

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 технологического процесса изготовления корпуса сточной цистерны»

Обучающийся

О.А. Кожекина

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к. т. н., доцент А.Ю. Краснопевцев

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

Консультант (ы)

к. ф.-м.н., доцент Д.А. Романов

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

к. э. н., доцент О.М. Сярдова

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

Тольятти 2025

Аннотация

Конструкции, которые будут работать в условиях крайнего севера, необходимо изготавливать из хладостойких конструкционных сталей.

Металлургическими предприятиями разработаны хладостойкие стали бейнитного класса, но основной проблемой при их разработке явилось обеспечение предотвращения хрупких разрушений в сварных швах при предельно низких климатических температурах. Так как в процессе сварки кромки основного металла подвержены температурным изменениям, происходит образование крупнозернистой аустенитной структуры в ЗТВ, что приводит к низким параметрам трещиностойкости.

Выпускная квалификационная работа посвящена решению вопросов повышения производительности и качества при сварке конструкций из хладостойкой стали.

В работе рассмотрены две технологии изготовления цистерны сточной воды из стали марки D 36, базовая технология и проектная технология сварки с применением дополнительной горячей проволоки (ДГП).

Предложено оборудование для возможной реализации проектной технологии.

Произведён анализ опасных и вредных производственных факторов, присущих разрабатываемому объекту.

Определена оценка экономического эффекта и доказано достижение поставленной цели.

Проанализированы наиболее производительные способы дуговой сварки и рассмотрены известные решения ранее выполненных разработок и исследований, тематика которых близка к исходным данным ВКР.

Пояснительная записка состоит из 70 страниц, 7 рисунков и 11 таблиц.

Графическая часть включает в себя 6 листов формата А 1 и 1 лист формата А 4.

Содержание

Введение.....	5
1 Анализ состояния вопроса по изготовлению корпуса сточной цистерны из хладостойкой стали повышенной прочности	6
1.1 Сведения о конструкции	6
1.2 Данные о материале изделия	7
1.3 Анализ ранее выполненных разработок и исследований в области сварки.....	9
1.4 Формулировка задач на выполнение выпускной квалификационной работы.....	11
2 Совершенствование технологического процесса изготовления корпуса сточной цистерны.....	13
2.1 Общие указания по сборке	13
2.2 Общие требования по сварке	16
2.3 Базовая технология изготовления корпуса цистерны	18
2.4 Схемы процесса сварки с дополнительной горячей проволокой	21
2.5 Режимы сварки	23
2.6 Выбор оборудования и оснастки.....	27
2.7 Выбор сварочных материалов	31
2.8 Проектная технология изготовления корпуса цистерны	34
2.9 Контроль качества.....	37
3 Безопасность и экологичность технического объекта	38
3.1 Безопасность труда при выполнении сварочных работ	38
3.2 Производственная санитария.....	39
4 Оценка экономической эффективности.....	44
4.1 Определение стоимости основного металла	45
4.2 Норма расхода сварочных материалов	46
4.3 Стоимость сварочных материалов	49
4.4 Расчет и определение расхода электроэнергии	50
4.5 Расчет нормируемой трудоемкости	51

4.6 Расчет нормируемой трудоемкости с применением ДГП	59
Заключение	66
Список используемой литературы и используемых источников.....	68

Введение

Высокопрочные хладостойкие стали нашли широкое применение при изготовлении различных сварных конструкций, предназначенных для работы на территориях с низкой климатической температурой.

В настоящее время актуален вопрос о системном подходе к решению проблемы свариваемости хладостойких сталей повышенной прочности. Основная сложность при сварке данных сталей – это высокая склонность металла шва и зоны термического влияния к холодным трещинам.

Теме повышения сопротивляемости хладостойких сталей к образованию холодных трещин посвящено большое количество публикаций, авторами которых являются сотрудники различных НИИ.

Для повышения качества сварных соединений из хладостойких сталей внедряются усовершенствованные технологии сварки и сварочные материалы.

Повышение трещиностойкости сварных швов хладостойких судостроительных сталей возможно за счет дополнительного легирования металла шва никелем в сочетании с хромом и молибденом.

Также известно, что для сталей, работающих в условиях низких температур, высокие значения твердости и низкотемпературной ударной вязкости могут быть обеспечены после закалки и нижнего отпуска или закалки на мартенсит, однако, при изготовлении крупных металлоконструкций, выполнение термической обработки после сварки не представляется возможным.

Целью выпускной квалификационной работы является повышение производительности сварки при изготовлении конструкций из хладостойких сталей за счёт внедрения технологии, отличающейся малой погонной энергией.

1 Анализ состояния вопроса по изготовлению корпуса сточной цистерны из хладостойкой стали повышенной прочности

1.1 Сведения о конструкции

В состав корпуса любого судна, энергетической станции или буровой установки включены внутренние конструкции, которые выполняют определенные функции. Цистерна – одна из таких конструкций.

В ВКР разработана технология изготовления корпуса цистерны сточной воды.

Цистерна сточной воды является частью сточной системы предназначенной для удаления загрязнённой воды на плавучей энергетической станции входящей в состав докового комплекса проекта «Квакер – 2Д». Это подвижное плавучее сооружение технического флота, снабженное подъемно-транспортным оборудованием, механизмами для затопления и подъема, устройствами для ввода судна, системами подачи воды, газа, пара, сжатого воздуха и электроэнергии.

Устанавливается цистерна в компрессорное отделение на уровне второго дна корпуса док эллинга.

Учитывая то, что доковый комплекс будет работать в условиях низких температур, и нагрузки, которые будет испытывать конструкция в процессе эксплуатации, для изготовления цистерны была выбрана судостроительная корпусная сталь марки D 36.

Толщина листов стенок и днища цистерны 10 мм, толщина листов крыши цистерны 12 мм. Высота цистерны 2680 мм, ширина 1700 мм, длина 1630 мм. Жесткость цистерны задается поперечной системой набора из полособульбового профиля №16 б. Внутренний объем конструкции 6 м³. При формировании корпуса судна цистерна устанавливается по левому борту на полотнище второго дна. На правой стенке цистерны имеется горловина для

возможности очистки внутренней поверхности, на стенке, со стороны ДП, имеет вырез диаметром 300 мм для установки сварного насыщения.

Стенки цистерны изготовлены из листового проката и не имеют стыковых соединений, что обеспечивает хорошую геометрию и герметичность конструкции. На рисунке 1 представлен эскиз корпуса сточной цистерны в сечениях.

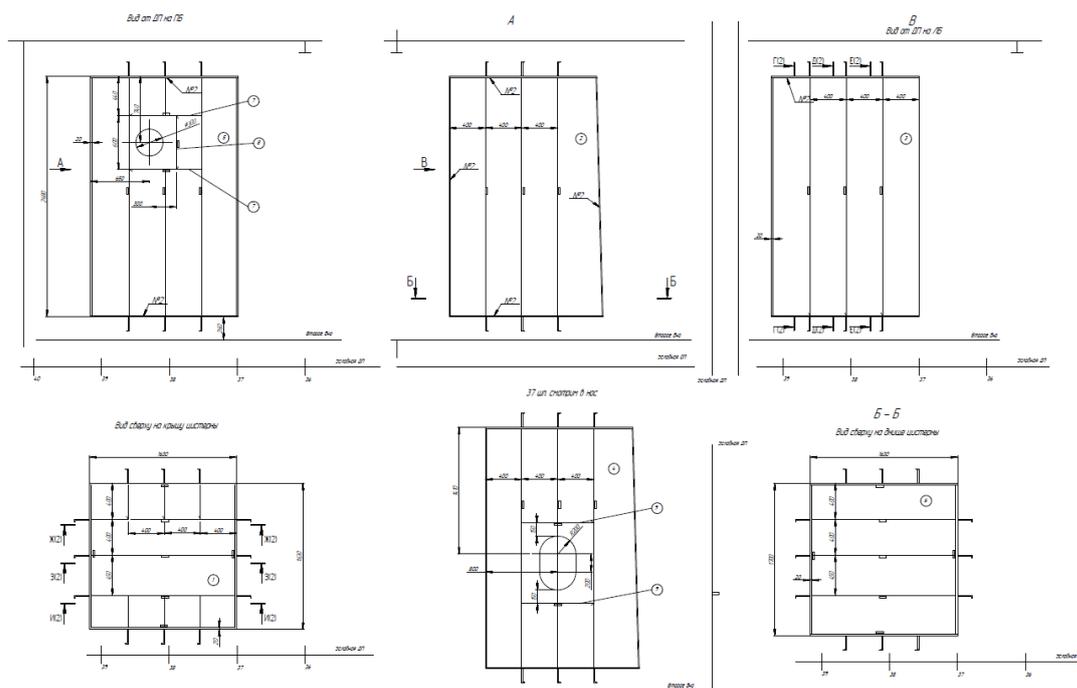


Рисунок 1 – Корпус сточной цистерны в сечениях

Согласно требованиям ГОСТ Р 58878 – 2020, внутренняя поверхность цистерны должна быть гладкой, с учётом этого, рёбра жёсткости расположены с наружной стороны конструкции.

1.2 Данные о материале изделия

Сталь D36 корпусная, повышенной прочности, перлитного класса, поставляется по ГОСТ 52927 – 2023 в виде листового проката после закалки, отпуска и испытаний. Категория стали устанавливается по температуре,

которая предусматривается для испытания образцов на ударный изгиб. Чем ниже температура испытания образцов, тем выше категория стали по хладостойкости [2].

Для того чтобы предвидеть, как могут изменяться свойства основного металла в результате тепловых воздействий на него в процессе изготовления сварной конструкции, необходимо знать его химический состав. Химический состав и механические свойства стали D36 должны соответствовать ГОСТ 5521 – 93. Химический состав стали представлен в таблице 1. Механические свойства стали представлены в таблице 2.

Таблица 1 – Химический состав стали D 36

Марка стали	Массовая доля элементов, %									
	C	Mn	Si	Cr	Cu	Ni	Mo	Al	S	P
				не более					не более	
D36	0,18	0,9 - 1,60	0,15 - 0,35	0,20	0,35	0,40	0,080	0,020 - 0,060	0,015	0,020

Таблица 2 – Механические свойства стали D 36

Марка стали	Толщина проката, мм	Временное сопротивление, МПа	Предел текучести, МПа	Относительное удлинение, %	Количество волокнистой составляющей в изломе, %	Работа удара для проката при T °C			
						+20	0	-20	-40
						не менее			
D36	До 50	490-630	355	21	65	–	–	34	–

Сталь марки D 36 имеет хорошую свариваемость, поэтому сварку данной стали можно производить любыми способами электродуговой сварки в любом пространственном положении [11].

1.3 Анализ ранее выполненных разработок и исследований в области сварки высокопрочных хладостойких сталей

По государственным программам «Металл» и «Магистраль» разработаны технологии изготовления хладостойких сталей обеспечивающих мелкозернистую структуру, а, как известно, в результате измельчения зерна значительно повышаются механические свойства стали [4]. Однако во время сварки, в результате вторичной рекристаллизации, которую вызывает длительный сварочный нагрев, в ЗТВ происходит рост зерна и в результате образуется крупнозернистая структура с пониженной ударной вязкостью. Такое изменение металла вызывает автоматическая сварка под слоем флюса. При своей высокой производительности и надежной защите сварочной ванны, автоматическая сварка под слоем флюса имеет высокую погонную энергию, что способствует укрупнению зернистой структуры [20].

При механизированной сварке в CO_2 высока вероятность появления закалочной структуры – мартенсита, который образуется при охлаждении металла сварного шва, что приводит к увеличению твердости стали. Мартенситные превращения в околошовной зоне сопровождаются высокими напряжениями, снижением пластичности и появлением диффузионно-подвижного водорода. Диффузионный водород охрупчивает структуру металла, инициируя образование микротрещин [1].

При механизированной сварке судостроительных корпусных сталей применяется сварочная проволока сплошного сечения малых диаметров. Это увеличивает количество проходов, способствует возникновению и дальнейшему развитию мартенситного превращения, а также образованию транскристаллической структуры, что нежелательно, поскольку по стыку столбчатых кристаллов обычно образуются трещины [1].

На основании этого можно сделать вывод, что при сварке хладостойких сталей повышенной прочности наиболее производительными способами

дуговой сварки, существенно снижается ударная вязкость в зоне термического влияния, что приводит к образованию холодных трещин [20].

Причинами хрупких разрушений могут являться:

- недостаточная технологическая прочность конструкции,
- формирование в околошовной зоне мартенситной структуры,
- возникающие напряжения и деформации в процессе сварки,
- повышенное содержание водорода в металле.

Рассмотрев недостатки известных способов сварки, становится очевидно, что необходимо выбрать способ сварки, который будет отличаться малой погонной энергией. Однако уменьшение погонной энергии при сохранении всех других условий сварки приведёт к уменьшению площади сечения сварного шва, что повлечёт за собой увеличение количества проходов. Снижение силы тока приведёт к уменьшению погонной энергии, но повысит склонность к образованию закалочных структур и значительно снизит производительность. Уменьшение погонной энергии за счёт одновременного увеличения силы тока и скорости сварки приведёт к некачественному формированию шва [1].

Исходя из вышеизложенного, основное внимание следует уделить таким способам сварки, при которых основная доля энергии будет тратиться на плавление сварочных материалов, а не на перегрев основного металла, для этого в сварочную ванну будем подавать дополнительную присадочную проволоку.

Рассмотрим несколько вариантов подачи в сварочную ванну дополнительной присадочной проволоки.

Сварка с дополнительным металлом в виде рубленой сварочной проволоки приводит к увеличению объёма сварочной ванны, что уменьшает количество проходов, но повышает вероятность образования крупных дендритных кристаллитов.

Способ сварки с подачей в сварочную ванну дополнительной холодной проволоки малоэффективен и непроизводителен.

Способ сварки с подачей жидкого металла в сварочную ванну возможен только теоретически, но технологически не реализуем.

Новый метод сварки с дополнительной горячей проволокой позволяет снизить погонную энергию, повысить производительность и качество сварки. Это достигается за счет того, что дополнительная горячая проволока, подающаяся в сварочную ванну, забирает на своё расплавление долю тепла, которое при обычных способах сварки уходит на нагрев основного металла.

Важным техническим показателем такого способа сварки является производительность за счёт уменьшения числа проходов. При сварке с дополнительной горячей проволокой повышается стойкость к образованию холодных трещин. Это связано с низким уровнем водорода, который в основном попадает в зону сварки через столб дуги и стадию капельного переноса металла. Ещё одним важным преимуществом является то, что в виду охлаждения металла шва горячей присадкой, он становится более вязким, что позволит выполнять сварку угловых швов без стекания металла и образования подреза [1].

По результатам проведенного анализа можно сделать вывод, что сварка с подачей дополнительной горячей проволоки в зону сварки имеет большое преимущество перед другими способами электродуговой сварки и является эффективным решением проблем возникающих при сварке хладостойких сталей.

1.4 Формулировка задач на выполнение выпускной квалификационной работы

Задача выпускной квалификационной работы – поиск альтернативных способов сварки.

Известны способы электродуговой сварки, при которых сварочные материалы вводятся в зону сварки и расплавляются за счет тепла сварочной

ванны. На такие способы сварки и будет направлено основное внимание в работе.

Для возможности внедрения такого способа сварки в производство необходимо решить ряд задач, а именно:

- определить состав и диаметр вводимой в сварочную ванну проволоки,
- усовершенствовать операции базового технологического процесса,
- предоставить принципиальную схему процесса дуговой сварки с дополнительной горячей проволокой в защитном газе,
- предложить оборудование для реализации данного способа сварки,
- произвести анализ опасных и вредных производственных факторов,
- выявить целесообразность внедрения предложенного способа сварки путем оценки экономического эффекта.

2 Совершенствование технологического процесса изготовления корпуса сточной цистерны

Общие технические условия к изготовлению корпусных конструкций разрабатываются в технологических требованиях чертежей. Для удобства изготовления конструкция разбивается на сборочные узлы.

Разбивка изготавливаемого изделия на узлы выполняется с учетом принятого метода постройки.

Последовательность выполнения работ по сборке и сварке узлов и секций в целом должна определяться технологическими документами, разрабатываемыми с учетом возможных остаточных сварочных деформаций [16].

2.1 Общие указания по сборке

«К выполнению работ по сборке корпусных конструкций и корпусов металлических судов допускаются сборщики, сдавшие экзамены на присвоение соответствующей квалификации согласно «Единого тарифно-квалификационного справочника»» [16].

Изготовление корпуса цистерны производить в соответствии с ОСТ 5.9079 – 80, ОСТ 5.9912.

Перед началом выполнения работ сборочный стенд необходимо зачистить от временных креплений, проверить на горизонтальность.

Детали корпуса должны быть изготовлены в соответствии с требованиями документов принятых на предприятии, соответствовать чертежу и карте раскроя. Входной контроль деталей поступающих на сборку производит мастер сборочных работ.

Детали, не должны иметь следов масла, краски, ржавчины и окалины.

Детали, поступающие на сборку, должны быть покрыты грунтом.

Кромки деталей и поверхности подлежащие сварке, необходимо зачистить до чистого металла. «Размеры зачищаемых поверхностей указаны в таблице 3» [16].

Таблица 3 – Размеры зачищаемых поверхностей под сварку

Обозначение	Величина, мм
L1	$e/2 + 5$ (половина ширины $e + 5$)
L2	не менее $2k$
L3	не менее $2s$
L4	не менее $2s+5$

Ширина зачищаемой поверхности кромок соединяемых деталей изображена на рисунке 2.

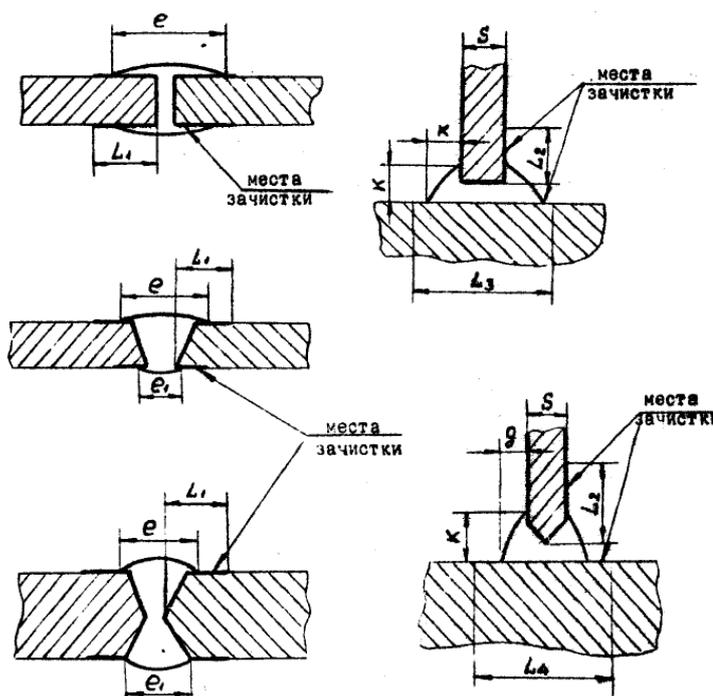


Рисунок 2 – «Ширина зачищаемой поверхности кромок соединяемых деталей где: L – ширина зачищаемой поверхности; k – высота шва; e – ширина шва; s – толщина детали» [16].

При выполнении сборочных работ, закрепление деталей между собой производить при помощи электроприхваток. «Размеры электроприхваток, указаны в таблице 4» [16].

При выполнении сборочных работ использовать талрепы, прижимы, груза, скобы.

Острые свободные кромки деталей скруглить. Задир, шлаковые включения и грат на торцах деталей не допускаются. Допускается наличие цветов побежалости от тепловой резки.

Таблица 4 – Размеры электроприхваток

Параметры прихваток	Толщина деталей, мм				
	До 3	4 - 10	11 - 15	16 - 25	более 25
Длина прихваток	10 - 15	15 - 20	20 - 30	30 - 40	40 - 50
Высота и ширина усиления прихваток для стыковых и угловых соединений без скоса кромок	Не должна превышать размеров усиления сварного шва				
Высота прихваток для соединений со скосом кромок	$\leq S$	$(0,5 \dots 0,7) S$, но не более 12			
Катет прихваток для соединений без скоса кромки	3	4	5	6	
Расстояние между прихватками	100 - 200	150 - 250	250 - 350	350 - 450	450 - 600

Электроприхватки необходимо выполнять теми же сварочными материалами, что и сварка конструкции. Требования к качеству установленных электроприхваток такое же как и к сварному шву.

Перед выполнением сварочных работ прихватки необходимо зачистить от шлака и металлических брызг. Некачественно выполненные прихватки подлежат удалению.

Удаление приварных временных креплений производить с помощью газовой резки или воздушно – дуговой строжки, оставляя «пенек» 0,5 – 3,0 мм, который подлежит зачистке наждачным кругом заподлицо с

поверхностью металла. Контроль на отсутствие трещин от приварки временных креплений производится с помощью лупы.

Зазор, при выполнении сборочных работ, выдерживать с помощью закладных планок «закусок». При увеличенном зазоре, перед сваркой, выполнить наплавку на одну из сопрягаемых кромок деталей, а ширину сварного шва увеличить на размер наплавки.

Перед выполнением сварочных работ собранная конструкция подлежит приёмке работником УКП.

2.2 Общие требования по сварке

«Сварку производить, руководствуясь требованиями рабочих чертежей, технических условий [17] и технологическим процессом» [16].

При разработке технологического процесса сварки, по возможности, заменять РДС на механизированную автоматическую.

Перед выполнением сварочных работ на конструкциях из хладостойких сталей сварщикам необходимо пройти обучение и аттестацию для получения свидетельства о допуске.

Сварочные материалы, применяемые для изготовления конструкции, должны выдаваться сварщику в количестве необходимом для выполнения работ в течение 4 часов и иметь паспорт.

Не использованные сварочные материалы в конце рабочей смены должны быть сданы в электродную кладовую.

Перед началом сварки необходимо убедиться в чистоте свариваемых кромок. При необходимости произвести повторную зачистку.

Если после зачистки свариваемых кромок прошло более 48 часов, зачистку кромок следует произвести повторно, или выполнить прожигание свариваемых кромок пламенем газовой горелки.

Запрещается начинать сварку со стороны проставленных прихваток. Исключением являются односторонние швы.

Возбуждать сварочную дугу следует на выводных планках, в случае их отсутствия, в зоне расположения сварного шва.

Каждый новый слой сварного шва смещать относительно предыдущего слоя на 20 мм.

Каждый слой сварного шва и сформированный сварной шов необходимо зачищать металлической щеткой для удаления шлаковой корки и брызг металла.

«При механизированной дуговой сварке необходимо соблюдать точное направление проволоки по оси стыка и равномерное перемещение держателя полуавтомата по длине соединения» [3].

Сварку пересекающегося набора и приварку его к полотну вести от середины к краям, ячейками, по возможности, двумя сварщиками одновременно.

При низких температурах основной металл в зоне сварки необходимо предварительно подогреть газовой горелкой. Температура подогрева зависит от марки и толщины стали, а также температуры окружающего воздуха.

В процессе выполнения сварочных работ мастер производственный и работник УКП должны не реже двух раз в смену проверять правильность применения сварочных материалов, режимы сварки и соблюдение технологии изготовления конструкции.

Перед началом сварочных работ мастером УКП или производственным мастером проверяется качество сборки конструкции, соответствие расположение деталей чертежу, маркировка деталей.

Если в конструкции имеются сварные швы разного направления, то в первую очередь следует выполнять сварку вертикальных швов.

При разработке технологического процесса необходимо предусмотреть кантовку свариваемой конструкции, для максимального обеспечения сварочных работ в нижнем положении.

2.3 Базовая технология изготовления корпуса цистерны

С целью сокращения производственного процесса изготовления конструкцию разбивают на сборочные узлы, изготовление которых можно производить одновременно.

Установка и приварка набора из полособульбового профиля на полотно:

- подготовить сборочно – сварочный стенд.
- подать краном лист, уложить его на стенд,
- прижать лист к стенду по периметру Г – образными гребёнками с клиньями,
- отконтуровать лист под установку набора. При контуровке увеличить шпацию на 1,0 мм учитывая, что толщина набора пущена в корму,
- по краям линии набить по три керна,
- произвести зачистку металла в местах установки набора,
- возобновить разметку,
- кромки притыкаемого набора зачистить,
- разложить устанавливаемый набор согласно чертежу,
- установленный набор раскрепить на электроприхватки,
- предъявить установку набора под сварку мастеру производственному, при этом проверить качество зачистки кромок, размеры и качество прихваток, расстояние между набором, завал набора,
- произвести механизированную сварку в CO_2 проволокой Св – 08Г2С диаметром 1,2 мм в следующей последовательности:
 - приварить пересечения набора в вертикальном положении,
 - приварить набор к полотну от середины к краям,
 - в районе монтажных соединений набор не доваривать на расстояние 100 мм от кромки,
 - освободить полотно с набором от закрепления,
 - изготовление остальных полотен с набором выполнить аналогично,

– «после окончания сварки проверить контур кромок, положение набора относительно линий разметки, положение торцевых кромок набора, завал набора, искривление стенки набора, бухтиноватость полотнищ, волнистость свободных кромок полотен, общую стрелку прогиба,

– допуски на готовые узлы:

– на отклонение по длине и ширине $\pm 2,0$ мм,

– на искривление стенки набора 1,5 мм,

– на завал несимметричность катаного набора ± 3 мм,

– на бухтиноватость $\pm 4,0$ мм,

– на волнистость свободных кромок ± 5 мм,

– на общую стрелку прогиба в плоскости набора $\pm 5,0$ мм,

при отклонениях превышающих допустимые значения выполнить правку» [16],

Сборка корпуса цистерны в объём:

– уложить на стенд крышу цистерны с приваренным набором, выровнять её в горизонт,

– отконтуровать согласно чертежу крышу цистерны под установку стенок,

– зачистить места установки стенок на крыше цистерны,

– зачистить кромки стенок,

– установить по разметке на электроприхватки стенки цистерны выдерживая перпендикулярность относительно основной плоскости с помощью угольника, допуск на перпендикулярность 4 мм,

– для удерживания стенок цистерны в вертикальном положении

– приварить к стенкам цистерны и к сборочному стенду талрепы,

– внутри цистерны, на расстоянии 100 мм от края свободной кромки,

– установить и приварить крестовину из швеллера, по узлу сварки Т1 катет 5 [6],

– произвести механизированную сварку в CO_2 проволокой Св – 08Г2С

диаметром 1,2 мм, между крышей и стенками цистерны до заполнения разделки, противоположными сторонами, схема выполнения сварки представлена на рисунке 3,

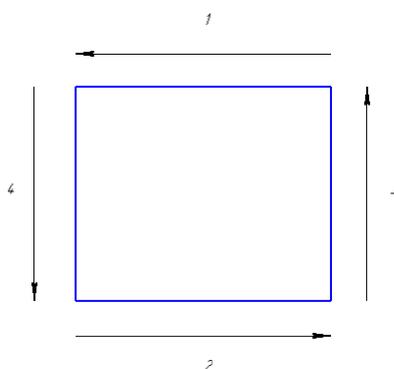


Рисунок 3 – Последовательность наложения швов между стенками и дном цистерны

- произвести механизированную сварку в CO_2 проволокой Св – 08Г2С диаметром 1,2 мм, между стенками цистерны вертикально, снизу вверх, до заполнения разделки, противоположными сторонами,
- освободить конструкцию от временных креплений с помощью воздушно дуговой строжки,
- выполнить замеры конструкции, при этом проверить: перпендикулярность стенок и крыши цистерны, допуск на отклонение 3 мм,
- уложить на стенд днище цистерны набором вниз, с помощью подкладных планок выровнять его в горизонт,
- отконтуровать днище цистерны, согласно чертежу, под установку корпуса цистерны,
- зачистить места установки стенок корпуса цистерны,
- зачистить кромки стенок цистерны,
- установить крышу по разметке на корпус цистерны, раскрепить на электроприхватки,

- выполнить кантовку корпуса цистерны в стапельное положение,
- произвести механизированную сварку в CO_2 проволокой Св – 08Г2С диаметром 1,2 мм, между днищем и стенками цистерны до заполнения разделки, противоположными сторонами,
- произвести сварку подварочных швов внутри цистерны, при выполнении подварочных швов, руководствоваться положением на выполнение сварочных работ в замкнутых помещениях, при этом обеспечить наличие приточно – вытяжной вентиляции, наличие освещения, наличие наблюдающего,
- произвести механизированную сварку в CO_2 проволокой Св – 08Г2С диаметром 1,2 мм конструкции на полный габарит сварных швов
- произвести механизированную сварку в CO_2 проволокой Св – 08Г2С диаметром 1,2 мм полособульбового профиля между собой. Учитывая переменное значение головки полособульбового профиля, сварку выполнять факультативно с обеспечением перекрытия кромок на 2 мм,
- произвести контроль качества сварных швов,
- сдать готовую конструкцию работнику УКП.

2.4 Схемы процесса сварки с дополнительной горячей проволокой

«Для уменьшения сварочных деформаций и предупреждения холодных трещин, в проектной технологии, при формировании конструкции в объём, будет использоваться метод сварки с применением дополнительной горячей проволокой (ДГП). Во время выполнения сварки дополнительная сварочная проволока, подогретая вне дуги до температуры 800 – 1200 градусов, будет подаваться в хвостовую часть сварочной ванны, с малым управляемым усилием осадки, с постоянной скоростью. Учитывая то, что нагрев проволоки будет производиться до определённой температуры, это не позволит появиться дугообразованию» [22].

Ввод дополнительной горячей проволоки в сварочную ванну может осуществляться при сварке под флюсом и при сварке в защитном газе.

Схема процесса сварки с ДГП под флюсом представлена на рисунке 4.

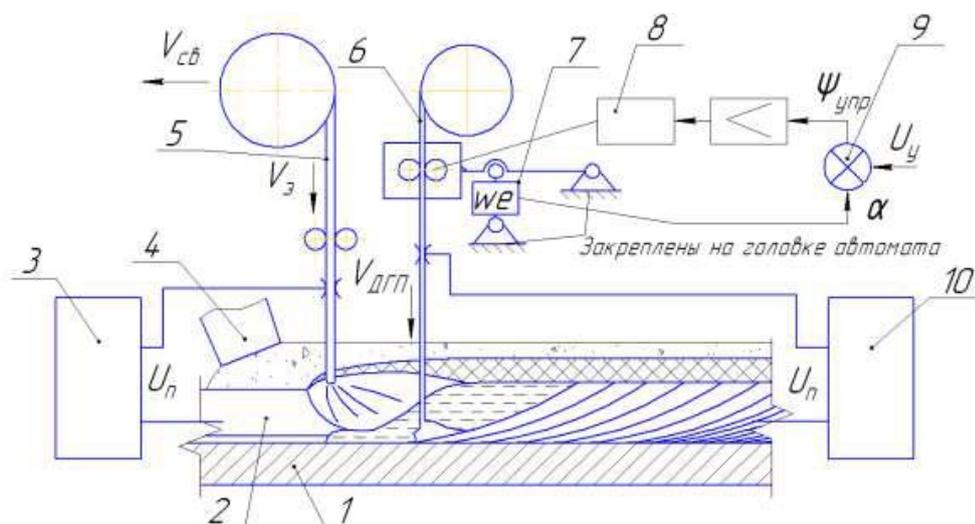


Рисунок 4 – «Схема процесса сварки с ДГП под флюсом:

- 1 – медная подкладка; 2 – основной металл; 3 – источник питания дуги; 4 – система подачи флюса; 5 – электрод; 6 – ДГП; 7 – измеритель усилия осадки ДГП; 8 – исполнительный механизм; 9 – сравнивающее устройство; 10 – источник электроконтактного нагрева» [19]

Схема процесса сварки с ДГП в защитном газе представлена на рисунке 5.

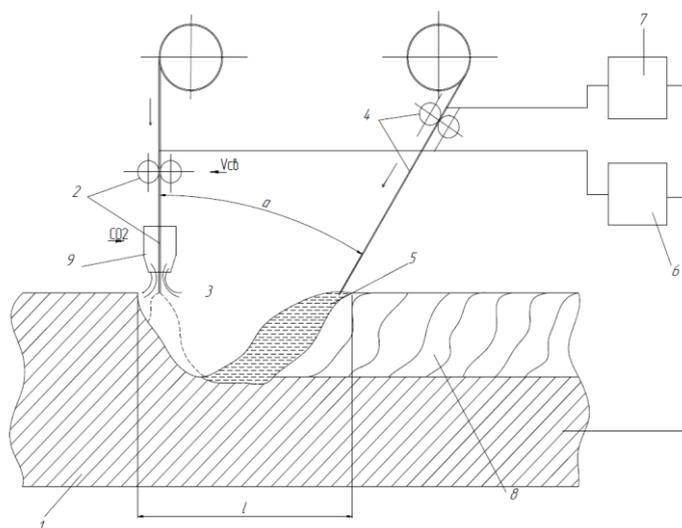


Рисунок 5 – «Схема процесса сварки с ДГП в защитном газе: 1 – изделие; 2 – электрод; 3 – дуга; 4 – ДГП и механизм её подачи; 5 – сварочная ванна; 6 и 7 – источники нагрева; 8 – сварной шов; 9 – газовая защита; α – угол наклона ДГП» [19]

При сварке в защитных газах, с применением ДГП можно выполнять сварку вертикальных швов [19]. Учитывая конструктивные особенности конструкции и выбранные сварочные материалы, делаем выбор в пользу механизированной сварки в защитном газе.

2.5 Режимы сварки

2.5.1 Режимы сварки в среде углекислого газа

Режим сварки в среде углекислого газа включает такие параметры, как диаметр электродной проволоки, величина и род тока, напряжение на дуге, скорость сварки и подачи электродной проволоки, расход углекислого газа, вылет электрода [3]. Сварку в среде CO_2 плавящимся электродом производят на постоянном токе обратной полярности. Это объясняется тем, что при прямой полярности процесс сварки характеризуется большим

разбрызгиванием даже при сварке значительно меньшими токами, что приводит к уменьшению глубины провара [11].

Режимы сварки в углекислом газе проволокой диаметром 1,2 мм представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Режимы сварки в среде CO₂ проволокой диаметром 1,2 мм

Тип шва	I _{св} , А	U _д , В	V _{св} , м/ч	V _{под} пров, м/мин	V _{под} ДГП, м/мин	Расход газа, л/мин
Корневой	110 - 190	17 - 22	21	6,3	-	6 - 10
Заполняющий	110 - 220	20 - 25	16	10	2,8	6 - 10

Совокупность характеристик сварочного процесса обеспечивает получение сварных швов заданных размеров, формы и качества [11].

2.5.2 Дополнительные параметры режима при сварке с дополнительной горячей проволокой

При сварке с дополнительной горячей проволокой имеют место дополнительные параметры режима сварки.

PL – координата места ввода ДГП по оси X,

где L – длина сварочной ванны;

P – 0,1...0,5

Расчет длины сварочной ванны L определяется границами изотермы температуры плавления T_{пл} и L = R, по уравнению:

$$T_{пл} = \frac{Q_{эф}}{2\pi\lambda T_{пл}} ; L = \frac{\eta}{2\pi\lambda T_{пл}} I_{св} \cdot U_{д}, \quad (1)$$

Обозначим через P постоянные члены правой части уравнения [11]

$$P = \frac{\eta}{2\pi\lambda T_{пл}}, \quad (2)$$

тогда:

$$L = PI_{св} U_{\delta}, \quad (3)$$

Коэффициент P определяется опытным путем и для механизированной сварки $P = (2,0 \div 2,5) 10^{-3}$ мм/Вт

$$L = 2,2 * 10^{-3} * 200 * 23 = 10,1 \text{ мм};$$

PL – координата места ввода ДГП по оси $X = 0,5; 10$

T_n – температура подогрева ДГП:

$$T_n = 800-1500 \text{ } ^\circ C$$

β – доля участия ДГП по отношению к электроду [11]

$$\beta = G_n / G_{\text{э}}, \quad (4)$$

где G_n – масса ДГП;

$G_{\text{э}}$ – масса электрода, наплавляемая в единицу времени.

$$G_{\text{э}} = m_n * V_{\text{нод}} \text{ пров}, \quad (5)$$

$$G_n = m_n * V_{\text{нод}} \text{ ДГП}. \quad (6)$$

где m_n – расчетная масса наплавленного металла, кг/м.

$$m_n = \rho * F_n * 10^{-3} \quad (7)$$

где ρ – плотность наплавленного металла шва, в г/см³

для сварочной проволоки $\rho = 7,5 \text{ г/см}^3$;

F_n – площадь поперечного сечения наплавленного металла, мм^2

Сборка цистерны в объем будет производиться по узлу сварки Т7 [9]. Приварка полособульбового профиля к стенкам цистерны по узлу сварки Т3 [9]. Сварка полособульбового профиля между собой по узлу сварки С12 [9]. Головка полособульбового профиля имеет переменное значение, поэтому габарит сварного шва выбирается факультативно с обеспечением перекрытия кромок на 2 мм.

Подсчитав сумму площадей элементарных геометрических фигур узла сварки Т6 [9], получили $F_n = 41 \text{ мм}^2$ [20], следовательно:

$$m_n = 7,5 * 41 * 10^{-3} = 0,3 \text{ кг/м}$$

тогда:

$$G_3 = 0,3 * 10 = 3 \text{ кг},$$

$$G_n = 0,3 * 2,8 = 0,84 \text{ кг}.$$

отсюда:

$$\beta = 0,84 / 3 = 0,28$$

d_n – диаметр ДПП;

$d_n = 1,2 \text{ мм}.$

2.6 Выбор оборудования и оснастки

2.6.1 Выбор источника питания

Сварка конструкции будет производиться на постоянном токе обратной полярности, поэтому для подачи электрической энергии в сварочную дугу необходим источник питания постоянного тока.

Устойчивое горение дуги достигается правильным выбором внешней характеристики источника питания. При механизированной сварке в CO_2 нужен источник питания с жесткой ВАХ. Жесткая ВАХ повышает процесс саморегулирования величины напряжения дуги, а сила сварочного тока будет регулироваться полуавтоматом.

Для дуговой сварки сталей в среде защитных газов применяют шланговые полуавтоматы с подающим механизмом, предназначенные для сварки тонкой проволокой.

Для возможности выполнения механизированной сварки с вводом ДПП необходим аппарат, который допускает производство сварки при сдвоенной подаче проволоки.

На рисунке 6 представлен мультипроцессорный пост для полуавтоматической сварки Lorch Saprom S 5 Speed Pulse оптимально подходящий для выбранного способа сварки.

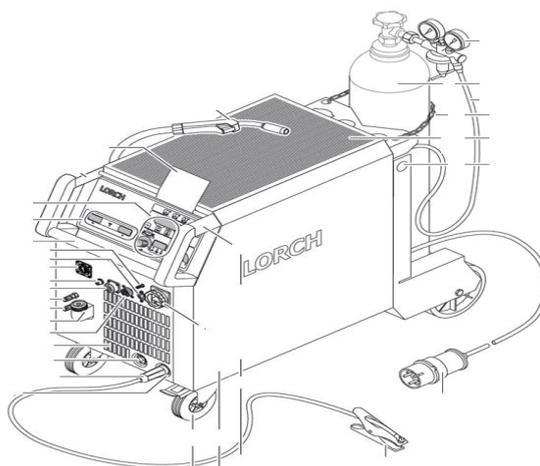


Рисунок 6 – Сварочный пост Lorch SaproM S 5 Speed Pulse

Технология Speed Pulse обеспечивает почти непрерывный перенос капель расплавленного металла, что предотвращает разбрызгивание во время сварки.

Преимущества технологии Speed Pulse – высокая скорость сварки, незначительная теплоотдача, которая обеспечивает минимальные деформации. Также он допускает возможность сварки при двойной подаче проволоки с одним или двумя внешними подающими блоками.

Технические характеристики аппарата Lorch SaproM S 5 Speed Pulse представлены в таблице 6.

Таблица 6 – Технические характеристики сварочного поста Lorch SaproM S 5 Speed Pulse

Напряжение холостого хода, В	80 – 105
Настройка напряжения	бесступенчатая
Сварочный ток при ED 100% 40 °С, А	320
Сварочный ток при ED 60% 40 °С, А	350
ED при мах сварочном токе 40 °С, А	50
Сварочная проволока, сталь, Ø мм	0,6 – 1,6
Скорость подачи проволоки, м/мин.	0,1 – 25
КПД при 100% ED, %	78
Сетевое напряжение 3~(50/60 Гц)	400
Сертификат	ГОСТ – R – МЛ16

2.6.2 Приспособление для выполнения сварки

Местные и общие деформации искажают размеры и форму как отдельных листов, так и конструкции в целом, затрудняя процесс дальнейшей сборки и сварки, снижают прочность конструкции, а также ухудшают её внешний вид [14].

Для предотвращения сварочных деформаций и учета влияния на точность конструкции вторичных деформаций разрабатывается и применяется специальная оснастка.

Установочной базой при изготовлении плоскостных секций будет служить сборочно – сварочный стенд. Он обладает достаточной жесткостью и оборудован приспособлениями для выполнения сборки и сварки.

Для строго определенного положения листовых деталей будут использоваться эксцентриковые прижимы.

Распорный блок, который разработан специально для данной конструкции, уменьшит деформирование деталей и позволит выполнить сварку выбранным способом.

Распорный блок представляет собой конструкцию из стального равнополочного уголка №8 [8], сталь СтЗсп [5]. Распорный блок представлен на рисунке 7.

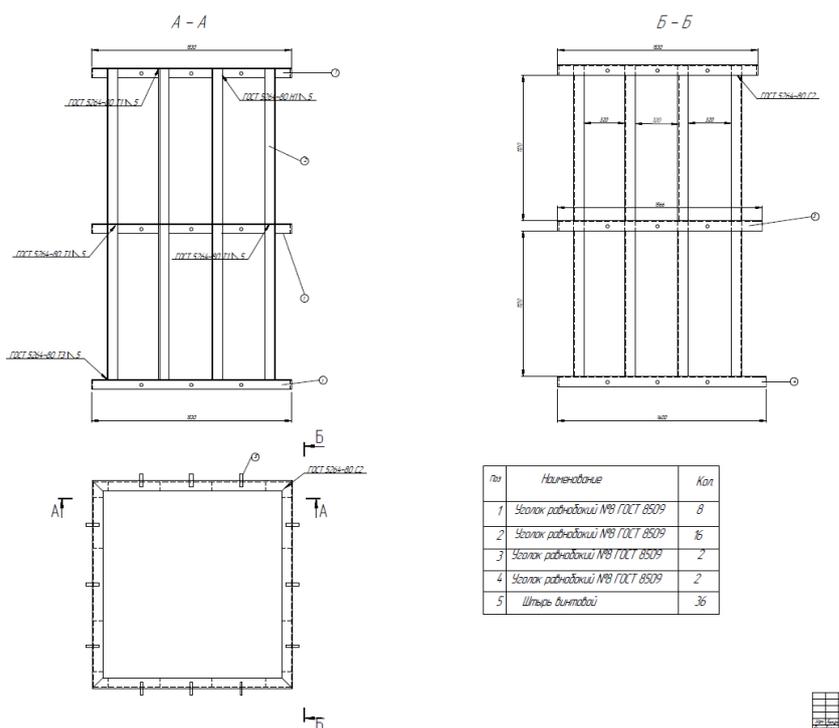


Рисунок 7 – Распорный блок

На каждой стороне блока имеются опорные винтовые штыри с плоской головкой, с помощью которых внутренняя поверхность конструкции фиксируется в трёх плоскостях, что придаст ей жесткость.

Оснастка должна обеспечить заданное качество сварного изделия [12].

2.7 Выбор сварочных материалов

2.7.1 Выбор сварочной проволоки

Сварочные материалы, предназначенные для сварки хладостойких сталей, должны, помимо других требований, обеспечивать, хладостойкость металла шва.

Во время выполнения работы по производственной практике были рассмотрены научно – технические работы с проведёнными исследованиями сварных соединений выполненных проволоками сплошного сечения и порошковыми проволоками. По результатам исследований выявлено, что при подаче в зону сварки порошковой проволоки, содержащиеся в её составе тугоплавкие нанодисперсные соединения, переходят в сварочную ванну в виде наночастиц. Эти частицы образуют с атомами железа соединения называемые кластеры. Тугоплавкий нитрид титана и входящий в состав оболочки двойной карбид, имеющий схожую с железом кристаллическую решетку, служат наиболее активными кристаллизационными зародышами.

При подаче в зону сварки сплошной присадочной проволоки, содержащей модификаторы, она переходит в расплав, который содержит атомы железа, углерода, кислорода и азота. При охлаждении это также приводит к образованию кластеров, которые являются зародышами кристаллизации.

При выполнении сварных соединений порошковой проволокой более высокие значения результатов испытаний усталостных разрушений, по сравнению с результатами испытаний сварных швов выполненных проволокой сплошного сечения.

Сварочная ванна при сварке порошковой проволокой обладает повышенной текучестью, что способствует получению более рациональной формы шва при сварке в нижнем положении, однако при сварке снизу – вверх повышенная растекаемость сварочной ванны не дает положительного эффекта, а наоборот, несколько увеличивает сечение шва.

При сварке, в качестве ДПП, могут быть использованы проволоки сплошного сечения и порошковые проволоки. Приняв во внимание все положительные и отрицательные стороны обеих видов проволок, сделаем выбор в пользу порошковой проволоки.

В условиях масштабных санкций против российской промышленности применение импортных сварочных материалов стало неактуальным, поэтому будет использоваться сварочная проволока отечественного производства, которая обладает высокой технологичностью, стабильным качеством и умеренной стоимостью.

Сварочные проволоки подразделяются на категории прочности в зависимости от уровня прочности свариваемой стали и должны обеспечивать механические свойства металла шва не ниже механических свойств основного металла.

Корпус сточной цистерны будет изготовлен из стали повышенной прочности, это значит, что категория прочности сварочной проволоки должна быть не ниже 2У. Порошковая проволока марки ПП – СВП1 имеет категорию прочности 4У40SMH5, предназначена для механизированной сварки во всех пространственных положениях низколегированных малоуглеродистых конструкционных сталей повышенной и высокой прочности и отвечает всем необходимым параметрам.

«Порошковая проволока ПП – СВП1 (ПГ44 – А6У) по величине предела текучести типа 44, по химическому составу наплавленного металла категории А, обеспечивающая ударную вязкость наплавленного металла не менее 35 дж/см² при температуре - 600 градусов [10], для сочетания ПП – СВП1 плюс С1 (100 процентов СО₂), тип сердечника проволоки (рутиловая с быстро застывающим шлаком)» [10]. Механические свойства металла сварного соединения, выполненного сочетанием проволока ПП – СВП1 плюс С2 представлены в таблице 7.

Таблица 7 – Механические свойства металла шва выполненного проволокой ПП – СВП1

Категория основного металла ГОСТ 5521	Угол загиба до появления первой трещины, градусы	Временное сопротивление разрыву, Па	Относительное удлинение, %	Температура испытаний, °С	Ударная вязкость при 20° С
D 36	120	490	20	- 40	120

Химический состав наплавленного металла проволокой ПП – СВП1 представлен в таблице 7.

Таблица 8 – Химический состав наплавленного металла выполненного проволокой ПП – СВП1

Массовая доля элементов, %					
Углерод	Кремний	Марганец	Никель	Фосфор	Сера
0,08 max	0,30 – 0,60	1,0 – 1,6	0,70 – 1,10	0,020 max	0,020 max
Примечание: Остаточное содержание других элементов, не указанных в таблице не должно превышать значений, %: молибден – 0,20; хром – 0,20; ванадий – 0,08; ниобий – 0,05; медь – 0,20.					

Промышленное применение технологии сварки порошковой проволокой ПП – СВП1 убедительно показало высокую эффективность при выполнении сварочных работ.

Для выполнения сварки будет применяться сварочная проволока диаметром 1,2 мм. Проволока такого диаметра обеспечивает безотказное возбуждение сварочной дуги, стабильность режима сварки, качественное формирование сварного шва при сварке судостроительных корпусных сталей и высокий коэффициент наплавки.

2.7.2 Защитный газ

Двуокись углерода применяется для создания защитной среды при сварке металлов. Формула CO₂ [7].

С металлургической точки зрения для сварки плавящимся электродом малоуглеродистых низколегированных сталей наиболее рационально применять дешевый углекислый газ, так как он обеспечивает получение плотных сварных швов. Добиться этого получается за счет применения специальных электродных проволок, соответствующей подготовки основного и электродного металла к сварке и использования обезвоженного углекислого газа. В качестве влагопоглощающего реагента для очистки от влаги углекислого газа применяется силикагель.

2.8 Проектная технология изготовления корпуса цистерны

Проектная технология изготовления корпуса цистерны представлена в таблице 9

Таблица 9 Проектная технология изготовления корпуса цистерны

Наименование технологической операции	Применяемые: материалы оборудование, оснастка	Последовательность выполнения работ
Подготовка сборочно сварочного стенда.	Машины ручные шлифовальные.	Очистить стенд.
Подготовка кромок деталей под сварку	Линейка, пневматическая машинка с абразивным кругом, металлическая щётка.	Отконтуровать лист под установку набора увеличив шпацию на 1,0 мм. Закернить линии разметки, зачистить места установки набора, возобновить разметку, зачистить кромки устанавливаемого набора.

Продолжение таблицы 8

Установка набора на полотно	Линейка, прижимы, прижимная рама, закуски, угольник, металлическая щётка, сварочная проволока.	Установить набор на полотно, раскрепить на электроприхватки, обжать к полотну. Прижать полотно по периметру к сборочно сварочному стенду.
Приварка набора к полотну	Сварочная проволока ПП – СВП1 Ø 1,2 мм, защитный газ CO ₂ , сварочный пост Lorch Sargom S 5 Speed Pulse	Приварить пересечения набора в вертикальном положении. Приварить набор к полотну от середины к краям, в районе монтажных соединений набор не доваривать на расстояние 100 мм от кромки. Освободить полотно с набором от раскрепления к стенду. Изготовление остальных полотен с набором выполнить аналогично.
Измерение деформаций после сварки.	Линейка, угольник, рулетка, лазерный уровень, бухтиномер.	«Проверить контур кромок, положение набора относительно линий разметки, положение торцевых кромок набора, завал набора, искривление стенки набора, бухтиноватость полотнищ, волнистость свободных кромок полотен, общую стрелку прогиба» [16].
Сборка цистерны в объём	Линейка, прижимы, закуски, угольник, металлическая щётка, сварочная проволока, распорный блок.	Уложить крышу на сборочный стенд, с помощью подкладных планок выровнять в горизонт, раскрепить приварными планками по периметру через 400 – 500 мм, отконтуровать крышу под установку стенок, зачистить места установки, установить на электроприхватки стенки, выдерживая перпендикулярность относительно основной плоскости, внутри цистерны установить распорный блок.

Продолжение таблицы 8

<p>Сварка корпуса цистерны в объём</p>	<p>Сварочная проволока ПП – СВП1 Ø 1,2 мм, защитный газ CO₂, сварочный пост Lorch SaproM S 5 Speed Pulse</p>	<p>Произвести сварку между крышей и стенками до заполнения разделки, противоположными сторонами с применением ДГП. Выполнить кантовку изделия на левый бок. Произвести сварку между стенками и крышей, до заполнения разделки, с ДГП. Приварку остальных стенок выполнять аналогично. Для возможности выполнения дальнейшей сварки выполнять кантовку. Произвести сварку подварочных швов. Извлечь распорный блок. Уложить днище на сборочный стенд, выровнять его в горизонт, отконтуровать согласно чертежу под установку корпуса, кромки собираемых деталей зачистить под сварку. Установить на электроприхватки днище на корпус. Выполнить кантовку корпуса в стапельное положение. Произвести сварку до заполнения разделки противоположными сторонами с ДГП. Произвести сварку подварочных швов, при выполнении подварочных швов, руководствоваться положением на выполнение сварочных работ в замкнутых помещениях. Произвести сварку конструкции на полный габарит сварных швов. Произвести сварку полособульбового профиля между собой.</p>
<p>Контроль качества</p>	<p>Ультразвуковой импульсный дефектоскоп, линейка рулетка, угольник.</p>	<p>ВИК 100 % УЗК 20 %</p>

2.9 Контроль качества

Контроль качества сварных швов производить в соответствии с ОСТ 5Р.1093 – 93 при этом проверяются:

- качество применяемых сварочных материалов,
- квалификация сварщиков,

Внешнему и измерительному контролю подвергается каждое сварное соединение по всей протяженности при помощи осветительного прибора, лупы и калибромера [15].

«При ВИК должно быть установлено отсутствие на сварных швах наружных дефектов: трещин, непроваров, прожогов, свищей, незаваренных кратеров, протекнов металла, наплывов, несоответствие формы и размеров сварного шва, подрезов, местных скоплений пор и включений» [15].

Учитывая, что корпус цистерны не обеспечивает общую и местную прочность корпуса док – эллинга, изготавливается из стали перлитного класса с пределом текучести до 440 МПа и выполнен низколегированными сварочными материалами, данная конструкция относится к третьему классу ответственности, размеры которых определены расчетом, и ко второй группе, в зависимости от технологической сложности изготовления. Исходя из этого, объём контроля сварных швов корпуса цистерны составит не менее 20 процентов ультразвуковым методом [15].

Контроль сварных швов корпуса цистерны испытанием на непроницаемость и герметичность будет производиться после установки цистерны в блок – секцию док – эллинга.

3 Безопасность и экологичность технического объекта

Безопасность человека на производстве зависит от многих факторов. Она определяется ответственностью и квалификацией работников управления. Рабочие должны быть знакомы с основами безопасности труда, производственной санитарии, пожаробезопасности применительно к своей профессии.

Любое производство — это результат взаимодействия трёх элементов: средств труда, предметов труда и живого труда.

Условия труда в судостроительном производстве различны в разных цехах и для рабочих разных специальностей. Замеры, проведенные на рабочих местах основных судостроительных рабочих, показали, что судовые сборщики и сварщики трудятся по третьей и четвертой категориям тяжести.

3.1 Безопасность труда при выполнении сварочных работ

«К вредным производственным факторам при сварке относятся:

- повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны,
- ультрафиолетовое, видимое и инфракрасное излучения сварочной дуги,
- электромагнитные поля и ионизирующие излучения,
- шум, в том числе от сварочных преобразователей и работающей при сварке вентиляции,
- статическая нагрузка на руку сварщика» [13].

Разрабатывая технологию изготовления конструкции необходимо учитывать безопасность выполняемых работ, обеспечить сохранение здоровья рабочих и окружающих. При выборе сварочных материалов учитывать, какие из них выделяют наименьшее количество вредных веществ и пыли. Необходимо использовать только те сварочные материалы, которые прошли необходимые испытания и получили гигиеническую оценку. «О

требованиях безопасности нужно помнить при назначении характеристик сварочного тока: увеличение производительности труда не должно сопровождаться снижением работоспособности и ухудшением здоровья людей» [13, с.104].

При механизированной дуговой сварке в защитных газах вредными и опасными производственными факторами являются: электрический ток; искры и брызги расплавленного металла; баллоны и трубопроводы высокого давления.

Перед выполнением сварочных работ мастер по сварке должен проверить:

- обеспечен ли сварщик специальной брезентовой одеждой, ботинками, каской, щитком, респиратором, берушами и наколенниками,
- как установлены на рабочем месте баллоны с газом и их маркировку,
- наличие в месте выполнения сварочных работ огнетушителя и ящика с песком,
- наличие брезентовых ширм для предохранения окружающих от сварочного излучения.

3.2 Производственная санитария

3.2.1 Вредные вещества в воздухе

«Метеорологические условия, образующие микроклимат на рабочем месте, а также теплоизлучения от окружающих человека предметов оказывают существенное воздействие на самочувствие людей и их работоспособность» [13, с.135].

Содержание вредных веществ в воздухе рабочей зоны следует постоянно контролировать и при необходимости применять средства индивидуальной защиты работающих. Все работающие с вредными

веществами проходят предварительный и периодические медицинские осмотры.

Сварка в углекислом газе один из эффективных и экономичных способов электродуговой сварки. Однако она сопровождается значительным выделением пыли и газа (окислов кремния, окислов азота и марганца). Поэтому контролировать воздушную среду на рабочих местах сварщиков и рассчитывать необходимый воздухообмен следует по концентрации окислов марганца.

Производственный опыт показывает, что одними профилактическими мерами не удаётся пока обеспечить безопасную и безвредную воздушную среду на рабочих местах. Поэтому основным средством оздоровления воздушной среды является промышленная вентиляция.

Наиболее эффективным и экономичным средством борьбы с пылью и вредными газами являются местные вытяжные устройства вентиляции. В производственных помещениях в первую очередь устраивают местные вентиляционные отсосы для улавливания вредных веществ непосредственно у мест их выделения. Современные сборочно-сварочные цехи имеют высоту более 20 метров, а рабочие места располагаются на различном расстоянии от пола в зависимости от габаритов свариваемой конструкции. Поэтому при сварке на нестационарных рабочих местах сложных крупногабаритных секций использование местных отсосов вентиляции ограничено.

3.2.2 Средства индивидуальной защиты органов дыхания

В большинстве случаев основным средством индивидуальной защиты служит противопылевой респиратор «Лепесток», который можно успешно применять для образующихся при сварке аэрозолей, однако он не предохраняет от газов и не пригоден при работе в замкнутых пространствах. Для защиты от вредных газов, паров и аэрозолей значительной концентрации защищают промышленные противогазы. Однако они имеют большие габариты и неудобны в использовании.

3.2.3 Освещённость производственных помещений и рабочих мест.

«Освещённость производственных помещений и рабочих мест непосредственно влияет на производительность труда и работоспособность человека» [13, с.151]. Обеспечить оптимальную освещённость на рабочих местах в судостроительном производстве — весьма сложная задача. Переносные светильники различных типов дают узконаправленный свет. Это увеличивает опасность травматизма и заболеваний глаз работающих.

3.2.4 Средства защиты глаз

Сварка, из-за воздействия интенсивного света, ультрафиолетового излучения и металлических искр, представляет серьёзный риск для глаз работающего.

Ультрафиолетовое излучение при сварке — это сильное и невидимое излучение, которое возникает при высоких температурах. Оно может нанести серьёзный вред зрению, вызывая ожоги роговицы.

Искры, образующиеся при сварке, также представляют опасность для глаз.

Использование средств защиты глаз при выполнении сварочных работ не просто важно, а жизненно необходимо.

Сварочные шлемы — это комплексная защита головы и глаз. Шлемы оснащены прозрачным защитным экраном, который позволяет сварщику наблюдать за процессом работы. Современные модели сварочных шлемов оснащены функцией автоматического затемнения, которая реагирует на изменения интенсивности света и обеспечивает оптимальный уровень защиты.

3.2.5 Защита от производственного шума

В современных условиях человек подвергается постоянному воздействию шума. На производстве шум достигает особенно высоких уровней и воздействует на работающих часто в сочетании с другими вредными факторами — вибрацией и излучением.

Непосредственный результат отрицательного воздействия шума — повреждение органов слуха и потеря слуха.

В судостроительном производстве многие технологические операции сопровождаются интенсивным шумом.

Средства коллективной защиты снижают шум на пути его распространения от источника до защищаемого объекта. Однако ни акустические, ни архитектурно — планировочные методы защиты шума в условиях судостроительного производства не обеспечивают снижения шума до санитарных норм. «Поэтому основным способом защиты от шума для рабочих является использование средств индивидуальной защиты слуха. Это противошумные наушники, вкладыши» [13, с.163].

Эффективность средств индивидуальной защиты максимальна в области высоких частот, наиболее неприятных и вредных для человека.

3.2.6 Пожарная безопасность

Ответственность за обеспечение пожарной безопасности на производстве возложена на руководителей предприятий и организаций, руководителей служб и подразделений, начальников цехов и участков.

На предприятиях, в цехах и на строящихся заказах разработана и вывешена на видных местах противопожарная инструкция. Все рабочие производственных участков должны знать правила и способы пользования первичными средствами тушения пожаров, для этого с работниками предприятия проводятся лекции и инструктажи.

3.2.7 Выводы

«Комплексное воздействие опасных и вредных производственных факторов ведёт к общей и профессиональной заболеваемости, а также к производственному травматизму работающих» [13].

Обеспечение безопасности труда невозможно без непосредственного участия самих рабочих. Значительная часть аварий и несчастных случаев на производстве происходит из – за нарушений, допускаемых работниками.

В настоящее время на предприятиях вводится программа 5S – бережливое производство. Этот инструмент позволит решить на проблемы, связанные с порядком на рабочих местах. Исключение лишнего передвижения рабочих в поисках инструмента приведёт к снижению травматизма на производстве, а порядок на рабочих местах поможет исключить причины возникновения пожаров.

Специалисты по охране труда еженедельно проводят проверки на рабочих местах и в комнатах отдыха рабочих. Пожарная служба следит за исправностью электроприборов, огнетушителей, проводит раз в квартал массовые учение по эвакуации в случае возникновения пожара.

Конечно, все проводимые мероприятия полностью не исключают несчастных случаев на производстве, но если эти мероприятия не проводить, процент несчастных случаев был бы значительно выше.

4 Оценка экономической эффективности

Экономический эффект — конечный результат применения новой техники и технологии, измеряемый абсолютными величинами показателей: снижение материальных, трудовых затрат; рост объёма производства; повышение эксплуатационных свойств товара, выражаемое в его цене; прибыль.

Повышение экономической эффективности предприятия зависит от роста масштабов производства. Однако в судостроении есть своя специфика в производственной системе. Единичные заказы, уникальность изделия и длительные циклы изготовления (5 – 7 лет) не дают возможности роста масштабов производства

В любом производстве основной задачей является снижение потерь в каждом периоде изготовления изделия. Эти задачи необходимо решать еще на стадии проектирования и разработке технологической документации. Материально — техническое обеспечение, также играет не маловажную роль в подготовке производства. Если на раннем этапе это не предусмотреть, то неизбежные потери значительно увеличат себестоимость изготавливаемой продукции.

Итоговая стоимость конструкции, ее себестоимость, это именно то, сколько конструкция будет стоить предприятию. В себестоимость включены все расходы, которое несет предприятие на ее производство В себестоимость конструкции включены также транспортные расходы, расходы на социальные нужды.

Экономическими однородными затратами являются:

- материальные затраты,
- затраты на заработную плату,
- амортизация основных фондов,
- прочие затраты.

Эта классификация важна для экономической характеристики производства, для повышения технического уровня промышленности, снижения трудоемкости и роста производительности труда.

Все затраты предприятия подразделяются в соответствии их производимым назначениям.

Полная себестоимость секции включает следующие статьи затрат:

- основные и вспомогательные сырье и материалы,
- топливо и энергия на технологические нужды,
- основная заработная плата производственных рабочих,
- расходы на содержание и эксплуатацию оборудования,

Экономическую эффективность можно определять за счёт показателей трудоемкости, это показатель, отражающий затраты рабочего времени на производство продукции. Уменьшение трудоемкости сократит затраты направленные на оплату норма часов, потраченных на изготовление конструкции, тем самым сократит и её себестоимость.

Для возможности определения экономической эффективности при изготовлении корпуса сточной цистерны рассмотрим базовый вариант её изготовления и сравним с предложенным мною вариантом.

4.1 Определение стоимости основного металла

«Нормирование расхода материалов проводят с целью установления их планового количества, необходимого для изготовления изделий и обеспечения наиболее рационального и эффективного использования сырья и материалов в производстве» [21].

К основному металлу относится листовая прокат из конструкционной судостроительной стали D 36 толщиной 10 мм.

Согласно информации из справочника конструктора (машиностроителя) Г.Г. Зака и Л.И. Рубенштейна вес металлических листов прокатанной стали толщиной 10 мм составляет $78,6 \text{ кг/м}^2$.

Учитывая габариты конструкции, сможем определить, что масса листового проката составит примерно 2847 кг.

Стоимость листового проката из стали D 36 толщиной 10 мм кг по ценам 2022 года составляет 50 рублей 65 копеек за кг.

$$C = 50,65 * 2847 = 144200,55 \text{ рублей.}$$

Значит, что стоимость массы основного металла необходимого для изготовления цистерны равна 144200,55 рублей.

4.2 Норма расхода сварочных материалов

Норма расхода сварочных материалов – это максимально допустимое плановое количество на производство единицы продукции. Нормы расхода сварочных материалов следует определять с учетом уровня механизации сварочных работ. Определение необходимого количества сварочных материалов производится по РД5.УЕИА.2585.

«Норма расхода сварочных материалов на единицу изделия определяется по формуле:

$$H=Q \cdot K, \quad (8)$$

где H – норма расхода сварочных материалов, кг,

Q – масса наплавленного металла, кг,

K – коэффициент перехода от массы наплавленного металла к расходу сварочных материалов, для механизированной сварки порошковой проволокой – 1,25» [21].

Масса наплавленного металла для конструкций из углеродистых и низколегированных сталей определяется по формуле [18].

$$Q=P \cdot N \quad (9)$$

где: Q – масса наплавленного металла, кг,

P = 2847 кг = 2,85 т – масса свариваемого проката, т,

N = 18,8 кг – норматив массы наплавленного металла на одну тонну свариваемого проката.

$$Q_k = 2,85 \cdot 18,8 = 53,58 \text{ кг}$$

Для выполнения плавного сопряжения сварного шва с основным металлом масса наплавленного металла увеличивается на 5 процентов:

$$Q_{\text{общ.}} = 53,58 \cdot 1,05 = 56,3 \text{ кг}$$

Масса наплавленного металла при выполнении прихваток составит 10 процентов от общей массы наплавленного металла:

$$Q_{\text{прихв.}} = 56,3 \cdot 0,1 = 5,63 \text{ кг}$$

«Масса наплавленного металла определяется по формуле:

$$q_{\text{мех}} = \frac{Q * 0,85 * A}{100}, \quad (10)$$

где q – масса наплавленного металла при механизированной сварке, кг;

Q – общая масса наплавленного металла, кг,

A – процент внедрения механизированной сварки по техническому проекту от общего объема сварочных работ,

0,85 – поправочный коэффициент, определяющий количественное соотношение между процентом массы наплавленного металла полуавтоматической сваркой от общей массы наплавленного металла и процентом механизации работ» [21].

В проектировке конструкции предусмотрено только применение механизированной сварки, так как такой способ изготовления корпуса цистерны экономически более выгоден:

$$q_{\text{мех}} = \frac{Q * 0.85 * A}{100} = \frac{56,3 * 0.85 * 100}{100} = 47,86 \text{ кг}$$

Определим норму расхода сварочных материалов по формуле:

$$H_{\text{мех}} = q_{\text{мех}} * K, \quad (11)$$

$$H_{\text{мех}} = 47,86 * 1,25 = 59,8 \text{ кг}$$

Нормативы расхода защитного газа CO_2 на 1 кг наплавленного металла составляют $1,6 \text{ м}^3$. Для определения двуокиси углерода в кг воспользуемся формулой перевода данных материалов из м^3 в кг:

$$P = d * V, \quad (12)$$

где P – вес газа, кг,

d – удельный вес газа, $\text{кг}/\text{м}^3$,

(Удельный вес двуокиси углерода $1,98 \text{ кг}/\text{м}^3$)

V – объем газа, м^3 .

$$P = 1,98 * 1,6 = 3,2 \text{ кг}$$

Масса двуокиси углерода составит:

$$q_{\text{CO}_2} = 47,86 * 3,2 = 153,2 \text{ кг}$$

С учетом массы наплавленного металла $47,86 \text{ кг}$.

4.3 Стоимость сварочных материалов

Плановая себестоимость сварочных материалов на 2024 год представлена в таблице 10.

Таблица 10 – Стоимость сварочных материалов

Наименование	Марка	Стоимость
Порошковая проволока	ПП – СВП1 Ø1,2 мм	750,59 руб/кг
Защитный газ	CO ₂	132 руб/кг

Стоимость сварочных материалов:

– порошковая проволока ПП – СВП1 Ø 1,2 мм :

$$Q_{пр.} = 59,8 * 750,59 = 44885,3 \text{ руб.}$$

– защитный газ CO₂:

$$Q_{CO_2} = 191,36 * 132 = 25259,5 \text{ руб.}$$

$$Q_{общ.} = 44885,3 + 25259,5 = 70144,82 \text{ руб.}$$

общая стоимость сварочных материалов.

4.4 Расчет и определение расхода электроэнергии

Расход электроэнергии на 1 кг наплавленного металла приближенно определяется по формуле:

$$C_э = \frac{U_д}{\eta \cdot a_n} \cdot K_{xx}, \quad (12)$$

где $U_д$ – напряжение дуги, В,

η – коэффициент полезного действия установки,

a_n – коэффициент наплавки, г/а*ч,

– коэффициент, учитывающий время горения дуги (работы сварочного оборудования) в общее время сварки» [21].

Стоимость электроэнергии на предприятии в 2024 году составили 6,57 рублей за кВт/ч.

Напряжение на дуге определяется технологией сварки:

$$U_{д. мех.} = 26 \text{ В}$$

Значения коэффициента наплавки при полуавтоматической сварке в защитных газах приведены в паспорте на применяемую проволоку:

$$a_{н. мех.} = 14 \text{ г/а*ч};$$

Коэффициент полезного действия установки указан в её паспорте

$$\eta_{мех} = 0,7$$

Коэффициент, учитывающий время горения дуги (работы сварочного оборудования) в общее время сварки для полуавтоматической сварки в CO_2 :

$$k_{и. мех.} = 0,55-0,70$$

Расход электроэнергии на 1 кг наплавленного металла при механизированной сварке:

$$C_9 = \frac{26}{0,7 \cdot 14} \cdot 0,65 = 1,7 \text{ кВтч};$$

Масса наплавленного металла при механизированной сварке 59,8 кг, тогда расход электроэнергии:

$$C_9 = 59,8 \cdot 1,7 = 101,66 \text{ кВтч.}$$

$$Q_{\text{эл.мех.}} = 101,66 \cdot 6,57 = 667,9 \text{ руб.}$$

Стоимость электроэнергии потраченной на механизированную сварку.

4.5 Расчет нормируемой трудоемкости

Мера труда для каждой технологической операции устанавливается нормой времени труда – времени, предоставленного рабочему для выполнения точно заданной по объему и содержанию работы. Мера труда (норма времени) задается исходя из технических, технологических и организационных условий исполнения работы.

Трудоемкость выполнения операций характеризуется нормой затрат труда. Нормой труда в судостроении является норма времени.

Технологический процесс изготовления секции должен обеспечить эффективное использование всех ресурсов (материальных, энергетических и человеческих). С этой целью целесообразно использовать типовой технологический процесс изготовления секции.

Сборочные и сварочные работы рассчитываются по формуле:

$$T = k * L, \tag{13}$$

где k – штучно - калькуляционное время, н/ч,
– длина шва.

Расчет трудоемкости сборочных работ

Время на укладку листов в количестве 6 штук на плоский металлический стенд, раскрепление их к стенду с помощью прижимов в количестве 4 штук:

$$T_{раскр.} = 1,27 \text{ н/ч}$$

Зачистка мест под установку набора. Время на зачистку одного метра составляет 0,082 часа. Длина зачищаемой поверхности с учетом количества устанавливаемых полособульбовых профилей и их длину, а также длину стыкуемых кромок стенок цистерны, составляет 69,74 м, отсюда:

$$T_{зач.} = 69,74 * 0,082 = 5,7 \text{ н/ч}$$

Установка набора на полотна. Время на установку и раскрепление одного метра 0,20 часа. Общая длина набора 41,94 м.

$$T_{уст.наб.} = 41,94 * 0,20 = 8,39 \text{ н/ч.}$$

Сборка конструкции в объём. Общая длина стыкуемых кромок 23,76 м. Время на установку и раскрепление одного метра 0,20 часа.

$$T_{объем} = 23,76 * 0,20 = 4,8 \text{ н/ч}$$

Общая трудоемкость сборочных работ:

$$T_{общ.} = 1,27 + 5,7 + 8,39 + 4,8 = 20,16 \text{ н/ч}$$

Время на газовую резку при сборке секции берётся как 20 процентов от сборочных работ:

$$T_{z.p.} = 20,16 * 0,2 = 4,03 \text{ н/ч.}$$

Сдача конструкции под сварку:

$$T_{сд.} = 20,16 * 0,05 = 1 \text{ н/ч.}$$

Время на сдачу конструкции определено как 5 процентов от общей нормы на сборку конструкции.

$$T_{общ. сб.} = 1,27 + 5,7 + 8,39 + 4,8 + 1 + 4,03 = 25,19 \text{ н/ч}$$

Общая трудоёмкость сборочных работ с учетом рассчитанного времени на технологические операции.

Расчёт трудоёмкости сварочных работ

Формула расчета нормы времени на 1 погонный метр сварного соединения:

для катетных швов:

$$T_{н1} = T_{шк} * K_{неуд} * K_n * K_{ш} * K_{ст}, \quad (14)$$

для остальных швов:

$$T_{н2} = T_{шк} * \frac{F_n}{100} * K_{неуд} * K_n * K_{ш} * K_{ст} * K_v * K, \quad (15)$$

где $T_{шк}$ – штучно – калькуляционное время, час,

F_n – площадь поперечного сечения шва, мм²,

K – поправочные коэффициенты.

Согласно ГОСТ 21937 полосоульб несимметричный №16б имеет толщину 10 мм, тогда катет сварного шва выбираем 5 мм в соответствии с ГОСТ 14771 – 76.

Приварка пересекающегося набора к полотну:

- длина сварного шва – 41,94 м,
- марка сварочной проволоки – ПП – СВП1,
- диаметр сварочной проволоки – 1,2 мм,
- положение шва в пространстве – нижнее,
- узел сварки ГОСТ 14771 – 76 Т3 катет 5.

При заданном катете площадь поперечного сечения шва составляет 21,0 мм.

$T_{шк} = 0,120$ часа,

$K_{неуд} = 1,0$,

$K_n = 1,0$.

отсюда:

$$T_{н1} = T_{шк} * K_{неуд} * L = 0.120 * 1.0 * 41,94 = 5,03 \text{ ч.}$$

Сварка цистерны в объем:

- марка сварочной проволоки – ПП – СВП1,
- диаметр сварочной проволоки 1,2 мм,
- толщина металла – 10 мм,
- узел сварки ГОСТ 14771 – 76, Т7,
- положение шва в пространстве – вертикальное,
- длина шва – 23,76 м.

F_n площадь поперечного сечения сварного шва Т7 = 73,5 мм² (по действующим формулам расчета площадей поперечных сечений сварных швов), то:

$$T_{\text{шк}} = 0,409 \text{ часа,}$$

$$K_{\text{неуд}} = 1,10,$$

$$K_{\text{н}} = 1,73,$$

$$K_{\text{ш}} = 1,05,$$

$$K_{\text{в}} = 1,02.$$

Подставляя числовые значения в исходную формулу, определяем норму времени:

$$T_{\text{н2}} = 0,409 * \frac{73,5}{100} * 1,10 * 1,73 * 1,05 * 1,02 * 23,76 = 14,56 \text{ часа}$$

Общее время, потраченное на выполнение сварочных работ:

$$T_{1,2} = 14,56 + 5,03 = 19,59 \text{ часа}$$

Время на зачистку сварных швов и околошовной зоны механизированным инструментом от брызг расплавленного металла, шлака, окалины 25 процентов от расчетной нормы времени на сварочные работы:

$$T_{\text{зач.}} = 19,59 * 0,25 = 0,5 \text{ часа}$$

$$T_{\text{общ.св.}} = 19,59 + 0,5 = 20,09 \text{ часа}$$

$$T = 25,19 + 20,09 = 45,28 \text{ часа,}$$

общая трудоемкость изготовления цистерны.

4.5.3 Расчет себестоимости изготовления конструкции

Себестоимость изготовления конструкции в рублях определяется по формуле:

$$C_{ц} = C_{\text{мат}} + C_{\text{эн}} + C_{\text{мц}} + OЗП_{\text{пр.раб.}} + ДЗП_{\text{пр.раб}} + C_{\text{соц.нужды}} + C_{\text{рсэо}} + C_{\text{цр}}, \quad (16)$$

где $C_{\text{мат}}$ – стоимость материалов на технологические нужды и вспомогательные материалы необходимых для изготовления конструкции:

где: $C_{\text{о.м}}$ – стоимость основного металла 144200,55 руб,

$C_{\text{св.м}}$ – стоимость сварочных материалов 70144,82 руб.

$$C_{\text{мат.}} = 144200,55 + 70144,82 = 214345,37 \text{ руб.}$$

$C_{\text{эн}}$ – стоимость электроэнергии потраченной на изготовление конструкции:

$$C_{\text{эн}} = 667,9 \text{ руб.}$$

$C_{\text{мц}}$ – малоценные вещи 2 процента от стоимости материалов $C_{\text{м}}$

$$C_{\text{мц}} = 214345,37 * 2\% = 4286,9 \text{ руб.}$$

$OЗП_{\text{пр.раб.}}$ – основная заработная плата основных рабочих:

$$OЗП_{\text{пр}} = C_{\text{ч}} \cdot T \cdot K_{\text{пр}} \cdot K_{\text{дон}} \cdot K_{\text{р}}$$

где $C_{\text{ч}}$ – часовая тарифная ставка основных рабочих выполняющих

работу:

$$C_{ч. 4р.} = 95,80 \text{ руб/ч,}$$

$$C_{ч. 3р.} = 87,10 \text{ руб/ч.}$$

T – трудоемкость – 45,28 н/ч,

$K_{пр}$ – коэффициент, учитывающий размер премии, $K_{пр} = 1,25$,

$K_{доп}$ – коэффициент, доплат, $K_{доп} = 1,25$,

K_p – районный коэффициент заработной платы, учитывающий льготы крайнего севера $K_p = 2,2$.

$$ОЗП_{пр.раб} = 95,8 * 45,28 * 1,25 * 1,25 * 2,2 = 14911,27 \text{ руб.}$$

$ДЗП_{пр.раб.}$ – дополнительная заработная плата. При расчете дополнительной заработной платы производственных рабочих учитывается, что в нее входят выплаты за очередные и дополнительные отпуска, оплата учебных отпусков, выплаты за не проработанное время; компенсационные выплаты, связанные с условиями труда; доплаты, обусловленные районным регулированием оплаты труда; доплаты до среднего заработка; премии и вознаграждения по итогам работы за год и другие выплаты, не входящие в оплату основных производственных рабочих.

где $K_{дз}$ – коэффициент, учитывающий дополнительную заработную плату, $K_{дз} = 0,8$.

$$ДЗП_{пр.раб.} = 0,8 \cdot 14911,27 = 11929 \text{ руб.}$$

$C_{соц.н.}$ – отчисления на социальные нужды. Единый социальный налог распределяется в пенсионный фонд – 28 процентов, на государственное социальное страхование – 4 процента, на обязательное медицинское

страхование – 3,6 процента, в фонд занятости – 2,0 процента.

Все перечисленные расходы рассчитываются от суммы основной и дополнительной заработной платы рабочих.

$K_{ен}$ – коэффициент единого налога, $K_{ен} = 35,6$ процентов.

$$C_{ен} = K_{ен} \cdot (ОЗП_{пр} + ДЗП_{пр})$$

$$C_{ен} = 35,6\% \cdot (14911,27 + 11929) = 9555 \text{ руб.}$$

$C_{рсэо}$ – расходы на ремонт, содержание и эксплуатацию оборудования 150 процентов от основной заработной платы рабочих:

$$C_{рсэо} = K_{с.рез} \cdot ОЗП_{пр}, \quad (21)$$

$K_{рсэо}$ – коэффициент, учитывающий затраты на РСЭО, $K_{рсэо} = 1,8$

$$C_{рсэо} = 1,8 \cdot 14911,27 = 26840,3 \text{ руб.}$$

$C_{цех}$ – цеховые расходы включают затраты по управлению производством и общехозяйственные расходы. В их состав включаются расходы на содержание общецехового персонала, зданий, сооружений, затраты на испытания, опыты, исследования, рационализацию и изобретательство, охрану труда и прочие расходы. Цеховые расходы – 120 процентов от основной заработной платы производственных рабочих.

$$C_{цр} = K_{цр} \cdot ОЗП_{пр}$$

$$C_{ц.р.} = 1,2 \cdot 14911,27 = 17893,5 \text{ руб.}$$

$C_{ц}$ – суммарные затраты, расходуемые цехом на изготовление секции составляют цеховую себестоимость:

$$C_{цех} = 214345,37 + 667,9 + 4286,9 + 14911,27 + 11929 + 9555 + 26840,3 + 17893,5 = 300429,24 \text{ рублей}$$

4.6 Расчет нормируемой трудоемкости с применением ДГП

С вводом в сварочную ванну дополнительной горячей проволоки увеличится площадь поперечного сечения каждого прохода, тем самым уменьшив необходимое количество проходов для формирования сварного шва. Это сократит время выполнения сварочных работ.

Для возможности выполнения сварки в нижнем положении, мною разработана оснастка в виде распорного блока, которая позволяет выполнять кантовку изготавливаемой конструкции. Известно, что лучшее формирование сварного шва происходит при выполнении сварки в нижнем положении, а расчет нормы времени при нижнем положении шва ниже.

Для сравнения произведём расчёты.

При выполнении сварки с ДГП до 30 процентов присадки вводится в сварочную ванну, минуя столб дуги, а это значит, что нет расхода проволоки на угар и разбрызгивание, поэтому коэффициент расхода $K = 1,25$ при расчёте необходимого количества сварочных материалов для 30 процентов проволоки можно не учитывать:

$$H_{\text{ДГП}} = q_{\text{мех}} * 30\%, \quad (23)$$

$$H_{\text{ДГП}} = 47,86 * 0,3\% = 14,4 \text{ кг}$$

$$H_{\text{пров}} = 47,86 - 14,4 = 33,82 \text{ кг}$$

тогда, с учетом коэффициента потерь будем считать только 70 процентов (33,82 кг) сварочной проволоки:

$$N_{\text{пров}} = q_{\text{мех}} * K = 33,82 * 1,25 = 42,3 \text{ кг}$$

Отсюда общий вес необходимого количества сварочной проволоки составит:

$$N_{\text{общ}} = N_{\text{ДГП}} + N_{\text{пров}}, \quad 24$$

$$N_{\text{общ}} = 14,4 + 42,3 = 56,7 \text{ кг}$$

Масса наплавленного металла составит 56,7 кг, необходимая масса двуокиси углерода составит:

$$q_{\text{CO}_2} = 56,7 * 3,2 = 181,44 \text{ кг}$$

Стоимость сварочных материалов в количестве необходимом для изготовления конструкции:

– порошковая проволока ПП – СВП1 Ø 1,2 мм :

$$Q_{\text{пр.}} = 56,7 * 750,59 = 42558,5 \text{ руб.}$$

– защитный газ CO₂:

$$Q_{\text{CO}_2} = 181,44 * 132 = 23950 \text{ руб.}$$

Общая стоимость сварочных материалов необходимых для изготовления конструкции составит:

$$Q_{\text{общ.}} = 42558,5 + 23950 = 66508,5 \text{ руб.}$$

Масса наплавленного металла при механизированной сварке с ДГП 56,7 кг, тогда расход электроэнергии:

$$C_э = 56,7 * 1,7 = 96,39 \text{ кВтч.}$$

Стоимость электроэнергии потраченной на механизированную сварку:

$$Q_{эл.мех.} = 96,39 * 6,57 = 633,3 \text{ руб.}$$

Расчёт трудоемкости сварочных работ. Время на приварку полособульбового набора к стенкам цистерны:

$$T_{наб.} = 5,03 \text{ часа}$$

Сварка цистерны в объём будет производиться в нижнем положении, за счёт чего незначительно снизится трудоёмкость сварочных работ:

$$T_{св.в.об.} = 0,409 * \frac{73,5}{100} * 1,10 * 1,73 * 1,05 * 23,76 = 14,27 \text{ часа}$$

Общее время потраченное на выполнение сварочных работ:

$$T_{общ.св.} = T_{наб.} + T_{об.} = 14,27 + 5,03 = 19,3 \text{ часа}$$

Время на зачистку сварных швов 2,5 процента от расчетной нормы времени на сварочные работы:

$$T_{зач.} = 19,3 * 0,025 = 0,48 \text{ часа}$$

Общее время, затраченное на сварочные работы, составит:

$$T_{\text{общ.св.}} = 19,3 + 0,48 = 19,78 \text{ часа}$$

$$T = 25,19 + 19,78 = 44,97 \text{ часа,}$$

общая трудоемкость изготовления цистерны.

Расчет себестоимости изготовления конструкции с применением ДГП.

Стоимость материалов для изготовления конструкции:

$C_{\text{о.м}}$ – стоимость основного металла 144200,55 руб,

$C_{\text{св.м}}$ – стоимость сварочных материалов 66508,5руб.

$$C_{\text{мат.}} = 144200,55 + 66508,5 = 210709,05 \text{ руб.}$$

$C_{\text{ЭН}}$ – стоимость электроэнергии потраченной на изготовление конструкции, $C_{\text{ЭН}} = 633,3$ руб.

$C_{\text{мц}}$ – малоценные вещи 2 процента от стоимости материалов $C_{\text{м}}$

$$C_{\text{мц}} = 210709,05 * 2\% = 4214,2 \text{ руб.}$$

$\text{ОЗП}_{\text{пр.раб.}}$ – основная заработная плата основных рабочих,

$$\text{ОЗП}_{\text{пр}} = C_{\text{ч}} \cdot T \cdot K_{\text{пр}} \cdot K_{\text{доп}} \cdot K_{\text{р}}, \quad (25)$$

где $C_{\text{ч}}$ – часовая тарифная ставка основных рабочих выполняющих работу.

$$C_{\text{ч. 4р.}} = 95,80 \text{ руб/ч;}$$

$$C_{\text{ч. 3р.}} = 87,10 \text{ руб/ч;}$$

T – трудоемкость – 44,97 н/ч;

$K_{\text{пр}}$ – коэффициент, учитывающий размер премии, $K_{\text{пр}} = 1,25$,

$K_{\text{доп}}$ – коэффициент, доплат, $K_{\text{доп}} = 1,25$,

K_p – районный коэффициент заработной платы, учитывающий льготы крайнего севера $K_p = 2,2$.

$$OЗП_{\text{пр.раб}} = 95,8 * 44,97 * 1,25 * 1,25 * 2,2 = 14809,2 \text{ руб.}$$

$ДЗП_{\text{пр.раб}}$ – дополнительная заработная плата,

$$ДЗП_{\text{пр.раб}} = K_{\text{дз}}$$

$K_{\text{дз}}$ – коэффициент, учитывающий дополнительную заработную плату,

$$K_{\text{дз}} = 0,8.$$

$$ДЗП_{\text{пр.раб}} \cdot 0,8 \cdot 14809,2 = 11847,4 \text{ руб.}$$

$C_{\text{соц.н.}}$ отчисления на социальные нужды. Единый социальный налог распределяется в пенсионный фонд – 28 процентов, на государственное социальное страхование – 4процента, на обязательное медицинское страхование – 3,6 процента, в фонд занятости – 2,0 процента.

Все перечисленные расходы рассчитываются от суммы основной и дополнительной заработной платы рабочих.

$K_{\text{ен}}$ – коэффициент единого налога, $K_{\text{ен}} = 35,6\%$.

$$C_{\text{ен}} = 35,6\% * (14809,2 + 11847,4) = 9489,7 \text{ руб.}$$

$C_{\text{рсэо}}$ – расходы на содержание и эксплуатацию оборудования;

$$C_{\text{рсэо}} = 1,8 \cdot 14809,2 = 26656,56 \text{ руб.}$$

$C_{\text{цех}}$ – цеховые расходы:

$$C_{ц.р.} = 1,2 \cdot 14809,2 = 17771 \text{ руб.}$$

$C_{ц}$ – суммарные затраты, расходуемые цехом на изготовление секции составляют цеховую себестоимость:

Себестоимость изготовления конструкции, в рублях, определяется по формуле:

$$C_{цех} = 210709,05 + 633,3 + 4214,2 + 14809,2 + 11847,4 + 9489,7 + 26656,56 + 17,0 =$$

рублей

Изменения затрат материалов, трудоёмкости, электроэнергии и разница в себестоимости конструкции изготовленной двумя разными способами представлена в таблице 11.

Таблица 11 – Изменение затрат на изготовления корпуса цистерны

Статьи затрат	Изготовление по базовой технологии	Изготовление с применением ДПП
Расход сварочной проволоки, кг		
Расход защитного газа CO ₂ , кг		
Расход электроэнергии, кВтч		
Стоимость затраченной проволоки, руб.		
Стоимость затраченного защитн. газа, руб.		
Стоимость электроэнергии, руб.		
Общая стоимость материалов, руб.		
Время изготовления конструкции, час.		
ОЗП, руб.		
Себестоимость цеховая, руб.		

Сравнив себестоимость изделия изготовленного двумя способами, очевидно, что изготовление корпуса цистерны по проектной технологии экономически выгодней. Разница в расчётных значениях составила 4298,79 рублей.

Заключение

Цель выпускной квалификационной работы – повышение производительности сварки при изготовлении конструкций из хладостойких сталей за счёт внедрения технологии отличающейся малой погонной энергией достигнута.

В работе рассмотрены две технологии изготовления цистерны сточной воды: базовая (применяемая на предприятии) и проектная технология сварки с применением ДГП.

Были проанализированы наиболее производительные способы дуговой сварки и рассмотрены известные решения ранее выполненных разработок и исследований, тематика которых близка к исходным данным ВКР.

Предложено оборудование для возможной реализации проектной технологии.

Произведён анализ опасных и вредных производственных факторов, присущих разрабатываемому объекту.

Определена оценка экономического эффекта и доказано достижение поставленной цели.

Не смотря на небольшую разницу в расчётных значениях, анализ технологического преимущества сварки с применением ДГП показал, что массовая доля ДГП в сварочной ванне может превысить массу электрода, наплавленную за одинаковый промежуток времени. Также, введение ДГП в сварочную ванну приведёт к увеличению калибра сварного шва и, как следствие, к уменьшению количества проходов.

Уменьшение количества проходов позволит избежать возникновения недопустимых сварочных деформаций, которые искажают форму конструкции и снижают её работоспособность, сократит не только продолжительность сварочного процесса, но и позволит избежать недопустимых межпроходных дефектов, таких, как шлаковые включения и непровары, на исправление которых потребуются дополнительные расходы.

Применение проектного метода сварки повысит важное технологическое и служебное свойство сварных соединений: стойкость против горячих и холодных трещин.

Предложенный способ изготовления конструкций из хладостойких корпусных сталей позволит предприятию производить и поставлять на внутренний и внешний рынки конкурентноспособную продукцию, удовлетворяющую требованиям и ожиданиям потребителя.

Список используемой литературы и используемых источников

1. Алёшин Н.П., Якушин Б.Ф. Совершенствование процесса сварки хладостойких сталей путём оптимизации баланса тепловой энергии дугового источника // Сварочное производство. 2018. № 10. С. 3-13.
2. Барышников А.П., Шарапов М.Г. Сварка корпусных судостроительных для судостроения и морской техники: учебное пособие.; Санкт – Петербург; Изд – во Политехнического университета, 2016. 162 с.
3. Вайнерман А.Е. Сварка корпусных конструкций в среде углекислого газа: Ленинград: Судромгиз, 1963. 148с.
4. Горынин И.В., Малышевский В.А., Хлусова Е.И., Рыбин В.В. Хладостойкие стали для технических средств освоения арктического шельфа // Вопросы материаловедения. 2009. №3, С. 59 – 67.
5. ГОСТ 380 – 2005. Межгосударственный стандарт. Сталь углеродистая обыкновенного качества: Разработан Научно – иссл. инст. «УкрНИИмет». Принят протоколом № 28 от 9 декабря 2005 г.
6. ГОСТ 5264 – 80. Межгосударственный стандарт. Ручная дуговая сварка. Соединения сварные: Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 03.05.90 г. Дата введения установлена 01.07.81 г.
7. ГОСТ 8050 – 85. Межгосударственный стандарт. Двуокись углерода газообразная и жидкая. ТУ: разработан и внесён государственной организацией «Агрохим». Утв. и введён в действие 29. 07. 85 г
8. ГОСТ 8509 – 93. Межгосударственный стандарт. Сортамент: разработан Украинским НИИМ., введён в действие 17 февраля 1993 г.
9. ГОСТ 14771 – 76. Межгосударственный стандарт. Дуговая сварка в защитных газах. Соединения сварные: Постановлением Государственного комитета стандартов Совета Министров СССР от 28. 07. 76 № 1826. Дата введения установлена 01. 07. 77 г.
10. ГОСТ 26271 – 84. Государственный стандарт союза ССР. Проволока порошковая для дуговой сварки углеродистых и

низколегированных сталей. Общие технические требования: изд. – во стандартов Москва. Дата введения 01. 01. 87 г.

1

Думов С.И. Технология электрической сварки плавлением: учебник для машиностроительных техникумов.: 2-е изд. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние. – 1978. – 368 с.
Крампит А.Г. Сварочные приспособления: учебное пособие. ЮТИ ТПУ – 2008 – 95 с.

13 Кузьменко .В.К. Охрана труда в судостроении: учебник. Л.: Судостроение, 1990. 256 с.

14. Окерблом Н.О., Конструктивно – технологическое проектирование сварных конструкций: учебник. М. – Л., «Машиностроение», 1964. 420с.

15. ОСТ 5Р.1093 – 93. Соединения сварные стальных корпусных конструкций надводных судов. ЦНИИТС: утв. и введён в действие техническим комитетом по стандартизации судостроительной отрасли промышленности, 01.07.1994 г.

1

6

ОСТ 5.9092 – 91. Отраслевой стандарт. Корпуса стальных судов. Основные положения. ВДПР.0083-91. Руководящий документ в Киргизии стальных судов
Сварка углеродистых и низколегированных сталей. Основные положения: одобрен Регистром РФ, Речным Регистром РФ. Дата введения 01. 01. 93 г.

18. РД 5. УЕИА.2585 – 88. Руководящий документ. Сварочные материалы в судостроении: введен 01. -1. 1989 г., М., «Издательство стандартов», 1989. 60с.

19.Сборник докладов всероссийской конференции «сварка и родственные технологии для изготовления оборудования специального и ответственного назначения»: Государственный научный центр РФ ЦНИИТМАШ 1929 – 2019. С.51 – 66.

20. Сыч О.В., Хлусова Е.И., Орлов В.В. Хладостойкие стали. Структура, свойства, технологии //Физика металлов и металловедение. 2021. Т. 122. № 6, С. 621 – 657.

21. Юрьев В.П. Справочное пособие по нормированию материалов и электроэнергии для сварочной техники. М., Машиностроение, 1972, 52с.

22. Сборник докладов всероссийской конференции «сварка и родственные технологии для изготовления оборудования специального и ответственного назначения»: Государственный научный центр РФ ЦНИИТМАШ 1929 – 2019. С.51 – 66.