

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«ПЕНЗЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

Факультет
Машиностроения и транспорта
(наименование)

Кафедра
Сварочное, литейное производство
и материаловедение
(наименование)

Направление подготовки

15.03.01 «Машиностроение»
(код и наименование)

Профиль

«Оборудование и технология
сварочного производства»
(наименование)

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему

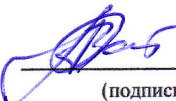
«Разработка технологии сборки и сварки емкостного аппарата
ВЭЭ1-1-1-0,6 из стали 12Х18Н10Т»

Студент

 18.06.18
(подпись, дата)

Савин Николай Андреевич
(фio полностью)

Научный руководитель
к.т.н., доцент

 18.06.18
(подпись, дата)

Хорин А.В.
(фамилия, инициалы)

Нормоконтролёр
к.т.н., доцент

 18.06.18
(подпись, дата)

Хорин А.В.
(фамилия, инициалы)

Работа допущена к защите (протокол заседания кафедры от 04.06.18 № 11)

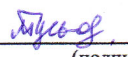
Заведующий кафедрой

 18.06.18
(подпись, дата)

Логинов О.Н.
(фамилия, инициалы)

Работа защищена с отметкой отлично (протокол заседания ГЭК от 18.06.2018 № 6)

Секретарь ГЭК
к.т.н., доцент

 18.06.2018
(подпись, дата)

Гуськов М.С.
(фамилия, инициалы)

Пенза 2018

Графическая часть бакалаврской работы (перечень и содержание плакатов)

- *общий вид емкостного аппарата* 1л А1;
- *технические требования и характеристики емкостного аппарата* 1л А1;
- *схема сборки и сварки емкостного аппарата* 1л А4;
- *технологические параметры режимов сварки* 1л А4;
- *методы контроля качества и КСС* 1л А4;
- *сборочный стенд* 1л А4;

Рекомендуемая литература:

1. **Сосуды и аппараты стальные сварные. Общие технические условия** ГОСТ Р 52630-2012.-Введ.2013-04-01.- М.: ИПК издательство стандартов, 2015. - ||, 128с.: ил.

2. **Правила проектирования, изготовления и приемки сосудов и аппаратов стальных сварных** ПБ 03-584-03 –Введ.-2003-06-10.: -М.: Госгортехнадзор России ,2003. –П, 57с.: ил.

3. **Ракитина С.Г. Проектирование и применение технологической оснастки в сборочно-сварочном производстве [Текст]: учебное пособие./ С.Г. Ракитина. – П.: ПГУ, 2006.-224с**

Дата выдачи задания: 08.12.2017 г.

Руководитель ВКР:

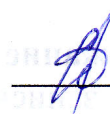
К.Т.Н, доцент



А.В. Хорин

Задание к исполнению принял студент

гр. 14М01



Н.А. Савин

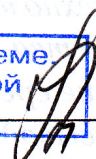
08 декабря 2017 г.

Выпускную квалификационную работу к защите допустить

Декан факультета машиностроения и транспорта

Политехнического института ПГУ

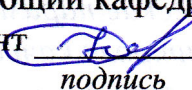
ОГРН освоена в полном объеме
К государственной итоговой
аттестации допустить



С.Ю. Киреев

ФГБОУ ВО «ПЕНЗЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
ФАКУЛЬТЕТ МАШИНОСТРОЕНИЯ И ТРАНСПОРТА
КАФЕДРА «Сварочное, литейное производство и материаловедение»

«Утверждаю»

Заведующий кафедрой СЛПиМ
к.т.н., доцент  О.Н. Логинов
подпись

« 08 » 12 2017 г.

ЗАДАНИЕ
на выпускную квалификационную работу

Студенту гр. 14МО1 Факультета машиностроения и транспорта Политехнического института ПГУ, очной формы обучения по направлению подготовки 15.03.01 «Машиностроение»

Савину Николаю Андреевичу.

Научный руководитель работы: к.т.н., доцент Хорин А.В

Время выполнения ВКР: с 08.12.2017 г. по 01.07.2018 г.

Место преддипломной практики: кафедра «Контроль и испытания материалов» ПГУ.

Тема работы: Разработка технологии сборки и сварки емкостного аппарата ВЭЭ1-1-1-0,6 из стали 12Х18Н10Т.

Тема утверждена приказом ректора ПГУ № 1253/О от 08 декабря 2017 г.

Техническое задание на работу:

- спроектировать сварную конструкцию корпуса емкостного аппарата;
- разработать технологию сборки и сварки корпуса емкостного аппарата;
- спроектировать средства технологического оснащения;
- заменить способ сварки.

Объём и содержание основной части работы

Пояснительная записка (перечень вопросов, подлежащих разработке, расчетов, обоснований, описаний):

- введение с обоснованием актуальности темы исследования, установления объекта и предмета, постановкой цели и задач исследования;
- анализ объекта производства;
- проектирование и расчет элементов конструкции;
- разработка технологии сборки и сварки;
- контроль качества сварных соединений;
- проектирование средств технологического оснащения;
- заключение – выводы и обоснования по теме работы и полученным результатам.

Аннотация

Выпускная квалификационная работа состоит из расчетно-пояснительной записки общим объемом 81 с., состоящей из 25 рис., 16 табл., 28 источников, 2 прил. Графического материала формата А1 6 листов.

ОБЕЧАЙКА, ДНИЩЕ, СТАЛЬ, СВАРКА, ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ, ШОВ, КАТЕТ, ПРОВОЛОКА, СОЕДИНЕНИЕ, ФЛЮС, КАЧЕСТВО .

Объектом разработки является сварная конструкция емкостного аппарата из стали 12Х18Н10Т.

Цель работы: разработать технологию сборки и сварки емкостного аппарата ВЭЭ1-1-1-0,6 из стали 12Х18Н10Т в соответствии с НТД.

Задачи выпускной квалификационной работы:

- а) анализировать объект производства;
- б) проектировать сварную конструкцию изделия;
- в) разработать технологию сборки и сварки изделия с выбором материалов, оборудования и средств технологического оснащения.

В работе проанализирован базовый вариант и разработана усовершенствованная технология сборки и сварки емкостного аппарата путем замены: ручной дуговой сварки, на автоматическую и механизированную сварку в среде защитных газов.

Эффективность спроектированной сварной конструкции и разработанной технологии определяется высокой производительностью на основе механизации операций сборки и сварки корпуса аппарата.

					ПГУ.ВКР.15.03.01.14М0112.ПЗ				
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					
Разраб.		Савин Н.А			Разработка технологии сборки и сварки емкостного аппарата ВЭЭ1-1-1-0,6 из стали 12Х18Н10Т	Лит.	Лист	Листов	
Провер.		Харин А.В					2	92	
						Каф. «СЛПМ», гр.14М01			
Н. Контр.		Харин А.В.							
Утверд.		Логинов О.Н							

Содержание

Введение.....	5
1 Анализ объекта производства	7
1.1 Служебное назначение и описание конструкции изделия.....	7
1.2 Технические требования	9
1.3 Литературно-патентный обзор.....	11
2 Проектирование и расчет элементов конструкции изделия.....	17
2.1 Выбор материала изделия	17
2.2 Расчет внутреннего давления - расчетного и пробного.....	20
2.3 Расчет толщины стенки аппарата.....	24
2.4 Расчет сварных соединений на прочность.....	29
3 Разработка технологии сборки и сварки изделия.....	35
3.1 Разработка схемы технологического процесса изготовления...	35
3.2 Заготовительные операции.....	41
3.3 Выбор и обоснование способов сборки и сварки изделия.....	47
3.4 Выбор сварочных материалов.....	48
3.5 Расчет параметров режимов сварки.....	50
3.6 Выбор сварочного оборудования	59
4 Контроль качества сварных соединений.....	64
4.1 Визуально измерительный контроль.....	65
4.2 Гидравлические испытания.....	66
4.3 Радиографический контроль.....	66
4.4 Ультразвуковой контроль.....	68
4.5 Капиллярный метод контроля	69
4.6 Стилоскопирование	70
4.7 Испытание на стойкость к межкристаллитной коррозии.....	70
4.8 Механические испытания	71
5 Выбор и модернизация средств технологического оснащения.....	73
5.1 Стенд для сборки и сварки.....	73

Заключение.....	77
Список используемых источников.....	78
Приложение А	
Приложение Б	

Введение

В современном машиностроении одним из важнейших технологических процессов соединения металлов является сварка. На данный момент сварка используется во многих отраслях машиностроения: без сварки сейчас нецелесообразно производство турбин, балок, резервуаров для хранения нефтепродуктов, мостов и других агрегатов.

С помощью сварки можно создать соединения, которые не будут уступать по прочности основному материалу, так же будут устойчивы к статическим и динамическим нагрузкам, способны работать при различных температурных режима, а также при оказываемом давлении.

Современная сварка способна соединять различные по характеристикам материалы друг с другом, а также соединять металлы с неметаллами.

Достойное преимущество сварки — это долгий срок службы сварных конструкций, без необходимости дополнительного обслуживания.

Сварка обеспечивает высокую скорость проведения работ, а также возможность замены деталей конструкции или сооружения.

Ещё одно достоинство сварки то, что сварка экономит материал от 5 до 25% , что делает конструкцию легче по весу, чем при литье и клепке. Она позволяет быстро получать изделия сложной формы, аналогичные при изготовлении литьём.

Сварку можно применять прямо на строительной площадке при возведении конструкции в любом положении соединяемых деталей. В любых труднодоступных местах сварку можно применять без нарушения технологии качества конструкции.

Большинство современных видов сварки, благодаря безопасному и надежному оборудованию, не требует высокой квалификации сварщика. Сварной шов при этом будет качественным и будет соответствовать нормативам.

В настоящее время сварку широко используют не только в производстве, но также и в домашних условиях.

Все известные виды сварки можно поделить на две группы: сварка плавлением и сварку давлением. Самое большое распространение получили различные способы электрической сварки плавлением, а ведущее место занимает дуговая сварка. Дуговая сварка наиболее признанным способом сварки плавлением, благодаря которой нагрев происходит с помощью электрической дуги, горящей между электродом и объектом сварки.

Сравнив все преимущества сварки по сравнению с другими технологическими процессами, оказывается, сварка является дешевле других видов соединений, так как экономит материал и энергию, обеспечивает быстрое возведение конструкций, и при этом конструкции служат долго и надежно.

					ПГУ.ВКР.15.03.01.14М0112.ПЗ	Лист
						6
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

1 Анализ объекта производства

1.1 Служебное назначение и описание конструкции изделия

Предметом проектирования в выпускной квалификационной работе является вертикальный емкостной аппарат ВЭЭ1-1-1-0,6 показанный на рисунке 1. Изделие по конструкции представляет собой цилиндрический, вертикальный сосуд объёмом 1000 л, оснащённый штуцерами различного технологического назначения, а также опорами для его установки по месту назначения. Аппарат предназначен для приёма, хранения и выдачи гидроксида натрия с рабочим давлением 0,1 МПа. Гидроксид натрия – является агрессивной средой, вызывает коррозию металла. Вещество применяется в производстве многочисленных продуктов, в частности, поверхностно-активных веществ, бумаги, косметики, лекарственных средств.

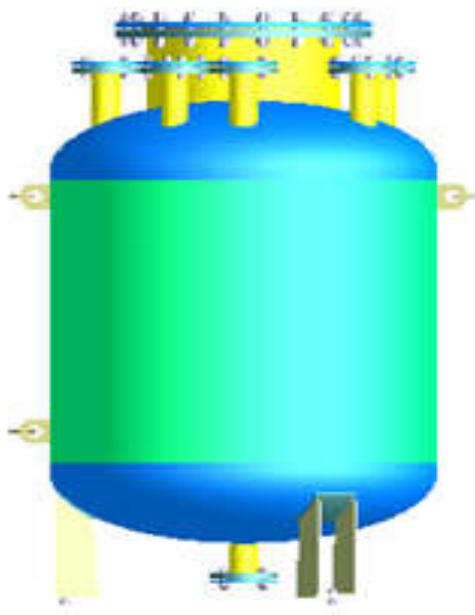


Рисунок 1 – Емкостной аппарат ВЭЭ1-1-1-0,6

Согласно исходным данным на проектирование внутренний диаметр сосуда $D_v = 1000$ мм.

					ПГУ.ВКР.15.03.01.14М0112.ПЗ	Лист
						7
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Днища изготавливаются в соответствии с ГОСТ Р 52630-2012 [1]. Основные геометрические параметрами днища представлены на рисунке 2, габаритные размеры днища показаны в таблице 1.

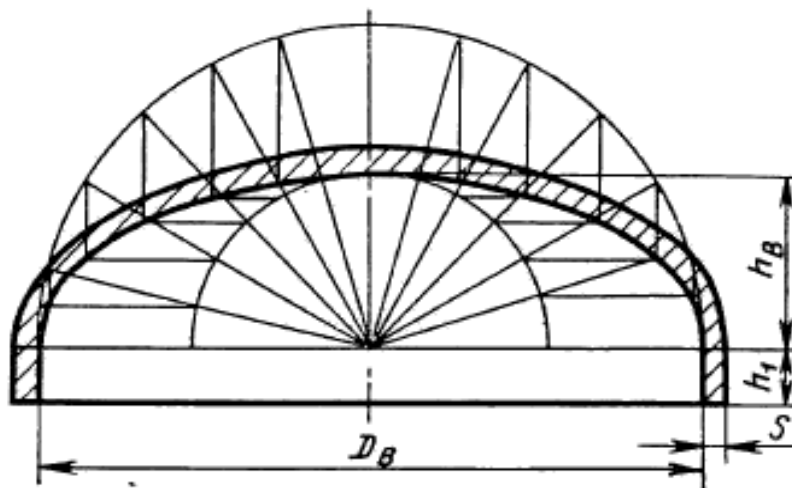


Рисунок 2 – Схема эллиптического днища с основными геометрическими параметрами: $D_{\text{в}}$ – внутренний диаметр днища; S – толщина стенки; h_1 – величина отбортованной части, мм; $h_{\text{в}}$ – величина высоты эллиптической части днища; F – площадь поверхности днища; V – объем днища

Таблица 1 – Габаритные размеры днища

Параметр	$D_{\text{в}}$, мм	h_1 , мм	$h_{\text{в}}$, мм	S , мм	V , дм ³	F , м ²
Значение	1000,0	25,0	250,0	5,0; 6,0; 8,0; 10,0	149,9	1,16

Схема и основные геометрические параметры аппарата представлены на рисунке 3, габаритные размеры аппарата указаны в таблице 2.

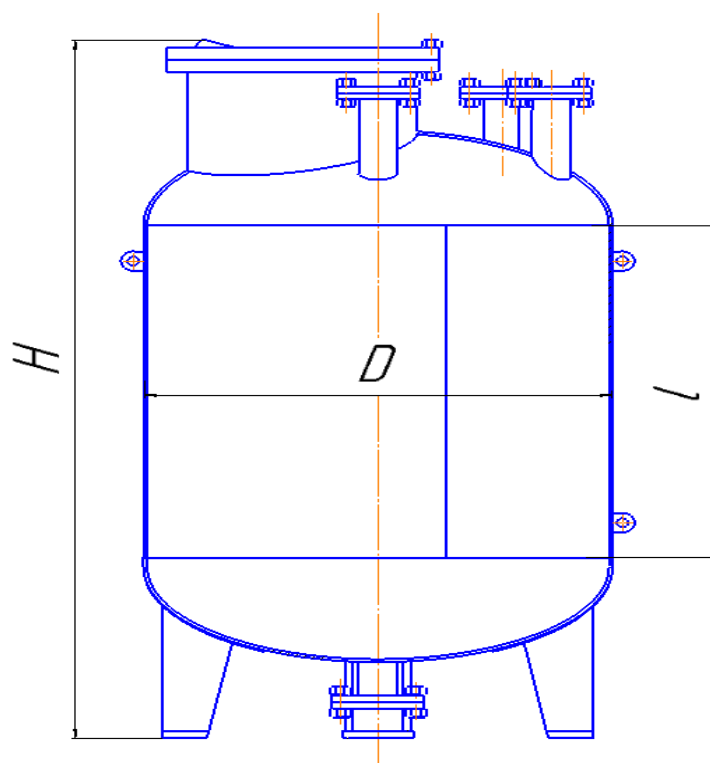


Рисунок 3 – Схема и основные размеры емкостного аппарата ВЭЭ1-1-1-0,6

H – высота аппарата; D – внутренний диаметр; l – высота обечайки .

Таблица 2 – Габаритные размеры аппарата

Параметр	$V_{\text{ном}}, \text{м}^3$	$H, \text{мм}$	$l, \text{мм}$	$D, \text{мм}$
Значение	1,0	1829,0	900,0	1000,0

1.2 Технические требования

Изготовление, испытание, приемку аппарата выполнить в соответствии с требованиями ГОСТ Р 52630-2012 и ПБ 03-584-03 [2] .

Согласно ПБ 03-584-03 данный резервуар должен проходить испытания на прочность и герметичность пробным гидравлическим давлением гидравлическим давлением согласно технической характеристики в течении

30 минут. В соответствии с техническими условиями пробное гидравлическое давление должно составлять 0,512 МПа.

Емкостной аппарат ВЭЭ1-1-1-0,6 необходимо изготавливать согласно нормам стандарта ПБ 03-584-03 и по рабочим чертежам, утвержденным в установленном порядке.

При эксплуатации соблюдаются требования ПБ 03-584-03.

ГОСТ 12.1.007-76 [3] предусматривает 4 класса опасности:

- 1-й – вещества чрезвычайно опасные;
- 2-й – вещества высоко опасные;
- 3-й – вещества умеренно опасные;
- 4-й – вещества малоопасные.

Рабочей средой аппарата является раствор щелочи (гидроксид натрия), раствор является токсичным веществом, поэтому аппарат относится ко 2–му классу опасности. Аппарат не относится не к одной группе категорий взрывоопасности, так как рабочее давление стенки корпуса 0,1 МПа не являющейся взрывоопасным.

Расчётный (назначенный) срок службы 10 лет. Число циклов нагружений за весь срок службы не должен превышать 1000 раз.

Маркировку ёмкостей осуществляют в соответствии с требованиями ПБ 03-584-03.

На корпус ёмкости под табличкой маркировать:

- наименование предприятия-изготовителя;
- заводской номер изделия;
- год изготовления;
- клеймо ОТК.

Гарантируется соответствие емкостей требованиям стандартов и нормативно-технических документов при соблюдении потребителем условий эксплуатации, транспортирования и хранения. Гарантийный срок эксплуатации емкостей – 10 лет со дня ввода в эксплуатацию.

Поверхность сварных швов и околошовных зон, подлежащие контролю неразрушающими методами, должны соответствовать требованиям ОСТ 26-5-99 [4], СТО 00220368-010-2007 [5], СТО 00220256-005-2005 [6], СТО 00220256-014-2008 [7].

Данный аппарат поставляется в сборном виде, штуцеры закрыты заглушками.

Рекомендуется транспортировать ёмкости в многооборотных средствах пакетирования в полувагонах или пакетами в спецвагонах. Схема размещения и крепления емкостей на транспортных средствах должна соответствовать требованиям "Технических условий погрузки и крепления грузов", утвержденных Министерством транспорта Российской Федерации. На одной из боковых сторон каждого ящика должна быть нанесена транспортная маркировка, включающая основные, дополнительные и информационные надписи по ГОСТ 14192-96 [8]. Ёмкости транспортируют транспортом всех видов в соответствии с правилами перевозок грузов, действующими на каждом виде транспорта.

1.3 Литературно-патентный обзор

Согласно с заданием на выпускную квалификационную работу рассматривается технологический процесс изготовления емкостного аппарата ВЭЭ1-1-1-0,6.

Патентное исследование проводится в следующем порядке:

- Формулируется краткое задание.
- Разрабатывается регламент поиска.
- Обосновывается индекс международной патентной классификации (МПК).
- Поиск и отбор информации.

- Обобщаются результаты, разрабатываются рекомендации.
- Составляется отчёт.

Аппарат изготавливается при серийном производстве, при этом необходимо максимально возможно автоматизировать процесс сборки и сварки, для более качественного и быстрого выпуска продукции. С этой целью необходимо применение специального оборудования.

Для серийного производства таких конструкций, как проектируемый емкостной аппарат, для сборочно — сварочных операций применяют специальные автоматические сварочные головки . Сварочные головки позволяют свести к минимуму участие человека в изготовлении продукции, присутствие человека требуется только для установки головки на стенд и задания необходимых параметров режимов сварки.

Патентное исследование проводится с целью исследования технического уровня и тенденции развития оборудования для сварки вертикального емкостного аппарата ВЭЭ1-1-1-0,6.

Регламент поиска состоит из определения вида поиска, его глубины или ретроспективности (количества лет), также в регламент поиска указывается перечень стран ограничивающие объём поиска, выбираются источники информации, по которым будет вестись поиск аналогов объекта, а также индекс МПК.

При осуществлении патентного исследования применяют: патентную, научно техническую информацию и технические журналы. Исходя из выбора источников информации, обеспечивается качество и достоверность патентных исследований.

Дата составления регламента: 26.01.2018 г

Объект поиска: сварочные головки для автоматической сварки в защитных газах.

Начало поиска: 7.02.2018 г

Завершение поиска: 16.03.2018 г.

					ПГУ.ВКР.15.03.01.14М0112.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		12

Страны поиска: Россия.

Основные элементы регламента приведены в таблице 3.

Таблица 3 - Регламент поиска

Предмет поиска	Индекс МПК	Широта поиска	Глубина поиска	Источники информации
Сварочная головка для автоматической сварки	<i>B23K9/30</i>	СССР	50 лет	Реестр изобретений Российской Федерации ФИПС
	<i>B23K 9/16</i>	СССР	50 лет	Реестр изобретений Российской Федерации ФИПС
	<i>B23K 9/12</i> <i>B23K 9/18</i>	Россия	50 лет	Реестр изобретений Российской Федерации ФИПС

Поиск патентной информации может производиться по ключевым словам, по ФИО авторов, по номерам патентов и по индексу МПК.

Индекс МПК состоит из раздела, класса, подкласса, группы и подгруппы.

Индекс МПК начинается с раздела. Раздел обозначается заглавной буквой латинского алфавита от *A* до *H*, каждый раздел имеет своё название. Раздел *B*— различные технические процессы, транспортирование.

Все разделы делятся на классы. Класс состоит из индекса раздела и числа. Заголовок класса отражает его содержание. Класс *B23* — металлорежущие станки, способы и устройства для обработки металлов, не отнесенные к другим рубрикам.

Каждый класс содержит от одного и более подклассов. Подкласс состоит из индекса класса и заглавной буквы алфавита. Заголовок подкласса с наибольшей точностью определяет содержание подкласса.

Каждый подкласс делится на группы и подгруппы. Группа состоит из индекса подкласса и двух чисел разделённых наклонной чертой. Текст основной группы определяет область техники, которая наиболее подходит для проведения поиска. Подгруппа образует рубрики, текст подгруппы наиболее точно определяет область, в которой считается наиболее целесообразно проведение поиска.

В результате проведения поиска было выявлено некоторое количество объектов изобретений по направлению:

– *B23K 9/30; B23K 9/133; B23K 9/12* – головка для автоматической сварки.

– *B23K 9/16* – головка для автоматической дуговой сварки.

– *B23K 9/12; B23K 9/18* – маятниковый мундштук сварочной головки для автоматической сварки.

Для выполнения дальнейшего анализа были подобраны описания изобретений, представляющие собой сварочные головки для автоматической сварки. Результаты проведённого поиска отображены в таблице 4.

Рассмотрев найденную информацию можно сделать вывод, что технология сборки и сварки емкостного аппарата направленно на увеличение степени автоматизации. Использование современных сварочных головок повышает производительность труда и качество выпускаемой продукции.

Таблица 4 – Результаты поиска патентной информации

Предмет поиска (объект исследования и его составные части)	Страна выдачи вид и номер охранного документа. Классификационный индекс МПК	Заявитель (патенто-обладатель), страна, номер заявки, дата приоритета, дата публикации	Название изобретения (полной модели, образца)
1	2	3	4
Сварочная головка для автоматической сварки	СССР, <i>B23K 9/30;</i> <i>B23K 9/133;</i> <i>B23K 9/12.</i>	Шелепов А.А.; Приоритет 01.01.1968	«Головка для автоматической сварки»
	СССР, <i>B23K 9/16,</i> <i>SU 88 4476951.</i>	Гринин Владимир Васильевич; Овчинников Виктор Васильевич; Приоритет 05.07.1988	«Головка для автоматической дуговой сварки»
	Россия, <i>B23K 9/12;</i> <i>B23K 9/18</i>	Новиков Василий Васильевич; Соловьев Сергей Павлович; Шибяев Дмитрий Ильич; Приоритет 08.02.2013	«Маятниковый мундштук сварочной головки для автоматической сварки»

Выполнив литературно патентный обзор, было выявлено, что современный уровень развития техники находится на высоком техническом уровне и в настоящее время успешно развивается.

2 Проектирование и расчет элементов конструкции изделия

2.1 Выбор материала изделия

Материалы, применяемые для проектирования емкостного аппарата, должны гарантировать надежную работу в течение расчетного срока службы с учётом заданных условий эксплуатации (расчетное давление, температурные пределы работы), а так же состава и характера среды (коррозионная активность, токсичность и др.) и влияние окружающей среды.

Проектируемый емкостной аппарат ВЭЭ1-1-1-0,6 эксплуатируется в агрессивной среде, которая имеет склонность к образованию коррозии. Аппарат предназначен для установке в отапливаемом помещении. Аппарат имеет небольшой объём и рабочее давление в 0,1 МПа, но так как среда является токсичной, то в качестве основных материалов для его изготовления по ГОСТ 9931-85 [9] рекомендуется использовать стали аустенитного класса.

Стали аустенитного класса применяемые для изготовления сварных конструкций, относятся к группе нержавеющей сталей.

Проанализировав требования к проектируемой конструкции и экономических соображений, в качестве основного материала применяем сталь 12Х18Н10Т.

Материал в состоянии поставки должен отвечать следующим требованиям:

- листовой прокат из стали 12Х18Н10Т толщиной 6 мм по ГОСТ 7350-77 [10] должен быть горячекатаным, термообработанным, травленным, с обрезанной кромкой.
- трубы диаметром 59 мм и 80 мм по ГОСТ 9941-81 [11] должны быть испытаны гидравлически (каждая труба), на сплющивание или загиб;

— труба диаметром 500 мм по ГОСТ 9940-81 [12] должна быть очищена от окалины, термообработана и испытана гидравлически на сплющивание или загиб;

— сортовой прокат из стали 12X18H10T, по ГОСТ 5949-75 [13] для изготовления фланцев, фланцевых заглушек и патрубков должен быть термообработанным;

— материал для изготовления крепёжных изделий на фланцевые соединения должны быть термообработанным;

Материалы из стали 12X18H10T, включая сварочные, применяемые для сварки деталей из стали 12X18H10T, в состоянии поставки должны быть испытаны на стойкость к МКК по ГОСТ 6032-2003 [14] и перед запуском в производство подвергнуты стилокопированию. Для изготовления подкладных листов и опор используем сталь Ст3.

Химический состав в процентном соотношении для стали 12X18H10T представлен в таблице 5.

Таблица 5 — Химический состав стали 12X18H10T

Параметр	C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Cu	Ti
Значение,	до	до	до	9,0...	до	до	17,0...	до	0,6...
%	0,12	0,8	2,0	11,0	0,02	0,035	19,0	0,3	0,8

Технологические свойства стали 12X18H10T представлены в таблице 6.

Таблица 6 – Технологические свойства стали 12X18H10T

Параметры	Характеристика
Свариваемость:	без ограничений
Флокеночувствительность:	не чувствительна
Склонность к отпускной хрупкости:	не склонна

Механические свойства стали 12X18H10T при температуре 20°C представлены в таблице 7.

Таблица 7- Механические свойства стали 12X18H10T

ГОСТ на изготов- ление	Вид продукции	Предел прочности $\sigma_{\text{в}}$, МПа	Условный предел те- кучести $\sigma_{0,2}$, МПа	Относи- тельное удлине- ние δ_5 , %
		не менее		
-	Лист:			
ГОСТ 7350-77	— толстый	530	215	38
ГОСТ 5582-75	— тонкий	540	200	40
-	Труба:			
ГОСТ 9940-81	— горячедеформи- рованная	529	216	40
ГОСТ 9941-81	— холоднодеформи- рованная	549	216	35

Стали аустенитного класса используют, как жаропрочные при температурах до 600°C. Главными легирующими элементами являются хром и никель. Однофазные стали имеют устойчивую структуру однородного аустенита с небольшим содержанием карбидов Титана. Аустенитные и аустенитно—ферритовые стали обладают уровнем прочности 700-850 МПа.

Хромоникелевый эквивалент определяется по формуле

ГОСТ 33260-2015 приложение С [15] :

$$Cr_{\text{экв}} = \%Cr + (\%Mo + \%Nb + \%Al) + 1,5 \cdot (\%Si + \%W) + 5 \cdot \%Ti + 1 \cdot \%V, (1)$$

где , $Cr_{\text{экв}}$ - хромовый эквивалент;

$$Ni_{\text{экв}} = \%Ni + 0,5 \cdot \%Mn + 30 \cdot (\%C + \%N); (2)$$

где, $Ni_{\text{экв}}$ — никелевый эквивалент;

Для стали 12X18H10T эквивалент будет равен:

$$Cr_{\text{экв}} = 17 + 1,5 \cdot 0,4 + 5 \cdot 0,55 = 20,45 \text{ \%};$$

$$Ni_{\text{экв}} = 11 + 0,5 \cdot 2 + 30 \cdot 0,06 = 13,8 \text{ \%};$$

$$Cr_{\text{экв}} / Ni_{\text{экв}} \geq 1,5;$$

$$20,45 / 13,8 = 1,45 \geq 1,5.$$

По диаграмме Шеффлера на рисунке 4, определяем фазовую структуру стали 12Х18Н10Т. В этой стали преобладает структура аустенита и небольшое количество феррита.

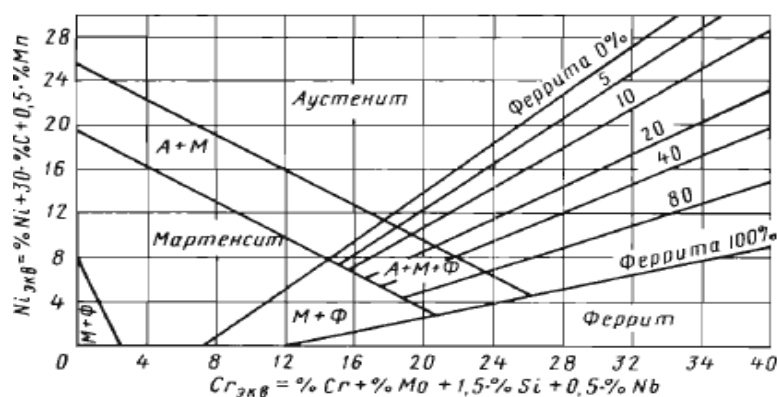


Рисунок 4— Диаграмма Шеффлера

По свариваемости стали подразделяют на три группы: первая — хорошо сваривающиеся; вторая — удовлетворительно сваривающиеся; третья — плохо сваривающиеся стали.

Сталь 12Х18Н10Т хорошо сваривается всеми видами ручной и автоматической сварки. Характерной особенностью сварки стали является возникновение межкристаллитной коррозии.

2.2 Расчёт внутреннего давления – расчётного и пробного

Расчеты в пункте 2.2 выполнялись по [16].

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

ПГУ.ВКР.15.03.01.14М0112.ПЗ

Лист

20

Температура при которой работает аппарат колеблется 20°C. При расчётах принимаем наибольшую температуру стенки $t_{\text{рас}} = 20^\circ\text{C}$.

Определяем допускаемое напряжение для стали 12X18H10T при расчётной температуре $t_{\text{рас}} = 20^\circ\text{C}$.

Допускаемое напряжение – это значение напряжения, которое считается предельно приемлемым при вычислении размеров поперечного сечения элемента, рассчитываемого на заданную нагрузку.

Допускаемое напряжение для данной марки стали при расчётной температуре находится по формуле :

$$[\sigma] = [\sigma]_{20} + \frac{[\sigma]_{100} - [\sigma]_{20}}{t_2 - t_1} \cdot (t_2 - t_1),$$

где, $[\sigma]_{20}$ - допускаемое напряжение при температуре 20°C; $[\sigma]_{100}$ - допускаемое напряжение при температуре 100 °C; $t_{1,2}$ - принятые температуры.

Допускаемые напряжения для стали 12X18H10T при температуре 20°C, определяем по ГОСТ 14249-89 [17] в таблице 8:

Таблица 8 - Допускаемые напряжения

Расчетная температура стенки сосуда или аппарата, °C	Допускаемые напряжения для стали 12X18H10T, МПа
20	184
100	174
150	168
200	160
250	154
300	148
350	144
375	140
400	137

При температуре $t_1 = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ $[\sigma]_{20} = 184\text{ МПа}$;

При температуре $t_2 = 100\text{ }^{\circ}\text{C}$ $[\sigma]_{100} = 174\text{ МПа}$;

Для данной марки стали допускаемое напряжение равно:

$$[\sigma] = 184 + \frac{174 - 184}{100 - 20} \cdot (20 - 20) = 184\text{ МПа}$$

Определяем коэффициент прочности сварных соединений аппарата, работающего под давлением $P_{\text{раб}} = 0,1\text{ МПа}$, расчётная температура $t_{\text{рас}} = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$, среда в аппарате взрывобезопасная, пожаробезопасная, агрессивная.

Для определения прочности сварных соединений, необходимо установить группу сосуда в зависимости от расчётного давления, температуры стенки, и характера рабочей среды. Для заданных условий группа сосуда – 5а.

Аппарат изготавливается из стали 12Х18Н10Т, рабочее давление внутри аппарата составляет $P_{\text{раб}} = 0,1\text{ МПа}$, принятая расчётная температура рабочей среды $t_{\text{рас}} = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$, плотность среды $\rho = 2130\text{ кг/м}^3$, высота сосуда со штуцерами $H_1 = 1829\text{ мм}$, высота уровня рабочей среды $H_c = 1320\text{ мм}$.

Если рабочее давление в аппарате $P_{\text{раб}} \leq 0,3$, то давление при действии предохранительного клапана рассчитывается по формуле (3):

$$P_k = P_{\text{раб}} + 0,05 \quad (3)$$

где, P_k – давление в аппарате при действии предохранительного клапана, МПа;

$P_{\text{раб}}$ – рабочее давление в аппарате, МПа.

Если выполняется условие $0,3 < P_{\text{раб}} \leq 6,0$, то давление при действии предохранительного клапана рассчитывается по формуле (4):

$$P_k = 1,15 \cdot P_{\text{раб}}. \quad (4)$$

Так как выполняется условие $P_{\text{раб}} < 0,3$, то давление в сосуде при действии предохранительного клапана определяется по формуле (3):

$$P_k = 0,1 + 0,05 = 0,15\text{ МПа}$$

Определим давление без учёта гидростатического давления.

Если выполняется условие $P_{\text{раб}} \leq 6,0$, то расчёт давления без учёта гидростатического давления ведётся по формуле (5):

$$P_p = 0,9 \cdot P_k$$

где, P_p – давление без учёта гидростатического давления, МПа.

Если выполняется условие $P_{\text{раб}} > 6,0$, то расчёт давления без учёта гидростатического давления определяется по формуле:

$$P_p = P_{\text{раб}}.$$

Так как $P_{\text{раб}} < 6,0$ МПа, давление без учёта гидростатического давления будет определяется:

$$P_p = 0,9 \cdot 0,15 = 0,135 \text{ МПа.}$$

Гидростатическое давление среды, действующее на элементы сосуда, определяется по формуле (6):

$$P_{\Gamma} = \rho \cdot q \cdot H_c \cdot 10^{-6} = 2130 \cdot 9,81 \cdot 1,32 \cdot 10^{-6} = 0,275 \text{ МПа. (6)}$$

Так как гидростатическое давление среды - P_{Γ} ,

$$P_{\Gamma} = 0,275 > 0,05 \cdot 0,1 = 0,005 \text{ МПа,}$$

составляет более 5 % от рабочего, то расчётное давление с учётом гидростатического давления среды определяется по формуле (7):

$$P = P_p + P_{\Gamma} = 0,135 + 0,275 = 0,41 \text{ МПа. (7)}$$

Пробное давление - давление внутри аппарата при гидравлическом испытании на прочность конструкции и ее герметичность. Определяется по формуле (8):

$$P_{\text{пр}} = 1,25 \cdot P \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]}, \quad (8)$$

где, P - расчетное давление сосуда, МПа; $[\sigma]$ – допускаемое напряжение для материала сосуда при расчетной температуре, МПа.

Пробное давление равно:

$$P_{\text{пр}} = 1,25 \cdot 0,41 \cdot \frac{184}{184} = 0,512 \text{ МПа.}$$

Гидростатическое давление в условиях гидравлического испытания $P_{\text{и}}$ определяется по формуле (9), с учетом гидростатического давления, плотность которой составляет: $\rho=2130 \text{ кг/м}^3$

$$P_{\text{и}} = \rho_{\text{в}} \cdot g \cdot H \cdot 10^{-6} = 1000 \cdot 9,81 \cdot 1,829 \cdot 10^{-6} = 0,179 \text{ МПа.} \quad (9)$$

Так как гидростатическое давление воды:

$$P_{\text{г воды}} = 0,179 \text{ МПа} < 0,05 \cdot P_{\text{пр}} = 0,025 \text{ МПа,}$$

то расчётное давление в условиях испытаний $P_{\text{и}}$ равно пробному давлению $P_{\text{и}} = P_{\text{пр}} = 0,176 \text{ МПа}$.

Проверяем необходимость расчёта на прочность в условиях испытаний:

$$P_{\text{и}} = 0,179 \text{ МПа} > 1,35 \cdot P \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]} = 1,35 \cdot 0,1 \cdot \frac{184}{184} = 0,135 \text{ МПа.} \quad (10)$$

Так как расчётное давление в условиях испытаний больше расчётного давления в рабочих условиях, умноженного на $1,35 \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]}$, то расчёт на прочность необходимо проверить не только для рабочих условий, но и для условий испытания.

2.3 Расчёт толщины стенки аппарата

Рассчитаем толщину стенки эллиптического днища проектируемого аппарата по ГОСТ 14249-89.

Расчетная толщина стенки днища, определяется по формуле (11):

$$S_{\text{лр}} = \frac{P \cdot R}{2 \cdot \varphi_p \cdot [\sigma] - 0,5 \cdot P}, \quad (11)$$

где , P - расчетное внутреннее избыточное давление, МПа; R – радиус кривизны в вершине днища, мм; $[\sigma]$ - допускаемое напряжение для материала обечайки при расчетной температуре, МПа; φ_p - коэффициент прочности продольных сварных швов.

Радиус кривизны днища находится по формуле (12):

$$R = \frac{D^2}{4 \cdot H}, \quad (12)$$

где, D – диаметр нижней части днища; H – высота эллиптической части днища определяется согласно ГОСТ 6533-78 [18].

Тогда,

$$R = \frac{1000^2}{4 \cdot 275} = 909 \text{ мм.}$$

Имея необходимые данные рассчитаем толщину стенки днища:

$$S_{1p} = \frac{0,41 \cdot 909}{2 \cdot 0,9 \cdot 184 - 0,5 \cdot 0,41} = 1,12 \text{ мм.}$$

Исполнительную толщину стенки элемента аппарата определяется по формуле (13).

$$S_1 \geq S_{1p} + C, \quad (13)$$

Тогда,

$$S_1 \geq 1,12 + 1,6 = 2,72 \text{ мм.}$$

Для выбора толщины стенки днищ, необходимо учесть, что к днищам проектируемой ёмкости необходимо произвести крепление штуцеров при помощи сварки. Таким образом, во избежание сварочных деформаций, а также исходя из имеющегося листового или фасонного проката, принимаем толщину стенки днищ $S=8$ мм.

Определяем исполнительную толщину стенки с учётом прибавки на минусовой допуск по формуле (14) :

$$S_1 \geq S_{1p} + C_1 + C_2, \quad (14)$$

Тогда,

$$S_1 \geq 1,12 + 1,6 + 0,3 = 3,02 \text{ мм.}$$

Проверяем необходимость учёта прибавки для компенсации минусового допуска стального листа $S = 8$ мм.

$$C_2 = 0,8 > 0,05 \cdot S = 0,05 \cdot 8 = 0,4 \text{ мм.}$$

Прибавка учитывается, так как составляет более 5% от толщины листа.

Общая сумма прибавок равна:

$$C = C_1 + C_2 = 1,6 + 0,8 = 2,4 \text{ мм.}$$

Допускаемое давление для стенки днища рассчитывается по формуле (15):

$$[P] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p \cdot (S - C)}{R + 0,5(S - C)}. \quad (15)$$

Тогда,

$$[P] = \frac{2 \cdot 184 \cdot 0,9 \cdot (8 - 2,4)}{909 + 0,5 \cdot (8 - 2,4)} = 2,03 \text{ МПа.}$$

Условие прочности:

$$P = 0,1 < [P] = 2,03 \text{ МПа} - \text{выполняется.}$$

Условие применения расчётных формул:

$$\frac{S - C}{D} \leq 0,1$$

$$\frac{8 - 2,4}{1000} = 0,0056 \leq 0,1 - \text{условие выполняется.}$$

Имея все необходимые данные, рассчитаем толщину стенки обечайки по ГОСТ 14249-89 показано на рисунке 5.

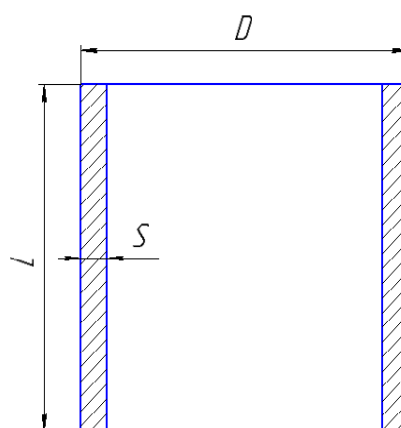


Рисунок 5 – Схема обечайки в разрезе

D – диаметр обечайки; S – толщина стенки; l – высота обечайки.

Расчетная толщина стенки, мм, определяется по формуле (16) :

$$S_p = \frac{P \cdot D}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p - P}, \quad (16)$$

где, P – расчетное внутреннее избыточное давление, МПа; D – внутренний диаметр обечайки, мм; $[\sigma]$ – допускаемое напряжение для материала обечайки при расчетной температуре, МПа; φ_p – коэффициент прочности продольных сварных швов.

Тогда,

$$S_p = \frac{0,6 \cdot 1000}{2 \cdot 184 \cdot 0,9 - 0,1} = 1,8 \text{ мм}$$

Исполнительную,

$$S \geq S_p + C, \quad (17)$$

где, C – прибавка к расчетным толщинам и определяется по формуле:

$$C = C_1 + C_2 + C_3, \quad (18)$$

где, C_1 – прибавка для компенсации коррозии и эрозии, мм; C_2 – прибавка для компенсации минусового допуска, мм; Выбирается из стандартного ряда согласно методическим указаниям. C_3 – прибавка технологическая, мм, не учитывается.

Прибавка для компенсации коррозии C_1 определяется по формуле (19):

$$C_1 = \Pi \cdot \tau + C_э, \quad (19)$$

где, Π – скорость проникновения коррозии, мм/год; τ – срок службы аппарата, лет; $C_э$ – прибавка для компенсации эрозии, мм. В курсовом проекте не учитывается.

Вычисляем исполнительную толщину без прибавки для компенсации минусового допуска:

$$C_1 = 0,1 \cdot 10 = 1 \text{ мм},$$

$$S \geq S_p + C_1 = 1,8 + 1 = 2,8 \text{ мм.}$$

Прибавка для компенсации минусового допуска C_2 учитывается в том случае, когда её значение превышает 5 % от номинальной толщины листа согласно ГОСТ 14249-89.

Определяем исполнительную толщину стенки с учётом прибавки на минусовой допуск $C_2 = 0,6$ мм для листа толщиной 6 мм.

$$S \geq S_p + C_1 + C_2 = 1,8 + 2,8 + 0,6 = 5,2 \text{ мм.}$$

Принимаем исполнительную толщину стенки равной $S = 6$ мм.

Проверяем необходимость учёта прибавки для компенсации минусового допуска стального листа $S = 6$ мм.

$$C_2 = 0,6 > 0,05 \cdot S = 0,05 \cdot 6 = 0,3 \text{ мм.}$$

Прибавка учитывается, так как составляет более 5% от толщины листа.

Общая сумма прибавок равна:

$$C = C_1 + C_2 = 1 + 0,6 = 1,6 \text{ мм.}$$

Допускаемое давление рассчитывается по формуле (20):

$$[P] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p \cdot (S - C)}{D + (S - C)}. \quad (20)$$

Рассчитываем:

$$[P] = \frac{2 \cdot 184 \cdot 0,9 \cdot (6 - 1,6)}{1000 + (6 - 1,6)} = 1,45 \text{ МПа.}$$

Условие прочности:

$$P = 0,1 < [P] = 1,45 \text{ МПа} - \text{выполняется.}$$

Условие применения расчётных формул:

$$\frac{S - C}{D} < 1$$

$$\frac{6 - 1,6}{1000} = 0,0044 < 1 - \text{условие выполняется.}$$

Условия выполняются, следовательно, оставляем заданную толщину стенки $S = 6$ мм.

2.4 Расчёт сварных соединений на прочность

Расчет на прочность сварных соединений в пункте 2.4 выполняется по методическим указаниям [19].

Из приведенных расчетов, полученные значения толщины обечайки и днищ аппарата отличаются, что с технологической точки зрения приводит к необходимости дополнительной механической обработки для плавного перехода сечений в месте сварки.

По конструкции аппарата можно выделить 4 основных соединения:

- 1 продольный стыковой шов (является формообразующим соединением обечайки);
- 2 кольцевых (соединяющее обечайку с днищами аппарата);
- 10 угловых (соединяющие штуцера с днищами аппарата и сварка строповы устройств);
- 18 нахлесточных (соединяющие опоры с обечайкой).

По конструктивным соображениям и последовательности выполнения технологического процесса вначале спроектируем корпус аппарата.

Произведя анализ соединений ГОСТ 14771-76 [20] можно сказать, что при известной толщине стенок обечайки и днищ лучшее проплавление корня шва обеспечит разделка кромок каждой из деталей соединения, согласно нормативной документации этому условию соответствуют типы сварных соединений С21 на рисунке 6, для выполнения продольного шва обечайки.

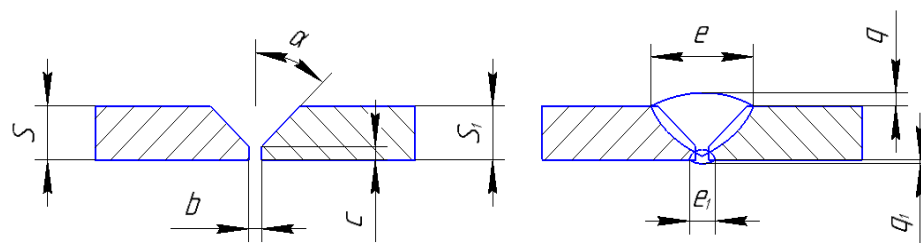


Рисунок 6 – Конструктивные элементы подготовленных кромок свариваемых деталей и шва сварного соединения типа С21 ГОСТ 14771-76

Конструктивные параметры кромок и сварных швов принимаются согласно выполненному ранее расчёту и ГОСТ 14771–76.

Продольный сварной шов обечайки С21 имеет следующие конструктивные параметры: $S = 6$ мм, $S_1 = 6$ мм, $e = 6...10$ мм, $e_1 = 6...10$ мм, $q = 0...1,5$ мм.

Параметры шва С21 сварка обечайки и днища следующие: $S = 6$ мм, $S_1 = 8$ мм, $e = 8...12$ мм, $e_1 = 8...12$ мм, $q = 0...2,5$ мм.

Для приварки штуцера к днищу принимаем в соответствии с ГОСТ 14771-76 угловое соединение типа У5. Данный тип шва обеспечит полное проплавление сварного соединения при условии односторонней сварки с учетом рекомендаций нормативной документации. Конструктивные элементы соединения типа У5 представлены на рисунке 7.

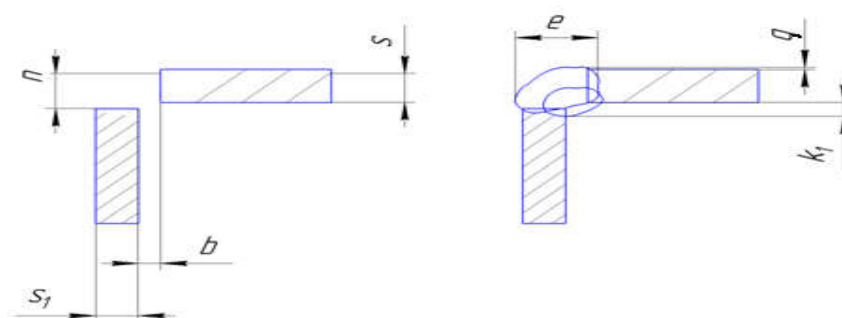


Рисунок 7 – Конструктивные элементы подготовленных кромок свариваемых деталей и шва сварного соединения сферического днища и штуцера горловины типа У5 ГОСТ 14771-76

Согласно выполненному ранее расчету и ГОСТ 14771-76 кромки деталей и сварной шов имеют следующие конструктивные параметры: толщина $S = 8$ мм; $S_1 = 6$ мм; $e = 8 \dots 12$ мм; $q = 1 \dots 1,5$ мм.

Расчет продольного соединения С21 выполняется по формуле (21):

$$\sigma_{\text{ш}} = \frac{N}{F_{\text{ш}}} \leq \frac{m \cdot R_{\text{н}}}{n \cdot \gamma_{\text{м}}}, \quad (21)$$

где, N – растягивающая сила; $F_{\text{ш}}$ – площадь поперечного сечения шва; m – коэффициент условий работы ($m=0,9$); $\gamma_{\text{м}}$ – коэффициент безопасности по материалу ($\gamma_{\text{м}} = 1,1$); n – коэффициент перегрузки ($n=1$); $R_{\text{н}}$ – нормативное сопротивление материала.

Растягивающая сила N будет определяться по формуле (22):

$$N = P_{\text{пр}} \cdot \Pi, \quad (22)$$

где, Π – расчетная площадь поверхности, на которую действует избыточное давление в цистерне.

$$\Pi = 900 \cdot 1000 = 900000 \text{ мм}^2.$$

Тогда,

$$N = 0,512 \cdot 900000 = 460 \text{ кН}.$$

Обладая всеми необходимыми данными, определяем прочность сварного шва:

$$\sigma_{\text{ш}} = \frac{460 \cdot 10^3}{6 \cdot 890} \leq \frac{0,9 \cdot 235}{1 \cdot 1,1},$$

$$\sigma_{\text{ш}} = 86 \leq 200,5 \text{ Н/мм}^2.$$

Условие выполняется, следовательно, шов работоспособен.

Расчет углового соединения У5 выполняется по формуле (23):

$$\sigma_{\text{ш}} = \frac{N}{F_{\text{ш}}} \leq \frac{m \cdot R_{\text{н}}}{n \cdot \gamma_{\text{м}}}, \quad (23)$$

где, N – растягивающая сила; $F_{\text{ш}}$ – площадь поперечного сечения шва; m – коэффициент условий работы ($m=0,9$); $\gamma_{\text{м}}$ – коэффициент безопасности

по материалу ($\gamma_m = 1,1$); n – коэффициент перегрузки ($n=1$); R_n – нормативное сопротивление материала.

Растягивающая сила N будет определяться по формуле (24):

$$N = P_{пр} \cdot \Pi, \quad (24)$$

Так как в конструкции аппарата применяются эллиптические днища, площадь их внутренней (расчетной) поверхности, на которую действует избыточное давление, определяется по правилам геометрии, формула:

$$\Pi = \frac{1}{2} \pi a b,$$

где, a – длина большой полуоси, $a = 1000$ мм; b – длина малой полуоси, $b = 225$ мм.

Тогда,

$$\Pi = \frac{1}{2} \cdot 3,14 \cdot 1000 \cdot 225 = 353250 \text{ мм}^2.$$

Тогда, исходя из равномерного распределения давления по всей площади поверхности днища аппарата растягивающее усилие по формуле определится :

Тогда,

$$N = 0,512 \cdot 353250 = 181 \text{ кН}.$$

Определим прочность сварного шва:

$$\sigma_{ш} = \frac{181 \cdot 10^3}{8 \cdot 990} \leq \frac{0,9 \cdot 235}{1 \cdot 1,1},$$

$$\sigma_{ш} = 22,8 \leq 200,5 \text{ Н//мм}^2.$$

Условия данного расчёта выполняются, следовательно, шов работоспособен.

Расчет углового соединения У5 проводим по формуле (25):

$$\tau = \frac{N}{F} \leq [\tau], \quad (25)$$

где, τ – напряжение среза в угловом сварном соединении; $[\tau]$ – допус-

каемое напряжение при срезе.

Площадь поперечного сечения F для угловых швов рассчитывается по формуле (26):

$$F = \beta \cdot h_{\text{ш}} \cdot L_{\text{ш}}, \quad (26)$$

где, β - коэффициент определения расчетной толщины углового шва;
 $h_{\text{ш}}$ - толщина углового шва, принимаемая равной катету вписанного в шов равнобедренного прямоугольного треугольника.

Для рассматриваемого углового сварного соединения величина $h_{\text{ш}}$ будет определяться по формуле (27):

$$h_{\text{ш}} = \sqrt{e^2 + q^2}, \quad (27)$$

$$h_{\text{ш}} = \sqrt{12^2 + 2,5^2} = 12,26 \approx 12 \text{ мм.}$$

Для штуцера длина сварного шва $L_{\text{ш}}$ определяется по формуле (28):

$$L_{\text{ш}} = \pi d_{\text{ш}} - 10, \quad (28)$$

$$L_{\text{ш}} = 3,14 \cdot 59 - 10 = 175,26 \text{ мм} \approx 175 \text{ мм.}$$

Допускаемое напряжение при срезе $[\tau]$ рассчитываются по формуле (29):

$$[\tau] = (0,5 \dots 0,65) \cdot [\sigma], \quad (29)$$

$$[\tau] = (0,5 \dots 0,65) \cdot 184 = 92 \dots 119,6.$$

Расчётная площадь поверхности Π для штуцера определяем по формуле (30):

$$\Pi = \pi \frac{d_{\text{ш}}^2}{4}, \quad (30)$$

$$\Pi = 3,14 \cdot \frac{59^2}{4} = 2732,585 \approx 2733 \text{ мм}^2.$$

Тогда,

$$N = 0,512 \cdot 2733 = 1400 \text{ Н} \approx 1,4 \text{ кН.}$$

Обладая необходимыми данными определяем напряжение среза углового сварного соединения:

$$\tau = \frac{1,4 \cdot 10^3}{0,9 \cdot 10 \cdot 175} = 0,88 \leq 91 \text{ Н/мм}^2.$$

Условие расчёта углового сварного соединения выполняется, следовательно, сварной шов работоспособен.

					ПГУ.ВКР.15.03.01.14М0112.ПЗ	Лист
						34
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

3 Разработка технологии сборки и сварки изделия

3.1 Разработка схемы технологического процесса изготовления изделия

В технологический процесс производства корпуса емкостного аппарата ВЭЭ1-1-1-0,6 входит ряд операций: правка, резка, гибка, зачистка под сварку, сборка, сварка, калибровка и контроль качества.

Задачей проектирования технологического процесса является : изготовление заданного изделия, путем наиболее рациональным в техническом и экономическом планах при правильном и полноценном использовании всех технических возможностей оборудования и оснастки на наиболее выгодных режимах, при минимальных затратах времени, рабочей силы, вспомогательных материалов и т.д.

В процесс изготовления емкостного аппарата входят следующие стадии:

- заготовка листов для цилиндрической части аппарата;
- резка, сборка и сварка листа: вальцовка, сборка и сварка цилиндрической части;
- общая сборка и сварка аппарата: приварка днищ к цилиндрической части аппарата, приварка штуцеров, опорных элементов;
- отделочные операции: зачистка сварочных швов, очистка от пыли и грязи;
- контрольные испытания;
- нанесение меток и табличек.

Емкостной аппарат собирается и сваривается из нескольких деталей: обечайки, двух днищ, шести штуцеров, люка-лаза , трёх строповых устройств и трёх опорных лап.

Технологическая последовательность операций сборки и сварки емкостного аппарата:

а) Резка листа, вальцовка ,сборка и сварка обечайки (сварное соединение С21 по ГОСТ14771-76)

– Изначально листу predается форма обечайки, выдерживая все размеры по чертежу на изделие (требуемый зазор и смещение кромок), кромки металла зачищаются от грязи и следов коррозии на ширину не менее 100 мм, далее лист с помощью козлового крана перемещается на стенд с роликами, затем сварщик производит прихватки механизированной сваркой в среде аргона, размеры прихваток : длина 20–30 мм; высота 3,0 – 4,0 мм; количество прихваток 3–4 шт. равномерно по периметру.

– Выполняем зачистку прихваток от брызг металла и контроль качества сборки (визуально-измерительный контроль – ВИК в объеме 100%).

–Сварка выполняется автоматической аргонодуговой сваркой в среде аргона ГОСТ 14771-76 сварочной проволокой диаметром 2,0 мм марки Св-06Х19Н9Т по ГОСТ 2246-70 [21].

– Далее после сварки выполняется зачистка сварного шва и примыкающей к нему зоны от брызг металла с дальнейшим проведением контроля качества сварного соединения: ВИК в объеме – 100%, Стилоскопирование, УЗК в объеме - 30%, гидравлическое испытание, механические испытания в соответствии с ГОСТ 6996-66 [22].

б) Сборка и сварка днища с обечайкой (сварное соединение С12 по ГОСТ 14771-76).

– На стенд с роликами устанавливается обечайка ,к ней подается с помощью козлового крана днище, с помощью центратора устанавливается соосность между обечайкой и днищем, выдерживая все размеры по чертежу на изделие (требуемый зазор и смещение кромок), и с помощью центратора закрепляется днище к обечайке. Далее сварщик выполняет прихватки меха-

низированной сваркой в среде инертного газа аргона, размеры прихваток: длина 20—30 мм; высота 3,0— 4,0 мм; количество прихваток 4—5 шт. равномерно по периметру.

— Выполняем зачистку прихваток от брызг металла и контроль качества сборки (визуально-измерительный контроль - ВИК в объеме 100%).

Сварка выполняется автоматической аргонодуговой сваркой в среде Аргона ГОСТ 14771-76 сварочной проволокой диаметром 2,0 мм марки Св-06Х19Н9Т по ГОСТ 2246-70, весь процесс контролируется специалистом на оборудование .

— Далее после сварки выполняется зачистка сварного шва и примыкающей к нему зоны от брызг металла с дальнейшим проведением контроля качества сварного соединения: ВИК в объеме — 100%, Стилоскопирование, УЗК в объеме — 30%, гидравлическое испытание, механические испытания в соответствии с ГОСТ 6996—66.

в) Сборка и сварка люка с днищем (сварное соединение У11-2 по РД 26-18-8-89 [23].

— Аппарат устанавливается на ролики , подается люк и создается соостность с отверстием, выдерживая все размеры по чертежу на изделие (требуемый зазор и смещение кромок), люк закрепляется ложементом , затем сварщик производит прихватки механизированной сваркой в среде аргона, размеры прихваток: длина 20—30 мм; высота 3,0—4,0 мм; количество прихваток 3—4 шт. равномерно по периметру.

— Выполняем зачистку прихваток от брызг металла и контроль качества сборки (визуально-измерительный контроль — ВИК в объеме 100%).

— Сварка выполняется механизированной сваркой в среде аргона по РД 26-18-8-89 сварочной проволокой диаметром 1,2 мм марки Св-06Х19Н9Т по ГОСТ 2246-70.

— Далее после сварки выполняется зачистка сварного шва и примыкающей к нему зоны от брызг металла с дальнейшим проведением контроля качества сварного соединения: ВИК в объеме — 100%, Стилоскопирование, РГК в объеме — 30%, гидравлическое испытание .

г) Сборка и сварка второго днища с обечайкой (сварное соединение С12 по ГОСТ 14771-76).

— На стенд с роликами устанавливается обечайка ,к ней подается с помощью козлового крана второе днище, с помощью центратора устанавливается соосность между обечайкой и днищем, выдерживая все размеры по чертежу на изделие (требуемый зазор и смещение кромок), и с помощью центратора закрепляется днище к обечайке. Сварщик выполняет прихватки механизированной сваркой в среде инертного газа аргона, размеры прихваток: длина 20—30 мм; высота 3,0—4,0 мм; количество прихваток 4—5 шт. равномерно по периметру.

— Выполняем зачистку прихваток от брызг металла и контроль качества сборки (визуально-измерительный контроль — ВИК в объеме 100%).

—Первый проход выполняется изнутри аппарата механизированной сваркой в среде инертного газа аргона по ГОСТ 14771-76, сварочной проволокой 1,2 мм по ГОСТ 2246-70 ; второй проход выполняется снаружи аппарата автоматической аргонодуговой сваркой в среде инертного газа аргона по ГОСТ 14771-76, сварочной проволокой 2 мм по ГОСТ 2246-70.

— Следом после сварки выполняется зачистка сварного шва и примыкающей к нему зоны от брызг металла с дальнейшим проведением контроля качества сварного соединения: ВИК в объеме — 100%, Стилоскопирование ,

УЗК в объеме — 30%, гидравлическое испытание, механические испытания в соответствие с ГОСТ 6996-66.

д) Сборка и приварка штуцеров к верхнему днищу .

—Аппарат устанавливается на ролики , центратором осуществляется соосность штуцеров с отверстиями , сварщик механизированной сваркой выполняет приварку штуцеров, с дальнейшим проведение контроля качества соединений.

е) Сборка и сварка штуцера к нижнему днищу (сварное соединение У5 по ГОСТ 14771-76.

— Аппарат устанавливается на роликовый стенд, к нижнему днищу в горизонтальном положение подается штуцер, с помощью центратора выставляется соосность между штуцером и отверстием ,выдерживая все размеры по чертежу на изделие (требуемый зазор и смещение кромок), после чего сварщик выполняет прихватки механизированной сваркой в среде инертного газа аргона, размеры прихваток: длина 20—30 мм; высота 3,0—4,0 мм; количество прихваток 3—4 шт. равномерно по периметру.

— Выполняем зачистку прихваток от брызг металла и контроль качества сборки (визуально-измерительный контроль — ВИК в объеме 100%).

— Сварка выполняется механизированной сваркой в среде аргона по ГОСТ 14771-76, сварочной проволокой диаметром 1,2 мм марки Св-06Х19Н9Т по ГОСТ 2246-70.

— Далее после сварки выполняется зачистка сварного шва и примыкающей к нему зоны от брызг металла с дальнейшим проведением контроля качества сварного соединения: ВИК (объем — 100%), Стилоскопирование, РГК в объеме - 30%, гидравлическое испытание .

ж) Сборка и сварка строповых устройств.

— С помощью стенда с балконом сварщик осуществляет приварку 3 строповых устройств к емкостному аппарату механизированной сваркой в

среде инертного газа аргона, выдерживая все размеры по чертежу на изделие (требуемый зазор и смещение кромок).

— После производится зачистка сварных швов и примыкающей к ним зон от брызг металла с дальнейшим проведением контроля качества сварных соединений: ВИК в объеме —100%, Капиллярный контроль в объеме-100%.

з) Сборка и сварка подкладных листов к днищу и приварка опор.

— Аппарат устанавливается на роликовый стенд, к нижнему днищу в горизонтальном положении подаются подкладные листы ,листы из стали Ст3, выдерживая все размеры по чертежу на изделие (требуемый зазор и смещение кромок), после чего сварщик выполняет сварку механизированной сваркой в среде инертного газа аргона, используя проволоку 1,2 мм марки Св-06Х19Н9Т по ГОСТ 2246-70, исходя из более легированного материала.

— После производится зачистка сварных швов и примыкающим к ним зон от брызг металла с дальнейшим проведением контроля качества сварных соединений: ВИК в объеме —100%, Капиллярный контроль в объеме -100%.

— После производим приварку опорных лап выдерживая все размеры по чертежу на изделие (требуемый зазор и смещение кромок), используя механизированную сварку в среде аргона, используя проволоку 1,2 мм марки Св-08ГС по ГОСТ 2246-70 .

— После производится зачистка сварных швов и примыкающим к ним зон от брызг металла с дальнейшим проведением контроля качества сварных соединений: ВИК в объеме —100%, Капиллярный контроль в объеме-100%.

3.2 Заготовительные операции

Заготовительные операции подразумевают изготовление заготовок и готовых деталей для сварных узлов различными способами.

Для изготовления емкостного аппарата основными заготовительными операциями являются:

- 1) Выбор листового проката для изготовления цилиндрической части аппарата;
- 2) Раскрой листа до нужного размера;
- 3) Предание формы листа на листогибочной машине.

При изготовлении обечайки материал выбирается исходя из минимального остатка отходов при раскрое листа, а также из имеющихся размерного ряда листов, указанных в ГОСТ 7350-77 .

Размерный ряд изготавливаемого проката указан в ГОСТ 19903-2015 [24].

Для рационального выбора и использования заготовки, а также чтобы судить о расходе материала и количестве отходов необходимо определить коэффициент использования материала $K_{и.м}$ по формуле (31):

$$K_{и.м} = \frac{M_{\phi}}{M_3} \cdot 100\%, \quad (31)$$

где, M_{ϕ} – площадь фактического листа; M_3 – площадь заданного листа.

Площадью фактического листа M_{ϕ} является площади развёртки листа обечайки, для того чтобы её узнать необходимо определить длину листа обечайки/которая определяется по формуле (32):

$$l = \pi(D+S), \quad (32)$$

где, D_v – внутренний диаметр; s – толщина стали.

Тогда,

$$l = \pi(D+S) = 3,14 \cdot (1000+6) = 3158,84 \text{ мм.}$$

Принимаем $l = 3160$ мм.

Площадью заданного листа M_3 является площадь листа, выбранного из ГОСТ 19903-2015. Коэффициент использования материала $K_{и.м}$ должен быть не менее 70 %. Выбираем лист размером 3200х900х6 мм. Схема раскроя данного листа представлена на рисунке 8.

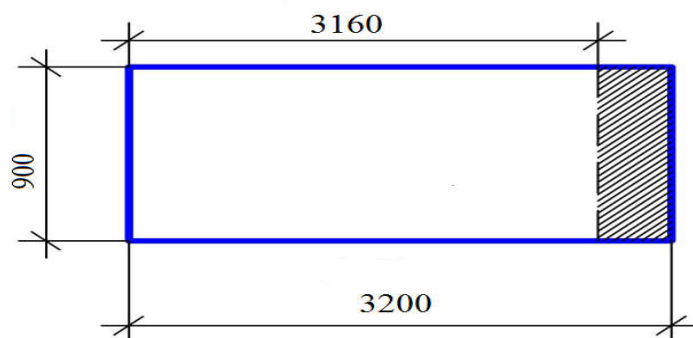


Рисунок 8— Раскрой выбранного для обечайки листа

Тогда,

$$K_{и.м} = \frac{3160 \cdot 900}{3200 \cdot 900} \cdot 100 = 98\%,$$

98% > 70% – условия выполняются.

Таким образом, в рамках выпускной квалификационной работы принимаем прокат:

$$\text{Лист } \frac{\text{Б} - 0 - \text{ПН} - 6 \text{ ГОСТ } 19903 - 2015}{12\text{X}18\text{H}10\text{T} - \text{M}26 \text{ ГОСТ } 7350 - 77}$$

С учетом выбора данных размеров листа, коэффициент использования материала ($K_{им}$) равен 98%, что является большим предельному значению равному 70%. Данное значение коэффициента свидетельствует о более технологичном выборе заготовки для изготовления обечайки.

Раскрой металла является неотъемлемой частью производственных процессов. Гильотинные ножницы позволяют производить точную, качественную резку различных материалов из стали. Гильотинные ножницы по металлу применяют для разрезания как листовых материалов, так и мате-

риалов круглого, углового, прямоугольного сечения. К преимуществам этого оборудования относят высокую точность разреза, отсутствие дефектов (зазубрин, вмятин) в местах среза. Для операции раскроя листа будем использовать Гильотинные ножницы Н–478 показанные на рисунке 9, технические характеристики ножниц в таблице 9.

Таблица 9 –Гильотинные ножницы Н–478. Технические характеристики

Параметры	Значения
Наибольшая толщина разрезаемого листа, мм	16
Габаритные размеры машины, ДхШхН, мм	3300х2400х2350
Мощность электродвигателя, кВт	30
Разделочный стол для листа (ДхШ), мм	4000х2200



Рисунок 9—Гильотинные ножницы Н–478

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ПГУ.ВКР.15.03.01.14М0112.ПЗ

Лист

43

Процесс гибки деталей из листовых заготовок осуществляется на валковых машинах, в которых гибка происходит между тремя вращающимися валками, установленными в шахматном порядке. Преимущественно используются универсальные трех- и четырехвалковые листогибочные машины, но в отдельных случаях находят применение и специализированные машины.

Изготовление стальных цилиндрических обечаек и других листовых конструкций из листового проката осуществляется на специальных установках. Машины листогибочные трехвалковые предназначены для гибки цилиндрических и конических обечаек из листового материала в холодном состоянии. Для операции гибки будем использовать Листогибочную трехвалковую машину ИБ2222В показанная на рисунке 10, технические характеристики машины ИБ2222В в таблице 10.

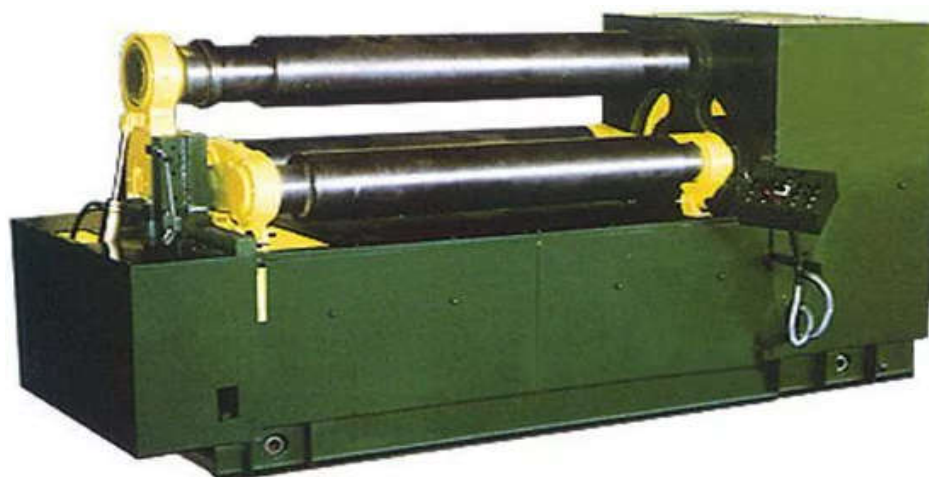


Рисунок 10— Листогибочная машина ИБ2222В

Таблица 10-Листогибочная машина ИБ2222В. Технические характеристики

Параметры	Значения
Наибольшая ширина изгибаемого листа, мм	2000
Наибольшая толщина изгибаемого листа, мм	16
Наименьший радиус гибки, мм	240
Скорость гибки м/мин	8,5
Диаметр верхнего вала, мм	270
Габаритные размеры, мм	4040x1590x2096
Масса, кг	8890

Для получения кромок с требуемыми параметрами, используем фаскосъёмную машину СМФ— 900 показан на рисунке 11. Кромкорез СМФ 900 осуществляет съёмку фаски под сварку с глубиной фаски от 5 до 28мм, шириной до 45мм, углы от 15° до 45°. Кромкорез оснащается специальной подставкой на колесиках.

СМФ—900 обеспечен устройством автоматической подачи по кромке листа со скоростью 0,6 м/мин. Снятие фаски за один проход оператором не должна превышать 6 мм.



Рисунок 11— Кромкорез СМФ 900

Для зачистки шва и около шовной зоны от брызг металла будем использовать шлифовальную машину Bosch GWS 15–125 СІН рисунок 12. Шлифовальная машина имеет мощный мотор, отлично лежит в руках, благодаря эргономичной рукоятке с мягкой накладкой и наилучшим соотношением мощности к весу инструмента.



Рисунок 12—Шлифовальная машина Bosch GWS 15–125 СІН

В результате выбора оборудования для операций раскроя и гибки листа были выбраны: Гильотинные ножницы Н-478 рисунок 9, Листогибочная

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ПГУ.ВКР.15.03.01.14М0112.ПЗ

Лист

46

машина ИБ2222В рисунок 10, Кромкорез СМФ 900 рисунок 11, Шлифовальная машина Bosch GWS 15–125 СІН рисунок 12. Данное оборудование соответствует требованиям необходимым для изготовления обечайки с заданными размерами.

3.3 Выбор и обоснование способов сборки и сварки изделия

Выбирая способы сварки высоколегированных сталей необходимо учитывать ряд особенностей, к которым относятся:

- способ сварки должен обеспечивать требуемый химический состав металла шва;
- зона термического влияния должна быть минимальной;
- источник нагрева должен быть максимально сконцентрирован и локализован.

Исходя из этих соображений и учитывая технологичность применяемых способов рассмотрим два наиболее подходящих варианта :автоматическую аргонодуговую сварку плавящимся электродом и механизированную аргонодуговую сварку плавящимся электродом.

Автоматическая аргонодуговая сварка плавящимся электродом (ААДП) — ток для нагрева металла проходит через плавящийся стальной электрод(сварочную проволоку).Для защиты расплавленного металла от окисления при сварке используется инертный газ аргон или его смеси. Технологический процесс и нанесение сварного шва происходит под надзором оператора, управляющего оборудованием. Движение горелки и подача проволоки выполняется с помощью автоматики.

Механизированную аргонодуговую сварку плавящимся электродом (МАДП) применяют для получения стыковых, тавровых, нахлесточных и других соединений с различной толщиной. Этот способ является самым производительным среди ручных видов сварки. Этот способ сварки, обеспе-

чивает равномерное проплавление основного металла по длине шва и постоянство термического цикла сварки, позволяет получить более стабильную структуру на всей длине сварного соединения.

При сварке в инертных газах (аргон, реже гелий) повышается стабильность дуги и снижается угар легирующих элементов (переход титана составляет 85 %) что важно при сварке высоколегированных сталей. Применение защитных газов с различными теплофизическими свойствами и их смесей изменяет тепловую эффективность дуги и условия ввода тепла в свариваемые кромки и расширяет технологические возможности процесса сварки. Заданный химический состав металла шва можно получить путем изменения состава сварочной (присадочной) проволоки и доли участия основного металла в образовании шва.

3.4 Выбор сварочных материалов

При сварке данной марки стали 12X18H10T предусмотрено ГОСТ 2246-70 следующие марки сварочных проволок: Св-06X19H9Т и Св-07X18H9ТЮ.

Из самых основных трудностей, которые приходится преодолевать при сварке высоколегированных сталей относятся: обеспечение стойкости против образования трещин и обеспечение коррозионной стойкости. Исходя из этих соображений, следует проводить выбор сварочной проволоки.

Св-06X19H9Т– проволока имеет пониженное содержание углерода что обеспечивает лучшую стойкость металла шва против межкристаллитной коррозии, также проволока имеет повышенное содержание хрома. Как основной ферритизатор, этот элемент снижает склонность к образованию горячих трещин за счет создания в металле шва двухфазной структуры.

Проволока Св -07X18H9ТЮ содержит в составе легирующий элемент – алюминий, добавки этого элемента обладающего химическим сродством к

азоту воздуха и связывающие его в нитриды, уменьшают вероятность образования пор вызываемых этим газом. Основным критерием при выборе проволоки является наличие требований по межкристаллитной коррозии предъявляемые при изготовлении к аппарата, поэтому использовать будем рекомендуемую сварочную проволоку Св-06Х19Н9Т, состав проволоки приведен в таблице 11.

Таблица 11 – Химический состав проволоки Св-06Х19Н9Т

Элемент	C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr
Содержание	до 0,08	0,4...1,0	1,0...2,0	8,0...10,0	до 0,015	до 0,03	18,0...20, 0

Основное назначение защитных газов при сварке — заключение сварочной ванны в защитную оболочку для предохранения от вредного внешнего воздействия атмосферного воздуха. Защитные сварочные газы бывают активными, инертными или смесью активных с инертными (инертных с инертными) газов. В качестве защитного газа мы будем использовать аргон по ГОСТ 10157-2016 [25], так как хорошо играет роль изолятора, препятствующего попаданию кислорода и других газов, взаимодействующих со сварочной ванной. При попадании в место сваривания металлов кислород вызывает сильное окисление, влияя на качество шва, а некоторые металлы и вовсе могут возгораться от такой реакции. Благодаря своей инертности аргон сам не вступает в реакции и не дает кислороду реагировать с металлом в сварочной ванне, именно поэтому газ подается до розжига дуги и после окончания сваривания продолжает подаваться некоторое время.

Проволока Св-08ГС предназначена для механизированной дуговой сварки углеродистых и низколегированных сталей в среде защитных газов во всех пространственных положениях, состав данной проволоки приведен в таблице 12.

Таблица 12- Химический состав проволоки Св—08ГС

Параметры	C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr
Значения	до 0,10	0,6...0,85	1,4...1,7	до 0,025	до 0,015	до 0,013	до 0,12

3.5 Расчет параметров режимов сварки

Расчеты параметров режимов сварки в пункте 3.5 выполнялись по методическому материалу [26].

Расчет режима автоматической аргонодуговой сварки плавящимся электродом шва №1

Исходные данные:

- основной металл— сталь 12X18H10T по ГОСТ 7350-77;
- толщина металла— $S=6$ мм;
- способ сварки— автоматическая дуговая сварка плавящимся электродом;
- тип соединения— стыковое;
- тип шва— стыковой;
- положение шва —нижнее;
- тип шва по количеству проходов— двухпроходный;
- формы и размеры подготовки кромок по ГОСТ 14771-76 «Дуговая сварка в защитном газе. Соединения сварные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры» соединение С21 показан на рисунке 13.

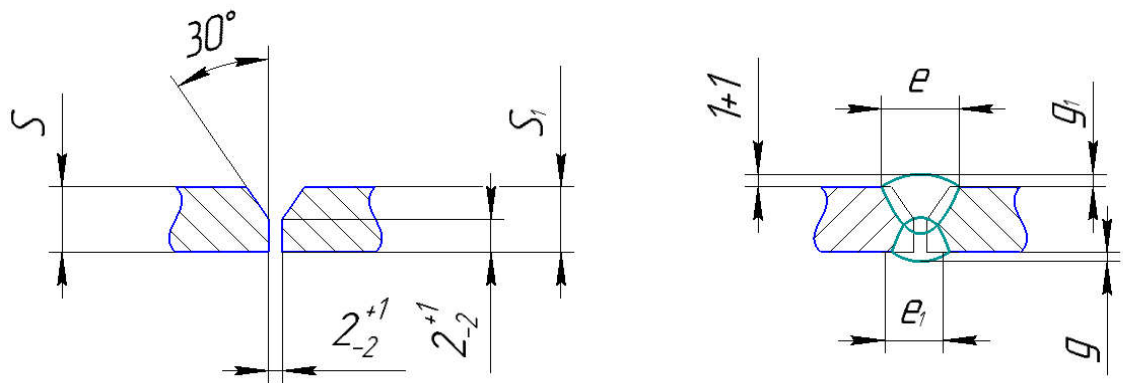


Рисунок 13- Стыковое соединение С21

$S=6\text{мм}$; $S_1=6\text{мм}$; $e=10^{+2}\text{мм}$; $e_1=8^{+2}\text{мм}$; $g=1\text{мм}$; $g_1=1\text{мм}$; $b=2\text{мм}$, $\alpha = 30^\circ$

а) Определим расчетную глубину проплавления h_p :

— для корневого шва (подварочного) $h_p = 3 \text{ мм}$;

— для заполняющих швов $h_p = 4 \text{ мм}$.

б) Диаметр электродной проволоки $d_{эл}$:

Закладываем диаметр проволоки 2мм, для автоматической сварки в защитных газах.

в) Скорость сварки рассчитаем по формуле (33):

$$V_{св \text{ корня}} = \frac{695 \cdot d_{эл}}{e^2} = \frac{695 \cdot 2}{8^2} = 20 \text{ мм/с} = 72 \text{ м/ч} \quad (33)$$

$$V_{св \text{ зап}} = \frac{695 \cdot d_{эл}}{e^2} = \frac{695 \cdot 2}{10^2} = 14 \text{ мм/с} = 50 \text{ м/ч}$$

г) Сварочный ток рассчитаем по формуле (34):

$$I_{св \text{ корня}} = \frac{85,4 \cdot h_p \cdot \sqrt{d_{эл} \cdot V_{св}}}{4 + 0,0285 \cdot h_p \cdot \sqrt{d_{эл} \cdot V_{св}}} = \frac{85,4 \cdot 3 \cdot \sqrt{2 \cdot 20}}{4 + 0,0285 \cdot 3 \cdot \sqrt{2 \cdot 20}} = 350 \text{ А} \quad (34)$$

$$I_{св \text{ зап}} = \frac{85,4 \cdot h_p \cdot \sqrt{d_{эл} \cdot V_{св}}}{4 + 0,0285 \cdot h_p \cdot \sqrt{d_{эл} \cdot V_{св}}} = \frac{85,4 \cdot 4 \cdot \sqrt{2 \cdot 14}}{4 + 0,0285 \cdot 4 \cdot \sqrt{2 \cdot 14}} = 390 \text{ А}$$

д) Определяем напряжение сварки по формуле (35):

$$U_{св \text{ корня}} = 22 + 0,02 \cdot I_{св} = 22 + 0,02 \cdot 350 = 29 \text{ В} \quad (35)$$

$$U_{св \text{ зап}} = 22 + 0,02 \cdot I_{св} = 22 + 0,02 \cdot 390 = 30 \text{ В}$$

е) Определяем длину вылета электродной проволоки по формуле (36):

$$l_в = 10 d_{эл} \pm 2 d_{эл} = 20 \pm 4 \text{ мм} \quad (36)$$

ж) Определяем скорость подачи электродной проволоки при сварке на постоянном токе обратной полярности по формуле (37):

$$V_{\text{эл. корня}} = 0,53 \frac{I_{\text{св}}}{d_{\text{эл}}^2} + 6,94 \cdot 10^{-4} \frac{I_{\text{св}}^2}{d_{\text{эл}}^3} = 0,53 \frac{350}{4} + 6,94 \cdot 10^{-4} \frac{129600}{8} = 58,94 \text{ мм/с} = 212 \text{ м/ч}$$

$$V_{\text{эл. зап.}} = 0,53 \frac{I_{\text{св}}}{d_{\text{эл}}^2} + 6,94 \cdot 10^{-4} \frac{I_{\text{св}}^2}{d_{\text{эл}}^3} = 0,53 \frac{390}{4} + 6,94 \cdot 10^{-4} \frac{152100}{8} = 64,86 \text{ мм/с} = 235 \text{ м/ч}$$

з) Определяем расхода защитного газа по формуле (38):

$$q_{\text{з. корня}} = 0,0033 \cdot I_c^{0,75} = 0,0033 \cdot 350^{0,75} = 0,267 \text{ л/с} = 16 \text{ л/мин}$$

$$q_{\text{з. зап.}} = 0,0033 \cdot I_c^{0,75} = 0,0033 \cdot 390^{0,75} = 0,289 \text{ л/с} = 17 \text{ л/мин}$$

и) Определение количества проходов:

Процесс сварки выполняется за один проход с каждой стороны.

Расчет режима автоматической и механизированной аргонодуговой сварке плавящимся электродом шва № 2

Исходные данные:

- основной металл— сталь 12Х18Н10Т ГОСТ 7350-77;
- толщина металла— S=6 мм; S1=8 мм;
- способ сварки— автоматическая и механизированная аргонодуговая сварка плавящимся электродом;
- тип соединения— стыковое;
- тип шва —стыковой;
- положение шва— нижнее;
- тип шва по количеству проходов— двухпроходный;
- формы и размеры подготовки кромок по ГОСТ 14771-76 «Дуговая сварка в защитном газе. Соединения сварные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры» соединение С12 показано на рисунке 14.

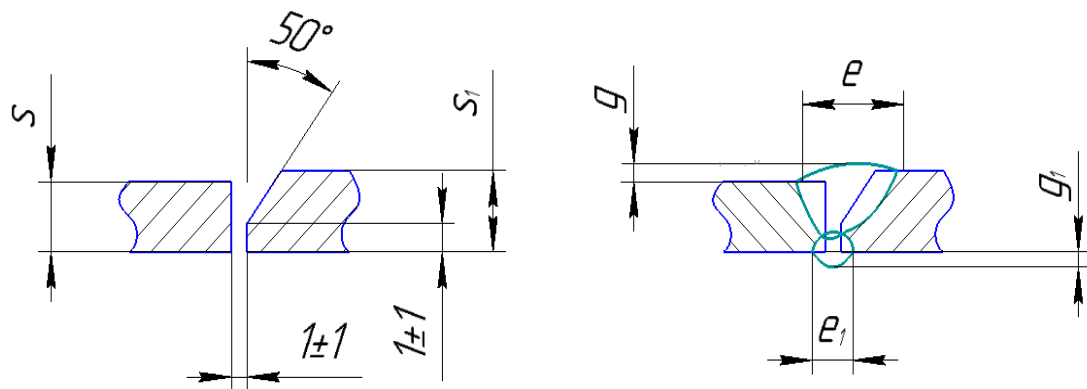


Рисунок 14— Стыковое соединение С12

$S=6\text{мм}$; $S_1=8\text{мм}$; $e=10^{+2}\text{мм}$; $e_1=8^{+2}\text{мм}$; $g=1\text{мм}$; $g_1=1$; $b=2\text{мм}$, $\alpha =30^0$

Расчет режимов автоматической сварки (проход Б) проводится по следующим формулам:

а) Определим расчетную глубину проплавления h_p :

—для заполняющих швов: $h_p = 4\text{мм}$

б) диаметр электродной проволоки $d_{эл}$:

Закладываем диаметр проволоки 2мм, для автоматической сварки в защитных газах.

в) Скорость сварки рассчитаем по формуле (39):

$$V_{св} = \frac{695 \cdot d_{эл}}{e^2} = \frac{695 \cdot 2}{10^2} = 14\text{мм/с} = 50\text{м/ч} \quad (39)$$

г) Сварочный ток рассчитаем по формуле (40):

$$I_{св} = \frac{85,4 \cdot h_p \cdot \sqrt{d_{эл} \cdot V_{св}}}{4 + 0,0285 \cdot h_p \cdot \sqrt{d_{эл} \cdot V_{св}}} = \frac{85,4 \cdot 4 \cdot \sqrt{2 \cdot 14}}{4 + 0,0285 \cdot 4 \cdot \sqrt{2 \cdot 14}} = 390\text{А} \quad (40)$$

д) Определяем напряжение сварки по формуле (41):

$$U_{св} = 22 + 0,02 \cdot I_{св} = 22 + 0,02 \cdot 390 = 30\text{В} \quad (41)$$

е) Определяем длину вылета электродной проволоки (42):

$$l_6 = 10d_{эл} \pm 2 d_{эл} = 20 \pm 4\text{мм} \quad (42)$$

ж) Определяем скорость подачи электродной проволоки при сварке на постоянном токе обратной полярности по формуле (43):

$$V_{\text{эн}} = 0,53 \frac{I_{\text{св}}}{d_{\text{эп}}^2} + 6,94 \cdot 10^{-4} \frac{I_{\text{св}}^2}{d_{\text{эп}}^3} = 0,53 \cdot \frac{390}{4} + 6,94 \cdot 10^{-4} \frac{152100}{8} =$$

$$64,86 \text{ мм/с} = 235 \text{ м/ч} \quad (43)$$

3) Определяем расхода защитного газа по формуле (44):

$$q_{\text{зг}} = 0,0033 \cdot I_{\text{с}}^{0.75} = 0.0033 \cdot 390^{0.75} = 0,289 \text{ л/с} = 17 \text{ л/мин} \quad (44)$$

и) Количество проходов:

Процесс сварки выполняется за один проход.

Расчет режимов механизированной сварки (проход А) проводится по следующим формулам:

а) Расчет режима сварки:

Определим площадь наплавленного металла по чертежу.

$$F_{\text{н}} = 15 \text{ мм}^2$$

б) Определим диаметр электродной проволоки:

Допустимые значения $d_{\text{п}}$ в зависимости от положения при сварке:

— при сварке в нижнем положении:

$$d_{\text{п}} = 0,8 \div 2,5 \text{ мм};$$

Принимаем диаметр проволоки 1,2 мм.

в) Скорость сварки в нижнем положении рассчитаем по формуле (45):

$$V_{\text{с}} \leq \frac{15.9 \cdot d_{\text{ед}}^2 + 67.4 \cdot d_{\text{ед}}^{1.5}}{F_{\text{н}}} = \frac{15.9 \cdot 1,2^2 + 67.4 \cdot 1,2^{1.5}}{15} = 7.43 \text{ м/с} \approx 26.7 \text{ м/ч} \quad (45)$$

г) Определяем скорость подачи электродной проволоки при сварке по формуле (46):

$$V_{\text{зд}} = \frac{4F_{\text{н}}V_{\text{с}}}{\pi d_{\text{ед}}^2 (1 - \psi)} = \frac{4 \cdot 15 \cdot 7.43}{3.14 \cdot 1,2^2 \cdot (1 - 0.1)} = 109.53 \text{ мм/с} = 395 \text{ м/час} \quad (46)$$

д) Сварочный ток рассчитаем по формуле (47):

$$I_{\text{с}} = d_{\text{зд}} (\sqrt{1450 \cdot d_{\text{зд}} V_{\text{зд}} + 145150} - 382) = 1.2 (\sqrt{1450 \cdot 1.2 \cdot 109.53 + 145150} - 382) = 230 \text{ А} \quad (47)$$

е) Определяем напряжение сварки по формуле (48):

$$U_c = 14 + 0.05 \cdot I_c = 14 + 0.05 \cdot 230 = 26B \quad (48)$$

ж) Определяем длину вылета электродной проволоки по формуле (49):

$$l_{\text{в}} = 10d_{\text{ед}} \pm 2d_{\text{ед}} = 12 \pm 2.4 \text{ мм} \quad (49)$$

з) Определяем расход защитного газа по формуле (50):

$$q_{\text{зг}} = 0,0033 \cdot I_c^{0.75} = 0.0033 \cdot 230^{0.75} = 0,194 \text{ л / с} = 12 \text{ л / мин} \quad (50)$$

и) Определение количества проходов:

Процесс сварки выполняется за один проход.

Расчет режима механизированной аргонодуговой сварке плавящимся электродом шва № 3

Исходные данные:

- основной металл— сталь 12X18H10T ГОСТ 7350-77;
- толщина металла— S=6 мм; S1=8 мм;
- способ сварки— механизированная дуговая сварка плавящимся электродом;
- тип соединения –угловое ;
- тип шва— угловое ;
- положение шва— нижнее; с разделкой кромок;
- тип шва по количеству проходов— многопроходный;
- формы и размеры подготовки кромок по РД 26-18-8-89 У11-2 «Сварные соединения приварки люков, штуцеров и муфт. Основные типы, конструктивные элементы и размеры» рисунок 15.

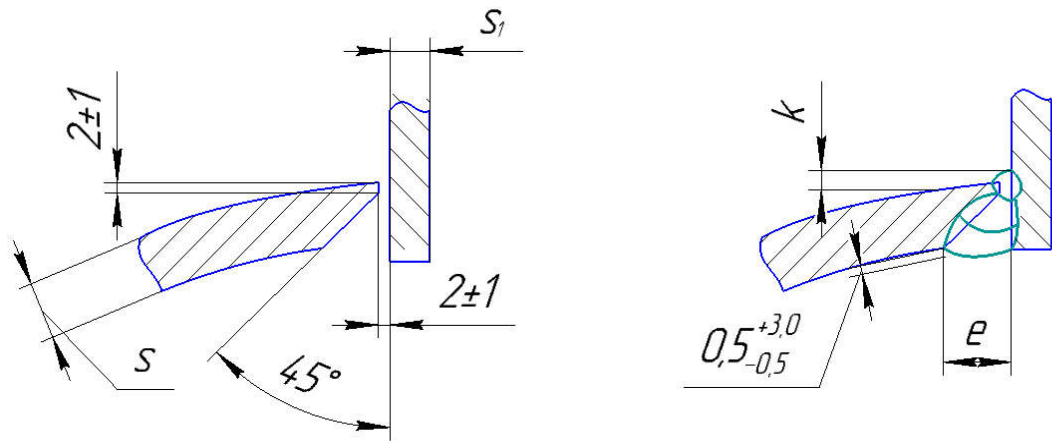


Рисунок 15— Угловое соединение У11-2

$S = 8$; $S_1 = 6$ мм; $e = 20$ мм; $k = 3$ мм; $b = 2 \pm 1$ мм; $\alpha = 45^\circ$;

а) Расчет режима сварки:

Определим площадь наплавленного металла по чертежу.

$$F_n = F_1 + F_2 = 54 \text{ мм}^2$$

б) Определим диаметр электродной проволоки:

Допустимые значения d_n в зависимости от положения при сварке:

— при сварке в нижнем положении:

$$d_n = 0,8 \div 2,5 \text{ мм};$$

Принимаем диаметр проволоки 1,2 мм.

в) Скорость сварки в нижнем положении рассчитаем по формуле (51):

$$V_c \leq \frac{15,9 \cdot d_{eo}^2 + 67,4 \cdot d_{eo}^{1,5}}{F_n} = \frac{15,9 \cdot 1,2^2 + 67,4 \cdot 1,2^{1,5}}{18} = 6,2 \text{ мм/с} \approx 22,3 \text{ м/ч} \quad (51)$$

г) Определяем скорость подачи электродной проволоки при сварке по формуле (52):

$$V_{30} = \frac{4F_n V_c}{\pi d_{eo}^2 (1 - \psi)} = \frac{4 \cdot 18 \cdot 6,2}{3,14 \cdot 1,2^2 \cdot (1 - 0,1)} = 109,68 \text{ мм/с} = 395 \text{ м/час} \quad (52)$$

д) Сварочный ток рассчитаем по формуле (53):

$$I_c = d_{30} (\sqrt{1450 \cdot d_{30} V_{30} + 145150} - 382) = 1,2 (\sqrt{1450 \cdot 1,2 \cdot 109,68 + 145150} - 382) = 230 \text{ А} \quad (53)$$

е) Определяем напряжение сварки по формуле (54):

$$U_c = 14 + 0,05 \cdot I_c = 14 + 0,05 \cdot 230 = 26 \text{ В} \quad (54)$$

ж) Определяем длину вылета электродной проволоки по формуле (55):

$$l_6 = 10d_{eo} \pm 2d_{eo} = 12 \pm 2.4 \text{ мм} \quad (55)$$

з) Определяем расход защитного газа по формуле (56):

$$q_{\text{зс}} = 0,0033 \cdot I_c^{0.75} = 0.0033 \cdot 230^{0.75} = 0,194 \text{ л / с} = 12 \text{ л / мин} \quad (56)$$

и) Определение количества проходов:

При сварке соединений с разделкой кромок количество проходов определяется по формуле (57):

$$n = ((F_0 - F_{\text{нк}}) / F_{\text{нз}}) + 1; \quad (57)$$

где F_0 – площадь разделки шва, которую необходимо заполнить; $F_{\text{нк}}$ – площадь наплавленного металла корневого шва; $F_{\text{нз}}$ – площадь наплавленного металла каждого заполняющего шва (принимаем 18 мм^2).

$$n = (54 - 20) / 18 + 1 = 2,88$$

Принимаем 3 прохода (корень, заполняющие валики, облицовочные швы).

Расчет режима механизированной аргонодуговой сварке плавящимся электродом шва № 4

Исходные данные:

– основной металл – сталь 12X18H10T ГОСТ 7350-77;

– толщина металла – $S=6 \text{ мм}$; $S1=8 \text{ мм}$;

– способ сварки – механизированная дуговая сварка плавящимся электродом;

– тип соединения – угловое;

– тип шва – угловое;

– положение шва – нижнее;

– тип шва по количеству проходов – двухпроходный;

—формы и размеры подготовки кромок по ГОСТ 14771-76 «Дуговая сварка в защитном газе. Соединения сварные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры» соединение У5 показано на рисунке 16.

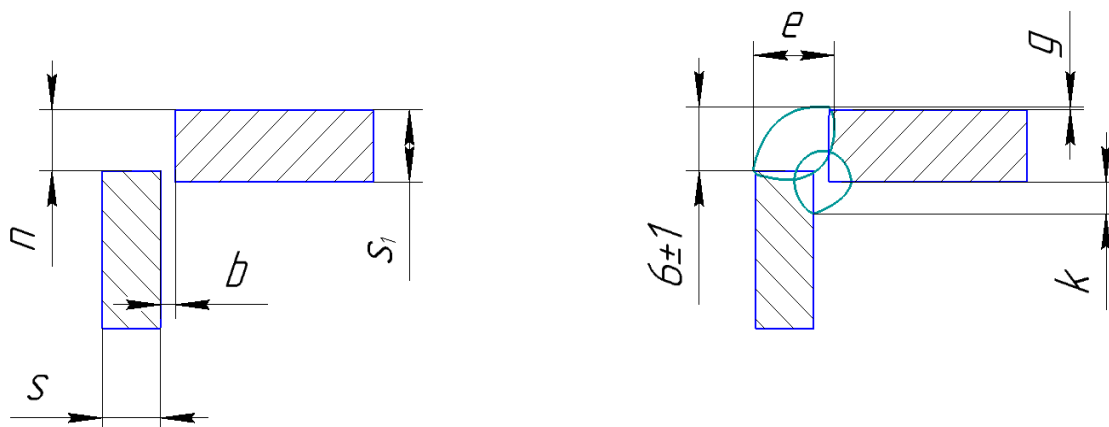


Рисунок 16— Угловое соединение У5

$S = 6$; $S_1 = 8$ мм; $k=4$ мм; $b = 0^{+1}$ мм;

а) Расчет режима сварки:

Определим площадь наплавленного металла по чертежу:

$$F_H = 0,5K^2 + 1,05K = 12,2 \text{ мм}^2$$

б) Определим диаметр электродной проволоки:

Допустимые значения d_{Π} в зависимости от положения при сварке:

—при сварке в нижнем положении:

$$d_{\Pi} = 0,8 \div 2,5 \text{ мм};$$

Принимаем диаметр проволоки 1,2 мм.

в) Скорость сварки в нижнем положении рассчитаем по формуле (58):

$$V_c \leq \frac{15,9 \cdot d_{\text{ед}}^2 + 67,4 \cdot d_{\text{ед}}^{1,5}}{F_H} = \frac{15,9 \cdot 1,2^2 + 67,4 \cdot 1,2^{1,5}}{12,2} = 9,13 \text{ мм/с} \approx 32 \text{ м/ч} \quad (58)$$

г) Определяем скорость подачи электродной проволоки при сварке по формуле (59):

$$V_{\text{зд}} = \frac{4F_H V_c}{\pi d_{\text{ед}}^2 (1 - \psi)} = \frac{4 \cdot 12,2 \cdot 9,13}{3,14 \cdot 1,2^2 \cdot (1 - 0,1)} = 109,46 \text{ мм/с} = 395 \text{ м/час} \quad (59)$$

д) Сварочный ток рассчитаем по формуле (60):

$$I_c = d_{30}(\sqrt{1450 \cdot d_{30} V_{30} + 145150} - 382) = 1.2(\sqrt{1450 \cdot 1.2 \cdot 109.46 + 145150} - 382) = 230 A \quad (60)$$

е) Определяем напряжение сварки по формуле (61):

$$U_c = 14 + 0.05 \cdot I_c = 14 + 0.05 \cdot 230 = 26 B \quad (61)$$

ж) Определяем длину вылета электродной проволоки по формуле (62):

$$l_e = 10d_{e0} \pm 2d_{e0} = 12 \pm 2.4 \text{ мм} \quad (62)$$

з) Определяем расход защитного газа по формуле (63):

$$q_{32} = 0.0033 \cdot I_c^{0.75} = 0.0033 \cdot 230^{0.75} = 0.194 \text{ л/с} = 12 \text{ л/мин} \quad (63)$$

и) Определение количества проходов:

Процесс сварки выполняется за один проход с каждой стороны.

3.6 Выбор сварочного оборудования

В процессе изготовления данного аппарата используются два метода сварки: автоматическая аргонодуговая и механизированная аргонодуговая сварка плавящимися электродами. Автоматическая сварка используется для:

- 1) Продольного шва обечайке с двух сторон ;
- 2) Для кольцевого шва приварке первого днища к обечайке с двух сторон;
- 3) Для кольцевого шва приварке второго днища с внешней стороны в качестве заполняющего, а с внутренней стороны используем механизированную.

Для всех последующих видов сварных соединений, будем использовать механизированную аргонодуговую сварку плавящимся электродом.

Для автоматической сварки будем использовать передвижной стенд со сварочной головкой. Сварочную головку будем использовать фирмы AS2 MiniMaster показанный на рисунке 17, с блоком управления A2PEL и с источником питания LAF 1001 показанный на рисунке 18 .

Сварочная головка AS2 MiniMaster предназначена для сварки под флюсом и в среде защитных газов. Легкий, компактный дизайн позволяет добиться большой гибкости; модульная конструкция позволяет расширить, интегрировать или внести изменения в систему в зависимости от производственных задач. Головка также оснащена технологией слежения по стыку с помощью ручных или моторизованных слайдеров и автоматической системой слежением за стыком. Сварочная головка может устанавливаться на любую систему для перемещения - балочную карету, сварочные центры типа колонна-консоль и другие.



Рисунок 17— Сварочная головка AS2 Mini Master

Основные технические характеристики сварочной головки AS2 Mini Master приведены в таблице 13.

Таблица 13— Технические характеристики сварочной головки AS2 Mini

Технические характеристики	Сварка в защитных газах
Диаметр проволоки, мм	0,8...2,4
Скорость подачи проволоки, м/мин	02,...16
Угол поворота слайдера	360°
Напряжение управления, В	42

Источник питания LAF 1001 постоянного тока дуговой сварки предназначен как для сварки под флюсом, так и для сварки в защитных газах. Данный источник трехфазный, с воздушным охлаждением предназначен для высокопроизводительной автоматической дуговой сварки. Обеспечивает хорошее стабильное горение дуги как при высоком , так и при низком напряжении дуги. Настройка и контроль параметров сварки на источнике питания осуществляется с передней панели блока управления. Для решения наиболее сложных задач диапазон сварочного тока можно расширить, подключив два источника питания параллельно.



Рисунок 18— Источник питания LAF 1001

Для механизированного способа сварки используем сварочный аппарат, обладающий выдающейся мощностью и производительностью ESAB OrigoMig 4004i A44 показан на рисунке 19. Предназначен для сварки в среде защитных газов, характеризуется существенно более высокой эффективностью, его КПД близок к 1. Повышенная производительность и коэффициент мощности снижают потребление и затраты энергии в одинаковых условиях сварки. Технические характеристики источника питания в таблице 14.

Таблица 14— Технические характеристики аппарата ESAB OrigoMig 4004i A44 :

Напряжение сети	380В
Фазы	3
Минимальный диаметр проволоки	0,6мм
Максимальный диаметр проволоки	1,6мм
Сварочный ток	20...400А
Мощность	4500Вт
Напряжение холостого хода	55В
Мощность холостого хода	40Вт



Рисунок 19—Сварочный аппарат аппарата ESAB OrigoMig 4004i
А44.

В результате, было подобранно сварочное оборудование ,которое обеспечит все необходимые требования при изготовлении данного аппарата

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ПГУ.ВКР.15.03.01.14М0112.ПЗ

Лист

63

4 Контроль качества сварных соединений

Контроль качества сварных швов необходимая процедура для определения качества металлоконструкции.

Если шов недостаточно плотный, с нарушенной герметичностью и другими деформациями – все это неминуемо скажется на сроке эксплуатации металлоконструкции.

В процессе образования сварного соединения в металле шва в зоне термического влияния могут возникать дефекты, т. е. отклонения от установленных норм и требований, приводящие к снижению прочности, эксплуатационной надежности, точности, а также ухудшению внешнего вида изделия.

Выделяют следующие виды дефектов в сварных соединениях:

- трещины;
- подрезы;
- наплывы;
- непровары;
- кратеры;
- пористость;
- шлаковые включения.

Исходя из того, нарушается или не нарушается целостность сварного соединения при контроле, различают неразрушающие и разрушающие методы контроля.

При неразрушающих испытаниях оценивают те или иные физические свойства, косвенно характеризующие прочность или надежность сварного соединения. Неразрушающие методы (ими проверяется более 80 % сварных соединений) применяют, как правило, после изготовления изделия для об-

наружения в нем дефектов. К неразрушающим методам контроля качества сварных соединений относятся:

- внешний осмотр;
- радиационный ;
- ультразвуковой;
- магнитный;
- контроль на непроницаемость.

Разрушающие испытания проводят на образцах-свидетелях, моделях и реже на самих изделиях для получения информации, прямо характеризующей прочность, качество или надежность соединений. К их числу относятся: механические испытания, металлографические исследования, химический анализ и специальные испытания. Эти методы применяют главным образом при разработке технологии изготовления металлических конструкций или для выборочного контроля готовой продукции.

При выборе способа контроля качества сварных соединений для проектируемой конструкции следует опираться на ГОСТ Р 52630-2012 и ПБ 03-584-03.

Учитывая конструкторские особенности, назначение проектируемой конструкции, а также принятые способы сварки, поверхности сварных швов и околошовных зон, подлежат контролю неразрушающими методами, должны соответствовать требованиям ОСТ 26-5-99; СТО 00220368-010-2007; СТО 00220256-005-2005; СТО 00220256-014-2008; ГОСТ 6996-66; ГОСТ 6032-2003.

4.1 Визуально измерительный контроль

Сначала аппарат должен пройти визуальный контроль, на данном этапе проводится сто процентная проверка всех сварных швов, осмотр производится невооруженным глазом со всех сторон, при этом можно использо-

вать линейку, лупу, универсальный шаблон сварщика. При визуальном контроле проверяются геометрические размеры швов, наличие подрезов, пор, непроваров. Визуально-измерительному контролю так же подвергаются все прихватки, выполняемые при сборки аппарата.

4.2 Гидравлические испытания

Испытание на прочность и герметичность пробным гидравлическим давлением согласно технической характеристике в течении не менее 30 минут, давление должно превышать рабочее в 1,5–2 раза. Падение давления, трещины, остаточные деформации, течи и потения в сварных швах, в основном металле, фланцах и резьбовых соединениях не допускается. Гидравлическому испытанию подвергаются все выбранные швы.

4.3 Радиографический контроль

Радиографический контроль производится по СТО 00220368-010-2007, основан на принципе прохождения гамма лучей, а также рентгеновского излучения сквозь твердые поверхности. При прохождении лучи сталкиваются с материалом и лишь часть из них проходит. Если в сварном шве есть поры, раковины и прочие дефекты, создающие неоднородность структуры, то в них будет проходить большее количество лучей, чем в остальных участках. Это помогает точно выявить не только наличие брака, но и его размеры, тип и место расположения. Фиксируются результаты на специальной пленке, что является еще одним преимуществом данного метода.

К преимуществам данного вида контроля относятся:

— является одним из самых точных методов неразрушающего контроля;

- позволяет выявлять скрытые дефекты;
- проводится за относительно короткий промежуток времени.

К недостаткам можно отнести:

- требует применения дорогостоящего оборудования;
- представляет опасность для здоровья человека;
- сложен в исполнении.

Схема использования радиографического контроля представлена на рисунке 20.

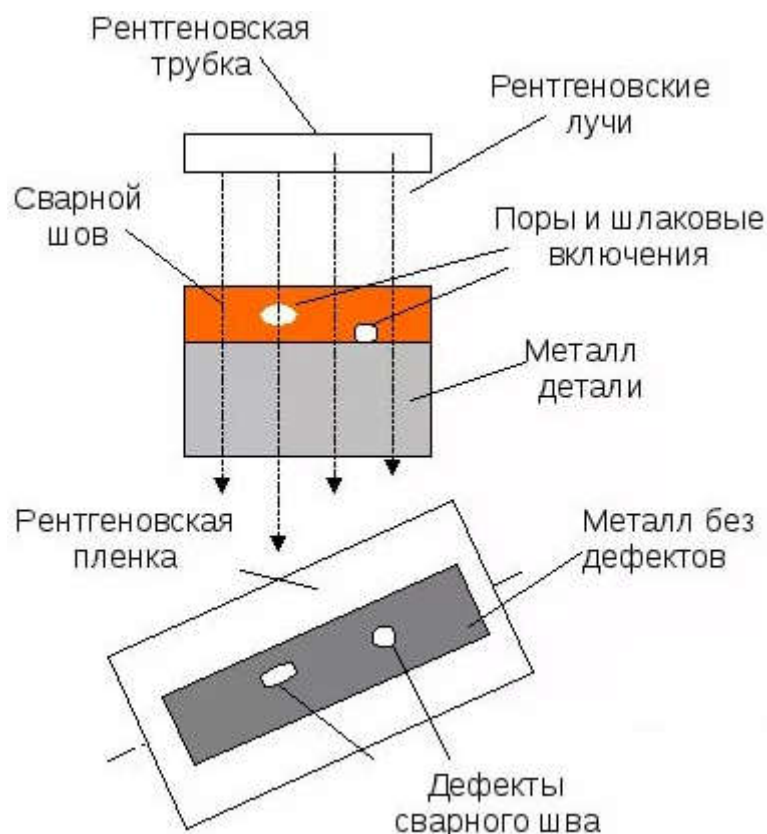


Рисунок 20 – Схема радиографического контроля

Данным методом контролируются:

1. Шов У11-2 по РД 26-18-8-89 в объеме 30%;
2. Шов У5 по ГОСТ 14771-76 в объеме 30%.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ПГУ.ВКР.15.03.01.14М0112.ПЗ

Лист

67

4.4 Ультразвуковой контроль

Ещё одним из эффективных методов контроля сварных соединений является ультразвуковой контроль. Ультразвуковой метод контроля проводится по СТО 00220256-005-2005, он позволяет получить информацию о дефектах, расположенных на значительной глубине в различных материалах, изделиях и сварных соединениях. Ультразвуковой контроль не только повышает производительность труда, но и позволяет получить объективную картину качества изделия или сварного соединения, подобную рентгенограмме.

Преимущества ультразвукового контроля:

- возможность контроля большой толщины;
- меньшие затраты по сравнению с радиографией;
- безопасность;
- выявление дефектов малого раскрытия.

Недостатками являются;

- зависимость результатов от квалификации и внимательности оператора.
- нет высокого уровня точности.

Схема использования ультразвукового контроля представлена на рисунке 21.

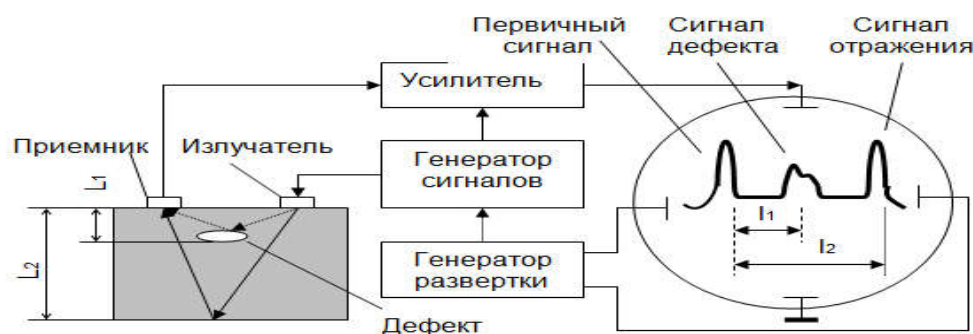


Рисунок 21— Ультразвуковой метод контроля

Ультразвуковым методом контролируются:

- 1.Шов С21 по ГОСТ 14771-76 в объеме 30%;
- 2.Шов С12 по ГОСТ 14771-76 в объеме 30%.

4.5 Капиллярный метод контроля

Капиллярный контроль показан на рисунке 22, проводится по ОСТ 26-5-99, основан на капиллярной активности жидкостей - их способности втягиваться, проникать в мельчайшие каналы (капилляры), имеющиеся на поверхности материалов, в том числе поры и трещины сварных швов. Чем выше смачиваемость жидкости и чем меньше радиус капилляра, тем больше глубина и скорость проникновения жидкости.



Рисунок 22 – Контроль сварных соединений капиллярным методом

Данным методом контролируются :

- 1.Приварка трех строповых устройств в объеме 100%;
- 2.Приварка подкладных листов к днищу в объеме 100%;
- 3.Приварка опорных лапок в объеме 100%.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ПГУ.ВКР.15.03.01.14М0112.ПЗ

Лист

69

4.6 Стилоскопирование

Стилоскопирование — качественный спектральный анализ на наличие легирующих элементов проводится в соответствии с РД 26.260.15-2001 [27], которому подвергают все элементы котлов и трубопроводов, изготовленные из легированной стали, а также наплавленный металл сварных соединений этих элементов. Раскаленные пары каждого металла имеют свои вполне определенные линии в спектре, свойственные только одному этому металлу. Стилоскопированию подвергается металл шва при применении всех видов сварки с использованием легированных присадочных материалов. При неудовлетворительных результатах стилоскопического контроля производится повторный контроль деталей и металла швов тех же узлов сварных соединений, на удвоенном количестве точек.

4.7 Испытание на стойкость к межкристаллитной коррозии

Межкристаллитная коррозия (МКК) является одним из самых опасных вариантов разрушения металла из-за того, что в большинстве случаев ее невозможно выявить визуально. Межкристаллитная коррозия обусловлена расслаиванием твердого раствора, что приводит к появлению по границам зерен особых фаз, в которых имеется большое количество того или иного элемента металлического сплава. В зонах, прилегающих к границам кристаллов, объем такого элемента получается минимальным. Под влиянием определенной среды с агрессивными характеристиками на анодах отмечается растворение обедненных либо обогащенных участков.

Основные причины МКК :

- а) высокая температура среды и период выдержки металла в ней;
- б) наличие в сплаве легирующих добавок, которые склонны к перепассивации ;

в) агрессивность эксплуатационной среды.

Стойкость к МКК аустенитно-ферритных, аустенитных, аустенитно-мартенситных, ферритных и прочих коррозионностойких сталей, а также наплавленного металла и сварных соединений указанных сплавов определяется по ГОСТ 6032-2003.

Важность исследований на стойкость к МКК заключаются не только в установлении долговечности эксплуатации изделий из той или иной марки стали, но еще и в точном определении механизма межкристаллитного разрушения. Поэтому таким испытаниям всегда уделяется повышенное внимание.

4.8 Механические испытания

Механические испытания относятся к разрушающим методам контроля. Согласно ГОСТ Р 52630-2012 механическим испытаниям подвергаются только стыковые сварные соединения, определяющие прочность сосуда, в конструкции емкостного аппарата такими являются продольный шов обечайки типа С21 и кольцевой шов соединяющий обечайку с днищами типа С12.

Проведение испытаний должно проводиться на изделии той же марки стали, на том же оборудовании, с использованием тех же сварочных материалов и режимов сварки, теми же сварщиками.

Согласно ГОСТ 6996-66 для проведения испытаний на растяжение необходимо два образца. Испытания проводят при помощи разрывной машины растягивающим усилием. Правила проведения испытаний на статическое растяжение указаны в ГОСТ 1497-84 [28].

Испытания на статический изгиб определяет способность соединения принимать заданный по размеру и форме изгиб. Способность характеризуется углом изгиба, при котором в растянутой зоне образца образуется пер-

вая трещина, развивающаяся в процессе испытания. В зависимости от требований, установленных соответствующей НТД, испытания проводят до достижения нормируемого угла изгиба или угла изгиба, при котором образуется первая являющаяся браковочным признаком трещина, до параллельности или соприкосновения сторон образца. Угол изгиба при испытании до образования первой трещины измеряют в ненапряженном состоянии с погрешностью до $\pm 2^\circ$.

5 Выбор и модернизация средств технологического оснащения

5.1 Стенд для сборки и сварки

Для сборки и сварки емкостного аппарата с учетом особенностей конструкции и объема производства предлагается использовать для сборки и сварки продольных и кольцевых швов стенд с роликами фирмы ROTATOR LP 42W – 42F с автоматической программой вращения, установленный на транспортирующей тележке. Rotator LP 42W – 42F показан на рисунке 23, имеет возможность вращать цилиндрические детали с широким диапазоном диаметров и веса. Каждый вращатель состоит из механической конструкции и вращающего механизма с приводом, с ведущими роликами. С помощью программы задается необходимая скорость вращения роликов согласованная со скоростью сварки, благодаря чему сварка может вестись непрерывно.

Технические требования представлены Rotator LP 42W – 42F в таблице 15.



Рисунок 23 — Стенд с роликами ROTATOR LP 42W – 42F

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ПГУ.ВКР.15.03.01.14М0112.ПЗ

Лист

73

Таблица 15 – Технические характеристики манипулятора TPR – 6000 E

Параметры	Значения
Максимальная рабочая нагрузка, кг	42000
Диаметр обечайки, мм	min: 700 max: 5000
Энергия , кВт	1,5
Питание, В	3х400(50Гц)
Скорость вращения, см/мин	min: 6 max: 180

Центратор RIM CLAMP показан на рисунке 24, предназначен для сборки под сварку днищ с обечайками. Имеет разъемную конструкцию и позволяет выполнять прихватки. Транспортируется с помощью козлового крана. Диаметр центратора 1100мм, имеет разъемные винты и зажимы.

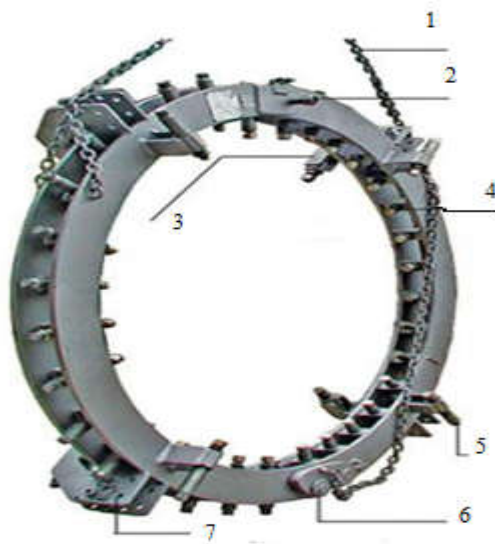


Рисунок 24—Центратор RIM CLAMP

1— цепь для подъема центратора; 2—точка поворота; 3— поворотная струбцина; 4— выравнивающие винты; 5— стабилизирующая струбцина;

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ПГУ.ВКР.15.03.01.14М0112.ПЗ

Лист

74

6—замок; 7— строповый штифт струбцины.

Колонна ПК—1 показана на рисунке 25, предназначена для установочных перемещений несамходных сварочных автоматов при сварке продольных и кольцевых швов на вращателях, манипуляторах и роликовых стендов. Технические характеристики колонны ПК—1 в таблице 17.

Таблица 16 – Характеристики колонны ПК—1

Параметры	Значения
Вылет штанги, мм	1100...2000
Высота уровня сварки, мм	600...2400
Скорость подъема и опускания каретки со штангой, м/мин	2
Скорость горизонтального перемещения, м/мин	1
Масса, кг	2100
Угол поворота стойки, град	360

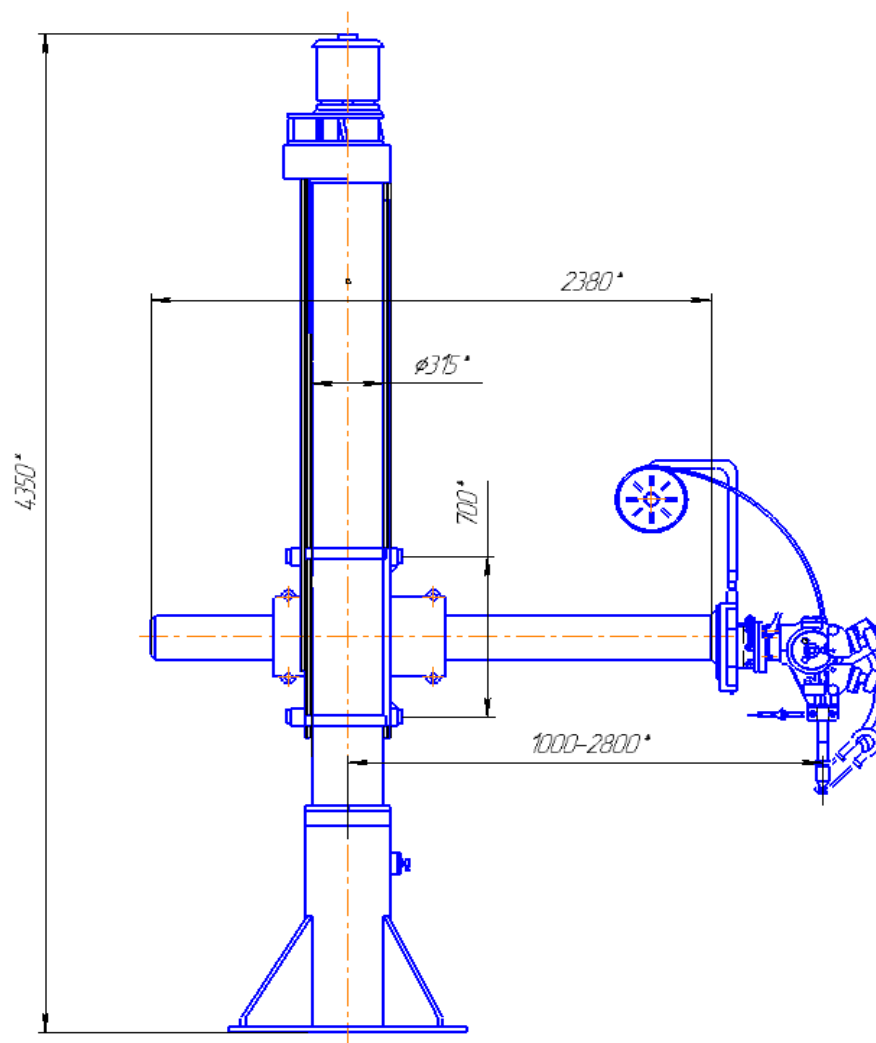


Рисунок 25— Сварочная колонна ПК—1

Для изготовления емкостного аппарата было подобрано оптимальное оборудование, которое поможет с минимальными затратами изготовить данный аппарат.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ПГУ.ВКР.15.03.01.14М0112.ПЗ

Лист

76

Заключение

В выпускной квалификационной работе был подробно разобран процесс проектирования вертикального ёмкостного аппарата и решены основные задачи его проектирования.

При разработке технологии учтены особенности конструкции и эксплуатации изделия, а также все предъявленные к нему технические требования.

Более подробно был рассмотрен процесс расчета сварных соединений, а также процессы выбора способа сварки, сварочных материалов и режимов сварки.

					ПГУ.ВКР.15.03.01.14М0112.ПЗ	Лист
						77
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Список используемых источников

1. **Сосуды и аппараты стальные сварные. Общие технические условия** [Текст]: ГОСТ Р 52630-2012. – Введ. – 2013-04-01. – М.: Стандартинформ, 2012. – IV, 82с.: ил.

2. **Об утверждении правил проектирования, изготовления и приемки сосудов и аппаратов стальных сварных** [Текст]:

ПБ-03-584-03. – Введ. – 2003-06-10. – М.: Госгортехнадзор России, 2003. – II, 57с.: ил.

3. **Система стандартов безопасности труда. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности** [Текст]:

ГОСТ 12.1.007-76. – Введ. 1997-01-01. – М.: Стандартинформ, 2007. – II, 7 с.

4. **Контроль неразрушающий. Цветной метод контроля сварных соединений, наплавленного и основного металла** [Текст]: ОСТ 26-5-99. – Введ. 2000-04-01. – М.: Госгортехнадзор, – II, 38 с.

5. **Швы сварных соединений сосудов и аппаратов работающих под давлением. Радиографический метод контроля** [Текст]:

СТО 00220368-010-2007. – Введ. 2008-06-27.- М.: Госгортехнадзор, – II, 74 с.

6. **Швы стыковых, угловых и тавровых сварных соединений сосудов и аппаратов, работающих под давлением. Методика ультразвукового контроля** [Текст]: СТО 00220256-005-2005. – Введ. 2006-06-01 – М.: Гостехнадзор, – II, 111 с.

7. **Инструкция по ультразвуковому контролю стыковых, угловых и тавровых сварных соединений химической аппаратуры из сталей аустенитного и аустенитно-ферритного классов с толщиной стенки от 4 до 30 мм** [Текст]: СТО 00220256-014-2008. – Введ. 2009-08-01. – М.: Госгортехнадзор, – II, 45 с.

8. **Маркировка грузов** [Текст]: ГОСТ 14192-96. – Введ. 1998-01-01 – М.: Стандартиформ, – II, 29 с.

9. **Корпуса цилиндрические стальных сварных сосудов и аппаратов. Типы, основные параметры и размеры безопасности** [Текст]: ГОСТ 9931-85.– Введ. 1987-01-01. –М.: Стандартиформ, – II, 22 с.

10. **Сталь толстолистовая коррозионно-стойкая, жаростойкая и жаропрочная. Технические условия** [Текст]: ГОСТ 7350-77.– Введ. 1979-01-01. –М.: Стандартиформ, – II, 11с.

11. **Трубы бесшовные холодно- и теплодеформированные из коррозионно-стойкой стали. Технические условия** [Текст]: ГОСТ 9941-81.– Введ. 1983-01-01. –М.: Стандартиформ, – II, 8 с.

12. **Трубы бесшовные горячедеформированные коррозионно-стойкой стали. Технические условия** [Текст]: ГОСТ 9940-81.– Введ. 1983-01-01. –М.: Стандартиформ, – II, 7 с.

13. **Сталь сортовая и калиброванная коррозионно-стойкая, жаростойкая и жаропрочная. Технические условия** [Текст]: ГОСТ 5949-75.– Введ. 1977-01-01. –М.: Стандартиформ, – II, 23 с.

14. **Стали и сплавы коррозионно-стойкие. Методы испытания на стойкость к межкристаллитной коррозии** [Текст]: ГОСТ 6032-2003.– Введ. 2005-01-01. –М.: Стандартиформ, – II, 23 с.

15. **Арматура трубопроводная. Металлы, применяемые в арматуростроении. Основные требования к выбору материалов** [Текст]: ГОСТ 33260-2015.– Введ. 2016-04-01. –М.: Стандартиформ, – II, 67 с.

16. **Методические указания к расчету цилиндрических обечаек стальных сварных сосудов и аппаратов** Сост. Барвин А.И, Генкина И.М, Иванченко В.В. 2002-83с.

17. **Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность** [Текст]: ГОСТ 14249-89.– Введ. 1990-01-01. –М.: Стандартиформ, – II, 53с.

18. **Днища эллиптические отбортованные стальные для сосудов, аппаратов и котлов. Основные размеры** [Текст]: ГОСТ 6533-78.– Введ. 1970-01-01. –М.: Стандартиформ, – II, 38с.

19. **Проектирование сварных конструкций. Расчет сварных соединений:** учеб. пособие.- Пенза: Изд-во ПГУ, 2010 .- 132с. Авторы: С.Г.Усатый, А.Е. Розен, С.Н. Чугунов, С.Г. Ракитин, А.В. Прыщак.

20. **Дуговая сварка в защитном газе. Соединения сварные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры** [Текст]: ГОСТ 14771-76. – Введ. 1977-07-01. – М.: Стандартиформ, 2007. – III, 37 с.: ил.

21. **Проволока стальная сварочная. Технические условия** [Текст]: ГОСТ 2246-70. – Введ. 1973-01-01. – М.: Стандартиформ, 2008г – III, 15 с.

22. **Сварные соединения. Методы определения механических свойств** [Текст]: ГОСТ 6996-66. – Введ. 1967-01-01. – М.: Стандартиформ, 2005. – 83 с.: ил.

23. **Сварные соединения приварки люков, штуцеров и муфт. Основные типы, конструктивные элементы и размеры** [Текст]: РД 26-18-8-89. – Введ. 1990-01-01. – Подольск.: Центральное конструкторское бюро нефтеаппаратуры, 1989. – 37 с.: ил.

24. **Прокат листовой горячекатаный. Сортамент** [Текст]: ГОСТ 19903-2015. – Введ. 2016-09-01. – М.: Стандартиформ, 2016. – 12 с.: ил.

25. **Аргон газообразный и жидкий. Технические условия** [Текст]: ГОСТ 10157-2016. – Введ. 2017-07-01. – М.: Стандартиформ, – 22 с.

26. **Сварка плавлением.** НТУУ КПИ. Киев 2005г. 24с

27. **Руководящий документ. Стилоскопирование основных и сварочных материалов и готовой продукции** [Текст]: РД 26.260.15-2001. – Введ. 2002-11-22. – М.: Стандартиформ, – 43с.: ил.

28. **Металлы. Методы испытания на растяжение** [Текст]: ГОСТ 1497-84. – Введ. 1986-00-01. – М.: Стандартиформ, – 22 с.

Приложение А

Приложение 1

УТВЕРЖДАЮ

КАРТА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА СВАРКИ (НАПЛАВКИ) ИЗДЕЛИЯ (УЗЛА, СВАРНОГО СОЕДИНЕНИЯ) № 1

№ п/п	Наименование	Обозначения (показатели)
1	Нормативный документ	ГОСТ 14771-76
2	Способ сварки	ААДП
3	Основной материал (марки)	12Х18Н10Т
4	Основной материал (группа)	СКК
5	Сварочные материалы	Св-06Х19Н9Т
6	Толщина свариваемых деталей	6,0 мм
7	Диаметр деталей в зоне сварки	1000 мм
8	Тип шва	СШ
9	Тип соединения	Стыковое, С21 ГОСТ 14771-76
10	Вид шва соединения	дс, зк
11	Форма подготовки кромок	С разделкой кромок при угле раскрытия 30 град.
12	Положение при сварке	Н1 (не поворотное)
13	Вид покрытия электродов (для РД)	-
14	Режимы подогрева	Подогрев отсутствует
15	Режимы термообработки	Термообработка отсутствует
16	Дополнительные параметры	нет

Таблица 1. – Последовательность выполнения и форма сварного соединения.

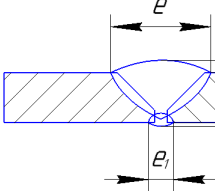
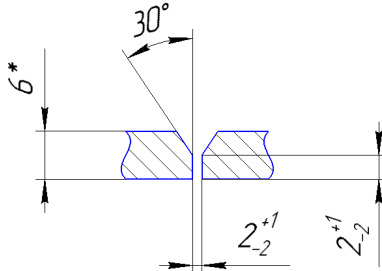
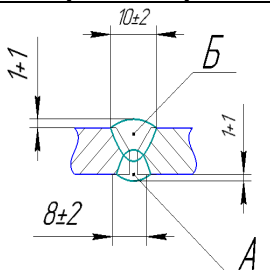
Конструкция соединения	Конструктивные элементы шва	Порядок сварки
		

Таблица 2. – Геометрические размеры сварных соединений, мм и количество проходов (слоев) шва N.

S=S1	N	b		c		e = e1		q = q1	
		Номин.	Пред.откл.	Номин.	Пред.откл.	Номин.	Пред.откл.	Номин.	Пред.откл.
6,0	2	2,0	+1;-2	1,0	±1	8,0	±2	1	+1

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

ПГУ.ВКР.15.03.01.14М0112.ПЗ

Лист

82

Сварочное оборудование (тип): тип: AS2 MiniMaster/ LAF 1001

Метод подготовки и очистки: Зачистка механическим способом до металлического блеска участков металла от кромок разделки на ширину не менее 100 мм с наружной и внутренней стороны.

Требования к прихватке: 3-4 прихватки равномерно по периметру. Длина каждой прихватки – 20–30 мм; высота – 3,0-4,0 мм.

Защита сварочной ванны/защита корня шва: да.

Газ/флюс: газ аргон.

Плавящийся электрод (тип, размер): 2мм.

Детали формирования корня шва: Шов выполняется без подкладки.

Технологические параметры сварки*

Номер слоя (валика)	Диаметр электрода, мм	Род и полярность тока	Сварочный ток, А	Напряжение дуги, В	Скорость сварки, м/ч
1	2	3	4	5	7
1	2	по	310-350	27-29	65-72
2	2	по	350-390	28-30	45-50

Примечания: 1) – скорость сварки дана для справки.

Требования к контролю качества

Метод контроля, вид испытаний	НД на методику контроля	НД на оценку качества	Объем контроля
Визуальный	РД 03-606-03	ГОСТ Р 52630-2012; ПБ 03-584-03	100 %
Измерительный	РД 03-606-03		100 %
Стилоскопирование	РД 26.260.15-2001		2 обр.
Ультразвуковой	СТО 00220256-005-2005		30 %
Стат.растяжение	ГОСТ 6996-66		2 обр.
Стат. изгиб	ГОСТ 6996-66		2 обр.
Испытание на МКК	ГОСТ 6032-2003		2 обр.

Разработал:

(подпись)

/Савин Н.А/

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ПГУ.ВКР.15.03.01.14М0112.ПЗ

Лист

83

УТВЕРЖДАЮ

№ 2

Таблица 1. – Последовательность выполнения и форма сварного соединения.

Таблица 2. – Геометрические размеры сварных соединений, мм и количество проходов (слоев) шва N.

S	N	b		c		e = e ₁		q = q ₁	
		Номин.	Пред.откл.	Номин.	Пред.откл.	Номин.	Пред.откл.	Номин.	Пред.откл.
S=6,0	1	1,0	<u>±</u> 1	1,0	<u>±</u> 1	10,0	<u>±</u> 2	1	+1
S1=8,0	1	1,0	<u>±</u> 1	1,0	<u>±</u> 1	8,0	<u>±</u> 2	1	+1

Сварочное оборудование (тип): тип: AS2 MiniMaster/ LAF 1001; ESAB OrigoMig 4004i A44.

Метод подготовки и очистки: Зачистка механическим способом до металлического блеска участков металла от кромок разделки на ширину не менее 100 мм с наружной и внутренней стороны.

Требования к прихватке: 4-5 прихваток равномерно по периметру. Длина каждой прихватки – 20–30 мм; высота – 3,0-4,0 мм.

Защита сварочной ванны/защита корня шва: да.

Газ/флюс: газ аргон.

Плавящийся электрод (тип, размер): 1,2м;2мм.

Детали формирования корня шва: Шов выполняется без подкладки.

Технологические параметры сварки*

Номер слоя (валика)	Диаметр электрода, мм	Род и полярность тока	Сварочный ток, А	Напряжение дуги, В	Скорость сварки, м/ч
1	2	3	4	5	7
1	1.2	по	200-230	24-26	20-26
2	2	по	310-350	27-29	65-72

Примечания: 1) – скорость сварки дана для справки.

Требования к контролю качества

Метод контроля, вид испытаний	НД на методику контроля	НД на оценку качества	Объем контроля
Визуальный	РД 03-606-03	ГОСТ Р 52630-2012; ПБ 03-584-03	100 %
Измерительный	РД 03-606-03		100 %
Стилоскопирование	РД 26.260.15-2001		2 обр.
Ультразвуковой	СТО 00220256-005-2005		30 %
Стат.растяжение	ГОСТ 6996-66		2 обр.
Стат. изгиб	ГОСТ 6996-66		2 обр.
Испытание на МКК	ГОСТ 6032-2003		2 обр.

Разработал:

(подпись)

/Савин Н.А./

Приложение 3

УТВЕРЖДАЮ

КАРТА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА СВАРКИ (НАПЛАВКИ) ИЗДЕЛИЯ (УЗЛА, СВАРНОГО СОЕДИНЕНИЯ) № 3

№ п/п	Наименование	Обозначения (показатели)
1	Нормативный документ	РД 26-18-8-89
2	Способ сварки	МАДП
3	Основной материал (марки)	12Х18Н10Т
4	Основной материал (группа)	СКК
5	Сварочные материалы	Св-06Х19Н9Т
6	Толщина свариваемых деталей	6,0 и 8,0 мм
7	Диаметр деталей в зоне сварки	1000 мм
8	Тип шва	СШ
9	Тип соединения	Угловое РД26-18-8-89-У11-2
10	Вид шва соединения	дс, зк
11	Форма подготовки кромок	С разделкой одной кромок при угле раскрытия 45 град.
12	Положение при сварке	Н1 (не поворотное)
13	Вид покрытия электродов (для РД)	-
14	Режимы подогрева	Подогрев отсутствует
15	Режимы термообработки	Термообработка отсутствует
16	Дополнительные параметры	нет

Таблица 1. – Последовательность выполнения и форма сварного соединения.

Конструкция соединения	Конструктивные элементы шва	Порядок сварки

Таблица 2. – Геометрические размеры сварных соединений, мм и количество проходов (слоев) шва N.

S	N	b		c		e = e ₁		q = q ₁	
		Номин.	Пред.откл.	Номин.	Пред.откл.	Номин.	Пред.откл.	Номин.	Пред.откл.
S=6,0	1	1,0	±1	1,0	±1	10,0	±2	0,5	+3;-0.5
S1=8,0	1	1,0	±1	1,0	±1	8,0	±2	0,5	+3;-0.5

Сварочное оборудование (тип): mun. ESAB OrigoMig 4004i A44.

Метод подготовки и очистки: Зачистка механическим способом до металлического блеска участков металла от кромок разделки на ширину не менее 100 мм с наружной и внутренней стороны.

Требования к прихватке: 3-4 прихватки равномерно по периметру. Длина каждой прихватки – 20–30 мм; высота – 3,0-4,0 мм.

Защита сварочной ванны/защита корня шва: да.

Газ/флюс: газ аргон.

Плавящийся электрод (тип, размер): 1,2м

Детали формирования корня шва: Шов выполняется без подкладки.

Технологические параметры сварки*

Номер слоя (валика)	Диаметр электрода, мм	Род и полярность тока	Сварочный ток, А	Напряжение дуги, В	Скорость сварки, м/ч
1	2	3	4	5	7
1	1,2	по	200-230	24-26	20-26
2	1,2	по	200-230	24-26	20-26

Примечания: 1) – скорость сварки дана для справки.

Требования к контролю качества

Метод контроля, вид испытаний	НД на методику контроля	НД на оценку качества	Объем контроля
Визуальный	РД 03-606-03	ГОСТ Р 52630-2012; ПБ 03-584-03	100 %
Измерительный	РД 03-606-03		100 %
Стилоскопирование	РД 26.260.15-2001		2 обр.
Радиографический	СТО 00220368-010-2007		30 %
Испытание на МКК	ГОСТ 6032-2003		2 обр.

Разработал:

(подпись)

/Савин Н.А./

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ПГУ.ВКР.15.03.01.14М0112.ПЗ

Лист

87

Приложение 4

УТВЕРЖДАЮ

КАРТА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА СВАРКИ (НАПЛАВКИ) ИЗДЕЛИЯ (УЗЛА, СВАРНОГО СОЕДИНЕНИЯ) № 4

№ п/п	Наименование	Обозначения (показатели)
1	Нормативный документ	ГОСТ 14771-76
2	Способ сварки	МАДП
3	Основной материал (марки)	12Х18Н10Т
4	Основной материал (группа)	СКК
5	Сварочные материалы	Св-06Х19Н9Т
6	Толщина свариваемых деталей	6,0 и 8,0 мм
7	Диаметр деталей в зоне сварки	1000 мм
8	Тип шва	СШ
9	Тип соединения	Угловое ГОСТ14771-76-У5
10	Вид шва соединения	дс, зк
11	Форма подготовки кромок	Без разделки
12	Положение при сварке	Н1 (не поворотное)
13	Вид покрытия электродов (для РД)	-
14	Режимы подогрева	Подогрев отсутствует
15	Режимы термообработки	Термообработка отсутствует
16	Дополнительные параметры	нет

Таблица 1. – Последовательность выполнения и форма сварного соединения.

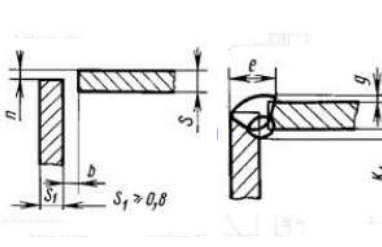
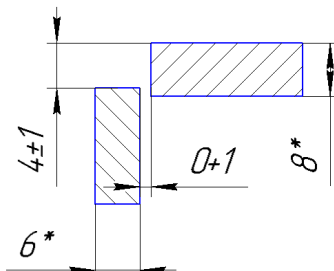
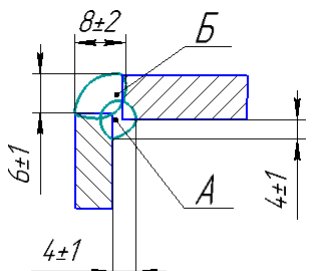
Конструкция соединения	Конструктивные элементы шва	Порядок сварки
		

Таблица 2. – Геометрические размеры сварных соединений, мм и количество проходов (слоев) шва N.

S	N	b		c		e = e ₁		q = q ₁	
		Номин.	Пред.откл.	Номин.	Пред.откл.	Номин.	Пред.откл.	Номин.	Пред.откл.
S=6,0	1	4,0	+1	1,0	±1	4,0	+1	1	+0,5
S1=8,0	1	4,0	+1	1,0	±1	4,0	+1	1	+0,5

Сварочное оборудование (тип): mun. ESAB OrigoMig 4004i A44.

Метод подготовки и очистки: Зачистка механическим способом до металлического блеска участков металла на ширину не менее 100 мм с наружной и внутренней стороны.

Требования к прихватке: 3-4 прихватки равномерно по периметру. Длина каждой прихватки – 20–30 мм; высота – 3,0-4,0 мм.

Защита сварочной ванны/защита корня шва: да.

Газ/флюс: газ аргон.

Плавящийся электрод (тип, размер): 1,2м

Детали формирования корня шва: Шов выполняется без подкладки.

Технологические параметры сварки*

Номер слоя (валика)	Диаметр электрода, мм	Род и полярность тока	Сварочный ток, А	Напряжение дуги, В	Скорость сварки, м/ч
1	2	3	4	5	7
1	1,2	по	200-230	24-26	20-26
2	1,2	по	200-230	24-26	20-26

Примечания: 1) – скорость сварки дана для справки.

Требования к контролю качества

Метод контроля, вид испытаний	НД на методику контроля	НД на оценку качества	Объем контроля
Визуальный	РД 03-606-03	ГОСТ Р 52630-2012; ПБ 03-584-03	100 %
Измерительный	РД 03-606-03		100 %
Стилоскопирование	РД 26.260.15-2001		2 обр.
Радиографический	СТО 00220368-010-2007		30 %
Испытание на МКК	ГОСТ 6032-2003		2 обр.

Разработал:

(подпись)

/Савин Н.А./

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

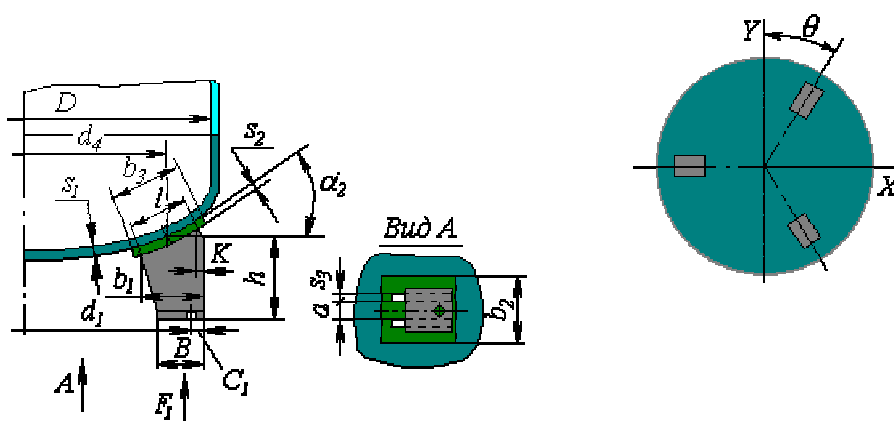
ПГУ.ВКР.15.03.01.14М0112.ПЗ

Лист

89

Приложение Б

Расчет опоры программе «Пассат 2.12»



Исходные данные

Элемент, связанный с опорой: Днище эллиптическое №2

Тип опоры: Тип А

Внутр. диаметр днища, D: 1000 мм

Толщина стенки днища, s_1 : 8 мм

Коррозия днища, c_1 : 1 мм

Минусовой допуск, c_2 : 0,5 мм

Прибавка технологическая, c_3 : 0 мм

Сумма прибавок к стенке днища, c : 1,5 мм

Число опор: Три

Диаметр болтовой окружности, d_1 : 920 мм

Высота опоры, h : 270 мм

Длина основания опоры, B: 110 мм

Максимальная длина ребра, b_{1max} : 100 мм

Расстояние от центра болтовых отверстий до края опоры, C_1 : 22 мм

Скос ребра, K: 8 мм

Угол расположения опор, $\square$: 120 °

Анкерные болты:

Материал: Ст3 (МДС 31-4.2000)

Номинальный диаметр, d: 16 мм

Подкладной лист:

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ПГУ.ВКР.15.03.01.14М0112.ПЗ

Лист

91

Ширина подкладного листа, b_2 : 120 мм

Длина подкладного листа, b_3 : 140 мм

Толщина подкладного листа, s_2 : 8 мм

$$d_4 = d + 2 \cdot C_1 - K - b_{\text{max}} = 920 + 2 \cdot 22 - 8 - 100 = 856 \text{ мм}$$

Расчётный диаметр днища:

$$D_p = 1000 \text{ мм}$$

$$1 - d_4^2 \cdot \frac{D^2 - 4 \cdot H^2}{D^4} = 1 - 856^2 \cdot (1000^2 - 4 \cdot 224^2) / 1000^4 = 0,4143$$

$$\sin \alpha_2 = \frac{d_4}{\frac{D^2}{2 \cdot H} \cdot \sqrt{1 - d_4^2 \cdot \frac{D^2 - 4 \cdot H^2}{D^4}}} = \frac{856}{(1000^2 / (2 \cdot 224)) \cdot (0,4143)^{1/2}} = 0,5958$$

$$\alpha_2 = \arcsin(0,5958) = 36,57^\circ$$

Длина линии контакта опоры с днищем :

$$l = \frac{(b_{\text{max}} - K)}{\cos \alpha_2} = (100 - 8) / \cos(36,57) = 114,5 \text{ мм}$$

Относительная длина линии контакта опоры с днищем :

$$\frac{l}{D_p} = 114,5 / 1000 = 0,1145$$

Относительная толщина днища :

$$\frac{(s_1 - s)}{D_p} = (8 - 1,5) / 1000 = 0,006500$$

Расчёт в рабочих условиях

Условия нагружения:

Расчётная температура, T : 20 °C

Расчётное внутреннее избыточное давление, p : 0,4394 МПа

Расчётный изгибающий момент, M : 180,1 Н м

Расчётное внешнее осевое усилие, F : 0 Н

Расчёт на прочность и устойчивость по ГОСТ Р 52857.5-2007

Проверка условия:

$$\frac{G + F}{3} < \frac{M}{0,75 \cdot d_1}$$

$$\frac{G + F}{3} = (2,502 \cdot 10^4 + 0) / 3 = 8339 \text{ Н}$$

$$\frac{M}{0,75 \cdot d_1} = 180,1 / (0,75 \cdot 920) = 261 \text{ Н}$$

Условие выполнено, расчёт анкерного болта не требуется

Определение расчётных усилий

Усилие, действующее на опорную стойку :

$$F_1 = \frac{G+F}{3} + \frac{M}{0.75 \cdot d_4} = (2,502 \cdot 10^4 + 0) / 3 + 180,1 / (0.75 * 856) = 8600 \text{ Н}$$

Допускаемое нормальное усилие для подкрепленного днища :

$$[F_1] = 0.25 \cdot K_{20} \cdot K_{22} \cdot [\sigma] \cdot (s_1 - c)^2 \cdot \left(0.2 + \frac{d_4}{D}\right) = 0.25 * 62,11 * 1,122 * 184 * (8 - 1,5)^2 * (0.2 + 856 / 1000) = 1,43 \cdot 10^5 \text{ Н}$$

Меридиональный момент, передаваемый на днище опорной стойкой

$$M_1 = \frac{1}{2} \cdot F_1 \cdot (b_{\text{max}} - B + K) = 0.5 * 8600 * (100 - 110 + 8) = (-8,6) \text{ Н м}$$

Допускаемый меридиональный момент для подкрепленного днища :

$$[M_1] = 0.25 \cdot K_{21} \cdot K_{23} \cdot [\sigma] \cdot (s_1 - c)^2 \cdot D \cdot \left(0.2 + \frac{d_4}{D}\right) = 0.25 * 3,348 * 1,154 * 184 * (8 - 1,5)^2 * 1000 * (0.2 + 856 / 1000) = 7932 \text{ Н м}$$

Допускаемое давление для элемента Днище эллиптическое №2:

$$[p] = 2,137 \text{ МПа}$$

Несущая способность днища для опорных стоек определяется выполнением условия:

$$\frac{F_1 \cdot \cos \alpha_2}{[F_1]} + \frac{M_1}{[M_1]} + \frac{p}{[p]} \leq 1$$

$$\frac{F_1 \cdot \cos \alpha_2}{[F_1]} + \frac{M_1}{[M_1]} + \frac{p}{[p]} = \frac{8600 * \cos(36,57) / 1,43 \cdot 10^5 + (-8,6) / 7932 + 0,4394 / 2,137}{1.0} = 0,2528 \leq 1.0$$

Заключение: **Условие прочности и устойчивости выполнено**

Расчёт в условиях испытаний (Гидроиспытания)

Условия нагружения при испытаниях:

Расчётная температура, Т: 20 °С

Расчётное внутреннее избыточное давление, р: 0,536 МПа

Расчётный изгибающий момент, М: 244,8 Н м

Расчётное внешнее осевое усилие, F: 0 Н

Расчёт на прочность и устойчивость по ГОСТ Р 52857.5-2007

Проверка условия:

$$\frac{G+F}{3} \leq \frac{M}{0.75 \cdot d_1}$$

$$\frac{G+F}{3} = (1,451 \cdot 10^4 + 0) / 3 = 4837 \text{ Н}$$

$$\frac{M}{0.75 \cdot d_1} = 244,8 / (0.75 * 920) = 354,8 \text{ Н}$$

Условие выполнено, расчёт анкерного болта не требуется

Определение расчётных усилий

Усилие, действующее на опорную стойку :

$$F_1 = \frac{G+F}{3} + \frac{M}{0.75 \cdot d_4} = (1,451 \cdot 10^4 + 0) / 3 + 244,8 / (0.75 * 856) = 5192 \text{ Н}$$

Допускаемое нормальное усилие для подкрепленного днища :

$$[F_1] = 0.25 \cdot K_{20} \cdot K_{22} \cdot [\sigma] \cdot (s_1 - c)^2 \cdot \left(0.2 + \frac{d_4}{D}\right) = 0.25 * 62,11 * 1,122 * 250,9 * (8 - 1,5)^2 * (0.2 + 856 / 1000) = 1,95 \cdot 10^5 \text{ Н}$$

Меридиональный момент, передаваемый на днище опорной стойкой

$$M_1 = \frac{1}{2} \cdot F_1 \cdot (b_{max} - B + K) = 0.5 * 5192 * (100 - 110 + 8) = (-5,192) \text{ Н м}$$

Допускаемый меридиональный момент для подкрепленного днища :

$$[M_1] = 0.25 \cdot K_{21} \cdot K_{23} \cdot [\sigma] \cdot (s_1 - c)^2 \cdot D \cdot \left(0.2 + \frac{d_4}{D}\right) = 0.25 * 3,348 * 1,154 * 250,9 * (8 - 1,5)^2 * 1000 * (0.2 + 856 / 1000) = 1,082 \cdot 10^4 \text{ Н м}$$

Допускаемое давление для элемента Днище эллиптическое №2:

$$[p] = 2,914 \text{ МПа}$$

Несущая способность днища для опорных стоек определяется выполнением условия:

$$\frac{F_1 \cdot \cos \alpha_2}{[F_1]} + \frac{M_1}{[M_1]} + \frac{p}{[p]} \leq 1$$

$$\frac{F_1 \cdot \cos \alpha_2}{[F_1]} + \frac{M_1}{[M_1]} + \frac{p}{[p]} = \frac{5192 * \cos(36,57) / 1,95 \cdot 10^5 + (-5,192) / 1,082 \cdot 10^4 + 0,536 / 2,914}{1.0} = 0,2048 \leq 1.0$$

Заключение: **Условие прочности и устойчивости выполнено**