки, кг.

Норма расхода проволоки

$$Н_{ПР} = У * L \quad (5.17)$$

где –  $У$  - удельная норма расхода сварочных материалов на длины шва, кг/м;

$L$  – длина сварного шва, м.

$$У = k_p * M_{напл.мет} \quad (5.18)$$

где  $k_p$  – коэффициент расхода сварочных материалов, 1,05;

$M_{напл.мет}$  – расчетная масса наплавленного металла, 1,263 кг/м.

$$У = 1,05 * 1,006 = 1,056 \text{ кг/м.}$$

$$Н_{рПР} = 1,056 * 143,518 = 151,598 \text{ кг.}$$

$$ЗМ_{СВБ} = З_{ПР} = 78 * 151,598 = 16374 \text{ руб.}$$

Затраты на вспомогательные материалы, используемые при реализации проектного варианта технологии, определяем с использованием формулы

$$ЗМ_{СВ} = ЗМ_{СВПР} + ЗМ_{фл} \quad (5.19)$$

$$ЗМ_{СВПР} = Ц_{ПР} * Н_{ПР}; \quad (5.20)$$

$$N_{\text{ПР}} = Y * L \quad (5.21)$$

$$Y = k_{\text{р}} * M_{\text{напл.мет}} \quad (5.22)$$

$$M_{\text{напл.мет}} = \rho \cdot F_{\text{н}} \cdot 10^{-3} \quad (5.23)$$

Для многопроходной сварки принимаем, что

$$F_{\text{н}} = F_1 + F_2 + F_3 + \dots + F_n \quad (5.25)$$

где  $F_1 = (6 \div 8) \cdot d_{\text{эл.}}$  – первый проход;

$F_n = (8 \div 12) \cdot d_{\text{эл.}}$  – последующие проходы.

$$F_{\text{н}} = 32 + 40 + 40 + 40 = 152 \text{ мм}^2$$

$$M_{\text{напл.мет.пр}} = 7,8 * 152 * 10^{-3} = 1,185 \text{ кг.}$$

$$Y = 1,05 * 1,185 = 1,244 \text{ кг/м.}$$

$$N_{\text{ПР}} = 1,244 \cdot 143,518 = 178,536 \text{ кг.}$$

$$З_{\text{Мпр}} = M_{\text{СВПР}} = 64 * 178,536 = 16416 \text{ руб.}$$

Расчётное определение расходов на электроэнергию производим с использованием зависимости

$$З_{\text{э-э}} = \frac{P_{\text{об}} \cdot t_{\text{о}}}{\text{КПД}} \cdot Ц_{\text{э-э}} \quad (5.28)$$

где  $P_{\text{об}}$  – полезная мощность оборудования, кВт;

$Ц_{\text{э-э}}$  – стоимость 1 кВт·ч электроэнергии, руб/кВт·час;

КПД – коэффициент полезного действия установки.

Мощность технологических установок вычисляется по значениям  $I_{\text{св}}$  и  $U_{\text{д}}$ .

$$P_{\text{обб}} = 200 * 30 = 6000 \text{ Вт} = 6 \text{ кВт}$$

$$З_{\text{э-э}}^{\text{б}} = \frac{6 \cdot 4,812}{0,75} \cdot 2,2 = 84,70 \text{ руб.}$$

$$P_{\text{обпр}} = 600 * 30 = 18000 \text{ Вт} = 18 \text{ кВт}$$

$$З_{\text{э-э}}^{\text{ПР}} = \frac{18 \cdot 3,587}{0,8} \cdot 2,2 = 177,55 \text{ руб.}$$

Расчетное определение затрат на технологическое оборудование выполним согласно зависимости:

$$З_{об} = A_{об} + P_{т.р} \quad (5.30)$$

где  $A_{об}$  – амортизационные отчисления на оборудование, руб.;

$P_{т.р}$  – затраты на текущий ремонт оборудования, руб.;

Расчетное определение затрат на амортизацию оборудования выполним по формуле:

$$A_{об.} = \frac{Ц_{об} * На_{об} * t_{шт}}{\Phi_{эф} * 60 * 100} \quad (5.31)$$

где  $Ц_{об}$  – цена оборудования по базовому и проектному вариантам, руб.;

$На_{об}$  – норма амортизации оборудования, %;

Подставив в (5.31) необходимые значения, получим:

$$A_{об}^Б = \frac{85000 \cdot 358,04 \cdot 18}{1812 \cdot 100 \cdot 60} = 50,38 \text{ руб}$$

$$A_{об}^{пр} = \frac{276000 \cdot 266,849 \cdot 18}{1812 \cdot 100 \cdot 60} = 212,54 \text{ руб}$$

Затраты на текущий ремонт оборудования рассчитываются по формуле:

$$P_{т.р} = \frac{Ц_{об} * H_{т.р} * k_3}{\Phi_{эф} * 100} \quad (5.32)$$

где  $H_{т.р}$  – норма отчислений на текущий ремонт оборудования,  $\approx 35\%$ ;

$$P_{т.р}^Б = \frac{85000 * 35 * 0,65}{1812 * 100} = 10,67 \text{ руб.}$$

$$P_{т.р}^{пр} = \frac{276000 * 35 * 0,49}{1812 * 100} = 26,12 \text{ руб.}$$

Итого, затраты на оборудование

$$З_{об}^Б = 50,38 + 10,67 = 61,05 \text{ руб.}$$

$$З_{ОБ}^{ПР} = 121,54 + 26,12 = 147,66 \text{ руб.}$$

Расчетное определение затрат на производственные площади выполним по формуле:

$$З_{плоч} = \frac{Ц_{плоч} * S_{плоч} * Ha_{плоч} * t_{шт}}{\Phi_{эф} * 100 * 60} \quad (5.33)$$

где:  $Ц_{плоч}$  – цена  $1\text{ м}^2$  производственной площади, руб.;

$Ha_{плоч}$  – норма амортизационных отчислений на здания, %;

$S_{плоч}$  – площадь, занимаемая сварочным оборудованием,  $\text{м}^2$ .

Подставив в (5.33) необходимые значения, получим:

$$З_{плоч}^б = \frac{3000 * 8 * 2 * 358,04}{1812 * 100 * 60} = 1,58 \text{ руб.}$$

$$З_{плоч}^{пр} = \frac{3000 * 11 * 2 * 266,84}{1812 * 100 * 60} = 1,61 \text{ руб.}$$

Расчетное определение фонда заработной платы рабочих выполняющих наплавку выполним согласно зависимости:

$$\text{ФЗП} = \text{ЗПЛосн} + \text{ЗПЛдоп.} \quad (5.34)$$

Расчетное определение затраты на заработную плату выполним согласно формулы.

$$\text{ЗПЛосн} = t_{шт} \cdot Сч \cdot k_{зпл} \quad (5.35)$$

где  $Сч$  – часовая тарифная ставка рабочего, руб/час;

$t_{шт}$  – норма штучного времени, час;

$k_{зпл}$  – коэффициент начислений на основную заработную плату, 1.81.

$$\text{ЗПЛ}_{ОСН}^Б = 5,967 \cdot 74,8 \cdot 1,81 = 808,83 \text{ руб.}$$

$$\text{ЗПЛ}_{ОСН}^{ПР} = 4,447 \cdot 53,1 \cdot 1,81 = 427,88 \text{ руб.}$$

Для расчётного определения дополнительной заработной платы используем формулу:

$$ЗПЛ_{доп} = \frac{k_{\partial}}{100} \cdot ЗПЛ_{осн} \quad (5.37)$$

где  $k_{\partial}$  – коэффициент, соотношения между основной и дополнительной заработной платой, 10%.

$$ЗПЛ_{доп}^Б = 808,83 \cdot 10 / 100 = 80,88 \text{ руб.}$$

$$ЗПЛ_{доп}^{ПР} = 427,88 \cdot 10 / 100 = 42,78 \text{ руб.}$$

$$\Phi ЗПб = 808,83 + 80,88 = 889,71 \text{ руб.}$$

$$\Phi ЗПпр = 427,88 + 42,78 = 470,66 \text{ руб.}$$

Расчётное определение величины отчислений на социальные нужды производим с использованием формулы:

$$Осн = \Phi ЗП \cdot Нсоц / 100 \quad (5.38)$$

где  $Нсоц$  – коэффициент, учитывающий отчисления на социальные нужды, 30 %.

Подставив в (5.38) необходимые значения, получим:

$$О_{сн}^Б = 889,71 \cdot 30 / 100 = 266,91 \text{ руб.}$$

$$О_{сн}^{ПР} = 470,66 \cdot 30 / 100 = 141,20 \text{ руб.}$$

Расчётное определение величины технологической себестоимости производим на основании зависимости:

$$Стех = ЗМ + Зэ-э + Зоб + Зпл + \Phi ЗП + Осн \quad (5.39)$$

Подставив в (5.39) необходимые значения, получим:

$$С_{ТЕХ}^Б = 16374,00 + 84,70 + 61,05 + 1,58 + 889,71 + 266,91 = 17677,95 \text{ руб.}$$

$$С_{ТЕХ}^{ПР} = 16416,00 + 177,50 + 147,66 + 1,61 + 470,66 + 141,20 = 17354,63 \text{ руб.}$$

### 5.5 Цеховая себестоимость

Расчётное определение величины цеховой себестоимости производим на основании зависимости:

$$С_{цех} = Стех + Р_{цех}; \quad (5.40)$$

где  $R_{\text{цех}}$  – сумма цеховых расходов, руб.

$$R_{\text{цех}} = Z_{\text{осн}} \cdot k_{\text{цех}} \quad (5.41)$$

где  $k_{\text{цех}}$  – коэффициент цеховых расходов, 2,5;

$Z_{\text{осн}}$  – основная заработная плата рабочих, руб.

Подставив в (5.41) необходимые значения, получим:

$$C_{\text{ЦЕХ}}^{\text{Б}} = 17677,95 + 808,83 \cdot 2,5 = 17677,95 + 2022,07 = 19700,02 \text{ руб.}$$

$$C_{\text{ЦЕХ}}^{\text{ПР}} = 17354,63 + 427,88 \cdot 2,5 = 17354,63 + 1069,70 = 18424,33 \text{ руб.}$$

### 5.6 Заводская себестоимость

Расчётное определение величины заводской себестоимости производим на основании зависимости:

$$C_{\text{зав}} = C_{\text{цех}} + R_{\text{зав}} = C_{\text{цех}} + k_{\text{зав}} \cdot Z_{\text{осн}} \quad (5.42)$$

где  $R_{\text{зав}}$  – сумма заводских расходов, руб.

$k_{\text{зав}}$  – коэффициент общезаводских расходов, 1,8

Подставив в (5.42) необходимые значения, получим:

$$C_{\text{ЗАВ}}^{\text{Б}} = 19700,02 + 808,83 \cdot 1,8 = 19700,02 + 1455,89 = 21155,91 \text{ руб.}$$

$$C_{\text{ЗАВ}}^{\text{ПР}} = 18424,33 + 427,88 \cdot 1,8 = 18424,33 + 770,18 = 19194,51 \text{ руб.}$$

Результаты выполненных расчетов обобщим в таблице 5.3.

Таблица 5.3 – Калькуляция себестоимости изготовления одного корпуса

№ п/п	Показатели	Усл. обозн	Калькуляция, руб.	
			базов	Проект
1	2	3	4	5
1	Материалы	М	16374,00	16416,00
2	Фонд заработной платы	ФЗП	889,71	470,66
3	Отчисления на социальные нужды	$O_{\text{сн}}$	266,91	141,20
4	Затраты на оборудование	Зоб	61,05	147,66
5	Затраты на площади	Зпл	1,58	1,61
	Себестоимость технологическая	Стех	17677,95	17354,63
6	Цеховые расходы		2022,07	1069,70
	Себестоимость цеховая	Сцех	19700,02	18424,33
7	Заводские расходы		1455,89	770,18
	Себестоимость заводская	Сзав	21155,91	19194,51



## 5.7 Расчет показателей экономической эффективности работы

Величину условно-годовой экономии (ожидаемой прибыли) определим по формуле:

$$Pr_{ож.} = Э_{у.г.} = \left( C_{зав}^б - C_{зав}^{пр} \right) \cdot N_{пр} \quad (5.43)$$

Подставив в (5.43) необходимые значения, получим:

$$Э_{у.г.} = (21155,91 - 19194,51) \cdot 100 = 196100,20 \text{ руб.}$$

Для определения размера годового экономического эффекта воспользуемся формулой

$$ЭГ = \left[ \left( C_{зав}^Б + E_H \cdot K_{уд}^Б \right) - \left( C_{зав}^{ПП} + E_H \cdot K_{уд}^{ПП} \right) \right] \cdot N_{пр} \quad (5.44)$$

Подставив в (5.44) необходимые значения, получим:

$$ЭГ = \left[ (21155,91 + 0,33 \cdot 552,50) - (19194,51 + 0,33 \cdot 1482,8) \right] \cdot 100 = 151191,60 \text{ руб.}$$

Величину показателя снижения трудоемкости определим с использованием формулы:

$$\Delta t_{шт} = \frac{t_{штБ} - t_{штПР}}{t_{штБ}} \cdot 100\% \quad (5.45)$$

Подставив в (5.45) необходимые значения, получим:

$$\Delta t_{шт} = \frac{5,967 - 4,447}{5,967} \cdot 100\% = 52\%$$

Величину показателя увеличения производительности труда определим по формуле:

$$\Delta П_T = \frac{100 \cdot \Delta t_{шт}}{100 - \Delta t_{шт}} \quad (5.46)$$

Подставив в (5.46) необходимые значения, получим:

$$\Delta П_T = \frac{100 \cdot 52}{100 - 52} = 108\%$$

Величину срока окупаемости дополнительных капитальных вложений определим по формуле:

$$T_{ок} = \frac{K_{общпр}}{\mathcal{E}_{уг}} \quad (5.47)$$

$$T_{ок} = \frac{148280}{392279,20} \approx 0,5 \text{года}$$

Коэффициент сравнительной экономической эффективности

$$E_{ср} = 1/T_{ок} = 1/0,5 = 2. \quad (5.48)$$

## 5.8 Выводы по экономическому разделу

В экономическом разделе выпускной квалификационной работы были произведены расчеты с целью определения таких экономических параметров, как технологическая и заводская себестоимость наплавки лопасти.

Установлено, что проектный вариант наплавки после своего внедрения в производство даст такие эффекты, как уменьшение трудоемкости на 52 %, увеличение производительности труда на 108 %. Расчётная величина условно-годовой экономии составила 196 тыс. рублей. Величина годового экономического эффекта, полученная с учетом затрат на капитальные вложения в оборудование, составила 151 тыс. рублей. Капитальные вложения в оборудование размером 148 тыс. рублей будут окуплены за 0,5 года.

На основании вышеизложенного делаем вывод о том, что разработанная технология наплавки обладает экономической эффективностью.

На основании вышеизложенного делаем вывод о том, что разработанная технология сварки каркаса ворот ангара обладает эффективностью.

## Заключение

Базовая технология сварки предусматривает применение ручной дуговой сварки штучными электродами и обладает следующими недостатками: малая производительность сварки, низкое качество выполняемых работ по причине получения множественных дефектов.

В выпускной квалификационной работе предложены технологические мероприятия по повышению производительности и качества выполнения сварных стыков каркаса ворот ангара. В проектом варианте технологии предложено произвести замену ручной дуговой сварки на полуавтоматическую сварку проволокой сплошного сечения в среде  $\text{CO}_2$  с импульсным управлением сварочной дугой. Применение предложенных технологических решений позволит получить снижение трудоемкости сварки и повышение стабильности качества выполняемых сварных соединений.

На основании анализа научной информации был произведён анализ способов повышения эффективности механизированной сварки в углекислом газе. Разработана проектная технология сборки и сварки стыка трубопровода. В работе предусмотрены мероприятия по обеспечению безопасности труда персонала.

Для реализации разработанного техпроцесса выбран полуавтомат Origo MIG C240 PRO.

## Список используемых источников

1. Гитлевич А.Д., Этитоф А.А. Механизация и автоматизация сварочного производства [Текст] / А.Д. Гитлевич, А.А. Этитоф. – М.: Машиностроение, 1987 – 280 с.
2. Межотраслевые правила по охране труда при электро- и газосварочных работах : ПОТ РМ-020-2001 : ввод. в действие с 1 янв. 2002 г. - Москва : [б. и.], 2001. - 58 с..
3. Справочник конструктора и технолога / сост. В. М. Михин, Б. Е. Кобызов, В. В. Михайленко. - Королев : ЦНИИМАШ, 2000. - 582 с.
4. Акшенцева А. П. Структура и свойства никельмолибденовых коррозионностойких сплавов : (с атласом микроструктур) : справочник / А. П. Акшенцева. - Москва : СП Интермет Инжиниринг, 1999. - 204 с.
5. Изучение сварочного трансформатора : метод. указания к лаб. работе №4 по дисциплине "Электротехнологические установки" / сост. М. А. Бондаренко [и др.] ; науч. ред. В. М. Салтыков ; ТГУ ; Каф. "Электроснабжение промышленных предприятий". - Тольятти : ТГУ, 2003. - 13 с.
6. Косинцев В.И. Основы проектирования химических производств и оборудования / В.И. Косинцев [и др.] – Томск: Томский политехнический университет, 2013. – 395 с.
7. Действия населения в чрезвычайных ситуациях. Пособие. Под общей редакцией В.А. Владимирова. – М.: МЧС России, 1995.
8. Колганов Л. А. Сварочное производство : учеб. пособие / Л. А. Колганов. - Ростов-на-Дону : Феникс, 2002. - 504 с.
9. Спиваков В.И., Орлов Э.А. Исследование влияния деформационно-термических параметров асимметричного охлаждения на плоскостность, микроструктуру и механические свойства листов. // Фундаментальные и

- прикладные проблемы черной металлургии. Сб. научн. тр. ИЧМ. К.: — Наукова думка, 2002. — Вып. 4. — С. 321.
10. Сэйдж А. М. Металлофизический обзор высокопрочных низколегированных сталей для труб и фиттингов. // Стали для газопроводных труб и фиттингов. Труды конференции. — М.: Металлургия, 1985. — С. 38–59.
11. Выбойщик Л. М., Лучкин Р. С., Платонов С. Ю. Структурный фактор коррозионно-механической прочности сварных соединений нефтепромысловых труб // Сварочное производство. - №6 - 2008, с 12-17.
12. Масленников А. В. Разработка технологического процесса сварки неповоротных стыков трубопроводов на основе оптимизации параметров режима : диссертация ... кандидата технических наук : 05.03.06 / Масленников Александр Васильевич; [Место защиты: Рос. гос. технол. ун-т им. К. Э. Циолковского (МАТИ)] - Москва, 2008.
13. Ефименко Л. А., Капустин О. Е., Илюхин В. Ю., Коновалова О. В. — Анализ склонности трубных сталей различной категории прочности к термомеханическому старению // Сварочное производство. 2008. №1 — С. 10-12.
14. Федосеева Е. М. Повышение качества сварных соединений сталей трубного назначения для обеспечения эксплуатационной безопасности магистральных трубопроводов : диссертация ... кандидата технических наук : 05.02.10 / Федосеева Елена Михайловна; [Место защиты: Перм. гос. техн. ун-т]. - Пермь, 2011. - 140 с.
15. Уткин И. Ю. Роль микролегирующих элементов в формировании механических свойств околошовной зоны при сварке прямошовных труб большого диаметра групп прочности X70–X80: диссертация ... кандидата технических наук: 05.16.01 / Уткин Иван Юрьевич; [Место защиты: Центральный научно-исследовательский институт черной металлургии им. И. П. Бардина]. - Москва, 2016.

16. Борисов, Ю.С. Использование сверхзвуковых струй в технологии газотермического напыления / Ю.С. Борисов, С.В. Петров // Автоматическая сварка. – 1995. – № 1. – С. 41–44.
17. Величко, О.А. Лазерная наплавка цилиндрических деталей порошковыми материалами / О.А. Величко, П.Ф. Аврамченко, И.В. Молчан, В.Д. Паламарчук // Автоматическая сварка. – 1990. – № 1. – С. 59–65.
18. Шелягин, В.Д. Лазерно-микроплазменное легирование и нанесение покрытий на стали / В.Д. Шелягин, В.Ю. Хаскин, Ю.Н. Переверзев // Автоматическая сварка. – 2006. – № 2 – С. 3–6.
19. Бабинец, А.А. Влияние способов дуговой наплавки порошковой проволокой на проплавление основного металла и формирование наплавленного металла / А.А. Бабинец, И.А. Рябцев, А.И. Панфилов [и др.] // Автоматическая сварка. – 2016. – № 11. – С. 20–25.
20. Переплётчиков, Е.Ф. Плазменно-порошковая наплавка штоков энергетической арматуры / Е. Ф. Переплетчиков, И. А. Рябцев // Автоматическая сварка. – 2013. – № 4. – С. 56–58.
21. Жариков, С.В. Влияние экзотермической смеси в составе сердечника самозащитной порошковой проволоки на параметры наплавленного валика / С.В. Жариков // Вісник східноукраїнського національного університету ім. В. Даля. – Луганск: СНУ, 2010. – № 2. – С. 102–105.
22. Гофман, Я. Восстановление сменных деталей с помощью лазерных технологий // Автоматическая сварка. – 2001. – № 12. – С. 37–38.
23. Гуляев А.П. Металловедение. Учебник для вузов. 6-е изд., перераб. и доп. - М.: Металлургия, 1986. - 544 с.
24. Г. И. Шатунова; В. Б. Ручкин; Е. Ю. Нарусова; А. В. Гаврилова Безопасность жизнедеятельности в дипломных проектах М.: Машиностроение, 2009. – 250 с.
25. Мазур И.И., Молдаванов О.И. Курс инженерной экологии: Учебник для вузов / Под ред. И.И. Мазура – М.: Высшая школа, 1999. – 447 с.

26. Лендел, И.В. Влияние импульсной подачи электродной проволоки на формирование и износостойкость наплавленного валика, а также потери электродного металла при дуговой наплавке в углекислом газе / И.В. Лендел, С.Ю. Максимов, В.А. Лебедев, О.А. Козырко // Автоматическая сварка. – 2015. – № 5–6. – С. 46–48.