

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

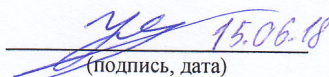
«Оборудование и технология
сварочного производства»
(наименование)

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему

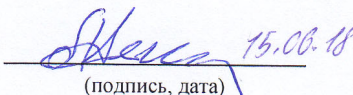
«Разработка технологии сборки и сварки в заводских условиях
элементов конструкции проботоотборника ПО-316-2018»

Студент


(подпись, дата)

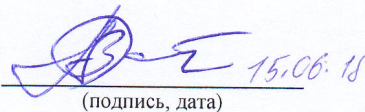
Ульянов Михаил Дмитриевич
(ф.и.о. полностью)

Научный руководитель
д.п.н., профессор


(подпись, дата)

Мещеряков А.С.
(фамилия, инициалы)

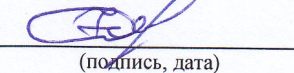
Нормоконтролёр
к.т.н., доцент


(подпись, дата)

Хорин А.В.
(фамилия, инициалы)

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

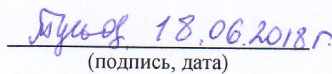
Заведующий кафедрой


(подпись, дата)

Логинов О.Н.
(фамилия, инициалы)

Работа защищена с отметкой отлично (протокол заседания ГЭК от 18.06.2018 № 11)

Секретарь ГЭК
к.т.н., доцент


(подпись, дата)

Гуськов М.С.
(фамилия, инициалы)

Пенза 2018

ФГБОУ ВО «ПЕНЗЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
ФАКУЛЬТЕТ МАШИНОСТРОЕНИЯ И ТРАНСПОРТА
КАФЕДРА «СВАРОЧНО, ЛИТЕЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ»

«Утверждаю»

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

« 08 » 12 2017 г.

ЗАДАНИЕ
на выпускную квалификационную работу

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

Ульянов Михаил Дмитриевич.

Научный руководитель работы: д.п.н., профессор Мещеряков А.С.

Время выполнения ВКР: с 8.12.2017 г. по 01.07.2018 г.

Место преддипломной практики: кафедра «Сварочное, литейное производство и материаловедение» ПГУ.

Тема работы: Разработка технологии сборки и сварки в заводских условиях элементов конструкции пробоотборника ПО-316-2018.

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

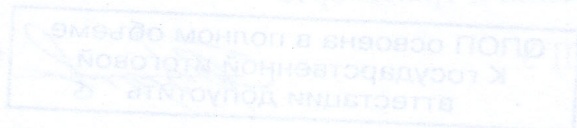
Техническое задание на работу (серийность выпуска изделия, назначение изделия, технология сборки и сварки): Разработать технологию сборки и сварки пробоотборника ПО-316-2018 с учетом мелкосерийного производства.

- производство: мелкосерийное;
- пробоотборник предназначен для отбора проб конденсата водяного пара.

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;
- заключение – выводы и обоснования по теме работы и полученным результатам.



Графическая часть бакалаврской работы (перечень и содержание плакатов)

- общий вид пробоотборника 1л А1;
- технологические параметры режимов сварки 1л А1;
- схема сборки и сварки изделия 1л А1;
- контроль сварных соединений и КСС 1л А1;
- средства технологического оснащения 1л А1;
- расчет элемента конструкции 1л А1.

Рекомендуемая литература:

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

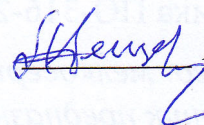
2. **Об утверждении правил проектирования, изготовления и приемки сосудов и аппаратов стальных сварных** [Текст]: ПБ-03-584-03. – Введ. – 2003-06-10. – М.: Госгортехнадзор России, 2003. – II, 57 с.: ил.

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.

Дата выдачи задания: 08.12.2017 г.

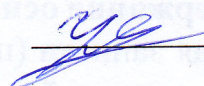
Руководитель ВКР:

д.п.н., профессор

 А. С. Мещеряков

Задание к исполнению принял студент

гр. 14МО1

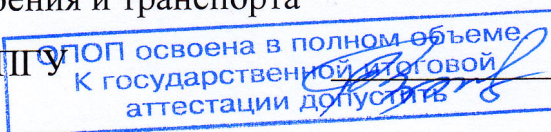
 М. Д. Ульянов

08 декабря 2017 г.

Выпускную квалификационную работу к защите допустить

Декан факультета машиностроения и транспорта

Политехнического института ИТУ



С.Ю. Киреев

Аннотация

Выпускная квалификационная работа состоит из расчетно-пояснительной записки общим объемом 127 листов, состоящей из 40 рисунков, 46 таблиц, 39 источников, 3 приложений, и 6 листов графического материала формата А1.

ОБЕЧАЙКА, ДНИЩЕ, СТАЛЬ, СВАРКА, ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ, ШОВ, КАТЕТ, ПРОВОЛОКА, СОЕДИНЕНИЕ, КАЧЕСТВА.

Объектом разработки является сварная конструкция корпуса пробоотборника.

Предметом исследования является процесса сборки и сварки корпуса пробоотборника.

Цель работы: разработка технологии сборки и сварки корпуса пробоотборника, обеспечивающая повышение производительности, простоты, надёжности и безопасности в работе, а также уменьшение энергоёмкости и металлоёмкости в соответствии с НТД.

Задачи выпускной квалификационной работы:

- проанализировать объект производства;
- спроектировать сварную конструкцию изделия;
- разработать технологию сборки и сварки изделия с выбором материалов, оборудования и средств технологического оснащения.

Эффективность спроектированной сварной конструкции и разработанной технологии определяется высокой производительностью на основе автоматизации операций сборки и сварки корпуса пробоотборника. Разработанная технология может применяться для изготовления корпуса пробоотборника.

					<i>ПГУ.ВКР.15.03.01.14М0117.ПЗ</i>		
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			
Разраб.		Ульянов М. Д.			<i>Разработка технологии сборки и сварки в заводских условиях элементов конструкции пробоотборника ПО-316-2018</i>	Лит.	Лист
Провер.		Мещеряков А. С.					Листов
							113
							127
Н. Контр.		Харин А. В.			<i>Каф. СЛПМ, гр. 14М01</i>		
Утверд.		Логинов О. Н.					

Содержание

Введение.....	4
1 Литературно-патентный обзор.....	5
2 Анализ объекта производства.....	10
2.1 Служебное назначение и описание конструкции изделия.....	10
2.2 Технические требования.....	13
3 Проектирование и расчет элементов конструкции изделия.....	15
3.1 Выбор материала изделия	15
3.2 Оценка свариваемости основных материалов констру	
ции.....	16
3.3 Расчёт внутреннего давления - расчётного и пробного.....	18
3.4 Расчёт толщины стенки корпуса пробоотборника	21
3.5 Расчет сварных соединений на прочность.....	26
4 Разработка технологии сборки и сварки изделия.....	41
4.1 Разработка схемы технологического процесса изготовления.....	41
4.2 Заготовительные операции.....	42
4.3 Выбор и обоснование способов сборки и сварки изделия.....	55
4.4 Выбор сварочных материалов.....	64
4.5 Расчет параметров режимов сварки.....	67
4.6 Выбор сварочного оборудования.....	91
5 Контроль качества сварных соединений.....	95
5.1 Визуально измерительный контроль.....	95
5.2 Механические испытания.....	95
5.3 Ультразвуковой контроль.....	100
5.4 Капиллярный метод контрол	
.....	103
5.5 Гидравлические испытания.....	104
Заключение.....	106
Список используемых источников.....	107
Приложение А.....	112

Приложение Б.....	121
Приложение В.....	126

Введение

В данной выпускной квалификационной работе представлен технологический процесс сборки и сварки в заводских условиях элементов конструкции проботборника ПО-316-2018.

Проектируемая конструкция представляет собой подвесной емкостной аппарат, выпускаемый в условиях серийного производства, целью проектирования данной конструкции является решение задач, которые предъявляются определённым видом требований.

В выпускной квалификационной работе выполняются задачи, основными из которых являются:

- анализ объекта производства. Служебное назначение, описание конструкции и технические требования;
- проектирование и расчет элементов конструкции изделия;
- разработка технологии сборки и сварки изделия;
- контроль качества сварных соединений.

Для решения поставленных задач в данной работе были рассмотрены различные технические решения и предложены специальные виды оборудования, которые повысят производительность и качество выпускаемой продукции.

1 Литературно - патентный обзор

Согласно ГОСТ Р 15.011-96 [1], патентное исследование – это исследование технического уровня и тенденций развития объектов хозяйственной деятельности, их патентоспособности, патентной чистоты, конкурентоспособности (эффективности использования по назначению) на основе патентной и другой информации.

В данной выпускной квалификационной работе рассматривается технологический процесс сборки и сварки в заводских условиях элементов конструкции пробоотборника ПО-316-2018.

Патентное исследование проводится в следующем порядке:

- формулируется краткое чёткое задание;
- разрабатывается регламент поиска;
- обосновывается индекс международной патентной классификации (МПК);
- систематизируется и анализируется отобранная информация;
- обобщаются результаты, разрабатываются рекомендации;
- составляется отчёт.

Проектируемая конструкция изготавливается при серийном производстве, в данных условиях необходимо на сколько возможно автоматизировать процесс сборки и сварки, для более качественного и быстрого выпуска продукции. Для этого необходимо применение специального оборудования.

В серийном производстве таких конструкций, как проектируемый аппарат пробоотборник, для сборочно-сварочных операций применяют специальное автоматическое оборудование. Использование такого оборудования позволяют свести к минимуму участие человека в изготовлении продукции, присутствие человека требуется только для задания необходимых параметров, установки заготовки на стенд и контроля за проведением сборочно-сварочных операций.

Целью данного патентного исследования является исследование технического уровня и тенденции развития оборудования для сборки и сварки

					ПГУ.ВКР.15.03.01.14М0117.ПЗ	Лист
						5
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

вертикального емкостного аппарата пробоотборника ПО-316-2018.

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

При проведении патентного исследования пользуются патентной, научно технической информацией, техническими журналами. Правильность выбора источников информации обеспечивает качество и достоверность патентных исследований.

Дата составления регламента: 07.02.18.

Объект поиска: оборудование для автоматической сварки.

Начало поиска: 22.02.18.

Завершение поиска: 16.03.18.

Страны поиска: Россия.

Ретроспективность: 5 лет.

Основные элементы регламента приведены в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Регламент поиска

Предмет поиска	Индекс МПК	Широта поиска	Глубина поиска	Источники информации
1	2	3	4	5
Стенд для сборки и сварки продольного стыка обечайки	B23K37/04	Россия	5 лет	Реестр изобретений Российской Федерации ФИПС
Полу автоматическая установка для сборки и сварки цилиндрической обечайки с днищем	B23K37/04	Россия	5 лет	Реестр изобретений Российской Федерации ФИПС
Полу автоматическая установка для сборки и сварки цилиндрической обечайки с днищем	B23K37/04	Россия	5 лет	Реестр изобретений Российской Федерации ФИПС

Продолжение таблицы 1.1

1	2	3	4	5
Установка для сварки кольцевых стыков оболочек	<i>B23K31/02</i> <i>B23K37/053</i> <i>B23K101/12</i>	Россия	5 лет	Реестр изобретений Российской Федерации ФИПС

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

Определение индекса 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.

Каждый раздел делится на классы. Класса 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. Подкласс *B23K* – пайка или распаивание, сварка, плакирование или нанесение покрытий пайкой или сваркой, резка путем местного нагрева, газопламенная резка, обработка металла лазерным лучом.

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:

- *B23K37/04* – стенд для сборки и сварки продольного стыка обечайки;
- *B23K37/04* – полу автоматическая установка для сборки и сварки цилиндрической обечайки с днищем;

– B23K31/02; B23K37/053; B23K101/12 – установка для сварки кольцевых стыков оболочек.

Для проведения дальнейшего анализа были отобраны описания изобретений, представляющих собой полуавтоматические установки применяемых для сборки емкостных аппаратов. Результаты проведенного поиска отображены в таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Результаты поиска патентной информации

Предмет поиска (объект исследования, его составные части)	Страна выдачи вид и номер охранного документа. Классификационный индекс МПК	Заявитель (патентообладатель), страна, номер заявки, дата приоритета, дата публикации	Название изобретения (полной модели, образца)
Технология сборки и сварки цилиндрической обечайки	Россия, RU1030132A, B23K37/04	Ганин Ю. П., Казин М. А., Лапшин Г. А., Ткаченко А. Н., Россия, 3330940/25-27, Приоритеты 14.08.2013г 23.07.2015г	Стенд для сборки и сварки продольного стыка обечайки [2]
Технология сборки емкостного оборудования	Россия, RU 1454630 A1, B23K 37/04	Иванов А. И., Марченко В. Б., Гавва В. Н., Задорожный В. А., Домио А. А., Коцюбинский В. В., Костин В. М., Россия, 4290100/31-27, Приоритеты 27.07.2011г 30.01.2013г	Полу автоматическая установка для сборки и сварки цилиндрической обечайки с днищем [3]
Технология сборки емкостного оборудования	Россия, RU 2374053 C2, B23K 31/02 B23K 37/053 B23K 101/12	Двуреченский А. Г., Варавин И. И., Котов А. Н., Россия, 2007121422/02, Приоритеты 07.06.2014г 27.11.2016г	Установка для сварки кольцевых стыков оболочек [4]

Таким образом проанализировав найденную информацию можно сделать вывод что технология сборки и сварки емкостного оборудования идёт в сторону увеличения степени автоматизации. Применение в сборочно-сварочных операциях специального оборудования повышает производительность труда и качество выпускаемой продукции.

Проведя литературно патентный обзор было выявлено что современный уровень техники находится на высоком техническом уровне и успешно развивается.

					ПГУ.ВКР.15.03.01.14М0117.ПЗ	Лист
						9
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

2 Анализ объекта производства

2.1 Служебное назначение и описание конструкции изделия

Проектируемая конструкция представляет собой ёмкостной аппарат пробоотборник, который представлен на рисунок 2.1.

Аппарата, состоит из следующих основных частей:

- цилиндрическая часть (обечайка);
- двух эллиптических днищ;
- четырёх штуцеров различного технологического назначения;
- змеевика расположенного внутри конструкции;
- двух опор для установки аппарата по месту назначения.

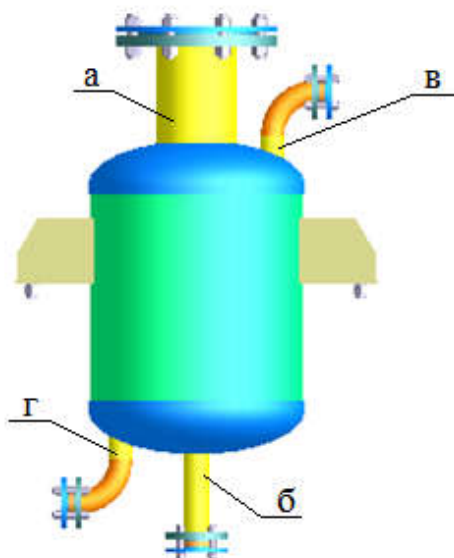


Рисунок 2.1 – Пробоотборник: а – штуцер для выхода оборотной воды; б – штуцер для входа оборотной воды; в – штуцер для входа пара-конденсатной смеси; г – штуцер для выхода конденсата

Предназначен данный аппарат для отбора проб конденсата водяного пара. Для осуществления данной операции аппарат оснащён двумя штуцерами для входа и выхода оборотной воды, штуцером для входа пара - конденсатной смеси, штуцером для выхода конденсата и змеевиком за счёт которого происходит конденсация пара.

Согласно заданным условиям на проектирование, аппарат устанавливается в отапливаемом помещении, рабочий диапазон температур от плюс 20 до плюс 35 °С, таким образом паро-конденсатная смесь поступающая в змеевик под давлением 0,4 МПа и температурой 180 °С, проходя через него за счёт снижения температуры конденсируется и на выходе получается конденсат водяного пара. Корпус аппарата работает под наливом воды, имеет объём 31,7 л, рабочее давление в корпусе сосуда равно атмосферному, при расчётах принимаем его $P_{\text{раб}} = 0,1 \text{ МПа}$.

Согласно исходным данным на проектирование внутренний диаметр сосуда $D = 300 \text{ мм}$. По ГОСТ 6533-78 [5], выбираем днища необходимого диаметра. Днища изготавливаются при помощи штамповки на соответствующем оборудовании. Схема днища с основными геометрическими параметрами представлена на рисунке 2.2.

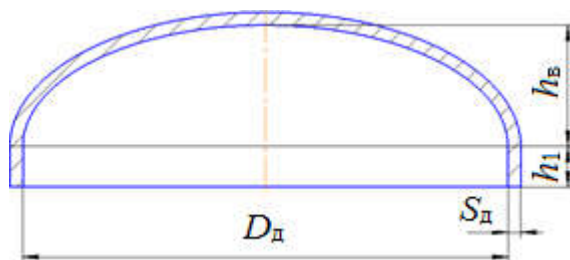


Рисунок 2.2 – Схема эллиптического днища с основными геометрическими параметрами: D_d – внутренний диаметр днища; S_d – толщина стенки днища; h_1 – высота от бортовки; h_b – высота эллиптической части днища

Основные геометрические параметры выбранного днища указаны в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Габаритные размеры днища

Параметры	Внутренний диаметр днища D_d , мм	Высота от бортовки днища h_1 , мм	Высота эллиптической части днища h_b , мм	Толщина металла днища S_d , мм	Объём днища V_d , дм ³	Площадь внутренней поверхности днища F_d , м ²
Значения	300,0	25,0	75,0	4,0; 5,0; 6,0; 8,0; 10,0; 12,0; 14,0; 16,0	5,3	0,12

Таким образом зная объём корпуса аппарата, а также необходимые размеры эллиптического днища вычислим общую высоту корпуса.

Для того чтобы вычислить высоту корпуса необходимо рассчитать высоту обечайки по геометрической формуле:

$$h_{об} = \frac{V_{об}}{\pi r_{об}^2}, \quad (2.1)$$

где $h_{об}$ – высота обечайки, м;

$V_{об}$ – объём обечайки, м³;

$r_{об}$ – радиус основания обечайки, м.

Определим объём обечайки по геометрической формуле:

$$V_{об} = V_k - 2V_d, \quad (2.2)$$

где V_k – объём корпуса пробоотборника, м³;

V_d – объём днищ, м³.

Обладая известными данными рассчитаем объём обечайки по формуле 2.2

$$V_{об} = 0,0317 - 0,0106 = 0,0211 \text{ м}^3$$

Обладая известными данными рассчитаем высоту обечайки по формуле 2.1

$$h_{об} = \frac{0,0211}{0,07065} = 0,299 \text{ м}$$

Принимаем $h_{об} = 300 \text{ мм}$.

Общая высота корпуса аппарата находится по геометрической формуле:

$$L = h_{об} + (h_1 + h_в) \cdot 2, \quad (2.3)$$

где L – общая высота корпуса аппарата, мм.

Обладая всеми необходимыми данными рассчитаем высоту корпуса аппарата по формуле 2.3

$$L = 300 + (25 + 75) \cdot 2 = 500 \text{ мм}$$

Значения основных геометрических параметров корпуса пробоотборника указано в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Габаритные размеры корпуса пробоотборника

Параметры	Объём номинальный, м ³	Внутренняя высота корпуса пробоотборника L , мм	Высота обечайки $h_{об}$, мм	Внутренний диаметр корпуса пробоотборника D , мм
Значения	0,317	500,0	300,0	300,0

Схема и основные геометрические параметры корпуса пробоотборника представлены на рисунке 2.3.

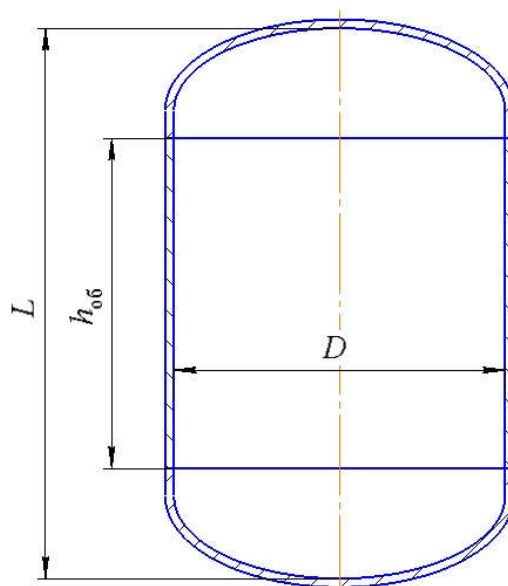


Рисунок 2.3 – Схема и основные геометрические параметры корпуса пробоотборника: D – внутренний диаметр корпуса пробоотборника; L – общая высота корпуса.

2.2 Технические требования

Данная конструкция относится к вертикальным ёмкостным аппаратам, проектируется в соответствии с ГОСТ Р 52630-2012 [6], ПБ 03-584-03 [7].

Рабочей средой пробоотборника является техническая вода, по степени воздействия на организм является веществом не опасным, таким образом относится к 4-му классу опасности по ГОСТ 12.1.007-76 [8], по ГОСТ 12.1.004-91

[9] не является средой пожароопасной и по ГОСТ Р 51330.5-99 [10] не является средой взрывоопасной.

Расчётный (назначенный) срок службы конструкции 2 года. Число циклов нагружения за весь срок службы не должен превышать 1000 раз, при этом необходимо соблюдать требования Федерального закона №116-ФЗ [11].

Для заданных условий эксплуатации группа сосуда 4 по [6], [7].

Фланцы изготовлены по ГОСТ 33259-2015 [12], на сборочную линию поступают в сборке со штуцерами.

Материал для изготовления крепёжных изделий для фланцевых соединений – термообработанный.

Опорные лапы аппарата сварные, изготовлены по ГОСТ 26296-84 [13] поступают на сборочную линию в собранном виде.

Поверхности сварных швов и околошовных зон, подлежат контролю неразрушающими методами, в соответствии с [6], [7].

Испытания на прочность и герметичность пробным гидравлическим давлением согласно [6], [7] в течении не менее 30 минут. Падение давления, трещины, остаточные деформации, течи и потения в сварных швах, в основном металле, фланцевых и сварных соединениях не допустимы.

Снаружи на корпус аппарата крепится табличка, на которой ударным способом нанесены:

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

Маркировку выполняют удобным способом. Размер шрифта не менее 4 мм, глубина маркировки от 0,2 до 0,3 мм.

					<i>ПГУ.ВКР.15.03.01.14М0117.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						<i>15</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

3 Проектирование и расчет элементов конструкции изделия

3.1 Выбор материала изделия

Материал для изготовления стальных конструкций выбирается исходя из ряда признаков. Сталь должна обладать необходимой прочностью, быть достаточно пластичной, хорошо свариваться и сопротивляться динамическим воздействиям без перехода в хрупкое состояние. При необходимости значительно снизить массу конструкции и повысить её коррозионную стойкость.

Подобранный материал должен обеспечить надёжность эксплуатации конструкции в течении расчётного срока службы с учётом заданных условий эксплуатации, характера и состава среды, а также влияния температур, действующих на аппарат.

Изделия, которые в последствии собираются в единую конструкцию путём сварки должны быть изготовлены из материала одинакового по химическому составу.

Для изготовления аппарата и его элементов должны применяться материалы, приведённые в [6], [7].

Исходя из того, что данная конструкция имеет не большой объём, эксплуатируется при атмосферном давлении, в небольшом диапазоне положительных температур, рабочая среда коррозионная, внешняя среда аппарата не является агрессивной, для данного изделия подходят углеродистые стали обыкновенного качества.

Согласно ГОСТ 380-2005 [14] углеродистую сталь обыкновенного качества изготавливают следующих марок: Ст0, Ст1кп, Ст1пс, Ст1сп, Ст2кп, Ст2пс, Ст2сп, Ст3кп, Ст3пс, Ст3сп, Ст3Гпс, Ст3Гсп, Ст4кп, Ст4пс, Ст4сп, Ст5пс, Ст5сп, Ст5Гпс, Ст6пс, Ст6сп.

Буквы «Ст» обозначают «Сталь», цифры – обозначают условный номер марки, который зависит, от химического состава стали, буквы, стоящие после цифры, обозначают степень раскисления, существует три вида раскисления:

					ПГУ.ВКР.15.03.01.14М0117.ПЗ	Лист
						16
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

кп – кипящая сталь, пс – полуспокойная, сп – спокойная, цифры стоящие после степени раскисления обозначают категорию стали, всего существует пять категорий, категория указывает на количество параметров при приёмо-сдаточных операциях.

При выборе марки стали нужно учитывать то, что основная часть аппарата изготавливается из листового материала, поэтому необходимо руководствоваться производимым прокатом ГОСТ 14637-89 [15].

Учитывая условия эксплуатации аппарата, его заданный срок службы, назначение и изготавливаемый прокат стали, принимаем в качестве основного материала конструкционную углеродистую сталь обыкновенного качества Ст3сп5.

Сталь Ст3сп5 используется для изготовления горячекатаного проката сортового, фасонного, толстолистого, тонколистового, а также труб, поковок и штамповок, лент, проволоки, метизов.

Химический состав, и механические свойства стали Ст3сп5 приведены в таблицах 3.1 и 3.2.

Таблица 3.1 – Массовая доля элементов в стали Ст3сп5

Химический элемент	Углерод (C)	Кремний (Si)	Марганец (Mn)	Никель (Ni)	Сера (S)	Фосфор (P)	Азот (N)	Медь (Cu)	Мышьяк (As)
Содержание, %	0,14... 0,22	0,15... 0,3	0,4 ... 0,65	до 0,3	до 0.05	до 0.04	до 0.3	до 0.3	до 0.08

Таблица 3.2 – Механические свойства при T = 20°C стали Ст3сп5

Параметры	Предел текучести, МПа	Временное сопротивление разрыву, МПа	Относительное удлинение, %
Значения	245,0	490,0	26,0

3.2 Оценка свариваемости основных материалов конструкции

Вся конструкция собирается с помощью сварки. Способность материалов образовывать сварное соединение определяется испытаниями на свариваемость.

Согласно ГОСТ 29273-92 [16] металлический материал считается поддающимся сварке до установленной степени при данных процессах и для данной цели, когда сваркой достигается металлическая целостность при соответствующем технологическом процессе, чтобы свариваемые детали отвечали техническим требованиям как в отношении их собственных качеств, так и в отношении их влияния на конструкцию, которую они образуют.

В первую очередь свариваемость определяется механическими испытаниями сварных швов. Иногда для определения свариваемости, испытания сварных соединений проводят в условиях соответствующим реальным условиям эксплуатации изделия.

В ГОСТ 23870-79 [17] описаны методы оценки влияния сварки плавлением на основной металл, данный стандарт регламентирует определение свариваемости сталей путём проведения механических испытаний на образцах. В результате испытаний устанавливают зависимости временного сопротивления, относительного удлинения после разрыва, относительного сужения после разрыва, предела длительной прочности, ударной вязкости, твердости, величины зерна и содержания структурных составляющих от скорости охлаждения.

Свариваемость стали так же может быть определена более простым и дешёвым методом. При известном содержании химических элементов в материале можно вычислить углеродистый эквивалент пользуясь эмпирической формулой из ГОСТ 19281-2014 [18]:

$$C_{\text{экв}} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Si}{24} + \frac{Cr}{5} + \frac{Ni}{40} + \frac{Cu}{13} + \frac{V}{14} + \frac{P}{2}, \quad (3.1)$$

где $C_{\text{экв}}$ – углеродистый эквивалент, %;

Mn, Si, Cr, Ni, Cu, V, P – содержание химических элементов, %.

Данный показатель является основным критерием свариваемости для углеродистых сталей в соответствии с ним определяется группа свариваемости стали.

По свариваемости стали подразделяют на четыре группы:

– первая – хорошо сваривающиеся;

- вторая – удовлетворительно сваривающиеся;
- третья – ограниченная свариваемость;
- четвертая – плохо сваривающиеся стали.

В рамках выпускной квалификационной работы углеродистый эквивалент считаем по минимальным значениям химического состава стали, однако считать углеродистый эквивалент рекомендуется по значениям химического состава, который указан в паспорте на данный материал.

Определим для стали СтЗсп5 углеродистый эквивалент по формуле 3.1

$$C_{\text{экв}} = 0,14 + \frac{0,4}{6} + \frac{0,15}{24} + \frac{0,15}{40} + \frac{0,15}{13} + \frac{0,02}{2} = 0,24 \%$$

Если углеродистый эквивалент составляет не более 0,25 %, то свариваемость стали хорошая.

Если углеродистый эквивалент находится в диапазоне от 0,25 до 0,4 %, то свариваемость стали удовлетворительная.

Если углеродистый эквивалент находится в диапазоне от 0,4 до 0,5 %, то свариваемость стали ограниченная.

Если углеродистый эквивалент составляет 0,5 % и выше, то сталь трудно свариваемая, и необходимы дополнительные операции.

Углеродистый эквивалент для стали СтЗсп5 находится ниже 0,25 %, таким образом сталь хорошо свариваемая.

3.3 Расчёт внутреннего давления – расчётного и пробного

По ГОСТ 14249-89 [19] под расчетным давлением в рабочих условиях для элементов сосудов и аппаратов следует понимать давление, на которое проводится их расчет на прочность. Под пробным давлением в сосуде или аппарате следует понимать давление, при котором проводится испытание сосуда или аппарата.

Согласно [19] при повышении давления в сосуде или аппарате во время действия предохранительных устройств более чем на 10 %, по сравнению с рабочим, элементы аппарата должны рассчитываться на давление, равное 90 %

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ПГУ.ВКР.15.03.01.14М0117.ПЗ

Лист
19

давления при полном открытии клапана или предохранительного устройства.

Расчеты внутреннего давления – расчётного и пробного в пункте 3.3 выполнялись по [20].

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

$$P_{\text{к}} = P_{\text{раб}} + 0,05, \quad (3.2)$$

где $P_{\text{к}}$ – давление в аппарате при действии предохранительного клапана, МПа;

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

Если рабочее давление в аппарате $0,3 < P_{\text{раб}} \leq 6,0$ МПа, то давление при действии предохранительного клапана рассчитывается по формуле:

$$P_{\text{к}} = 1,15 \cdot P_{\text{раб}} \quad (3.3)$$

Так как рабочее давление в аппарате $P_{\text{раб}} < 0,3$ МПа то давление в сосуде при действии предохранительного клапана определяется по формуле 3.2

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

Определим давление без учёта гидростатического давления.

Если рабочее давление в аппарате $P_{\text{раб}} \leq 6,0$ МПа, то расчёт давления без учёта гидростатического давления ведётся по формуле:

$$P_{\text{р}} = 0,9 \cdot P_{\text{к}}, \quad (3.4)$$

где $P_{\text{р}}$ – давление без учёта гидростатического давления, МПа.

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

$$P_{\text{р}} = P_{\text{раб}} \quad (3.5)$$

Так как рабочее давление в аппарате $P_{\text{раб}} < 6,0$ МПа то расчёт давления без учёта гидростатического давления будет определяется по формуле 3.4

$$P_{\text{р}} = 0,9 \cdot 0,15 = 0,135 \text{ МПа}$$

Если на элементы сосуда или аппарата действует гидростатическое давление, составляющее 5 % или более от рабочего давления, то расчётное давление повышают на величину гидростатического давления.

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

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ПГУ.ВКР.15.03.01.14М0117.ПЗ

лист
20

$$P_r = \rho_c \cdot g \cdot H_c \cdot 10^{-6}, \quad (3.6)$$

где P_r – гидростатическое давление среды, МПа;

ρ_c – плотность рабочей среды в аппарате, кг/м³;

g – ускорение свободного падения, м/с;

H_c – высота среды в аппарате, м.

Обладая всеми необходимыми значениями определи гидростатическое давление среды по формуле 3.6

$$P_r = 1000 \cdot 9,81 \cdot 0,78 \cdot 10^{-6} = 0,0077 \text{ МПа}$$

Если гидростатическое давление среды составляет более 5 % от рабочего, то расчётное давление с учётом гидростатического давления среды определяется по формуле:

$$P = P_p + P_r, \quad (3.7)$$

где P – давление с учётом гидростатического давления, МПа.

Обладая всеми необходимыми данными рассчитаем давление без учёта гидростатического давления по формуле 3.7

$$P = 0,135 + 0,0077 = 0,14 \text{ МПа}$$

Так как внутри корпуса аппарата расположен змеевик, работающий под давлением 0,4 МПа для предотвращения поломки корпуса связанных с возможным разрывом змеевика принимаем в качестве расчётного давления корпуса P , рабочее давление змеевика, равное 0,4 МПа.

Под пробным давлением $P_{пр}$ МПа, в сосуде или аппарате следует понимать давление, при котором проводится испытание сосуда или аппарата. Пробное давление определяется по формуле:

$$P_{пр} = 1,25 \cdot P \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]}, \quad (3.8)$$

где $[\sigma]_{20}$ – допускаемое напряжение для материала сосуда при температуре 20°C, МПа;

$[\sigma]$ – допускаемое напряжение для материала сосуда при расчетной температуре, МПа.

Так как проектируемая конструкция работает в пределах нормальных температур, допускаемые напряжения для материала принимаем при температуре стенки 20 С° согласно [20].

Обладая всеми необходимыми данными, определим пробное давление по формуле 3.8

$$P_{\text{пр}} = 1,25 \cdot 0,4 \cdot \frac{154}{154} = 0,5 \text{ МПа}$$

3.4 Расчёт толщины стенки корпуса пробоотборника

Расчеты толщины стенки в пункте 3.4 выполнялись по [20].

Расчетная толщина стенки днища определяется по формуле:

$$S_{1p} = \frac{P \cdot R_d}{2 \cdot \varphi_p \cdot [\sigma] - 0,5 \cdot P}, \quad (3.9)$$

где S_{1p} – расчётная толщина стенки днища, мм;

R_d – радиус кривизны в вершине днища, мм;

φ_p – коэффициент прочности сварного шва, определяется по [6] и [7], принимаем равным 0,9.

Радиус кривизны днища находится по формуле:

$$R_d = \frac{D_d^2}{4 \cdot h_b} \quad (3.10)$$

Обладая необходимыми данными определим радиус кривизны днища по формуле 3.10

$$R_d = \frac{300^2}{4 \cdot 75} = 300 \text{ мм}$$

Обладая необходимыми данными вычислим расчётную толщину стенки днища по формуле 3.9

$$S_{1p} = \frac{0,4 \cdot 300}{2 \cdot 0,9 \cdot 154 - 0,5 \cdot 0,4} = 0,4 \text{ мм}$$

Исполнительная толщина стенки днища без компенсации минусового допуска определяем по формуле:

$$S_{1д} = S_{1р} + C_1, \quad (3.11)$$

где $S_{1д}$ – исполнительная толщина стенки днища без компенсации минусового допуска, мм;

C_1 – прибавка для компенсации коррозии и эрозии, мм;

Сумма прибавок к расчётной толщине стенки определяется по формуле:

$$C = C_1 + C_2 + C_3, \quad (3.12)$$

где C – сумма прибавок к расчётной толщине стенки, мм.

C_2 – прибавка для компенсации минусового допуска, мм;

C_3 – прибавка технологическая, мм. В выпускной квалификационной работе не учитывается.

Прибавка для компенсации коррозии и эрозии определяется по формуле:

$$C_1 = V_{кр} \cdot t + C_э, \quad (3.13)$$

где $V_{кр}$ – скорость проникновения коррозии, мм/год;

t – срок службы аппарата, лет;

$C_э$ – прибавка для компенсации эрозии, мм. В выпускной квалификационной работе не учитывается.

Обладая необходимыми данными определим прибавку для компенсации коррозии и эрозии по формуле 3.13

$$C_1 = 0,1 \cdot 2 = 0,2 \text{ мм}$$

Прибавка для компенсации минусового допуска принимается по стандартам на прокат в зависимости от толщины листа, в данном случае ссылаемся на ГОСТ 19903-2015 [21].

Обладая необходимыми данными определяем исполнительную толщину стенки днища без компенсации минусового допуска по формуле 3.11

$$S_{1д} = 0,4 + 0,2 = 0,6 \text{ мм}$$

Прибавка для компенсации минусового допуска учитывается в том случае, когда её значение превышает 5 % от номинальной толщины стенки.

Для определения исполнительной толщины стенки днища с учётом компенсации на минусовой допуск, принимаем толщину стенки днища $S_d = 8$ мм, тогда при известной толщине стенки прибавка $C_2 = 0,8$ мм.

Прибавка для компенсации минусового допуска учитывается так как составляет более 5 % от номинальной толщины выбранного материала.

Обладая всеми известными значениями определим общую сумму прибавок C по формуле 3.12

$$C = 0,2 + 0,8 = 1 \text{ мм}$$

Допускаемое давление для стенки днища рассчитывается по формуле:

$$[P]_d = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p \cdot (S_d - C)}{R_d + 0,5 \cdot (S_d - C)}, \quad (3.14)$$

где $[P]_d$ – допускаемое давление для стенки днища, МПа.

Обладая всеми известными значениями рассчитаем допускаемое давление для стенки днища по формуле 3.14

$$[P]_d = \frac{2 \cdot 154 \cdot 0,9 \cdot (8 - 1)}{300 + 0,5 \cdot (8 - 1)} = 6,35 \text{ МПа}$$

Таким образом $P = 0,4 < [P]_d = 6,35$ МПа, условие прочности выполняется

Условия выполняются, следовательно, оставляем заданную толщину стенки $S_d = 8$ мм.

Рассчитаем толщину стенки обечайки.

Расчетная толщина стенки обечайки определяется по формуле:

$$S_{2p} = \frac{P \cdot D_{об}}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p - P}, \quad (3.16)$$

где S_{2p} – расчётная толщина стенки обечайки, мм;

$D_{об}$ – внутренний диаметр обечайки, мм.

Обладая всеми необходимыми данными рассчитаем толщину стенки обечайки по формуле 3.16

$$S_{2p} = \frac{0,4 \cdot 300}{2 \cdot 154 \cdot 0,9 - 0,4} = 0,4 \text{ мм}$$

Схема обечайки представлена на рисунке 3.1.

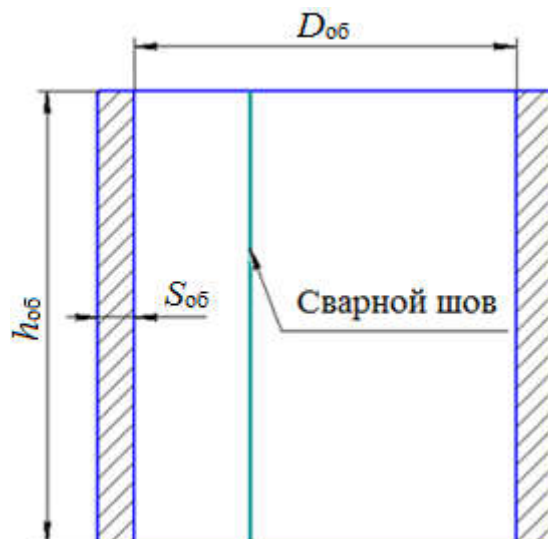


Рисунок 3.1 – Схема обечайки в разрезе с основными параметрами: $S_{об}$ – толщина стенки обечайки; $D_{об}$ – внутренний диаметр обечайки; $h_{об}$ – высота обечайки

Исполнительная толщина стенки обечайки аппарата без компенсации минусового допуска определяется по формуле:

$$S_{1об} = S_{2p} + C_1, \quad (3.17)$$

где $S_{1об}$ – исполнительная толщина стенки обечайки аппарата без компенсации минусового допуска, мм;

Обладая известными данными вычислим исполнительную толщину стенки обечайки без учёта прибавки для компенсации минусового допуска по формуле 3.17

$$S_{1об} = 0,4 + 0,2 = 0,6 \text{ мм}$$

Для определения исполнительной толщины стенки обечайки с учётом компенсации на минусовой допуск, необходимо принять толщину стенки обечайки.

В целях уменьшения металлоёмкости конструкции принимаем толщину стенки обечайки $S_{об} = 4$ мм, тогда согласно [21] прибавка $C_2 = 0,4$ мм.

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

Определим общую сумму прибавок C по формуле 3.12

$$C = 0,2 + 0,4 = 0,6 \text{ мм.}$$

					ПГУ.ВКР.15.03.01.14М0117.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		25

Для принятого значения толщины стенки обечайки рассчитаем допускаемое внутреннее давление по формуле:

$$[P]_{об} = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p \cdot (S_{об} - C)}{D + (S_{об} - C)} \quad (3.18)$$

где $[P]_{об}$ – допускаемое давление для стенки обечайки, МПа.

Обладая всеми известными данными рассчитаем допускаемое давление для стенки обечайки по формуле 3.18

$$[P]_{об} = \frac{2 \cdot 154 \cdot 0,9 \cdot (4 - 0,6)}{300 + (4 - 0,6)} = 2,55 \text{ МПа}$$

Таким образом условие прочности $P = 0,1 < [P]_{об} = 2,55 \text{ МПа}$, выполняется.

Условия выполняются, следовательно, оставляем заданную толщину стенки $S_{об} = 4 \text{ мм}$.

Отличие толщин стенки днищ и обечайки с технической точки зрения приводит к необходимости дополнительной механической обработки для плавного перехода сечений в месте сварки. Технически это сложнее и может быть невыгодно экономически, но это уменьшит вес конструкции, и таким образом снизит её металлоёмкость.

Сварка стыковых соединений деталей неодинаковой толщины при разнице, не превышающей значений, указанных в ГОСТ 14771-76 [22] согласно выбранному способу сварки в разделе 4.3 должна проводиться так же, как деталей одинаковой толщины, конструктивные элементы подготовленных кромок и размеры сварного шва следует выбирать по большей толщине.

При разности в толщине свариваемых деталей свыше значений, указанных в таблице 3.3, на детали, имеющей большую толщину, должен быть сделан скос с одной или двух сторон до толщины тонкой детали, как указано на рисунке 3.2.

При этом конструктивные элементы подготовленных кромок и размеры сварного шва следует выбирать по меньшей толщине.

Таблица 3.3 – Разница толщин деталей при которой допускается сварка без скоса кромок

Параметры	Толщина тонкой детали, мм	Разность толщин деталей, мм
Значения	2,0 ... 3,0	1,0
	4,0 ... 30,0	2,0
	32,0 ... 40,0	4,0
	св 40,0	6,0

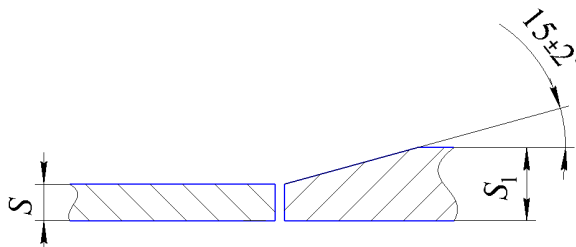


Рисунок 3.2 – Схема стыковки элементов разной толщины по [22]: S и S_1 – толщина свариваемых деталей; $15\pm 2^\circ$ – диапазон угла снятия фаски до тонкой детали.

3.5 Расчёт сварных соединений на прочность

Для всех сварных соединений принят способ сварки плавящимся электродом в среде углекислого газа, выбор способа сварки описан в разделе 4.3. Сварные соединения, выполненные данным способом сварки следует оформлять в соответствии с [22]. Сварные соединения штуцеров следует оформлять согласно РД 26-18-8-89 [23].

Произведя анализ соединений по [22] и [23], а также в соответствии с разделом 4 выпускной квалификационной работы принимаем:

- для продольного шва обечайки сварной шов типа С9 по [22] рисунок 3.4;
- для соединения днища с обечайкой шов типа С8 по [22] рисунок 3.5;
- для приварки штуцеров к днищам прободоотборника шов типа У7-1 по [23] рисунок 3.6;
- для приварки опорных лап к корпусу прободоотборника шов типа Т7 по [22] рисунок 3.7.

Исходя из конструкции прободоотборника в нём можно выделить восемь сварных соединения как показано на рисунке 3.3.

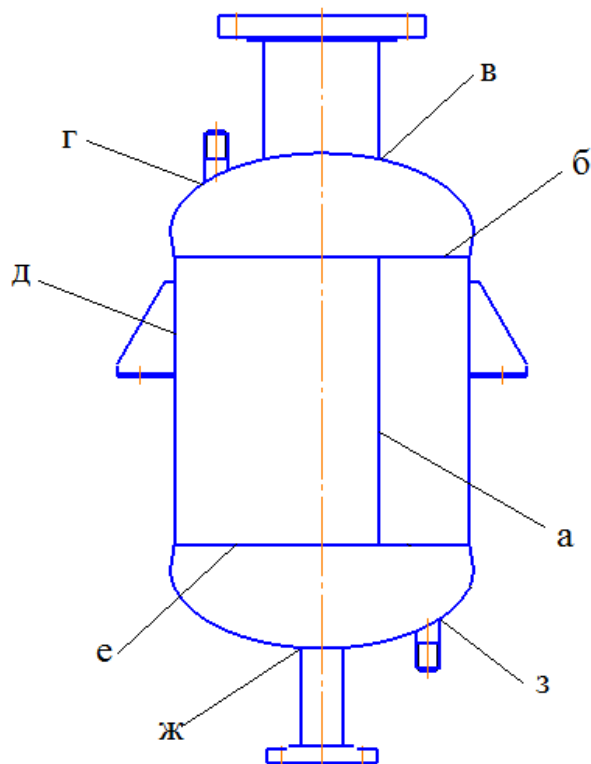


Рисунок 3.3 – Сварные соединения пробоотборника: а – соединение продольного стыка обечайки; б, в – соединение днищ с обечайкой; г – соединение штуцера для выхода оборотной воды с днищем; д – соединение штуцера для входа паро-конденсатной смеси с днищем; е – соединение опорных лап с корпусом; ж – соединение штуцера для входа оборотной воды с днищем; з – соединение штуцера для выхода конденсата водяного пара

Конструктивные элементы подготовки кромок сварного соединения типа С9 представлены в таблице 3.4.

Таблица 3.4 – Конструктивные элементы подготовки кромок, соединения типа С9 [22]

Параметры	Толщина свариваемых деталей $S = S_1$, мм	Зазор в стыке b , мм		Притупление c , мм		Угол скоса кромки α , град	
		Номинальное значение	Предельные отклонения	Номинальное значение	Предельные отклонения	Номинальное значение	Предельные отклонения
1	2	3	4	5	6	7	8

Продолжение таблицы 3.4

1	2	3	4	5	6	7	8
Значения	4,0	1,0	$\pm 1,0$	1,0	$\pm 1,0$	40,0	$\pm 2,0$

Конструктивные элементы сварного шва, соединения типа С9 представлены в таблице 3.5.

Таблица 3.5 – Конструктивные элементы сварного шва, соединения типа С9 [22]

Параметры	Ширина валика e , мм		Ширина валика с обратной стороны e_1 , мм		Высота валика q , мм		Высота валика с обратной стороны q_1 , мм	
	Номинальное значение	Предельные отклонения	Номинальное значение	Предельные отклонения	Номинальное значение	Предельные отклонения	Номинальное значение	Предельные отклонения
Значения	6,0	$\pm 2,0$	4,0	$\pm 2,0$	1,0	$\pm 1,0$	1,5	$\pm 1,0$

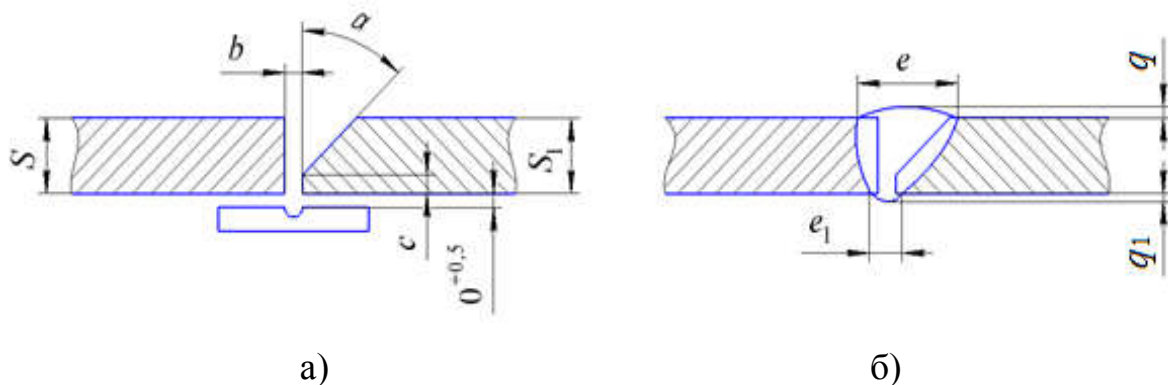


Рисунок 3.4 – Конструктивные элементы подготовленных кромок свариваемых деталей и шва сварного соединения типа С9 [22]: а) – эскиз соединения; S и S_1 – толщина свариваемых деталей; b – зазор в стыке; c – притупление; α – угол скоса кромки; $0+0,5$ – диапазон зазора между свариваемыми деталями и остающейся подкладкой; б) – эскиз шва; e – ширина валика; e_1 – ширина валика с обратной стороны; q – высота валика; q_1 – высота валика с обратной стороны

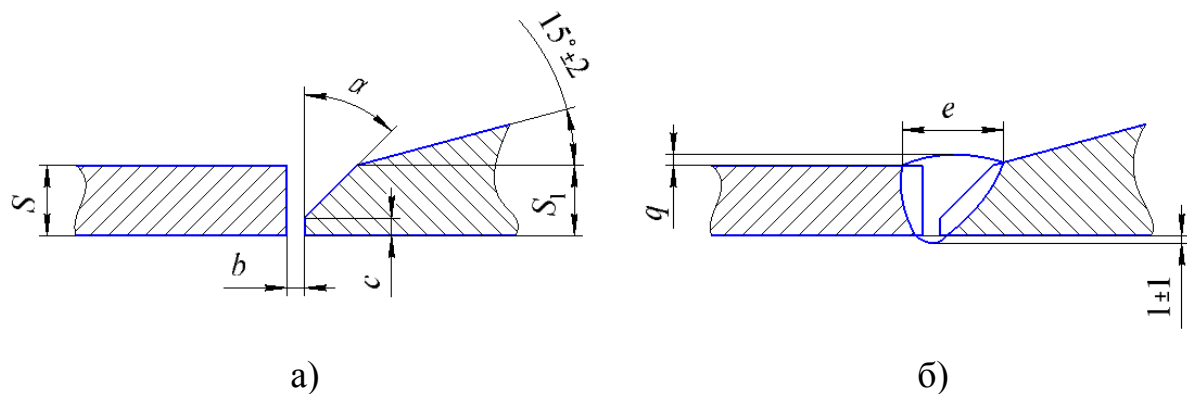


Рисунок 3.5 – Конструктивные элементы подготовленных кромок свариваемых деталей и шва сварного соединения типа С8 [22]: а) – эскиз соединения; S и S_1 – толщина свариваемых деталей; b – зазор в стыке; c – притупление; α – угол скоса кромки; $15\pm 2^\circ$ – диапазон угла снятия фаски до толщины тонкой детали б) – эскиз шва; e – ширина валика; q – высота валика; 1 ± 1 – диапазон высоты валика с обратной стороны

Конструктивные элементы подготовки кромок сварного соединения типа С8 представлены в таблице 3.6.

Таблица 3.6 – Конструктивные элементы подготовки кромок, соединения типа С8 [22]

Параметры	Толщина свариваемых деталей $S = S_1$, мм	Зазор в стыке b , мм		Притупление c , мм		Угол скоса кромки α , град	
		Номинальное значение	Предельные отклонения	Номинальное значение	Предельные отклонения	Номинальное значение	Предельные отклонения
Значения	4,0	1,0	$\pm 1,0$	1,0	$\pm 1,0$	40,0	$\pm 2,0$

Конструктивные элементы сварного шва, соединения типа С8 представлены в таблице 3.7.

Таблица 3.7 – Конструктивные элементы сварного шва, соединения типа С8 [22]

Параметры	Ширина валика e , мм		Высота валика q , мм		Высота валика с обратной стороны q_1 , мм	
	Номинальное значение	Предельные отклонения	Номинальное значение	Предельные отклонения	Номинальное значение	Предельные отклонения
Значения	6,0	$\pm 2,0$	1,0	$\pm 1,0$	1,5	$\pm 1,0$

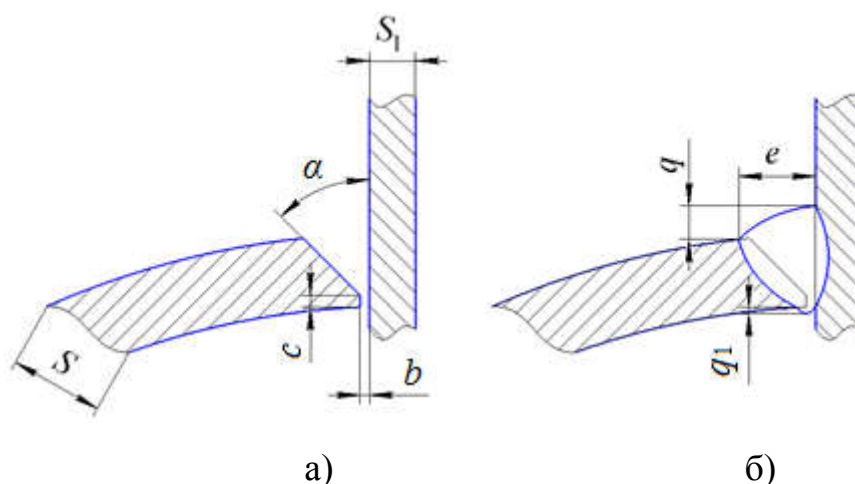


Рисунок 3.6 – Конструктивные элементы подготовленных кромок свариваемых деталей и шва сварного соединения типа У7-1 [23]: а) – эскиз соединения; S и S_1 – толщина свариваемых деталей; b – зазор в стыке; c – притупление; α – угол скоса кромки; б) – эскиз шва; q – высота валика; e – ширина валика; q_1 – диапазон высоты валика с обратной стороны.

Конструктивные элементы подготовки кромок сварного соединения типа У7-1 представлены в таблице 3.8.

Таблица 3.8 – Конструктивные элементы подготовки кромок, соединения типа У7-1 [23]

Параметры	Толщина свариваемых деталей S , мм	Толщина свариваемых деталей S_1 , мм	Зазор в стыке b , мм	Притупление c , мм	Угол скоса кромки α , град
1	2	3	4	5	6

Продолжение таблицы 3.8

1	2	3	4		5		6	
Значения	8,0	5,0	Номинальное значение	Предельные отклонения	Номинальное значение	Предельные отклонения	Номинальное значение	Предельные отклонения
			0,0	+2,0	0,5	±0,5	45,0	±5,0

Конструктивные элементы сварного шва, соединения типа У7-1 представлены в таблице 3.9.

Таблица 3.9 – Конструктивные элементы шва, соединения типа У7-1 [23]

Параметры	Ширина валика e , мм	Высота валика q , мм		Высота валика с обратной стороны q_1 , мм	
		Номинальное значение	Предельные отклонения	Номинальное значение	Предельные отклонения
Значения	≤20	1,0	±1,0	1,5	±1,0

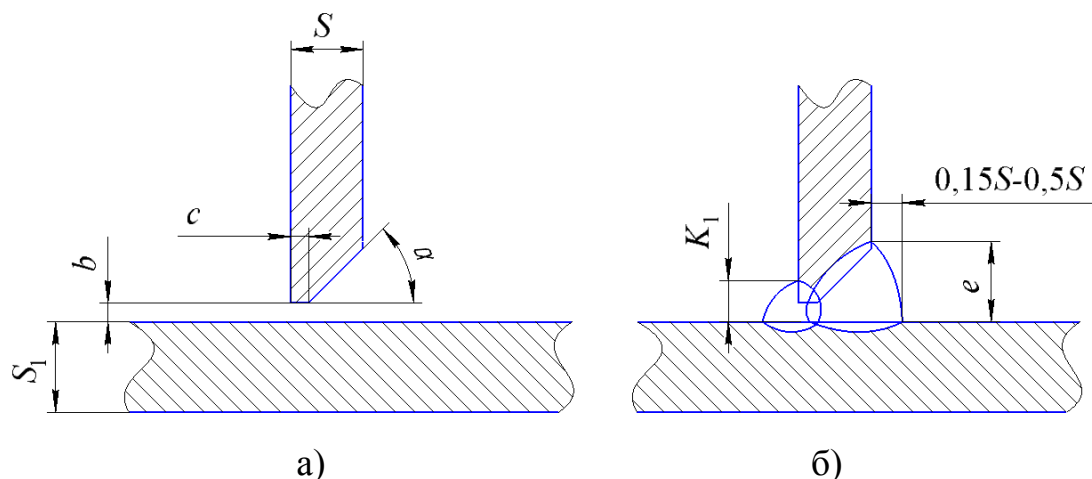


Рисунок 3.7 – Конструктивные элементы подготовленных кромок свариваемых деталей и шва сварного соединения типа Т7 [22]: а) – эскиз соединения; S и S_1 – толщина свариваемых деталей; b – зазор в стыке; c – притупление; α – угол снятия фаски; б) – эскиз шва; K_1 – катет шва; e – высота валика; $0,15S - 0,5S$ – диапазон ширины валика.

Конструктивные элементы подготовки кромок сварного соединения типа Т7 представлены в таблице 3.10.

Таблица 3.10 – Конструктивные элементы подготовки кромок, соединения типа Т7 [22]

Параметры	Толщина свариваемых деталей $S = S_1$, мм	Зазор в стыке b , мм		Притупление c , мм		Угол скоса кромок α , град	
		Номинальное значение	Предельные отклонения	Номинальное значение	Предельные отклонения	Номинальное значение	Предельные отклонения
Значения	4,0	0,0	+1,0	1,0	$\pm 1,0$	40,0	$\pm 2,0$

Конструктивные элементы сварного шва, соединения типа Т7 представлены в таблице 3.11

Таблица 3.11 – Конструктивные элементы шва, соединения типа Т7 [22]

Параметры	Ширина валика e , мм		Высота валика q , мм	
	Номинальное значение	Предельные отклонения	Номинальное значение	Предельные отклонения
Значения	6,0	$\pm 2,0$	1,0	$\pm 1,0$

K_1 - размер катета углового шва должен быть равен 1,2 толщины стенки, принимаем номинальное значение катета углового шва 5,0 мм.

Расчет на прочность сварных соединений в пункте 3.5 выполняется по методическим указаниям [24].

Метод расчёт сварных соединений на прочность осуществляется по допускаемым напряжениям.

Для стыковых соединений должно выполняться условие $\sigma_{ш} \leq [\sigma]$, расчёт на прочность проводится по формуле:

$$\sigma_{ш} = \frac{N}{F_{ш}}, \quad (3.19)$$

где $\sigma_{ш}$ – допускаемое напряжение стыкового шва, Н/мм²;

N – растягивающая сила, Н;

$F_{ш}$ – площадь поперечного сечения стыкового шва, мм². Растягивающая сила определяется по формуле:

$$N = P_{пр} \cdot \Pi, \quad (3.20)$$

где Π – расчетная площадь поверхности, на которую действует избыточное давление, мм².

Для обечайки, площадь внутренней поверхности на которую действует избыточное давление определяется по геометрической формуле:

$$\Pi = 2\pi R_{об} h_{об}, \quad (3.21)$$

$R_{об}$ – радиус основания обечайки, мм.

Обладая известными значениями рассчитаем площадь внутренней поверхности обечайки, на которую действует внутреннее избыточное давление по формуле 3.21

$$\Pi = 2 \cdot 3,14 \cdot 150 \cdot 300 = 282600 \text{ мм}^2$$

Обладая известными значениями определим растягивающую силу по формуле 3.20

$$N = 0,5 \cdot 282600 = 141300 \text{ Н}$$

Площадь поперечного сечения для стыкового сварного соединения находится по формуле:

$$F_{ш} = S \cdot L_{ш}, \quad (3.22)$$

где S – толщина детали, мм;

$L_{ш}$ – длина шва, мм.

Обладая необходимыми данными определим площадь поперечного сечения шва типа С9 по формуле 3.22

$$F_{ш} = 4 \cdot 300 = 1200 \text{ мм}^2$$

Обладая всеми необходимыми данными определим прочность сварного шва типа С9 по формуле 3.19

$$\sigma_{ш} = \frac{141300}{1200} = 117,75 \leq 154 \text{ Н/мм}^2$$

Для данного сварного соединения условие выполняется, следовательно, шов типа С9 работоспособен.

Определим прочность стыкового сварного соединения типа С8.

Рассчитаем величину растягивающей силы. Так как в конструкции аппарата применяются эллиптические днища, для расчёта сварного соединения С8 необходима площадь их внутреннего сечения, которая указана в [5].

Тогда, исходя из равномерного распределения давления по всей площади поверхности днища аппарата, растягивающее усилие будет определяться по формуле 3.20

$$N = 0,5 \cdot 120000 = 60000 \text{ Н}$$

Длина сварного шва типа С8 находится по геометрической формуле:

$$L_{\text{ш}} = \pi(D_{\text{из}} + S), \quad (3.23)$$

где $D_{\text{из}}$ – диаметр изделия, мм.

Обладая известными данными определим длину для шва типа С8 по формуле 3.23

$$L_{\text{ш}} = 3,14 \cdot (300 + 4) = 954,56 \text{ мм}$$

Принимаем $L_{\text{ш}} = 955 \text{ мм}$.

Обладая необходимыми данными определим площадь поперечного сечения для шва типа С8 по формуле 3.22

$$F_{\text{ш}} = 4 \cdot 955 = 3820 \text{ мм}^2$$

Обладая всеми необходимыми данными определим прочность сварного шва типа С8 по формуле 3.19

$$\sigma_{\text{ш}} = \frac{60000}{3820} = 15,7 \leq 154 \text{ Н/мм}^2$$

Для данного сварного соединения условие выполняется, следовательно шов типа С8 работоспособен.

Для угловых соединений должно выполняться условие $\tau \leq [\tau]$, расчёт на прочность угловых соединений определяется, по формуле:

$$\tau = \frac{N_{\text{п}}}{F_{\text{ш}}}, \quad (3.24)$$

где τ – напряжение среза в угловом сварном соединении, Н/мм²;
 N_{π} – напряжение от действия продольной силы, Н;
 $[\tau]$ – допускаемое напряжение при срезе, Н/мм².

Продольная сила определяется по формуле:

$$N_{\pi} = P_{\pi} \cdot \Pi \quad (3.25)$$

Рассчитаем на прочность угловое сварное соединение типа У7-1 для штуцера диаметром $d_{\text{шт}} = 120$ мм.

Площадь поперечного сечения для угловых соединений рассчитывается по формуле:

$$F_{\text{ш}} = \beta \cdot h_{\text{ш}} \cdot L_{\text{ш}}, \quad (3.26)$$

где β – коэффициент определения расчетной толщины углового шва, зависит от способа сварки, числа проходов катета шва, приближённо принимаем $\beta = 1$;

$h_{\text{ш}}$ – толщина углового шва, мм.

Толщина угловых соединений определяться по формуле:

$$h_{\text{ш}} = \sqrt{e^2 + q^2}, \quad (3.27)$$

где e – ширина валика, мм;

q – высота валика, мм.

Обладая необходимыми данными определим толщину углового шва по формуле 3.27

$$h_{\text{ш}} = \sqrt{20^2 + 7^2} = 20,2 \text{ мм}$$

Принимаем $h_{\text{ш}} = 20$ мм.

Для штуцеров длина сварного шва определяется по геометрической формуле:

$$L_{\text{ш}} = \pi d_{\text{шт}}, \quad (3.28)$$

Обладая всеми известными данными определим длину шва углового соединения для штуцера $d_{\text{шт}} = 120$ мм по формуле 3.28

$$L_{\text{ш}} = 3,14 \cdot 120 = 376,8 \text{ мм}$$

Принимаем длину шва для данного штуцера $L_{\text{ш}} = 377$ мм.

Обладая необходимыми данными определим площадь поперечного сечения углового шва для штуцера $d_{\text{шт}} = 120$ мм по формуле 3.26

$$F_{\text{ш}} = 1 \cdot 20 \cdot 377 = 7540 \text{ мм}^2$$

Допускаемое напряжение при срезе рассчитывается по формуле:

$$[\tau] = (0,5 \dots 0,65) \cdot [\sigma] \quad (3.29)$$

Обладая известными данными определим допускаемое напряжение при срезе по формуле 3.29

$$[\tau] = (0,5 \dots 0,65) \cdot 154 = 77 \dots 100,1$$

Расчётную площадь поверхности для штуцеров, на которую действует избыточное давление определяем по геометрической формуле:

$$\Pi = \pi \frac{d_{\text{шт}}^2}{4} \quad (3.30)$$

Обладая необходимыми данными определим для штуцера $d_{\text{шт}} = 120$ мм, площадь поверхности на которую действует избыточное давление по формуле 3.30

$$\Pi = 3,14 \cdot \frac{120^2}{4} = 11304 \text{ мм}^2$$

Определим величину напряжения от действия продольной силы для данного штуцера по формуле 3.25

$$N_{\text{п}} = 0,5 \cdot 11304 = 5652 \text{ Н.}$$

Обладая необходимыми данными определяем напряжение среза углового сварного соединения для штуцера $d_{\text{шт}} = 120$ мм по формуле 3.24

$$\tau = \frac{5652}{7540} = 0,75 \leq 88,5 \text{ Н/мм}^2$$

Для данного сварного соединения условие выполняется, следовательно шов работоспособен.

Рассчитаем на прочность угловое сварное соединение типа У7-1 для штуцеров диаметром $d_{\text{шт}} = 24$ мм.

Толщина угловых швов типа У7-1 будет равна 20 мм так как их конструктивные параметры одинаковы.

Обладая необходимыми данными определим длину шва для данного штуцера по формуле 3.23

$$L_{\text{ш}} = 3,14 \cdot 24 = 75,36 \text{ мм}$$

Принимаем для данного штуцера $L_{\text{ш}} = 75 \text{ мм}$.

Обладая необходимыми данными определим площадь поперечного сечения углового шва для штуцера $d_{\text{ш}} = 24 \text{ мм}$ по формуле 3.26

$$F_{\text{ш}} = 1 \cdot 20 \cdot 75 = 1500 \text{ мм}^2$$

Обладая известными данными определим площадь поверхности, на которую действует избыточное давление для штуцера $d_{\text{ш}} = 24 \text{ мм}$ по формуле 3.30

$$\Pi = 3,14 \cdot \frac{24^2}{4} = 452,16 \text{ мм}^2$$

Принимаем для данного штуцера $\Pi = 452 \text{ мм}^2$.

Обладая необходимыми данными определим величину напряжения от действия продольной силы для штуцера $d_{\text{ш}} = 24 \text{ мм}$ по формуле 3.25

$$N_{\text{п}} = 0,5 \cdot 452 = 226 \text{ Н}$$

Обладая всеми необходимыми данными определяем напряжение среза углового сварного соединения для данного штуцера по формуле 3.24

$$\tau = \frac{226}{1500} = 0,15 \leq 88,5 \text{ Н/мм}^2$$

Условие выполняется, следовательно, сварной шов работоспособен.

Рассчитаем на прочность сварное соединение типа У7-1 для штуцеров диаметром $d_{\text{ш}} = 43 \text{ мм}$.

Обладая необходимыми данными определим длину шва для данного штуцера по формуле 3.23

$$L_{\text{ш}} = 3,14 \cdot 43 = 135,02 \text{ мм}$$

Принимаем для данного штуцера $L_{\text{ш}} = 135 \text{ мм}$.

Обладая известными значениями определим площадь поперечного сечения углового шва для штуцера $d_{\text{ш}} = 43 \text{ мм}$ по формуле 3.26

$$F_{\text{ш}} = 1 \cdot 20 \cdot 135 = 2700 \text{ мм}^2.$$

Обладая всеми необходимыми данными определим площадь поверхности, на которую действует избыточное давление для штуцера $d_{\text{шт}} = 43$ по формуле 3.30

$$P = 3,14 \cdot \frac{43^2}{4} = 1451,47 \text{ мм}^2$$

Принимаем для данного штуцера $P = 1451 \text{ мм}^2$.

Обладая известными значениями определим величину напряжения от действия продольной силы для штуцера $d_{\text{шт}} = 43$ мм по формуле 3.25

$$N_{\pi} = 0,5 \cdot 1451 = 725,5 \text{ Н}$$

Принимаем для данного штуцера $N_{\pi} = 726 \text{ Н}$.

Обладая необходимыми данными определяем напряжение среза углового сварного соединения для штуцера $d_{\text{шт}} = 43$ мм по формуле 3.24

$$\tau = \frac{726}{2700} = 0,27 \leq 88,5 \text{ Н/мм}^2$$

Условие расчёта углового сварного соединения для штуцера $d_{\text{шт}} = 43$ мм выполняется, следовательно, сварной шов работоспособен.

Рассчитаем на прочность тавровое соединения типа Т7 по допускаемым напряжениям при срезе.

Длина шва определяется исходя из габаритных размеров опоры, и для данного сварного соединения равняется $L_{\text{шт}} = 500$ мм.

Исходя из того, что соединение типа Т7 выполняется с двух сторон, то толщина сварного соединения определяется по геометрической формуле:

$$h_{\text{шт}} = h_{1\text{шт}} + h_{2\text{шт}}, \quad (3.31)$$

где $h_{1\text{шт}}$ – толщина подварочного шва, мм;

$h_{2\text{шт}}$ – толщина заполняющего шва, мм.

Толщина подварочного и заполняющего шва определяется по формуле:

$$h_{1,2\text{шт}} = \sqrt{e^2 + q^2}, \quad (3.32)$$

Обладая необходимыми данными определим толщину подварочного шва по формуле 3.32

$$h_{1\text{шт}} = \sqrt{5^2 + 5^2} = 7,07 \text{ мм}$$

Принимаем $h_{1ш} = 7$ мм. Обладая необходимыми данными определим толщину заполняющего шва по формуле 3.32

$$h_{2ш} = \sqrt{6^2 + 0,7^2} = 6,04 \text{ мм}$$

Принимаем $h_{2ш} = 6$ мм.

Обладая всеми известными значениями определим толщину сварного соединения типа Т7 по формуле 3.31

$$h_{ш} = 7 + 6 = 13 \text{ мм}$$

Обладая известными данными определим площадь поперечного сечения таврового шва по формуле 3.26

$$F_{ш} = 1 \cdot 13 \cdot 500 = 6500 \text{ мм}^2$$

Для определения напряжения от действия продольной силы необходимо узнать массу конструкции с рабочей жидкостью. Масса конструкции определяем, как сумму масс обечайки, и двух эллиптических днищ.

Масса обечайки находится по формуле:

$$m_{об} = \pi \cdot S_{об} \cdot h_{об} \cdot \rho_c \cdot D_{об}, \quad (3.33)$$

где $m_{об}$ – масса обечайки, кг.

Обладая известными данными определим массу обечайки по формуле 3.33

$$m_{об} = 3,14 \cdot 0,004 \cdot 0,3 \cdot 7800 \cdot (0,31 - 0,004) = 8,9 \text{ кг}$$

Принимаем $m_{об} = 9$ кг.

Масса эллиптических днищ указана в [5], сумма их масс $m_d = 16$ кг.

Масса жидкости определяется из объёма, таким образом масса жидкости в аппарате $m_c = 31,7$ кг.

Масса конструкции m_k будет равна:

$$m_k = 9 + 16 + 31,7 = 56,7 \text{ кг}$$

Сила, действующая на опоры $F_1 = 556$ Н.

На одну опору будет действовать половина этой силы, таким образом величина продольной силы $N_{п} = 278$ Н.

Обладая необходимыми данными определяем напряжение среза таврового сварного соединения по формуле 3.24

$$\tau = \frac{278}{6500} = 0,04 \leq 88,5 \text{ Н/мм}^2$$

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

Наиболее точный и подробный расчёт на прочность и устойчивость опорных лап аппарата был произведён в программе «Пассат – 2.13», результаты расчёта вынесены в приложение Б.

					ПГУ.ВКР.15.03.01.14М0117.ПЗ	Лист
						41
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

4 Разработка технологии сборки и сварки изделия

4.1 Разработка схемы технологического процесса изготовления

Под технологическим процессом согласно ГОСТ 3.1109-82 [25] в машиностроении подразумевают часть производственного процесса, содержащая целенаправленные действия по изменению и (или) определению состояния предмета труда. Технологический процесс может быть отнесен к изделию, его составной части или к методам обработки, формообразования и сборки. К предметам труда относятся заготовки и изделия. Главная цель проектирования технологического процесса – это разработка такого способа изготовления заданного изделия, который бы являлся 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.

Технологический процесс состоит из целого ряда технологических операций, которые выполняются в строго определенной последовательности. Согласно [25] технологической операцией является законченная часть технологического процесса, выполняемая на одном рабочем месте.

Обеспечение технологичности конструкции изделия регламентируется ГОСТ 14.201-83 [26], данный стандарт устанавливает основные положения, систему показателей, последовательность и содержание работ по обеспечению технологичности.

Технологический процесс производства состоит из следующих этапов:

- заготовительные операции (резка, правка);
- подготовка поверхности;
- сборка;
- механическая доработка;
- контрольные испытания;
- покраска.

					ПГУ.ВКР.15.03.01.14М0117.ПЗ	Лист
						42
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

4.2 Заготовительные операции

Для того чтобы приступить непосредственно к сборке пробоотборника необходимо провести заготовительные операции.

Заготовительные операции – это этап технологического процесса изготовления сварных конструкций, для которых используются детали, образованные из заготовок листового проката, труб, профилей, а также отливок, поковок и. т. д.

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

Заготовительные операции при изготовлении сварных конструкций можно разделить на два основных этапа:

- раскрой полуфабрикатов, что составляет 10 % всего объёма заготовительных работ;
- формообразование деталей из полученных заготовок при их раскрое, что составляет 90 % всего объёма заготовительных работ. При этом более половины объёма работ связано с формообразованием деталей из листов.

Однако перед заготовительными операциями пришедшие на предприятие полуфабрикаты, комплектующие, сварочные материалы должны подвергнуться входному контролю и пройти проверку отдела технического контроля предприятия согласно [6] и [7].

После успешной проверки материалы отправляются на свои участки для дальнейшего использования.

К основным операциям заготовительного процесса относят:

- составление схемы раскроя;
- предварительная правка;
- очистка и подготовка поверхности;
- разметка;
- резка;
- окончательная правка;

					ПГУ.ВКР.15.03.01.14М0117.ПЗ	Лист
						43
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

- обработка кромок;
- образование отверстий;
- гибка (вальцовка);
- штамповка;
- маркировка;
- контроль качества.

Схема раскроя материала составляется из интересов минимального остатка отходов при раскрое листа.

Материал для обечайки выбирается из имеющихся размерного ряда листов, указанных в [21]. Схема условного обозначения проката изображена на рисунке 4.1.

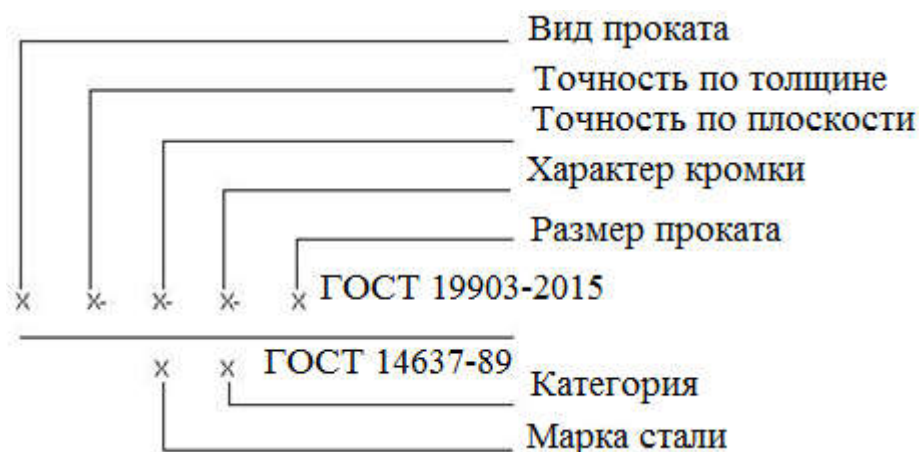


Рисунок 4.1 – Схема условного обозначения проката [21]

По видам прокат подразделяется:

- листы;
- рулоны.

По точности изготовления по толщине:

- повышенной точности (А);
- обычной точности (Б).

По точности изготовления по плоскости:

- особо высокой (ПО);
- высокой (ПВ);

– улучшенной (ПУ),

– нормальной (ПН).

По характеру кромки:

– с необрезной кромкой (НО);

– с обрезной кромкой (О).

Размерный ряд изготавливаемого проката указан в [21].

Для рационального выбора и использования заготовки, а также чтобы судить о расходе материала и количестве отходов необходимо определить коэффициент использования материала по формуле [20]:

$$K_{и.м} = \frac{M_{\phi}}{M_3} \cdot 100\%, \quad (4.1)$$

где $K_{и.м}$ – коэффициент использования материала, %;

M_{ϕ} – площадь фактического листа, мм²;

M_3 – площадь заданного листа, мм².

Площадью фактического листа M_{ϕ} является площади развёртки листа обечайки, для того чтобы её узнать необходимо определить длину листа обечайки l мм, которая определяется по геометрической формуле:

$$l = \pi (D_{об} + S_{об}), \quad (4.2)$$

где l – длину листа обечайки, мм.

Обладая известными данными определим длину листа обечайки по формуле 4.2

$$l = 3,14 (300 + 4) = 954,56 \text{ мм}$$

Принимаем $l = 955$ мм.

Площадью заданного листа M_3 является площадь листа, выбранного из [21]. Коэффициент использования материала должен быть не менее 70 %. Выбираем лист размером 2000,0×600,0×4,0 мм. Схема раскроя данного листа представлена на рисунке 4.2.

Обладая необходимыми данными определим коэффициент использования материала по формуле 4.1

$$K_{и.м} = \frac{1910 \cdot 600}{2000 \cdot 600} \cdot 100 = 95,5 \%$$

Рассчитанный коэффициент использования материала $95,5 \% > 70 \%$, следовательно условие выполняется.

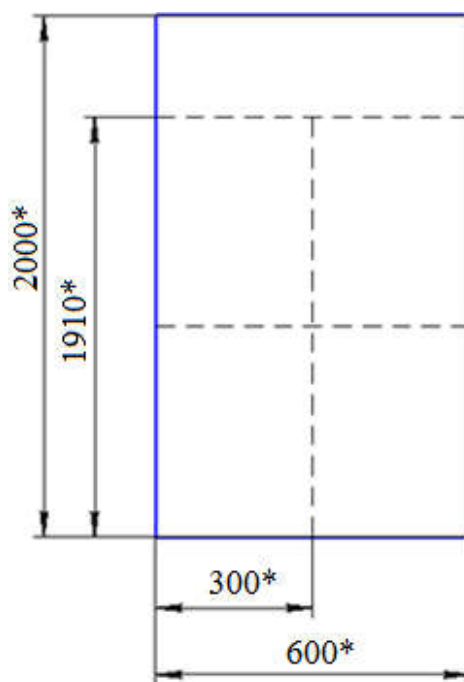


Рисунок 4.2 – Схема раскроя листа для обечайки: * – размер для справок; 2000, 1910, 300, 600 – размеры заготовки листа

Таким образом принятый материал имеет обозначение как представлено на рисунке 4.3.

Лист $\frac{\text{Б-ПН-0-4 ГОСТ 19903-74}}{\text{Ст3сп5-св ГОСТ 14637-89}}$

Рисунок 4.3 – Сортамент листового материала

Выбрав наиболее рациональную схему разделки листового материала необходимо подобрать способ и оборудование для разделки.

В рамках выпускной квалификационной работы для раскроя листов на заготовки для обечайки принимаем ножницы гильотинные кривошипные Российского производства НК 3416 рисунок 4.4.

Ножницы гильотина пневмомеханические НК 3416 с наклонным ножом и автоматической регулировкой зазора между ножами в зависимости от толщины

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ПГУ.ВКР.15.03.01.14М0117.ПЗ

Лист
46

разрезаемого листа и усилия прижима, пропорционально усилию реза, для резки листового металла.

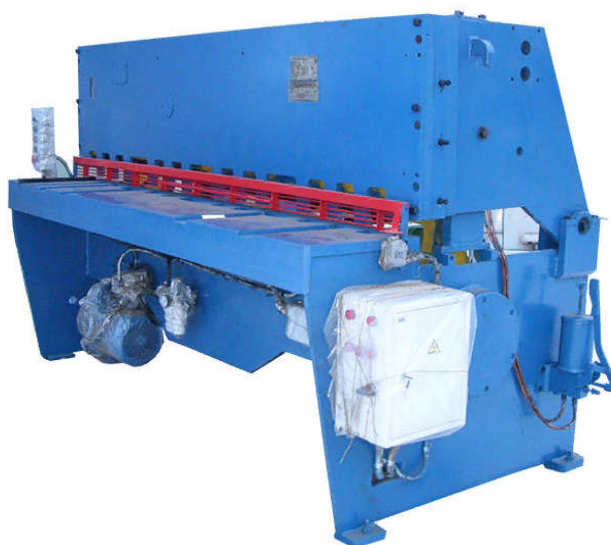


Рисунок 4.4 – Ножницы гильотинные кривошипные НК 3416

Основные технические характеристики ножниц гильотины НК 3416 представлены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Основные технические характеристики ножниц гильотины кривошипных НК 3416

Параметры	Значения
Ширина разрезаемого листа, мм	2000,0
Длина листа отрезаемого с упором, мм	700,0
Расстояние от верхней кромки нижнего ножа до уровня пола, мм	900,0
Мощность электродвигателя, кВт	5,5
Толщина разрезаемого металла, мм	до 20,0
Габаритные размеры Д×Ш×В, мм	2610,0×1600,0×1510,0
Масса, кг	2870,0

Для вырезки в днищах отверстий под штуцера, в рамках выпускной квалификационной работы принимаем способ плазменной резки, данный способ обеспечивает высокую точность изготовления детали и ровные края реза, не требующие механической обработки, что экономит время.

Принимаем для вырезки отверстий под штуцера, машину плазменной резки с числовым программным управлением КРИСТАЛЛ – 1,5×3 рисунок 4.5.

					ПГУ.ВКР.15.03.01.14М0117.ПЗ	Лист
						47
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		



Рисунок 4.5 – Машина плазменной резки КРИСТАЛЛ – 1,5×3

Данная машина является малогабаритной портальной машиной плазменной резки с числовым программным управлением.

Устанавливается данная машина на ровный бетонный пол. Минимально необходимая площадка для установки 4,5×2,65 метров, плюс проходы со всех сторон для обслуживания машины.

Разделочный стол для листа 1,5×3 метра – является принадлежностью машины и выполнен в виде рамы со сменными ребрами, которая устанавливается в фиксаторах силовой несущей рамы машины над стационарным коробом для сбора шлака. Под столом расположены 3 съемные заградительные решетки для улавливания падающих мелких деталей. Вытяжка газообразных продуктов резки осуществляется из-под разделочного стола через съемный воздухоотделительный канал из короба для сбора шлака. Вытяжной вентилятор *FUK – 6000SP* монтируется отдельно от портальной машины и присоединен к ней металлическим воздуховодом диаметром 250 мм длиной до 10 метров.

Машина соответствует требованиям ТУ 3874-008-50014349-2007 [27]. Климатическое исполнение и категория размещения машины – УХЛ4.1 согласно ГОСТ 15150-69 [28].

Данная машина существует в двух комплектациях:

					ПГУ.ВКР.15.03.01.14М0117.ПЗ	Лист
						48
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

– на базе установки АПР – 150К (диапазон плавного регулирования тока резки источника от 25 до 150 А при ПВ = 100 %) с плазмотроном СР – 160 с воздушным охлаждением.

– на базе установки *Hypertherm Powermax* 1650 (диапазон плавного регулирования тока резки источника от 30 до 100 А) режущий инструмент - *Hypertherm* T100М с воздушным охлаждением (разрезаемые металлы стали, в том числе нержавеющей, цветные металлы и их сплавы толщиной от 0,8 до 19 мм с пробивкой и до 32 мм при врезке с кромки листа).

Основные технические характеристики машины КРИСТАЛЛ – 1,5×3 указаны в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Основные технические характеристики машины плазменной резки КРИСТАЛЛ – 1,5×3

Параметры	Значения
1	2
Напряжение питания	3 Ф; 380,0 В; 50,0 Гц
Скорость перемещения машины, м/мин	До 18,0
Регулировка скорости движения	Плавная
Диапазон толщин разрезаемого листа мм, для системы <i>Hypertherm</i>	0,8...19,0 мм, при врезке с кромки до 32,0 мм
Диапазон толщин разрезаемого листа мм, в соответствии с возможностями плазматрона СР – 160	1,5...20,0 мм, при врезке с кромки до 25,0 мм
Геометрические точности при прочерчивании по ГОСТ 5614-74 [26]	1 класс
Точность задаваемых перемещений (дискрета управления), мм	0,001 (для формата <i>RS274NGC</i> - <i>G</i> - функции); 0,1 (для формата <i>ESSI</i>)
Программирование	<i>RS274NGC</i> - <i>G</i> - функции; код <i>ISO</i> ; формат кадра <i>ESSI</i>
Загрузка управляющих программ	Из внутренней памяти РС; с клавиатуры (съёмная); с <i>USB</i> флэш диска; сетевое подключение
Величина вертикального хода суппорта, мм	100 электропривод

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ПГУ.ВКР.15.03.01.14М0117.ПЗ

Лист
49

Продолжение таблицы 4.2

1	2
Управление высотой резака над листом	Ручное и автоматическое
Максимальная потребляемая мощность, кВт: а) Портальная машина «КРИСТАЛ 1,5×3» б) Установка АПР – 150К в) Система <i>Hypertherm Powermax</i>	а) 1,5 б) 45,0 в) 30,0
Давление сжатого воздуха на входе в машину, при расходе до 14 м ³ /час, в диапазоне, атм	8...10
Габаритные размеры машины со стойкой управления (Д×Ш×В), мм, не более	4500,0×2650,0×1800,0
Разделочный стол для листа (Ш×Д), мм	1500,0×3000,0
Масса машины, кг, не более	1200,0

В рамках дипломной работы машину плазменной резки принимаем на базе установки АПР – 150К с плазматроном СР – 160, данная комплектация является наиболее дешёвой и достаточной для выполнения поставленных задач.

Источник АПР – 150К представлен на рисунке 4.6, данный аппарат предназначен для ручной, механизированной или автоматической (в составе портальных машин) резки любых металлов и сплавов, в том числе нержавеющей сталей, алюминия, меди, титана.



Рисунок 4.6 – Аппарат воздушно плазменной резки АПР – 150К

Плазматрон СР – 160 представлен на рисунке 4.7, плазматрон предназначен для работы в закрытых помещениях, при соблюдении следующих условий:

- тип атмосферы П по и ГОСТ 15543-70 [29];
- высота над уровнем моря не более 1000 м.



Рисунок 4.7 – Плазматрон СР – 160

Оптимальные режимы воздушно – плазменной резки углеродистых сталей аппаратом АПР – 150К и плазматроном СР – 160 приведены в таблице 4.3.

Таблица 4.3 – Оптимальные режимы воздушно – плазменной резки

Параметры	Толщина металла, (мм)	Диаметр сопла, (мм)	Сила тока, (А)	Скорость резки, (м/мин)	Ширина реза, (мм)
Значения	2,0	1,1	35,0...40,0	1,0...1,5	2,0...2,4
		1,3	50,0	2...2,5	2,0...2,6
		1,6	70,0	3,5...4,0	3,0...3,6
	5,0	1,3	50,0...60,0	0,9...1,3	2,4...3,0
		1,6	70,0...80,0	1,3...1,7	2,0...3,0
		1,8	100,0	1,8...2,0	3,6...4,0

После раскроя нарезанные листы, а также пришедшие на предприятия днища отправляются на механическую обработку. На данном участке с поверхности удаляются брызги металла, а также образовавшийся в процессе резки град. Данные дефекты удаляются механическим путём при помощи шлифовальной машинки.

В рамках выпускной квалификационной работы принимаем шлифовальную машинку Японской марки *Makita GD0810C* рисунок 4.8. Прямая шлифовальная машина с удлиненным шпинделем оптимальна для обработки малых деталей и работ по внутренним поверхностям что удобно для обработки днищ собираемого аппарата, рабочая скорость вращения шпинделя регулируется ступенчато, посредством регулировочного колесика с пятью рисками. Кроме того, имеет место константная электроника, благодаря которой изменение внешних нагрузок мало отражается на работоспособности.



Рисунок 4.8 – Шлифовальная машинка *Makita GD0810C*

Основные технические характеристики машинки *Makita GD0810C* приведены в таблице 4.4.

Таблица 4.4 – Технические характеристики машинки *Makita GD0810C*

Параметры	Значения
Частота холостого хода, об/мин	1800,0... 7000,0
Габаритная длина, мм	317,0
Мощность, Вт	750,0
Вес, кг	2,5

После того как все дефекты удалены происходит подготовка кромок под сварку.

Подготовка кромок подразумевает их разделку, а также полное удаление включений и дефектов до появления характерного металлического блеска с обеих сторон на ширину не менее 20 мм. Разделку кромок получаем при помощи специальной машинки (кромкореза или фаскоснимателя).

В рамках выпускной квалификационной работы принимаем агрегат для обработки кромок под сварку Итальянского производства *MF 760* рисунок 4.9. Данный агрегат предназначен для обработки кромок листовых материалов и торцов труб, из углеродистой и нержавеющей сталей и невязких цветных металлов под сварку. Это переносной кромкофрезерный агрегат оборудованный устройствами изменения угла снимаемой фаски и вылета фрезы с ручной подачей. Встроенная электромеханическая система обеспечивает стабильную работу электропривода и предохраняет электрические цепи от перегрузок. Данный агрегат позволяет с высокой точностью и минимальными затратами времени получить готовую кромку к сварке.



Рисунок 4.9 – Кромкофрезерный агрегат *MF 760*

Основные технические характеристики машинки *MF 760* приведены в таблице 4.5.

					ПГУ.ВКР.15.03.01.14М0117.ПЗ	Лист
						53
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Таблица 4.5 – Технические характеристики кромкофрезерного агрегата MF 760

Параметры	Значения
Вес, кг	13,0
Мощность привода фрезы, Вт	900,0
Ширина фаски, тах диагональ, мм	21,0
Глубина обработки, мм	0...15
Углы обработки, min – max	15,0...60,0°
Диаметр фрезы, мм	63,0
Количество фрез, шт	2
Количество пластин на фрезе, шт	9
Частота вращения фрезы, об/мин	2900,0

Для снятия фаски у отверстий под штуцера в рамках выпускной квалификационной работы принимаем фаскосъемную машинку Галанской марки LKF.450/2 рисунок 4.10.



Рисунок 4.10 – Фаскосъемная машинка LKF.450/2

Данный инструмент предназначен для снятия фаски у отверстий или пластины. Благодаря широкому диапазону регулировки скорости вращения, машину можно использовать как для обработки конструкционных сталей, так и для

нержавеющих сталей и цветных металлов. Размер фаски плавно регулируется в пределах от 0 до 8 мм.

В комплект поставки входит фрезерная головка для выполнения фаски под углом 45 градусов. По заказу поставляются головка под 30 градусов и головка для скругления кромки с радиусом 2,5 мм (с применением специальных твердосплавных пластин).

Основные технические характеристики фаскосъёмной машинки *LKF.450/2* представлены в таблице 4.6.

Таблица 4.6 – Технические характеристики фаскосъёмной машинки *LKF.450/2*

Параметры	Значения
Вес, кг	4,7
Мощность привода фрезы, Вт	1100,0
Угол фаски	30,0°;45,0°
Глубина обработки при угле 30°, мм	до 5,0
Глубина обработки при угле 45°, мм	до 8,0
Диаметр фрезы, мм	20,0
Частота вращения фрезы, об/мин	до 6000,0

Для дальнейшего придания данному листу формы обечайки, используют специальную листогибочную машину – вальцы. Такие машины представляют собой станину с расположенными на ней рабочими органами – валками. Валков может быть от трёх и более.

Для выполнения операции вальцовки в рамках выпускной квалификационной работы принимаем четырёх валковый станок Турецкой марки *Bendmak CY4R – M 140 – 15/6.0* рисунок 4.11.



Рисунок 4.11 – Четырёх валковый вальцовочный станок *Bendmak CY4R – M 140 – 15/6.0*

Основные технические характеристики указаны в таблице 4.7.

Таблица 4.7 – Технические характеристики четырёх валкового вальцовочного станка *Bendmak CY4R – M 140 – 15/6.0*

Параметры	Значения
Тип привода	Электрический
Рабочая длина, мм	1600,0
Толщина металла (400 Н/мм ²), мм	6,0
Толщина для предподгиба (400 Н/мм ²), мм	5,0
Рабочая скорость м/мин	6,0
Минимальный диаметр заготовки, мм	210,0
Диаметр валов, мм	140,0
Потребляемая мощность, кВт	2,2
Габаритные размеры (Д×Ш×В), мм	3100,0×1100,0×850,0
Вес станка, кг	1700,0

4.3 Выбор и обоснование способа сборки и сварки изделия

Согласно [6] и [7] сосуды могут быть изготовлены с применением всех аттестационных видов промышленной сварки, за исключением газовой сварки.

Исходя из известных данных для сборки корпуса, а также для приварки всех узлов к корпусу пробоотборника, в качестве основного способа сварки в рамках выпускной квалификационной работы принимаем автоматический способ сварки плавящимся электродом в среде углекислого газа сокращённо АПГ оп РД 03-615-03 [30].

Основные типы, конструктивные элементы и размеры сварных соединения для данного способа сварки представлены в [22]. Схема принятого способа сварки представлена на рисунке 4.12.



Рисунок 4.12 – Сварка в углекислом газе плавящимся электродом

Сборочно-сварочные операции выполняются в определённой последовательности действий с применением необходимого оборудования и оснастки. Для более выгодного и качественного изготовления аппарата необходимо выбрать наиболее оптимальный вариант последовательности сборки.

Оптимизация должна производиться по следующим признакам:

- технологичность процесса сборки и сварки, включая удобство и безопасность работы;
- производительность процесса;
- качество сборки и сварки;
- экономичность;

Для выполнения заданных условий необходимо руководствоваться следующими соображениями:

- свободный доступ к швам при сварке;
- возможность применения специального инструмента и вспомогательного оборудования;

Процесс изготовления пробоотборника включает в себя следующие операции сборки:

- выполнение продольного шва обечайки;
- приварка штуцеров к днищам сосуда;
- приварка днищ к обечайке;
- приварка опорных элементов к корпусу;

Все операции по сварки кроме приварки опорных элементов выполняются на специальных сварочных комплексах, они позволяют выполнять сборку деталей без дополнительной оснастки, а человек требуется только для запуска цикла работы, контроля процесса, закладки и фиксации изделия на позиционере. Применение таких установок очень выгодно при серийном производстве, так как повышается производительность и качество изготавливаемой продукции.

Для организации процесса сборки конструкции, необходимо спланировать размещение всех комплексов таким образом, чтобы время простоя детали на определённом участке было минимально.

Таким образом сборка должна производиться в следующей последовательности:

- продольный шов обечайки и приварка штуцеров к днищам выполняются на разных участках сборки с использованием разного оборудования, однако выполняются эти операции должны в одно и тоже время, для того чтобы на участок их соединения между собой они поступали вместе;
- после того как обечайка и днища готовы к сборке они транспортируются на участок где их сваривают между собой;
- когда корпус собран его отправляют на участок где к нему привариваются опорные элементы.

Продольный шов обечайки выполняется на специальной автоматической установке марки *AWL FINGER.M* рисунок 4.13.



Рисунок 4.13 – Установка для автоматической сварки продольных швов *AWL FINGER.M*

Данная установка Чешского производства предназначена для автоматической дуговой сварки труб, листов, коробов, круглых и эллипсных обечаек, толщиной от 0,8 до 12,0 мм, с максимальной длиной свариваемого изделия до 3050 мм, позволяет выполнять сварку без прихваток.

Установка имеет цифровую систему управления *LCS06* рисунок 4.14, с возможностью синхронизации со сварочным источником. Эта система решает большую часть потребностей в процессе сварки продольных сварных швов и содержит ряд очень сложных функций.



Рисунок 4.14 – Панель управления *LCS06*

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ПГУ.ВКР.15.03.01.14М0117.ПЗ

Лист
59

Установка позволяет производить сварку различных видов в зависимости от используемого сварочного источника. В рамках выпускной квалификационной работы для выполнения продольного шва обечайки принимаем сварку в активных газах присадочной проволокой.

Сварка происходит следующим образом, заготовка помещается на подкладной цилиндр и прижимается независимыми клавишными рычагами с помощью пневмоцилиндров. Улучшенный теплоотвод позволяет сваривать самые тонкие и прихотливые материалы. Каскадная система поддува экономит до 70% расхода защитного газа посредством многоклапанной системы подачи газа направляющей газ только в зону где проходит сварочная горелка. Прижимная центровочная планка обеспечивает позиционирование и прижим материалов различной толщины и типов. Необходимая точность и плавность хода сварочной каретки достигнута применением в приводе шагового мотора и червячной передачи. Скорость сварки составляет от 100 до 3000 мм/мин, для быстрого возврата в начало сварки применена маршевая скорость 5000 мм/мин, что уменьшает время простоя между этапами сборки и сварки.

Основные технические характеристики установки *AWL FINGER.M* приведены в таблице 4.8.

Таблица 4.8 – Основные технические характеристики установки *AWL FINGER.M*

Параметры	Значения
Диапазон толщин свариваемого металла, мм	0,8...12,0
Диаметр изделия, мм	120,0...1500,0
Длина изделия, мм	50,0...3050,0
Удельное усилие прижима, Н/мм ²	0,35...350
Диапазон скорости сварки, см/мин	10,0...300,0

К днищам аппарата необходимо приварить штуцера разных диаметров, порядок действий должен проходить в следующей последовательности:

– к днищу №1 вначале приваривается штуцер для входа паро- конденсатной смеси с внешним диаметром 24 мм;

- затем к этому же днищу приваривается штуцер для выхода оборотной воды с внешним диаметром 120 мм;
- к днищу №2 вначале приваривается штуцер для входа оборотной воды с внешним диаметром 43 мм;
- штуцер для выхода конденсата диаметром 24 мм приваривается после сборки корпуса аппарата.

Все операции по приварки штуцеров к днищам конструкции выполняются при помощи специального оборудования для сварки седловидных соединений, которое, в частности, может использоваться для приварки патрубков к цилиндрическим конструкциям (обечайкам, трубам большого диаметра), а также к эллиптическим крышкам (заглушкам).

В рамках выпускной квалификационной работы для приварки штуцеров к днищам используем установку производства Американской компании *BUGO – S (Cypress Welding Equipment)* марки *CW – 5AX* рисунок 4.15.

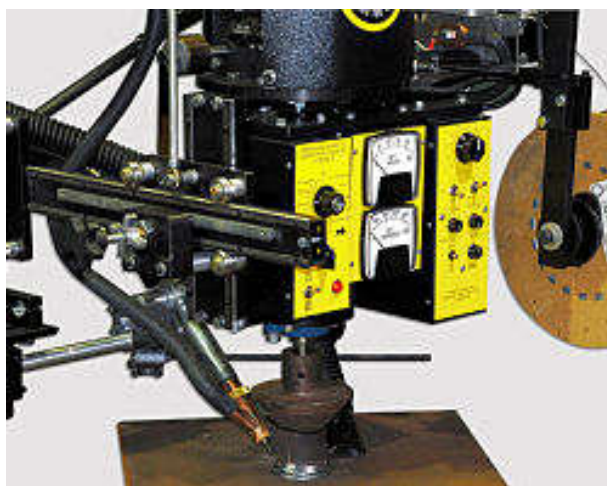


Рисунок 4.15 – Установка *CW – 5AX* для автоматической приварки патрубков

Данная установка позволяет выполнять автоматическую сварку в защитных газах плавящимся электродом, а также сварку под флюсом. Установка имеет подающий механизм, привод вращения, устройство вертикального и горизонтального автоматического перемещения сварочной горелки, а также крестообразный суппорт для горизонтального и вертикального позиционирования горелки, держатель кассеты для проволоки на 14 кг. Для фиксации заготовки ус-

тановка оснащена заменяемой планшайбой, которая имеет возможность перемещения в вертикальном положении.

Органы управления расположены на самой установке, позволяют контролировать скорость вращения, регулировать скорость подачи проволоки, продувку защитным газом до и после сварки, имеется амперметр и вольтметр.

Возможно, как ручное, так и автоматическое управление. При ручном управлении необходимо тщательно следить за всеми параметрами работы установки. В автоматическом режиме, нажатием одной кнопки начинается процесс сварки, установка точно подходит к месту работы, сваривает и осуществляет перехлест сварного шва, затем отключает источник питания и возвращается в исходное положение.

Данная установка позволяет выполнять сварку без прихваток.

На рисунке 4.16 представлены все виды сварных соединений, которые можно выполнить на данной установке.



Рисунок 4.16 – Виды сварных соединений, выполняемые установкой *CW-5AX*

Основные технические характеристики установки *CW – 5AX* представле-

ны в таблице 4.9.					ПГУ.ВКР.15.03.01.14М0117.ПЗ	Лист
						62
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Таблица 4.9 – Основные технические характеристики автоматической установки *CW – 5AX*

Параметры	Значения
Способ сварки	<i>MIG/MAG, SAW</i>
Внешний диаметр штуцера, мм	20,0...300,0
Максимальная высота патрубка, мм	853,0
Сила сварочного тока (ПВ = 100%) А	500,0

Сварка днищ с обечайкой выполняется на специальном сварочном комплексе, который собран на базе двух стоечного горизонтального вращателя ВГ – 1.

Вращатель этого типа может использоваться как с опциональным комплектом сопутствующих устройств, таких как, поддерживающие роликовые опоры, пути для передвижения задней стойки и роликовой опоры, направляющая для передвижения подвесного сварочного автомата или каретки, так и отдельно.

Для сборки пробоотборника, сварочный комплекс оборудован необходимыми устройствами как представлено на рисунке 4.17.

Данный комплекс позволяет выполнять сварку цилиндрических, корпусных, рамных и оболочковых конструкций. При помощи вращателей, изделие возможно зафиксировать в удобном положении для сварки, а также вращать с определённой скоростью.

Для выполнения вращения передняя стойка оснащена приводом от электродвигателя постоянного тока через червячную передачу. В планшайбе закрепляется изделие при помощи зажимных губок (планшайба может быть заменена, в зависимости от габаритов изделия). Задняя стойка установлена на подвижную тележку, которая передвигается по рельсовому пути вручную, для жёсткого закрепления тележки к рельсовому пути она оснащена двумя захватами. Для более плавного прижатия изделия, пиноль задней стоки имеет механизм выдвижения ручного типа, также задняя стойка имеет ручной механизм регулировки стоки по

высоте, для более точной центровки изделия. Роликовая опора установлена на подвижную тележку, перемещается вручную, оснащена механизмом подъёма ручного типа, а также двумя захватами для закрепления её к рельсовому пути.

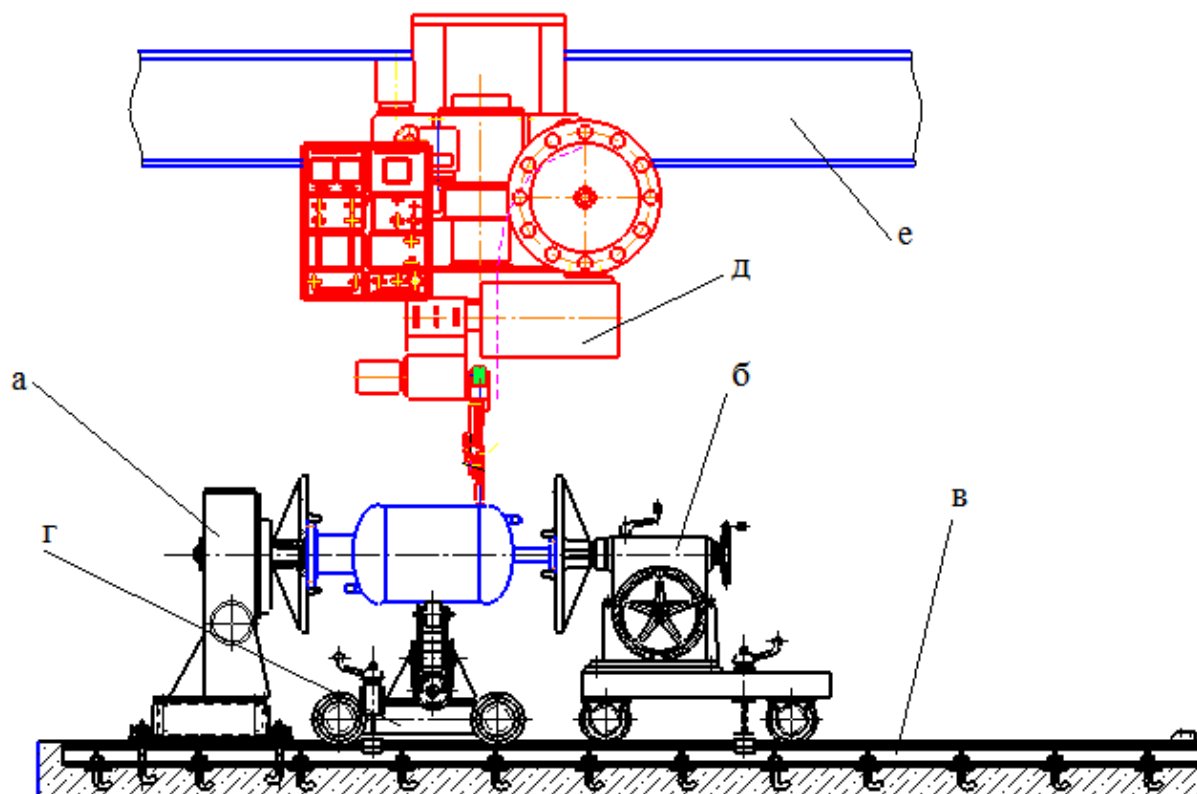


Рисунок 4.17 – Сварочный комплекс: а – передняя стойка вращателя; б – задняя стойка вращателя; в – рельсовый путь; г – роликовая опора; д – сварочный автомат; е – направляющая

Электроаппаратура вращателя размещена в отдельном шкафу. Управление осуществляется с персонального пульта. Технические характеристики вращателя ВГ – 1 представлены в таблице 4.10.

Таблица 4.10 – Технические характеристики вращателя ВГ – 1

Параметры	Значения
1	2
Грузоподъёмность на стойку, кг	400,0
Грузоподъёмность роликовой опоры, кг	400,0
Допустимый момент, кг·м ² :	а) 64,0
а) на оси вращения планшайбы	б) 240,0
б) относительно опорной плоскости планшайбы	

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ПГУ.ВКР.15.03.01.14М0117.ПЗ

Лист
64

Продолжение таблицы 4.10

1	2
Скорость вращения планшайбы, об/мин: а) рабочая б) маршевая	а) 0,1...2,0 б) 4,0
Диаметр планшайбы, мм	500,0
Высота центров, мм	600,0
Габаритные размеры вращателя (д×ш×в), мм	3660,0×780,0×810,0
Масса, кг	3500,0

Завершающим этапом сборки пробоотборника является приварка к корпусу опорных лап.

Лапы привариваются на том же сварочном комплексе что и днища, только без роликовой опоры. Перед тем как выполнить сварку на сварочном комплексе необходимо выполнить прихватки опорных лап к корпусу. Прихватки выполняются механизированной сваркой в среде углекислого газа, учитывая толщину стали из которой изготовлены опорные лапы, а также их габаритные размеры длина прихваток должна быть от 0,5 до 4 мм с шагом от 30 до 60 мм.

4.4 Выбор сварочных материалов

Для сборки пробоотборника в качестве сварочных материалов используется присадочная проволока и защитный газ.

При выборе сварочных материалов должны учитываться состав и структура выбранного материала, способы сварки, сварочные материалы должны соответствовать техническим условиям или стандартам на их поставку, что должно быть подкреплено сертификатами.

Перед использованием сварочные материалы должны пройти проверку на соответствие их государственным и отраслевым стандартам.

При выборе марки электродной проволоки необходимо руководствоваться ГОСТ 2246-70 [31], данный стандарт регламентирует 77 видов марок сварочной

проволоки. Так как сталь СтЗсп5 относится к углеродистым сталям, следовательно, для её сварки следует применять проволоку для углеродистых сталей. К ним относятся такие проволоки как: Св-12ГС, Св-08ГС, Св-10ГН, Св-08Г2С, а также Св-08ГСМТ и другие.

В рамках выпускной квалификационной работы для выполнения сварочных работ применяем проволоку Св-08Г2С, легированная кремнием и марганцем, [31] определяет следующие размеры проволок: 0,3; 0,5; 0,8; 1,0; 1,2; 1,4; 1,5; 1,6. Выше диаметром идут проволоки для сварки под слоем флюса и для, спец видов сварки.

Отдельные требования предъявляются к хранению сварочной проволоки так как неправильное её хранение может послужить первопричиной брака.

Сварочная проволока должна храниться в условиях, исключающих ее загрязнение и окисление. Не всегда это удается выполнять в производственных условиях, поэтому в цехах применяют специальные зачистные машины для подготовки сварочной проволоки перед сваркой.

Углекислый газ (CO_2) применяется в качестве активного защитного газа, он должен отвечать требованиям, указанным в ГОСТ 8050-85 [32]. Согласно данному стандарту для нужд сварочного производства применяют двуокись углерода высшего и первого сортов.

Объемная доля двуокиси углерода высшего сорта (CO_2), %, должна составлять не менее 99,8 %, объемная доля двуокиси углерода первого сорта (CO_2), %, не менее 99,5%. Массовая доля воды двуокиси углерода высшего и первого сорта отсутствует.

Снабжение сварочных постов углекислым газом может осуществляться следующими способами:

- от автоматной станции по производству углекислоты;
- от стационарного сосуда накопления;
- от транспортной углекислотной ёмкости;
- от баллонов.

Каким конкретно способом осуществлять снабжение сварочных постов углекислым газом зависит от объёма его потребления.

В рамках выпускной квалификационной работы снабжение сварочных постов углекислым газом осуществляем при помощи баллонов.

Баллоны для углекислого газа окрашены в черный цвет с желтой надписью, верхняя часть не окрашивается или вывешивается шайба, где указываются все данные о баллоне рисунок 4.18.



Рисунок 4.18 – Баллон с углекислым газом

Давление в баллоне 25 кг/см^2 Баллоны изготавливаются из цельных труб.

Баллоны делятся на 3 категории:

- малой вместимости – до 12 л;
- средней вместимости – от 12 до 40 л;
- большой вместимости – от 40 л.

Подготовка сварочных материалов к сварке, их расход, должны фиксироваться в специальных журналах учёта.

4.5 Расчёт параметров режимов сварки

Расчёт режимов сварки в пункте 4.5 ведётся по методическим указаниям [33]

Рассчитаем режимы сварки для сварного соединения типа С9, представленного на рисунке 4.19.

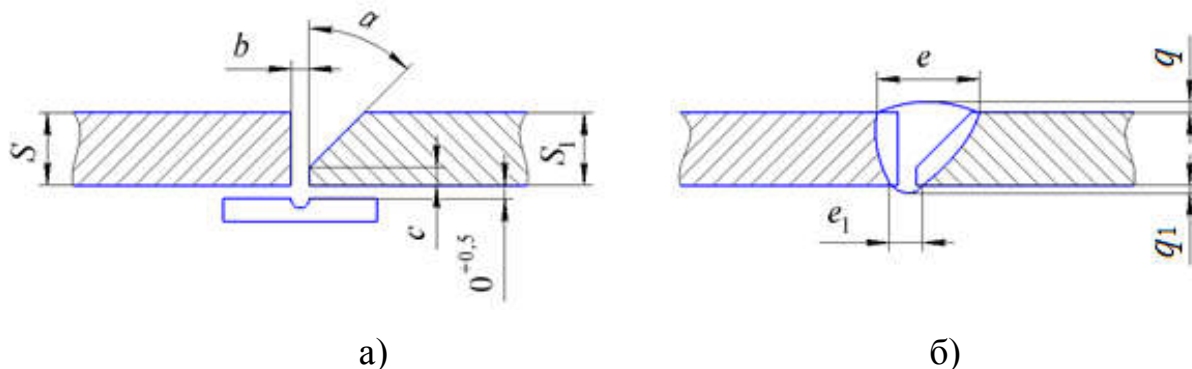


Рисунок 4.19 – Конструктивные элементы подготовленных кромок свариваемых деталей и шва сварного соединения типа С9 [22]: а) – эскиз соединения; S и S_1 – толщина свариваемых деталей; b – зазор в стыке; c – притупление; α – угол скоса кромки; $0+0,5$ – диапазон зазора между свариваемыми деталями и остающейся подкладкой; б) – эскиз шва; e – ширина валика; e_1 – ширина валика с обратной стороны; q – высота валика; q_1 – высота валика с обратной стороны

Конструктивные элементы подготовки кромок сварного соединения типа С9 представлены в таблице 4.11.

Таблица 4.11 – Конструктивные элементы подготовки кромок, соединения типа С9 [22]

Параметры	Толщина свариваемых деталей $S = S_1$, мм	Зазор в стыке b , мм		Притупление c , мм		Угол скоса кромки α , град	
		Номинальное значение	Предельные отклонения	Номинальное значение	Предельные отклонения	Номинальное значение	Предельные отклонения
Значения	4,0	1,0	$\pm 1,0$	1,0	$\pm 1,0$	40,0	$\pm 2,0$

Конструктивные элементы сварного шва, соединения типа С9 представлены в таблице 4.12.

Таблица 4.12 – Конструктивные элементы шва, соединения типа С9 [22]

Параметры	Ширина валика e , мм		Ширина валика с обратной стороны e_1 , мм		Высота валика q , мм		Высота валика с обратной стороны q_1 , мм	
	Номинальное значение	Предельные отклонения	Номинальное значение	Предельные отклонения	Номинальное значение	Предельные отклонения	Номинальное значение	Предельные отклонения
Значения	6,0	$\pm 2,0$	4,0	$\pm 2,0$	1,0	$\pm 1,0$	1,5	$\pm 1,0$

Величина сварочного тока определяется в зависимости от диаметра электродной проволоки согласно рекомендациям таблицы 4.13.

Таблица 4.13 – Допускаемая величина сварочного тока [33]

Параметры	Значения							
Диаметр сварочной проволоки $d_{эл}$, мм	0,5	0,8	1,0	1,2	1,6	2,0	2,5	3,0
Сила сварочного тока $I_{св}$, А	20... 70	50... 130	70... 80	100... 240	150... 400	200... 500	300... 700	400... 850
Расстояние от изделия, мм	5... 15	5... 15	6... 18	8... 18	15... 25	15... 25	20... 40	20... 40

Стыковое сварное соединение типа С9 выполняется на съёмной подкладке со стороны разделки. Выбираем сварочную проволоку диаметром 1,6 мм. При расчётах принимаем величину сварочного тока $I_{св} = 240$ А.

Определим скорость сварки. Для проволоки $d_{эл} = 1,6$ мм скорость сварки определяется по формуле:

$$V_{св} = \frac{(5...8) \cdot 10^3}{I_{св}}, \quad (4.3)$$

где $V_{св}$ – скорость сварки, м/ч.

Обладая известными значениями определим скорость сварки для сварного соединения типа С9 по формуле 4.3

$$V_{\text{св}} = \frac{(5 \dots 8) \cdot 10^3}{240} = 20,8 \dots 33,3 \text{ м/ч}$$

Для расчётов принимаем $V_{\text{св}} = 25 \text{ м/ч} = 0,69 \text{ см/с}$.

Напряжение дуги рассчитывается по формуле:

$$U_{\text{д}} = 20 + \frac{50 \cdot 10^{-3}}{d_{\text{эл}}^{0,5}} \cdot I_{\text{св}} \pm 1\text{В}, \quad (4.4)$$

где $U_{\text{д}}$ – напряжение дуги, В.

Обладая известными данными определим напряжение дуги для сварного соединения типа С9 по формуле 4.4

$$U_{\text{д}} = 20 + \frac{50 \cdot 10^{-3}}{1,6^{0,5}} \cdot 240 = 29,6 \pm 1\text{В}$$

Для расчётов принимаем $U_{\text{д}} = 30 \text{ В}$.

Коэффициент формы проплавления определяется по формуле:

$$\psi_{\text{пр}} = K' \cdot (19 - 0,01 \cdot I_{\text{св}}) \cdot \frac{d_{\text{эл}} \cdot U_{\text{д}}}{I_{\text{св}}}, \quad (4.5)$$

где $\psi_{\text{пр}}$ – коэффициент формы провара шва;

K' – коэффициент который для постоянного тока обратной полярности при плотности тока равным или более 120 А/мм^2 равен 0,92 по [33].

Обладая известными данными определим коэффициент формы проплавления шва для соединения типа С9 по формуле 4.5

$$\psi_{\text{пр}} = 0,92 \cdot (19 - 0,01 \cdot 240) \cdot \frac{1,6 \cdot 30}{240} = 3,1$$

Величину погонной энергии определяется по формуле:

$$q_{\text{п}} = \frac{I_{\text{св}} \cdot U_{\text{д}} \cdot \eta}{V_{\text{св}}}, \quad (4.6)$$

где $q_{\text{п}}$ – погонная энергия Дж/см;

η – эффективный КПД дуги сварки находящийся в диапазоне от 0,8 до 0,95.
Для расчётов принимаем $\eta = 0,85$ по [33].

Обладая известными данными определим величину погонной энергии для сварного соединения типа С9 по формуле 4.6

$$q_{\text{п}} = \frac{240 \cdot 30 \cdot 0,85}{0,69} = 8869,6 \text{ Дж/см}$$

Фактическая глубина проплавления определяется по формуле:

$$h_{\text{пр}} = 8,06 \cdot 10^{-3} \sqrt{\frac{q_{\text{п}}}{\psi_{\text{пр}}}}, \quad (4.7)$$

где $h_{\text{пр}}$ – фактическая глубина проплавления, см.

Обладая известными данными определим фактическую глубину проплавления для сварного соединения типа С9 по формуле 4.7

$$h_{\text{пр}} = 8,06 \cdot 10^{-3} \sqrt{\frac{8869,6}{3,1}} = 0,43 \text{ см} = 4,3 \text{ мм}$$

Расчётная ширина шва определяется по формуле:

$$b_1 = \psi_{\text{пр}} \cdot h_{\text{пр}}, \quad (4.8)$$

где b_1 – расчётная ширина шва, мм.

Обладая известными данными определим расчётную толщину шва для соединения типа С9 по формуле 4.8

$$b_1 = 3,1 \cdot 4,3 = 13,3 \text{ мм}$$

Расчётная высота валика определяется по формуле:

$$c_1 = \frac{F_{\text{нм}}}{0,73 \cdot b_1}, \quad (4.9)$$

где c_1 – расчётная высота валика, мм;

0,73 – коэффициент полноты валика при автоматической и полуавтоматической сварке;

$F_{\text{нм}}$ – площадь поперечного сечения наплавленного металла за данный проход при установленной скорости перемещения дуги, см².

Площадь поперечного сечения наплавленного металла определяется по формуле:

$$F_{\text{нм}} = \frac{\alpha_{\text{н}} \cdot I_{\text{св}}}{3600 \cdot \gamma \cdot V_{\text{св}}}, \quad (4.10)$$

где γ – плотность стали $\gamma = 7,8 \text{ г/мм}^3$;

$\alpha_{\text{н}}$ – коэффициент наплавки, мм^2 .

Коэффициент наплавки металла определяется по формуле:

$$\alpha_{\text{н}} = \alpha_{\text{р}} \left(1 - \frac{\psi}{100} \right), \quad (4.11)$$

где ψ – потери электродного металла, %, принимаем $\psi = 10 \%$ по [33];

$\alpha_{\text{р}}$ – коэффициент расплавления электродной проволоки, $\text{г/А} \cdot \text{ч}$.

Коэффициент расплавления электродной проволоки определяется по формуле:

$$\alpha_{\text{р}} = \left(8,3 + 0,22 \cdot \frac{I_{\text{св}}}{d_{\text{эл}}} \right) \cdot 10^{-4}, \quad (4.12)$$

Обладая известными данными определим коэффициент расплавления электродной проволоки для сварного соединения типа С9 по формуле 4.12

$$\alpha_{\text{р}} = \left(8,3 + 0,22 \cdot \frac{240}{1,6} \right) \cdot 10^{-4} = 41,3 \cdot 10^{-4} \text{ г/А} \cdot \text{ч} = 14,87 \text{ г/А} \cdot \text{с}$$

Обладая необходимыми данными определим коэффициент наплавки металла для сварного соединения типа С9 по формуле 4.11

$$\alpha_{\text{н}} = 14,87 \cdot \left(1 - \frac{10}{100} \right) = 13,38 \text{ мм}^2$$

Обладая известными данными определим площадь наплавленного металла для соединения типа С9 по формуле 4.10

$$F_{\text{нм}} = \frac{13,38 \cdot 240}{3600 \cdot 7,8 \cdot 0,69} = 0,166 \text{ см}^2 = 16,6 \text{ мм}^2$$

Обладая всеми необходимыми данными определим расчётную высоту валика для сварного соединения типа С9 по формуле 4.9

$$c_1 = \frac{16,6}{0,73 \cdot 13,33} = 1,7 \text{ мм}$$

Расчётная высота шва определяется по формуле:

					ПГУ.ВКР.15.03.01.14М0117.ПЗ	Лист
						72
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$H_{\text{ш}} = h_{\text{пр}} + c_1, \quad (4.13)$$

где $H_{\text{ш}}$ – расчётная высота шва, мм.

Обладая известными данными определим расчётную высоту шва для соединения типа С9 по формуле 4.13

$$H_{\text{ш}} = 4,3 + 1,7 = 6 \text{ мм}$$

Высота заполнения разделки с учётом зазора в стыке определяется по формуле:

$$f = \sqrt{\frac{F_{\text{нм}} - H_{\text{ш}} \cdot b}{\text{tg} \alpha}}, \quad (4.14)$$

где f – высота заполнения разделки с учётом зазора в стыке, мм.

Обладая известными данными определим высоту заполнения разделки для соединения типа С9 по формуле 4.14

$$f = \sqrt{\frac{16,6 - 6 \cdot 0}{\text{tg} 40}} = 4,4 \text{ мм}$$

Расчётная глубина проплавления притупления определяется по формуле:

$$h_0 = H_{\text{ш}} - f, \quad (4.15)$$

где h_0 – глубина проплавления притупления, мм.

Обладая известными данными определи расчётную глубину проплавления притупления для сварного соединения типа С9 по формуле 4.15

$$h_0 = 6 - 4,4 = 1,6 \text{ мм}$$

Скорость подачи электродной проволоки определяется по формуле:

$$V_{\text{пр}} = \frac{4 \cdot \alpha_{\text{н}} \cdot I_{\text{св}}}{\pi \cdot d_{\text{эл}}^2 \cdot \gamma}, \quad (4.16)$$

где $V_{\text{пр}}$ – скорость подачи электродной проволоки, м/ч.

Обладая известными данными определим скорость подачи электродной проволоки для сварного соединения типа С9 по формуле 4.16

$$V_{\text{пр}} = \frac{4 \cdot 13,38 \cdot 240}{3,14 \cdot 1,6^2 \cdot 7,8} = 204,9 \text{ м/ч}$$

Для расчётов принимаем $V_{\text{пр}} = 205 \text{ м/ч}$.

Расстояние от сопла горелки до изделия определяется по формуле:

					ПГУ.ВКР.15.03.01.14М0117.ПЗ	Лист
						73
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$l_3 = 8 \cdot d_{\text{эл}}, \quad (4.17)$$

где l_3 – расстояние от сопла горелки до изделия, мм.

Обладая известными данными определим расстояние от сопла горелки до изделия по формуле 4.17

$$l_3 = 8 \cdot 1,6 = 12,8 \text{ мм}$$

Из приведённых выше расчётов видно, что выбранный режим сварки обеспечивает полное проплавление металла за один проход. Таким образом принимаем для сварного соединения типа С9 количество проходов $n = 1$.

Сварное соединение типа С9 выполняется на режимах, представленных в таблице 4.14.

Таблица 4.14 – Режимы сварки для сварного соединения типа С9

Параметры	Значения
Диаметр электродной проволоки $d_{\text{эл}}$, мм	1,6
Сила сварочного тока $I_{\text{св}}$, А	240,0
Скорость сварки $V_{\text{св}}$, м/ч	25,0
Напряжение дуги $U_{\text{д}}$, В	30,0
Скорость подачи электродной проволоки $V_{\text{пп}}$, м/ч	205,0

Произведём расчёт режимов сварки для сварного соединения типа С8, представленного на рисунке 4.20.

Конструктивные элементы подготовки кромок сварного соединения типа С8 представлены в таблице 4.15

Таблица 4.15 – Конструктивные элементы подготовки кромок, соединения типа С8 [22]

Параметры	Толщина свариваемых деталей $S = S_1$, мм	Зазор в стыке b , мм		Притупление c , мм		Угол скоса кромок α , град	
		Номинальное значение	Предельные отклонения	Номинальное значение	Предельные отклонения	Номинальное значение	Предельные отклонения
Значения	4,0	1,0	$\pm 1,0$	1,0	$\pm 1,0$	40,0	$\pm 2,0$

Конструктивные элементы сварного шва, соединения типа С8 представлены в таблице 4.16

Таблица 4.16 – Конструктивные элементы шва, соединения типа С8 [22]

Параметры	Ширина валика e , мм		Высота валика q , мм		Высота валика с обратной стороны q_1 , мм	
	Номинальное значение	Предельные отклонения	Номинальное значение	Предельные отклонения	Номинальное значение	Предельные отклонения
Значения	6,0	$\pm 2,0$	1,0	$\pm 1,0$	1,5	$\pm 1,0$

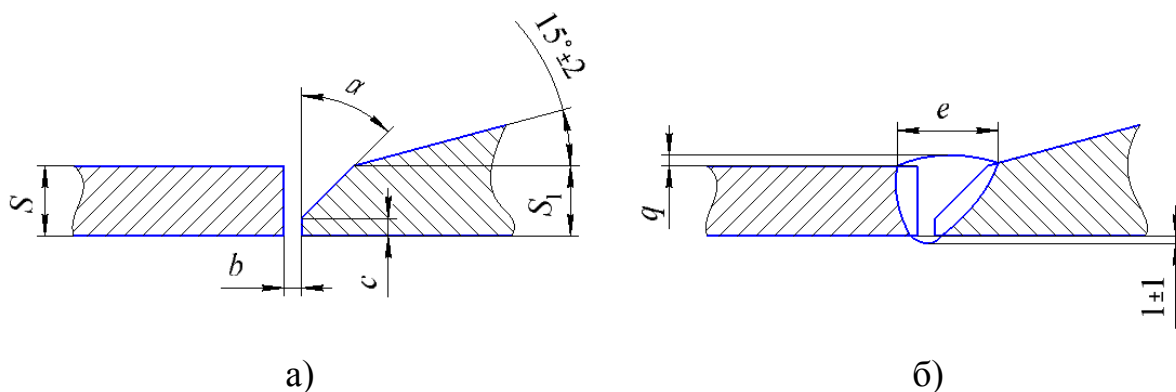


Рисунок 4.20 – Конструктивные элементы подготовленных кромок свариваемых деталей и шва сварного соединения типа С8 [22]: а) – эскиз соединения; S и S_1 – толщина свариваемых деталей; b – зазор в стыке; c – притупление; α – угол скоса кромки; $15 \pm 2^\circ$ – диапазон угла снятия фаски до толщины тонкой детали б) – эскиз шва; e – ширина валика; q – высота валика; 1 ± 1 – диапазон высоты валика с обратной стороны

Стыковое сварное соединение типа С8 выполняется со стороны разделки. По таблице 6 принимаем диаметр электродной проволоки $d_{эл} = 1,6$ мм, и силу сварочного тока $I_{св} = 220$ А.

Обладая известными данными определим скорость сварки для сварного соединения типа С8 по формуле 4.3

$$V_{св} = \frac{(5 \dots 8) \cdot 10^3}{220} = 22,7 \dots 36,4 \text{ м/ч}$$

Для расчётов принимаем $V_{\text{св}} = 25 \text{ м/ч} = 0,69 \text{ см/с}$.

Обладая известными данными рассчитаем напряжение дуги для соединения типа С8 по формуле 4.4

$$U_{\text{д}} = 20 + \frac{50 \cdot 10^{-3}}{1,6^{0,5}} \cdot 220 = 28,8 \pm 1 \text{ В}$$

Для расчёта принимаем $U_{\text{д}} = 29 \text{ В}$.

Обладая известными данными определяем коэффициент формы провара для сварного соединения типа С8 по формуле 4.5

$$\psi_{\text{пр}} = 0,92 \cdot (19 - 0,01 \cdot 220) \cdot \frac{1,6 \cdot 29}{220} = 3,2$$

Обладая известными данными определим величину погонной энергии для сварного соединения типа С8 по формуле 4.6

$$q_{\text{п}} = \frac{220 \cdot 29 \cdot 0,85}{0,67} = 8094 \text{ Дж/см}$$

Обладая известными данными определим фактическую глубину проплавления сварного соединения типа С8 по формуле 4.7

$$h_{\text{пр}} = 8,06 \cdot 10^{-3} \sqrt{\frac{8094}{3,2}} = 0,41 \text{ см} = 4,1 \text{ мм}$$

Обладая необходимыми данными определяем расчётную ширину шва для сварного соединения типа С8 по формуле 4.8

$$b_1 = 3,2 \cdot 4,1 = 13,12 \text{ мм}$$

Обладая необходимыми данными определим коэффициент расплавления электродной проволоки для сварного соединения типа С8 по формуле 4.12

$$\alpha_{\text{р}} = \left(8,3 + 0,22 \cdot \frac{220}{1,6} \right) \cdot 10^{-4} = 38,6 \cdot 10^{-4} \text{ г/А} \cdot \text{ч} = 13,92 \text{ г/А} \cdot \text{с}$$

Обладая известными данными определим коэффициент наплавки для сварного соединения типа С8 по формуле 4.11

$$\alpha_{\text{н}} = 13,92 \cdot \left(1 - \frac{10}{100} \right) = 12,51 \text{ мм}^2$$

Обладая известными данными определим площадь наплавленного металла для сварного соединения типа С8 по формуле 4.10

$$F_{\text{нм}} = \frac{12,51 \cdot 220}{3600 \cdot 7,8 \cdot 0,67} = 0,146 \text{ см}^2 = 14,6 \text{ мм}^2$$

Обладая всеми необходимыми данными определим расчётную высоту валика для сварного соединения типа С8 по формуле 4.9

$$c_1 = \frac{14,6}{0,73 \cdot 13,12} = 1,5 \text{ мм}$$

Обладая известными данными определим расчётную высоту шва для сварного соединения типа С8 по формуле 4.13

$$H_{\text{ш}} = 4,1 + 1,5 = 5,6 \text{ мм}$$

Обладая известными данными определим высоту заполнения разделки с учётом зазора в стыке для сварного соединения типа С8 по формуле 4.14

$$f = \sqrt{\frac{14,6 - 5,6 \cdot 0}{\text{tg} 40}} = 4,2 \text{ мм}$$

Обладая известными данными определим расчётную глубину проплавления притупления, для соединения типа С8 по формуле 4.15

$$h_0 = 5,6 - 4,2 = 1,4 \text{ мм}$$

Обладая известными данными определим скорость подачи проволоки для сварного соединения типа С8 по формуле 4.16

$$V_{\text{пп}} = \frac{4 \cdot 12,51 \cdot 220}{3,14 \cdot 1,6^2 \cdot 7,8} = 175,6 \text{ м/ч}$$

Принимаем $V_{\text{пп}} = 176 \text{ м/ч}$.

Определим расстояние от сопла горелки до изделия для сварного соединения типа С8 по формуле 4.17

$$l_3 = 8 \cdot 1,6 = 12,8 \text{ мм}$$

Из приведённых выше расчётов видно, что выбранный режим сварки обеспечивает полное проплавление металла за один проход. Таким образом принимаем для сварного соединения типа С8 количество проходов $n = 1$.

Сварное соединение типа С8 выполняется на режимах, представленных в таблице 4.17.

Таблица 4.17 – Режимы сварки для сварного соединения типа С8

Параметры	Значения
Диаметр электродной проволоки $d_{эл}$, мм	1,6
Сила сварочного тока $I_{св}$, А	220,0
Скорость сварки $V_{св}$, м/ч	24,0
Напряжение дуги U_d , В	29,0
Скорость подачи электродной проволоки $V_{пп}$, м/ч	176,0

Произведём расчёт режимов сварки для сварного соединения типа У7-1, представленного на рисунке 4.21.

Конструктивные элементы подготовки кромок сварного соединения типа У7-1 представлены в таблице 4.18.

Таблица 4.18 – Конструктивные элементы подготовки кромок, соединения типа У7-1 [23]

Параметры	Толщина свариваемых деталей S , мм	Толщина свариваемых деталей S_1 , мм	Зазор в стыке b , мм		Притупление c , мм		Угол скоса кромки α , град	
			Номинальное значение	Предельные отклонения	Номинальное значение	Предельные отклонения	Номинальное значение	Предельные отклонения
Значения	8,0	5,0	0,0	+2,0	0,5	±0,5	45,0	±5,0

Конструктивные элементы сварного шва, соединения типа У7-1 представлены в таблице 4.19.

Таблица 4.19 – Конструктивные элементы шва, соединения типа У7-1 [23]

Параметры	Ширина валика e , мм	Высота валика q , мм		Высота валика с обратной стороны q_1 , мм	
		Номинальное	Предельные	Номинальное	Предельные

		значение	отклонения	значение	отклонения
Значения	≤ 20	1,0	$\pm 1,0$	1,5	$\pm 1,0$

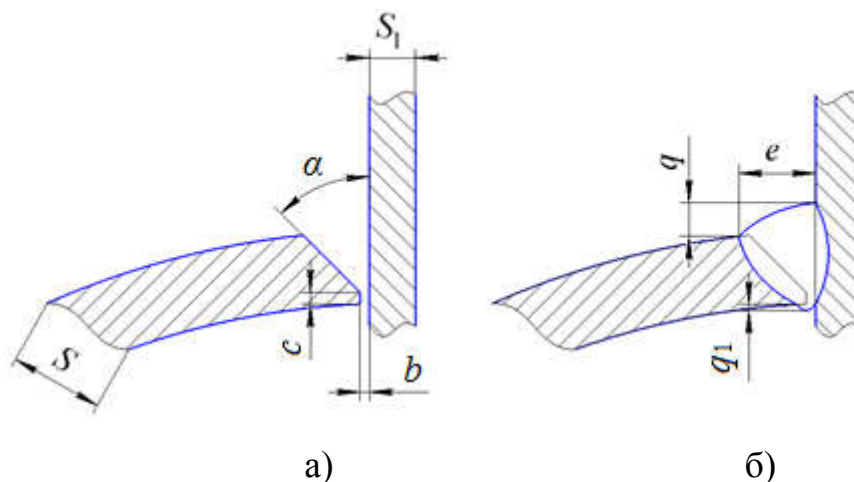


Рисунок 4.21 – Конструктивные элементы подготовленных кромок свариваемых деталей и шва сварного соединения типа У7-1 [23]: а) – эскиз соединения; S и S_1 – толщина свариваемых деталей; b – зазор в стыке; c – притупление; α – угол скоса кромки; б) – эскиз шва; q – высота валика; e – ширина валика; q_1 – диапазон высоты валика с обратной стороны.

Угловое сварное соединение типа У7-1 выполняется со стороны разделки. Исходя из конструктивных особенностей данного сварного соединения, сварку необходимо выполнять в несколько проходов.

Рассчитаем режимы сварки для корневого шва.

По таблице 6 принимаем диаметр электродной проволоки для выполнения корневого шва $d_{\text{эл}} = 1,2$ мм, и силу сварочного тока $I_{\text{св}} = 200$ А.

Определим скорость сварки для проволоки $d_{\text{эл}} = 1,2$ мм. Для проволоки данной толщины расчёт скорости сварки проводится по формуле:

$$V_{\text{св}} = \frac{(2...5) \cdot 10^3}{I_{\text{св}}} \quad (4.18)$$

Обладая необходимыми данными определим скорость сварки при выполнении корневого шва сварного соединения типа У7-1 по формуле 4.18

$$V_{\text{св}} = \frac{(2...5) \cdot 10^3}{200} = 10 \dots 25 \text{ м/ч}$$

		Для расчётов принимаем $V_{\text{св}} = 24 \text{ м/ч} = 0,67 \text{ см/с}$.			Лист
					79
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	

ПГУ.ВКР.15.03.01.14М0117.ПЗ

Обладая известными значениями определим напряжение дуги при выполнении корневого шва сварного соединения типа У7-1 по формуле 4.4

$$U_{1д} = 20 + \frac{50 \cdot 10^{-3}}{1,2^{0,5}} \cdot 200 = 29,09 \pm 1В$$

Для расчётов принимаем $U_{1д} = 29 В$.

Обладая известными данными определяем коэффициент формы провара корневого шва сварного соединения типа У7-1 по формуле 4.5

$$\psi_{1пр} = 0,92 \cdot (19 - 0,01 \cdot 200) \cdot \frac{1,2 \cdot 29}{200} = 2,7$$

Обладая известными данными определим величину погонной энергии при выполнении корня шва сварного соединения типа У7-1 по формуле 4.6

$$q_{1п} = \frac{200 \cdot 29 \cdot 0,85}{0,67} = 7358,2 \text{ Дж/см}$$

Обладая необходимыми данными определим фактическую глубину проплавления при выполнении корня шва сварного соединения типа У7-1 по формуле 4.7

$$h_{1пр} = 8,06 \cdot 10^{-3} \sqrt{\frac{7358,2}{2,7}} = 0,42 \text{ см} = 4,2 \text{ мм}$$

Обладая известными данными определяем расчётную ширину корня шва сварного соединения типа У7-1 по формуле 4.8

$$b_{1к} = 2,7 \cdot 4,2 = 11,34 \text{ мм}$$

Обладая известными данными определим коэффициент расплавления электродной проволоки при выполнении корня шва сварного соединения типа У7-1 по формуле 4.12

$$\alpha_{1р} = \left(8,3 + 0,22 \cdot \frac{200}{1,2} \right) \cdot 10^{-4} = 44,97 \cdot 10^{-4} \text{ г/А} \cdot \text{ч} = 16,2 \text{ г/А} \cdot \text{с}$$

Обладая известными данными определим коэффициент наплавки корня шва сварного соединения типа У7-1 по формуле 4.11

$$\alpha_{1н} = 16,2 \cdot \left(1 - \frac{10}{100} \right) = 14,58 \text{ мм}^2$$

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ПГУ.ВКР.15.03.01.14М0117.ПЗ

Лист
80

Обладая известными данными определим площадь наплавленного металла корня шва сварного соединения типа У7-1 по формуле 4.10

$$F_{\text{нм}} = \frac{14,58 \cdot 200}{3600 \cdot 7,8 \cdot 0,67} = 0,155 \text{ см}^2 = 15,5 \text{ мм}^2$$

Обладая всеми необходимыми данными определим расчётную высоту валика корня шва сварного соединения типа У7-1 по формуле 4.9

$$c_{1к} = \frac{15,5}{0,73 \cdot 11,34} = 1,9 \text{ мм}$$

Обладая известными данными определим расчётную высоту корня шва сварного соединения типа У7-1 по формуле 4.13

$$H_{1ш} = 4,2 + 1,9 = 6,1 \text{ мм}$$

Обладая известными данными определим высоту заполнения разделки с учётом зазора в стыке при выполнении корня шва сварного соединения типа У7-1 по формуле 4.14

$$f = \sqrt{\frac{15,5 - 6,1 \cdot 1}{\text{tg} 45}} = 3,05 \text{ мм}$$

Обладая известными данными определим расчётную глубину проплавления притупления для сварного соединения типа У7-1 по формуле 4.15

$$h_0 = 6,1 - 3,05 = 3,15 \text{ мм}$$

Так как сварное соединение У7-1 является угловым определим расчётную глубину проплавления стенки по формуле:

$$h_{01} = (0,8 \dots 1) \cdot h_0 \quad (4.19)$$

где h_{01} – расчётная глубина проплавления стенки, мм.

Обладая известными данными определим глубину проплавления стенки для сварного соединения типа У7-1 по формуле 4.19

$$h_{01} = (0,8 \dots 1) \cdot 3,15 = 2,52 \dots 3,15$$

Обладая известными данными определим скорость подачи проволоки при выполнении корня шва сварного соединения типа У7-1 по формуле 4.16

$$V_{\text{лпш}} = \frac{4 \cdot 14,58 \cdot 200}{3,14 \cdot 1,2^2 \cdot 7,8} = 330,4 \text{ м/ч}$$

Принимаем $V_{1пп} = 330$ м/ч.

Обладая известными данными определим расстояние от сопла горелки до изделия при выполнении корня шва сварного соединения типа У7-1 по формуле 4.17

$$l_{1э} = 8 \cdot 1,2 = 9,6 \text{ мм}$$

Рассчитаем режимы сварки для последующих проходов.

Для последующих проходов по таблице 6 принимаем сварочную проволоку $d_{2эл} = 2$ мм, и силу сварочного тока $I_{2св} = 400$ А.

Определим скорость сварки. Для проволоки $d_{2эл} = 2$ мм скорость сварки определяется по формуле:

$$V_{св} = \frac{(8...12) \cdot 10^3}{I_{св}} \quad (4.20)$$

Обладая известными данными определим скорость сварки для последующих проходов сварного соединения типа У7-1 по формуле 4.20

$$V_{2св} = \frac{(8...12) \cdot 10^3}{400} = 20 \dots 30 \text{ м/ч}$$

Для расчётов принимаем $V_{2св} = 25$ м/ч = 0,69 см/с.

Обладая известными данными определим напряжение дуги для последующих проходов сварного соединения типа У7-1 по формуле 4.4

$$U_{2д} = 20 + \frac{50 \cdot 10^{-3}}{2^{0,5}} \cdot 400 = 34,3 \pm 1 \text{ В}$$

Для расчётов принимаем $U_{2д} = 34$ В.

Обладая известными данными определяем коэффициент формы провара для последующих проходов сварного соединения типа У7-1 по формуле 4.5

$$\psi_{2пр} = 0,92 \cdot (19 - 0,01 \cdot 400) \cdot \frac{2 \cdot 34}{400} = 2,3$$

Обладая известными данными определим величину погонной энергии для последующих проходов сварного соединения типа У7-1 по формуле 4.6

$$q_{2п} = \frac{400 \cdot 34 \cdot 0,85}{0,69} = 16753,6 \text{ Дж/см}$$

					ПГУ.ВКР.15.03.01.14М0117.ПЗ	Лист
						82
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Обладая известными данными определим фактическую глубину проплавления последующих проходов сварного соединения типа У7-1 по формуле 4.7

$$h_{2np} = 8,06 \cdot 10^{-3} \sqrt{\frac{16753,6}{2,3}} = 0,69 \text{ см} = 6,9 \text{ мм}$$

Обладая известными данными определяем расчётную ширину шва последующих проходов сварного соединения типа У7-1 по формуле 4.8

$$b_{1np} = 2,3 \cdot 6,9 = 15,9 \text{ мм}$$

Обладая известными данными определим коэффициент расплавления электродной проволоки для последующих проходов сварного соединения типа У7-1 по формуле 4.12

$$\alpha_{2p} = \left(8,3 + 0,22 \cdot \frac{400}{2} \right) \cdot 10^{-4} = 52,3 \cdot 10^{-4} \text{ г/А} \cdot \text{ч} = 18,83 \text{ г/А} \cdot \text{с}$$

Обладая известными данными определим коэффициент наплавки последующих проходов сварного соединения типа У7-1 по формуле 4.11

$$\alpha_{2h} = 18,83 \cdot \left(1 - \frac{10}{100} \right) = 16,95 \text{ мм}^2$$

Обладая известными данными определим площадь наплавленного металла последующих проходов сварного соединения типа У7-1 по формуле 4.10

$$F_{2nm} = \frac{16,95 \cdot 400}{3600 \cdot 7,8 \cdot 0,69} = 0,35 \text{ см}^2 = 35 \text{ мм}^2$$

Обладая всеми необходимыми данными определим расчётную высоту валика последующих проходов сварного соединения типа У7-1 по формуле 4.9

$$c_{1np} = \frac{35}{0,73 \cdot 15,9} = 3 \text{ мм}$$

Обладая известными данными определим расчётную высоту шва последующих проходов для сварного соединения типа У7-1 по формуле 4.13

$$H_{2ш} = 6,9 + 3 = 9,9 \text{ мм}$$

Обладая известными данными определим скорость подачи электродной проволоки при выполнении последующих проходов сварного соединения типа У7-1 по формуле 4.16

					ПГУ.ВКР.15.03.01.14М0117.ПЗ	Лист
						83
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$V_{2\text{пп}} = \frac{4 \cdot 16,95 \cdot 400}{3,14 \cdot 2^2 \cdot 7,8} = 276,8 \text{ м/ч}$$

Принимаем $V_{2\text{пп}} = 277 \text{ м/ч}$.

Обладая известными данными определим расстояние от сопла горелки до изделия при выполнении последующих проходов для соединения типа У7-1 по формуле 4.17

$$l_{2,3} = 8 \cdot 1,6 = 12,8 \text{ мм}$$

Площадь поперечного сечения наплавленного металла определяется по формуле:

$$F_{\text{пнм}} = S \cdot b + \frac{(S - c)^2}{2} \cdot \text{tg} \alpha + 0,75 \cdot b_{\text{пп}} \cdot c_{\text{пп}}, \quad (4.21)$$

где $F_{\text{пнм}}$ – площадь поперечного сечения наплавленного металла, мм².

Обладая известными данными определим площадь поперечного сечения наплавленного металла для сварного соединения типа У7-1 по формуле 4.21

$$F_{\text{пнм}} = 8 \cdot 1 + \frac{(8 - 1)^2}{2} \cdot \text{tg} 45 + 0,75 \cdot 15,9 \cdot 3 = 68,28 \text{ мм}^2$$

Число проходов определяется по формуле:

$$n = \frac{F_{\text{пнм}} - F_{\text{1нм}}}{F_{\text{2нм}}} + 1 \quad (4.22)$$

Обладая известными данными определим число проходов для сварного соединения типа У7-1 по формуле 4.22

$$n = \frac{68,28 - 15,5}{35} + 1 = 2,3$$

Принимаем число проходов $n = 2$.

Сварное соединение типа У7-1 выполняется на режимах, представленных в таблице 4.20.

Таблица 4.20 – Режимы сварки для сварного соединения типа У7-1

Параметры			Значения
1			2
Первый проход (корень шва)	Диаметр электродной проволоки $d_{\text{1эл}}$, мм		1,2
	Сила сварочного тока $I_{\text{1св}}$, А		200,0

Продолжение таблицы 4.20

1		2
Первый проход (корень шва)	Скорость сварки $V_{1св}$, м/ч	24,0
	Напряжение дуги $U_{1д}$, В	29,0
	Скорость подачи электродной проволоки $V_{1пп}$, м/ч	330,0
Второй проход (заполняющий шов)	Диаметр электродной проволоки $d_{2эл}$, мм	2,0
	Сила сварочного тока $I_{2св}$, А	400,0
	Скорость сварки $V_{2св}$, м/ч	25,0
	Напряжение дуги $U_{2д}$, В	34,0
	Скорость подачи электродной проволоки $V_{2пп}$, м/ч	277,0

Произведём расчёт режимов сварки для сварного соединения типа Т7, представленного на рисунке 4.22.

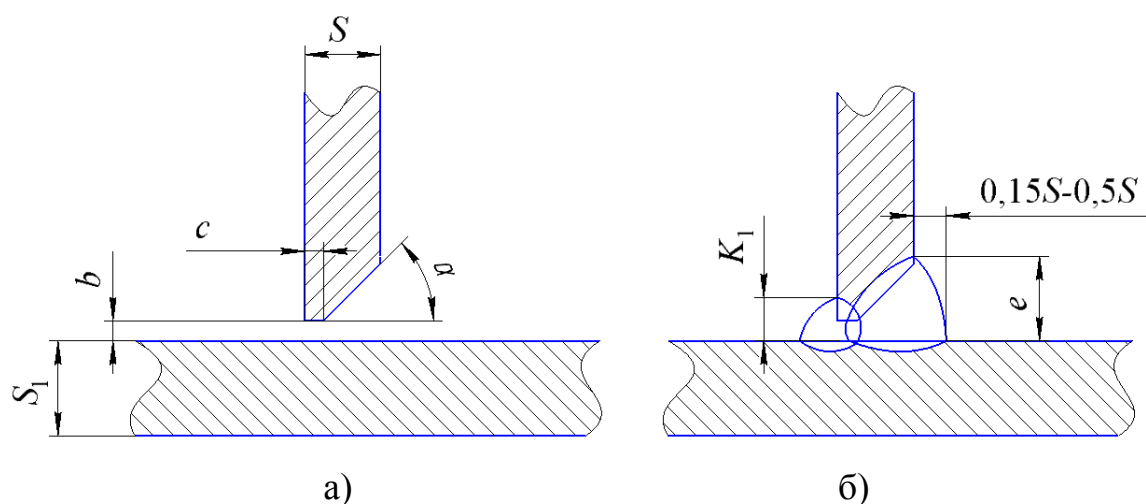


Рисунок 4.22 – Конструктивные элементы подготовленных кромок свариваемых деталей и шва сварного соединения типа Т7 [22]: а) – эскиз соединения; S и S_1 – толщина свариваемых деталей; b – зазор в стыке; c – притупление; α – угол снятия фаски; б) – эскиз шва; K_1 – катет шва; e – ширина валика; $0,15S - 0,5S$ – диапазон высоты валика.

Конструктивные элементы подготовки кромок сварного соединения типа Т7 представлены в таблице 4.21.

Таблица 4.21 – Конструктивные элементы подготовки кромок, соединения типа Т7 [22]

Параметры	Толщина свариваемых деталей $S = S_1$, мм	Зазор в стыке b , мм		Притупление c , мм		Угол скоса кромки α , град	
		Номинальное значение	Предельные отклонения	Номинальное значение	Предельные отклонения	Номинальное значение	Предельные отклонения
Значения	4,0	0,0	+1,0	1,0	$\pm 1,0$	40,0	$\pm 2,0$

Конструктивные элементы сварного шва, соединения типа Т7 представлены в таблице 4.22.

Таблица 4.22 – Конструктивные элементы шва, соединения типа Т7 [22]

Параметры	Ширина валика e , мм		Высота валика q , мм	
	Номинальное значение	Предельные отклонения	Номинальное значение	Предельные отклонения
Значения	6,0	$\pm 2,0$	1,0	$\pm 1,0$

K_1 - размер катета углового шва должен быть равен 1,2 толщины стенки, принимаем номинальное значение катета углового шва 5,0 мм.

Тавровое сварное соединение типа Т7 выполняется с двух сторон при этом с одной стороны выполнена разделка, для более полного проплавления.

Рассчитаем режимы сварки для шва, выполняемого с безкосой стороны.

Для шва, выполняемого с безкосой стороны по таблице 6 принимаем диаметр электродной проволоки $d_{элб} = 1,2$ мм, и силу сварочного тока $I_{свб} = 140$ А.

Для сварного соединения, выполняемого без разделки скорость сварки, определяется по формуле:

$$V_{св} = \frac{\alpha_n \cdot I_{св}}{F_{нм} \cdot \lambda \cdot 100} \quad (4.23)$$

Площадь наплавленного металла, для сварного соединения, выполняемого без разделки, определяется по формуле:

$$F_{\text{нм}} = \frac{K_1^2}{2} \cdot K_y, \quad (4.24)$$

где K_y – коэффициент усиления, $K_y = 1,25$.

Обладая известными данными определим площадь наплавленного металла со стороны безкосого соединения по формуле 4.24

$$F_{\text{нмб}} = \frac{5^2}{2} \cdot 1,25 = 15,6 \text{ мм}^2$$

Для расчётов принимаем $F_{\text{нмб}} = 16 \text{ мм} = 0,16 \text{ см}^2$.

Обладая известными данными определим коэффициент расплавления электродной проволоки при выполнении сварного соединения типа Т7 безкосой стороны по формуле 4.12

$$\alpha_{\text{рб}} = \left(8,3 + 0,22 \cdot \frac{140}{2} \right) \cdot 10^{-4} = 34 \cdot 10^{-4} \text{ г/А} \cdot \text{ч} = 12,24 \text{ г/А} \cdot \text{с}$$

Обладая известными данными определим коэффициент наплавки при выполнении сварного соединения типа Т7 с безкосой стороны по формуле 4.11

$$\alpha_{\text{нб}} = 12,24 \cdot \left(1 - \frac{10}{100} \right) = 11,02 \text{ мм}^2$$

Обладая всеми необходимыми данными определим скорость сварки при выполнении сварного соединения типа Т7 с безкосой стороны по формуле 4.23

$$V_{\text{свб}} = \frac{11,02 \cdot 140}{0,16 \cdot 7,8 \cdot 100} = 12,4 \text{ м/ч}$$

Для расчётов принимаем $V_{\text{свб}} = 12 \text{ м/ч} = 0,34 \text{ см/с}$.

Обладая известными данными определим напряжение дуги при выполнении сварного соединения типа Т7 с безкосой стороны по формуле 4.4

$$U_{\text{дб}} = 20 + \frac{50 \cdot 10^{-3}}{1,2^{0,5}} \cdot 140 = 26,3 \pm 1 \text{ В}$$

Для расчётов принимаем $U_{\text{дб}} = 26 \text{ В}$.

Обладая известными значениями определяем коэффициент формы провара сварного соединения типа Т7 с безкосой стороны по формуле 4.5

$$\psi_{\text{прб}} = 0,92 \cdot (19 - 0,01 \cdot 140) \cdot \frac{1,2 \cdot 26}{140} = 3,5$$

					ПГУ.ВКР.15.03.01.14М0117.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		87

Обладая известными значениями определим величину погонной энергии при выполнении сварного соединения типа Т7 с безкосой стороны по формуле 4.6

$$q_{\text{пб}} = \frac{140 \cdot 26 \cdot 0,85}{0,34} = 9100 \text{ Дж/см}$$

Обладая известными данными определим фактическую глубину проплавления сварного соединения типа Т7 с безкосой стороны по формуле 4.7

$$h_{\text{прб}} = 8,06 \cdot 10^{-3} \sqrt{\frac{9100}{3,5}} = 0,41 \text{ см} = 4,1 \text{ мм}$$

Обладая известными данными определяем расчётную ширину саврного соединения типа Т7 с безкосой стороны по формуле 4.8

$$b_{16} = 3,5 \cdot 4,1 = 14,35 \text{ мм}$$

Обладая всеми необходимыми данными определим расчётную высоту валика сварного соединения типа Т7 с безкосой стороны по формуле 4.9

$$c_{16} = \frac{15,6}{0,73 \cdot 14,35} = 1,5 \text{ мм}$$

Обладая известными данными определим расчётную высоту сварного соединения типа Т7 с безкосой стороны по формуле 4.13

$$H_{6\text{ш}} = 4,1 + 1,5 = 5,6 \text{ мм}$$

Глубина проплавления полки при выполнении безкосого сварного соединения определяется по формуле:

$$h_{\text{пп}} = H_{\text{ш}} - g, \quad (4.25)$$

где $h_{\text{пп}}$ – глубина проплавления полки, мм;

h_3 – высота заполнения, мм.

Высота заполнения безкосого сварного соединения определяется по формуле:

$$h_3 = \sqrt{F_{\text{нмп}}} \quad (4.26)$$

Обладая известными данными определи высоту заполнения сварного соединения типа Т7 с безкосой стороны по формуле 4.26

$$h_3 = \sqrt{15,6} = 3,9 \text{ мм}$$

Обладая известными данными определим глубину проплавления полки сварного соединения типа Т7 с безкосой стороны по формуле 4.25

$$h_{\text{пп}} = 5,6 - 3,9 = 1,7 \text{ мм}$$

Определим глубину проплавления стенки сварного соединения типа Т7 с безкосой стороны по формуле 30

$$h_{01} = (0,8 \dots 1) \cdot 1,7 = 1,4 \dots 1,7 \text{ мм}$$

Расстояние от сопла горелки до изделия для углового безкосого соединения определяется по формуле:

$$l_{\text{эб}} = 10 \cdot d_{\text{эл}}, \quad (4.27)$$

где $l_{\text{эб}}$ – расстояние от сопла горелки до изделия для углового безкосого соединения, мм.

Обладая известными данными определим расстояние от сопла горелки до изделия для углового безкосого соединения по формуле 4.27

$$l_{\text{эб}} = 10 \cdot 1,2 = 12 \text{ мм}$$

Рассчитаем режимы сварки для сварного соединения типа Т7 со стороны разделки. По таблице 6 принимаем сварочную проволоку $d_{\text{эл}} = 1,2 \text{ мм}$, и силу сварочного тока $I_{\text{св}} = 180 \text{ А}$.

Обладая известными значениями определим скорость сварки для сварного соединения типа Т7 со стороны разделки по формуле 4.18

$$V_{\text{св}} = \frac{(2 \dots 5) \cdot 10^3}{180} = 11,1 \dots 27,8 \text{ м/ч}$$

Принимаем $V_{\text{св}} = 24 \text{ м/ч} = 0,67 \text{ см/с}$.

Обладая известными данными определим напряжение дуги для сварного соединения типа Т7 со стороны разделки по формуле 4.4

$$U_{\text{д}} = 20 + \frac{50 \cdot 10^{-3}}{1,2^{0,5}} \cdot 180 = 28,1 \pm 1 \text{ В}$$

Принимаем напряжение дуги $U_{\text{д}} = 28 \text{ В}$.

Обладая известными данными определяем коэффициент формы проплавления сварного соединения типа Т7 со стороны разделки по формуле 4.5

$$\psi_{\text{пр}} = 0,92 \cdot (19 - 0,01 \cdot 180) \cdot \frac{1,2 \cdot 28}{180} = 3$$

Обладая известными данными определим величину погонной энергии сварного соединения типа Т7 со стороны разделки по формуле 4.6

$$q_{\text{п}} = \frac{180 \cdot 28 \cdot 0,85}{0,67} = 6394 \text{ Дж/см}$$

Обладая известными данными определим фактическую глубину проплавления сварного соединения типа Т7 со с тороны разделки по формуле 4.7

$$h_{\text{пр}} = 8,06 \cdot 10^{-3} \sqrt{\frac{6394}{3}} = 0,37 \text{ см} = 3,7 \text{ мм}$$

Обладая известными данными определяем расчётную ширину шва сварного соединения типа Т7 со стороны разделки по формуле 4.8

$$b_1 = 3 \cdot 3,7 = 11,1 \text{ мм}$$

Обладая известными данными определим коэффициент расплавления электродной проволоки при выполнении сварного соединения типа Т7 со стороны разделки по формуле 4.12

$$\alpha_{\text{р}} = \left(8,3 + 0,22 \cdot \frac{180}{1,2} \right) \cdot 10^{-4} = 41,3 \cdot 10^{-4} \text{ г/А} \cdot \text{ч} = 14,87 \text{ г/А} \cdot \text{с}$$

Обладая известными данными определим коэффициент наплавки при выполнении сварного соединения типа Т7 со стороны разделки по формуле 4.11

$$\alpha_{\text{н}} = 14,87 \cdot \left(1 - \frac{10}{100} \right) = 13,38 \text{ мм}^2$$

Обладая известными данными определим площадь наплавленного металла при выполнении сварного соединения типа Т7 со стороны разделки по формуле 4.10

$$F_{\text{нм}} = \frac{13,38 \cdot 180}{3600 \cdot 7,8 \cdot 0,67} = 0,13 \text{ см}^2 = 13 \text{ мм}^2$$

Обладая всеми необходимыми данными определим расчётную высоту валика для сварного соединения типа Т7 со стороны разделки по формуле 4.9

$$c_1 = \frac{13}{0,73 \cdot 11,1} = 1,6 \text{ мм}$$

Обладая известными данными определим расчётную высоту для сварного соединения типа Т7 со стороны разделки по формуле 4.13

$$H_{\text{ш}} = 3,7 + 1,6 = 5,3 \text{ мм}$$

Обладая известными данными определяем скорость подачи электродной проволоки при выполнении сварного соединения типа Т7 со стороны разделки по формуле 4.16

$$V_{\text{ш}} = \frac{4 \cdot 13,38 \cdot 180}{3,14 \cdot 1,2^2 \cdot 7,8} = 237,14 \text{ м/ч}$$

Принимаем $V_{\text{ш}} = 273 \text{ м/ч}$.

Обладая необходимыми данными определим расстояние от сопла горелки до изделия при выполнении сварного соединения типа Т7 со стороны разделки по формуле 4.17

$$l_9 = 8 \cdot 1,2 = 9,6 \text{ мм}$$

Из приведённых расчётов режимов сварки со стороны разделки видно, что выбранные режим сварки обеспечивают достаточное проплавление металла за один проход. Таким образом принимаем для сварного соединения типа У7 количество проходов $n = 2$, по одному на каждую сторону.

Сварное соединение типа Т7 выполняется на режимах, представленных в таблице 4.23.

Таблица 4.23 – Режимы сварки для сварного соединения типа Т7

Параметры		Значения
1		2
Первый проход (подварочный шов)	Диаметр электродной проволоки $d_{\text{элб}}$, мм	1,2
	Сила сварочного тока $I_{\text{свб}}$, А	140,0
	Скорость сварки $V_{\text{свб}}$, м/ч	12,0
	Напряжение дуги $U_{\text{дб}}$, В	26,0

Продолжение таблицы 4.23

1		2
Первый проход (подварочный шов)	Скорость подачи электродной проволоки $V_{ппб}$, м/ч	175,0
Второй проход (заполняющий)	Диаметр электродной проволоки $d_{эл}$, мм	1,2
	Сила сварочного тока $I_{св}$, А	180,0
	Скорость сварки $V_{св}$, м/ч	24,0
	Напряжение дуги U_d , В	28,0
	Скорость подачи электродной проволоки $V_{пп}$, м/ч	273,0

4.6 Выбор сварочного оборудования

На каждом этапе сборки используется различное сварочное оборудование.

Сборка обечайки производится на сварочном стенде марки *AWL FINGER.M*, описание которого представлено в пункте 3.3. Для работы данного стенда необходимо выбрать внешний сварочный источник питания. Руководствуясь расчётами параметров режимов сварки, принимаем в качестве сварочного источника, аппарат Немецкого производства для механизированной сварки *Lorch M 3070* изображённый на рисунке 4.23.



Рисунок 4.23 – Полуавтоматический сварочный аппарат *Lorch M 3070*

Данный аппарат, предназначенный для сварки как тонкого, так и толстого листового металла, способен работать совместно с различными видами оборудования, в их числе и установка *AWL FINGER.M*, синхронизация аппарата с установкой происходит при помощи кобеля.

Аппарат оснащён трансформатором отличного качества 50 Гц и 4-х роликовой подачей проволоки, высокая точность обеспечивает возможность производить сварку по высшему классу.

Основные технические характеристики данного аппарата приведены в таблице 4.24.

Таблица 4.24 – Основные технические характеристики сварочного аппарата *Lorch M 3070*

Параметры	Значения
Способ сварки	<i>MIG/MAG</i>
Диапазон плавного регулирования сварочного тока, А	30,0...400,0
Ток при ПВ = 100% (25 С°), А	260,0
Диаметр стальной проволоки, мм	0,6...1,6
Диапазон плавного регулирования скорости подачи электродной проволоки, м/ч	60,0...1500,0
Габаритные размеры (Д×Ш×В), мм	945,0×425,0×720,0
Масса, кг	126,0

При помощи данного аппарата также производится прихватка опорных лап к корпусу.

Для приварки штуцеров к днищам пробоотборника используется специальная установка марки *CW – 5AX*, описание которой представлено в разделе 3.3. Сварочный агрегат совмещён со всей установкой, его технические характеристики указаны в таблице 4.25.

Таблица 4.25 – Сварочные характеристики установки *CW – 5AX*

Параметры	Значения
1	2
Способ сварки	<i>MIG/MAG, SAW</i>
Диапазон плавного регулирования сварочного тока, А	50,0...1000,0

Продолжение таблицы 4.25

1	2
Диаметр стальной проволоки, мм	0,8...2,4
Ток при ПВ = 100%, А	500,0
Диапазон плавного регулирования скорости сварки, м/ч	0,5...200,0
Диапазон плавного регулирования скорости подачи электродной проволоки, м/ч	10,0...800,0
Максимальный вертикальный ход сварочной головки при сварки, мм	125,0

Приварка днищ к обечайке и опорных лап к корпусу пробоотборника производится на специальном сварочном комплексе, на базе вращателя ВГ – 1. Данная установка может использоваться совместно с различными сварочными агрегатами, в зависимости от свариваемого изделия.

В рамках выпускной квалификационной работы для приварки днищ к обечайке, а также приварки опорных лап, используем подвесной сварочный автомат А-1411П рисунок 4.24.

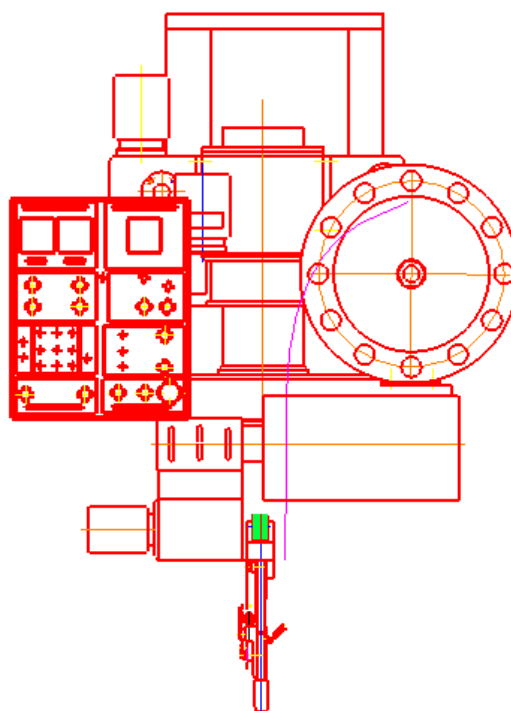


Рисунок 4.24 – Подвесной сварочный автомат А-1411П

Основные технические характеристики подвесного сварочного автомата А-1411П представлены в таблице 4.26.

					ПГУ.ВКР.15.03.01.14М0117.ПЗ	Лист
						94
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Таблица 4.26 – Технические характеристики сварочного автомата А-1411П

Параметры	Значения
Способ сварки	<i>MIG/MAG</i>
Диапазон сварочного тока, А	50,0...2000,0
Диаметр стальной проволоки, мм	1,2...3,0
Ток при ПВ = 100%, А	1000,0
Диапазон плавного регулирования скорости подачи электродной проволоки, м/ч	50,0...500,0
Диапазон плавного регулирования скорости сварки, м/ч	12,0...120,0
Вертикальное перемещение сварочной горелки: а) расстояние перемещения, мм б) скорость перемещения, м/ч	а) 450,0 б) 30,0
Поперечное перемещение сварочной горелки, а) расстояние перемещения, мм б) скорость перемещения, м/ч	а) ± 75 б) 12,0...120,0
Скорость горизонтального перемещение горелки, м/ч	12,0...120,0
Маршевая скорость перемещения сварочной горелки, м/ч	950,0
Масса, кг	350,0

Сварочный автомат А-1411П широко применяется для дуговой сварки изделий с различной формой сечения сварных швов. Данный автомат является самоходным, передвигается по направляющей, оснащён копировальным устройством для слежения за швом в двух плоскостях и следящей головкой для автоматического описки начала шва, управление автоматом дистанционной.

5 Контроль качества сварных соединений

5.1 Визуально измерительный контроль

В первую очередь все сварные соединения подвергаются визуально измерительному контролю, правила проведения в соответствии с РД 03-606-03 [34], данный контроль проводится после каждой сварочной операции. Данный способ контроля относится к не разрушающим видам контроля качества сварных соединений и является обязательным для всех видов конструкции, он может выполняться не вооружённым глазом или с помощью специальных увеличительных устройств, используя шаблоны и мерительный инструмент. Данный способ позволяет обнаружить дефекты, находящиеся на поверхности сварного соединения, различные несплошности, отклонения размеров и формы от заданных значений, а также поверхностное окисление сварного соединения.

5.2 Механические испытания

Механические испытания относятся к разрушающим методам контроля. Согласно [6], [7] механическим испытаниям подвергаются только стыковые сварные соединения, определяющие прочность сосуда, в конструкции пробоотборника такими являются продольный шов обечайки типа С9 и кольцевой шов соединяющий обечайку с днищами типа С8.

Механические испытания необходимо проводить на контрольных сварных соединениях для определённой группы сосуда в объёме, как указано [6], [7]. Руководствуясь данной таблицей для сварных соединений типа С9 и С8 принимаем испытания на растяжение и изгиб при температуре 20 С°.

Образцы для проведения испытаний должны быть изготовлены в условиях что и изделие, из той же марки материала, на том же оборудовании, с использованием тех же сварочных материалов и режимов сварки, теми же сварщиками. Утолщение шва должно быть снято механическим способом до уровня

ОСНОВ-

					ПГУ.ВКР.15.03.01.14М0117.ПЗ	Лист
						96
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

ного металла с обеих сторон. При удалении утолщения разрешается снимать основной металл по всей поверхности образца на глубину до 15 % от толщины металла или диаметра стержня, но не более 4 мм.

Для проведения испытаний на растяжение согласно ГОСТ 6996-66 [35] необходимо два образца типов XII, XIII, XIV или XV.

Схема образцов типов XII, XIII изображены на рисунке 5.1, размеры образцов вынесены в таблицу 5.1.

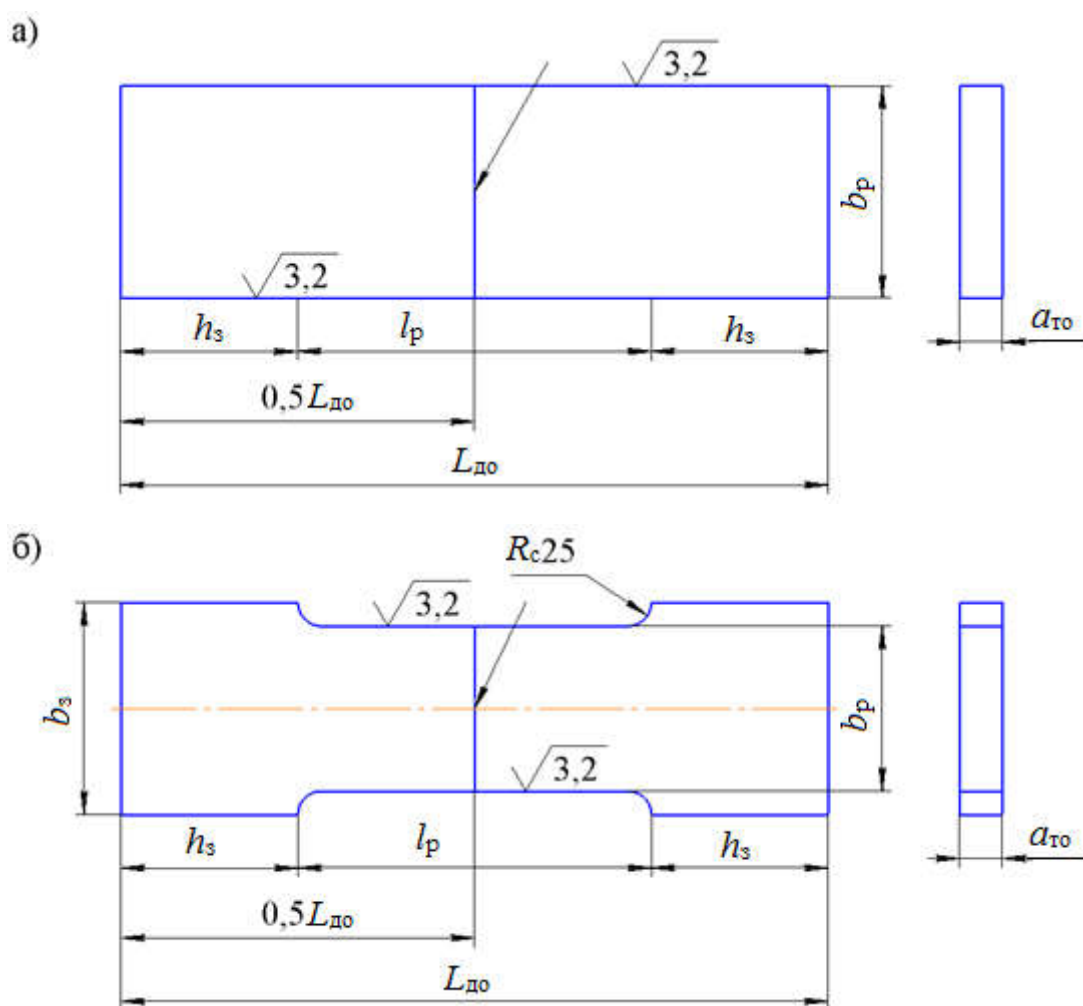


Рисунок 5.1 – Схема образцов для испытаний на растяжение [35]: а) – тип XII; б) – тип XIII; h_3 – длина захватной части; l_p – длина рабочей части образца; b_p – ширина рабочей части образца; b_3 – ширина захватной части; $L_{до}$ – общая длина образца; $a_{то}$ – толщина образца; R_c – радиус скругления; $\sqrt{3,2}$ – шероховатость поверхности

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ПГУ.ВКР.15.03.01.14М0117.ПЗ

Лист

97

Таблица 5.1 – Размеры образцов типа XII и XIII [35]

Параметры	Толщина образца $a_{то}$, мм	Ширина рабочей части b_p , мм	Ширина захватной части образца $b_з$, мм	Длина рабочей части образца l_p , мм	Общая длина образца $L_{до}$, мм
Значения	4,0	$15,0 \pm 0,5$	25,0	50,0	$l + 2h_з$

Длину захватной части образца устанавливают в зависимости от конструкции испытательной машины.

Испытания проводят при помощи разрывной машины растягивающим усилием. Правила проведения испытаний на статическое растяжение указаны в ГОСТ 1497-84 [36]. При данном виде испытания, определяется временное сопротивление наиболее слабого участка. Временное сопротивление подсчитывают по [36]. При испытании определяют место разрушения образца (по металлу шва, по металлу околошовной зоны, по основному металлу).

Схема образца типа XIV изображена на рисунке 5.2, размеры образца представлены в таблице 5.2.

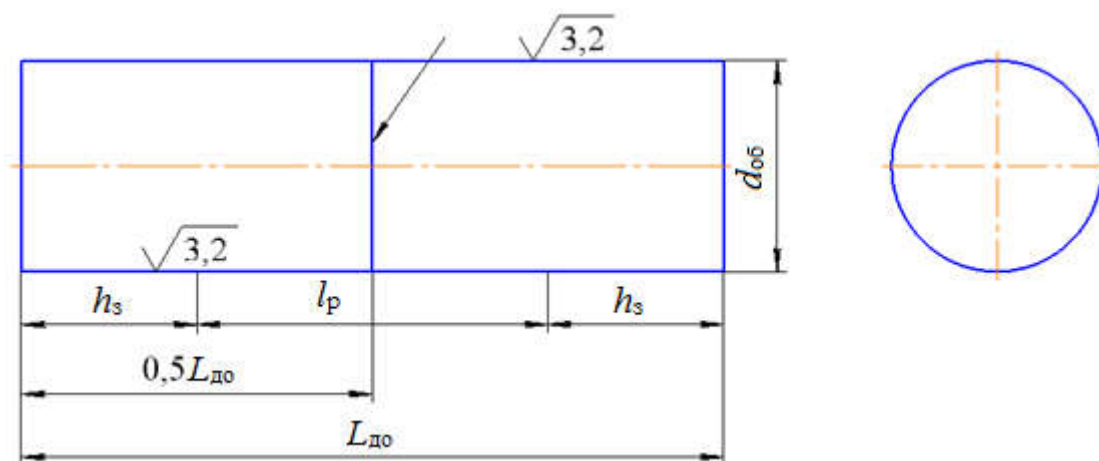


Рисунок 5.2 – Схема образца для испытаний на растяжение типа XIV [36]: $h_з$ – длина захватной части; l_p – длина рабочей части образца; b_p – ширина рабочей части образца; $d_{об}$ – диаметр образца; $L_{до}$ – общая длина образца; $\sqrt{3,2}$ – шероховатость поверхности

Таблица 5.2 – Размеры образца типа XIV [36]

Параметры	Диаметр образца $d_{об}$, мм	Длина рабочей части образца l_p , мм	Общая длина образца $L_{до}$, мм
Значения	4	60	$L_p + 2h_3$

Для проведения испытаний на изгиб согласно [36] необходимо два образца типов XXVII, XXVIII рисунок 5.3.

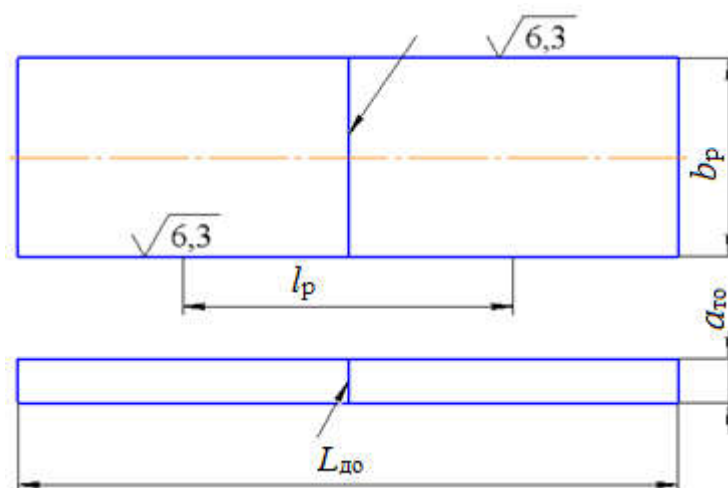


Рисунок 5.3 – Схема образцов для испытаний на изгиб типов XXVII, XXVIII [36]: l_p – длина рабочей части образца; b_p – ширина рабочей части образца; $L_{до}$ – общая длина образца; $a_{то}$ – толщина образца; $\sqrt{6,3}$ – шероховатость поверхности

Размеры образцов типов XXVII, XXVIII вынесены в таблицу 5.3.

Таблица 5.3 – Размеры образцов типа XXVII, XXVIII [36]

Параметры	Тип образца	Толщина образца $a_{то}$, мм	Ширина образца b_p , мм	Общая длина образца $L_{до}$, мм	Длина рабочей части образца l_p , мм
Значения	XXVII	4	$1,5a_{то}$ но не менее 10	$2,5D_{оп} + 80$	$0,33L_{до}$
	XXVIII	4	20	$3D_{оп} + 80$	$0,33L_{до}$

При испытании на статический изгиб определяют способность соединения принимать заданный по размеру и форме изгиб. Эта способность характе-

ризуется углом изгиба рисунок 5.4, при котором в растянутой зоне образца образуется первая трещина, развивающаяся в процессе испытания. Если длина трещин, возникающих в процессе испытания в растянутой зоне образца, не превышает 20 % его ширины, но не более 5 мм, то они не являются браковочным признаком. Определяют также место образования трещины или разрушения (по металлу шва, металлу околошовной зоны или основному металлу).

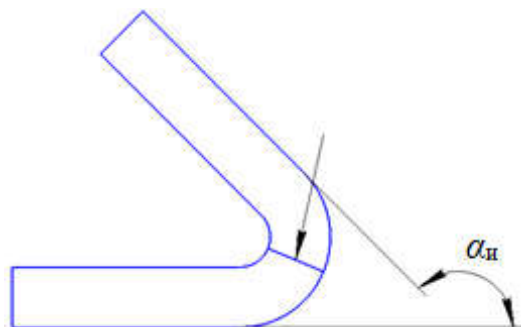


Рисунок 5.4 – Схема изгиба образца [36]: $\alpha_{и}$ – угол изгиба

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 замеряют в ненапряженном состоянии с погрешностью до $\pm 2^\circ$.

Диаметр оправки может изменяться в зависимости от марки стали, толщины листов, способа термообработки и должен оговариваться в соответствующей НТД. При отсутствии специальных указаний диаметр оправки принимают равным двум толщинам основного металла. Расстояние между опорами $K_{оп}$ для образца типа XXVII должно быть равно $2,5D_{оп}$, а для образца типа XXVIII $3D_{оп}$.

Радиус закругления опоры $r_{оп}$ для образцов типов XXVII и XXVIII принимается по таблице 5.4.

Таблица 5.4 – Радиус закругления опоры $r_{оп}$ от толщины образца $a_{то}$ для образцов типов XXVII и XXVIII [36]

Параметры		Толщина образца $a_{то}$, мм		Радиус закругления $r_{оп}$, мм		Лист
						100
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

ПГЧ.ВКР.15.03.01.14М0117.ПЗ

Значения	до 2	2
	более 2 до 4	4
	Более 4 до 8	8

Обязательным условием проведения испытаний является плавность возрастания нагрузки на образец. Испытания проводят со скоростью не более 15 мм/мин на испытательных машинах или прессах с использованием опорных роликов.

Испытания образцов на статический изгиб типов XXVII и XXVIII должны проводиться как показано на рисунке 5.5.

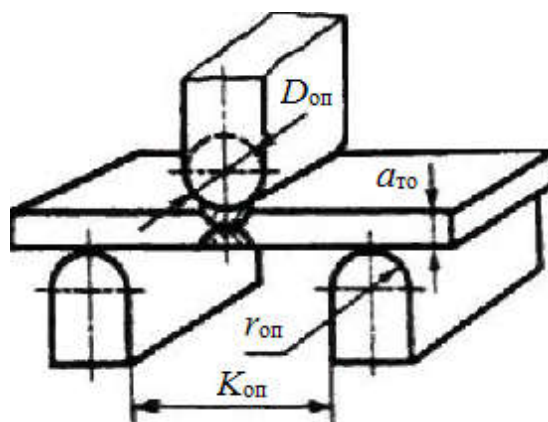


Рисунок 5.5 – Схема проведения испытаний на статический изгиб образцов типов XXVII и XXVIII [36]: $D_{оп}$ – диаметр оправки; $K_{оп}$ – расстояние между опорами; $r_{оп}$ – радиус закругления опоры; $a_{то}$ – толщина образца

5.3 Ультразвуковой контроль

В рамках выпускной квалификационной работы для выявления внутренних дефектов принимаем ультразвуковой метод контроля сварных соединений. Данный вид контроля относится к неразрушающим видам контроля, используется во многих отраслях промышленности. В отличие от рентгенографического метода контроля УЗК является наиболее дешёвым и простым.

Ультразвуковую дефектоскопию сварных соединений следует проводить в соответствии с ГОСТ Р 55724-2013 [37].

Ультразвуковая технология контроля основана на способности высокочастотных колебаний (около 20 000 Гц) проникать в металл и отражаться от

поверхности царапин, пустот и других неровностей. Искусственно созданная, направленная диагностическая волна проникает в проверяемое соединение и в случае обнаружения дефекта отклоняется от своего нормального распространения. Оператор УЗД видит это отклонение на экранах приборов и по определенным показаниям данных может дать характеристику выявленному дефекту. Например:

- расстояние до дефекта – по времени распространения ультразвуковой волны в материале;
- относительный размер дефекта – по амплитуде отраженного импульса.

На сегодняшний день в промышленности применяют пять основных методов проведения УЗК ГОСТ 23829-85 [38], которые отличаются между собой только способом регистрации и оценки данных:

- теневой метод – заключается в контроле уменьшения амплитуды ультразвуковых колебаний прошедшего и отраженного импульсов.
- зеркально-теневой метод – обнаруживает дефекты швов по коэффициенту затухания отраженного колебания.
- эхо-зеркальный метод или «тандем» – заключается в использовании двух аппаратов, которые переключаются в работе и с разных сторон подходят к дефекту.
- дельта-метод – основывается на контроле ультразвуковой энергии, переизлученной от дефекта.
- эхо-метод – основан на регистрации сигнала, отраженного от дефекта.

Согласно [6] и [7] ультразвуковому контролю подлежат:

- стыковые, угловые, тавровые сварные соединения, доступные для этого контроля в объеме не менее указанного в таблице 5.5;
- места сопряжения (пересечений) сварных соединений;
- сварные соединения внутренних и наружных устройств по указанию в проекте или технических условиях на сосуд (сборочную единицу, деталь);
- сварные соединения элементов из стали перлитного класса с элементами из сталей аустенитного класса в 100 % объеме;

- перекрываемые укрепляющими кольцами участки сварных швов корпуса, предварительно зачищенные заподлицо с наружной поверхностью корпуса;
- прилегающие к отверстию участки сварных швов корпуса, на которых устанавливаются люки и штуцера, на длине, равной $\sqrt{DS}$ (D – внутренний диаметр корпуса, S – толщина стенки корпуса в месте расположения отверстия).

Таблица 5.5 – Объем контроля ультразвуковым методом [6], [7]

Параметры	Группа сосуда	Длина контролируемых сварных соединений от общей длины не менее, %
Значения	1, 2	100
	3	50
	4	25
	5	10

Ультразвуковая дефектоскопия проводится следующим образом:

- в начале необходимо зачистить сварной шов на расстояние от 50 до 70 мм;
- для получения более точного результата УЗД требуется хорошее прохождение ультразвуковых колебаний. Поэтому поверхность металла около шва и сам шов обрабатываются трансформаторным, турбинным, машинным маслом или солидолом, глицерином;
- прибор предварительно настраивается по определенному стандарту, который рассчитан на решения конкретной задачи;
- датчик перемещают зигзагообразно вдоль шва и при этом стараются повернуть вокруг своей на несколько градусов от 10 до 15°;
- при появлении устойчивого сигнала на экране прибора в зоне проведения УЗК, искатель максимально разворачивают. Необходимо проводить поиск до появления на экране сигнала с максимальной амплитудой. Следует уточнить не вызвано ли наличие подобного колебания отражением волны от швов, что часто бывает при УЗД, если нет, то фиксируется дефект и записываются координаты.

Ультразвуковой контроль сварных соединений проводят за один или несколько проходов, тавровые и угловые швы под углом 90° проверяют эхо - методом. Все результаты проверки дефектоскопист заносит в таблицу данных, по которой можно будет легко повторно обнаружить дефект и устранить его.

5.4 Капиллярный метод контроля

Для контроля сварного соединения типа Т7 используем капиллярную дефектоскопию. Данный контроль проводим в сто процентном объёме.

Капиллярный метод относится к неразрушающим методам контроля, является весьма простым и дешёвым способом контроля сварных соединений, однако позволяет обнаружить лишь те дефекты, которые находятся на поверхности сварного соединения, такие как трещины, поры, раковины, непровары, межкристаллитная коррозия и другие несплошности.

Капиллярный метод основан на явлении капиллярной активности, т. е способности жидкости втягиваться в мельчайшие отверстия и каналы. При попадании жидкости в канал её поверхность искривляется, образуя мениск, отверстие удаётся обнаружить за счёт индикаторных рисунков.

Данный метод контроля проводится в соответствии с ГОСТ 18442-80 [39].

Капиллярная дефектоскопия включает следующие основные операции:

- тщательная очистка поверхности (промывка, обезжиривание, сушка);
- нанесение на поверхность сварного соединения при помощи щётки или распылителя проникающей жидкости;
- после нанесения на поверхность проникающей жидкости необходимо выждать некоторое время после чего удалить излишки проникающей жидкости чистым сухим полотенцем или куском ткани, после чего поверхность вытирается начисто тканью слегка увлажнённой очистителем, очиститель не рекомендуется наносить на поверхность во избежание вымывания проникающей жидкости;
- нанести проявитель для выявления дефектов.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ПГУ.ВКР.15.03.01.14М0117.ПЗ

104

Схема порядка проведения капиллярной дефектоскопии представлена на рисунке 5.6.

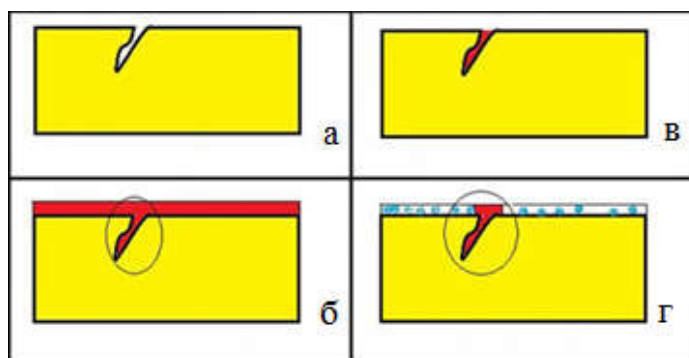


Рисунок 5.6 – Схема проведения капиллярной дефектоскопии: а – очищенная поверхность с дефектом; б – поверхность с нанесённой проникающей жидкостью; в – поверхность с удалёнными излишками проникающей жидкости; г – поверхность с нанесённым проявителем

Индикация дефектов осуществляется благодаря выходу проникающей жидкости из полостей дефектов на поверхность изделия путем проникновения в проявитель. Образующиеся при этом следы дефектов имеют ширину гораздо больше, чем фактическая ширина самого дефекта. Вышедшая из дефектов жидкость окрашивает часть белой поверхности проявителя или люминесцирует в ультрафиолетовых лучах, образуя индикаторный рисунок, непосредственно воспринимаемый зрением контролера.

5.5 Гидравлические испытания

Гидравлическому испытанию изделие подвергается после его изготовления и после того как были проведены другие виды контроля.

При гидравлических испытаниях следует использовать воду. Разность температур стенки сосуда и окружающего воздуха во время испытаний не должна вызывать конденсацию влаги на поверхности стенки сосуда. Давление внутри сосуда следует поднимать равномерно до достижения пробного. Скорость подъёма давления не должна превышать 0,5 МПа в минуту. Время выдержки под пробным давлением для данного аппарата должно быть не менее 30

					ПГУ.ВКР.15.03.01.14М0117.ПЗ	Лист
						105
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

минут согласно [6], [7]. После выдержки под пробным давлением его снижают до расчётного под которым проводят осмотр наружной поверхности, разъёмных и сварных соединений.

Испытание пробным гидравлическим давлением контролируют двумя манометрами. Манометры выбирают одного типа, предела измерений, класса точности, одинаковой цены деления. Манометры должны иметь класс точности не ниже 2,5.

Результаты испытаний считают удовлетворительными, если во время их проведения отсутствуют:

- падение давления по манометру;
- пропуски испытательной среды (течи, потения, пузырьки воздуха или газа) в сварных соединениях и на основном металле;
- признаки разрыва;
- течи в разъёмных соединениях;
- остаточные деформации.

Заключение

В данной выпускной квалификационной работе была разработана технология сборки и сварки корпуса пробоотборника на основании теоретических знаний, полученных при изучении различных дисциплин, в течение обучения, а также умения пользоваться интернет источниками, справочной, нормативно-технической и технической литературой, и государственными стандартами. Особое внимание было уделено выбору способа сварки и сварочных материалов, выбору оборудования, расчету режимов сварки, технологии сборки и сварки изделия, контролю качества изделия, а также разработке чертежей и правильности их оформления.

					ПГУ.ВКР.15.03.01.14М0117.ПЗ	Лист
						107
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Список используемых источников

1. Система разработки и постановки продукции на производство. Патентные исследования, содержание и порядок проведения [Текст]: ГОСТ Р 15.011-96. – Введ. 1996-01-30. – М.: Издательство стандартов, 2010. – 15 с.

2. Стенд для сборки и сварки продольного стыка обечайки [Текст]: пат. 1030132 Рос. Федерация: МПК В23К37/04 Ганин Ю. П., Казин М. А., Лапшин Г. А., Ткаченко А. Н.; заявитель и патентообладатель Ганин Ю. П., Казин М. А., Лапшин Г. А., Ткаченко А. Н. – №3330940/25-27; заявл. 14.08.2013; опубл. 23.07.2015, Бюл. №27 (I ч.). – 4 с.

3. Полу автоматическая установка для сборки и сварки цилиндрической обечайки с днищем [Текст]: пат. 1454630 Рос. Федерация: МПК В23К 37/04 Иванов А. И., Марченко В. Б., Гавва В. Н., Задорожный В. А., Домио А. А., Коцюбинский В. В., Костин В. М.; заявитель и патентообладатель ин-т электросварки им. Е. О. Патона – №4290100/31-27; заявл. 27.07.2011; опубл. 30.01.2013, Бюл. №4 (I ч.). – 6 с.

4. Установка для сварки кольцевых стыков оболочек [Текст]: пат. 2374053 Рос. Федерация: МПК В23К 31/02, В23К 37/053, В23К 101/12 Двуреченский А. Г., Варавин И. И., Котов А. Н.; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное унитарное предприятие науч.-исслед. ин-т «Гермес» – №2007121422/02, Бюл. №33 (I ч.). – 6 с.

5. Днища эллиптические, отбортованные стальные для сосудов, аппаратов и котлов [Текст]: ГОСТ 6533-78. – Введ. – 1980-01-01. – М.: Государственный комитет СССР по стандартам, 1985. – II, 39 с.: ил.

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

7. Об утверждении правил проектирования, изготовления и приемки сосудов и аппаратов стальных сварных [Текст]: ПБ-03-584-03. – Введ. –

					ПГУ.ВКР.15.03.01.14М0117.ПЗ	Лист
						108
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

2003-06-10. – М.: Госгортехнадзор России, 2003. – II, 57 с.: ил.

8. Система стандартов безопасности труда. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности [Текст]: ГОСТ 12.1.007-76. – Введ. 1997-01-01. – М.: Стандартиформ, 2007. – II, 7 с.

9. Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность. Общие требования [Текст]: ГОСТ 12.1.004-91. – Введ. 1992-07-01. – М.: Стандартиформ, 2006. – II, 64 с.

10. Электрооборудование взрывозащищенное [Текст]: ГОСТ Р 51330-99. – Введ. 2001.01.01. – Утв. постановлением Госстандарта России от 16 декабря 1999 г. № 526-ст.

11. Конституция Российской Федерации [Текст]. – М.: Приор, 2001. – 32 с. Федеральный закон о промышленной безопасности опасных производственных объектов (с изменениями на 7 марта 2017 года) (редакция, действующая с 25 марта 2017 года) [Текст]: [принят Государственной Думой 20 июня 1997 г.]: офиц. текст: по состоянию на 15 марта 2013 г. / М-во юстиций Рос. Федерации. – М.: Кодекс, 2001. – 22 с.

12. Фланцы арматуры, соединительных частей и трубопроводов на номинальное давление до PN 250. Конструкция, размеры и общие технические требования [Текст]: ГОСТ 33259-2015. – Введ. 2016-04-01. – М.: Стандартиформ, 2016. – 102 с.: ил.

13. Лапы опорные подвесных вертикальных сосудов и аппаратов. Основные размеры [Текст]: ГОСТ 26296-84. – Введ. 1985-07-01. – М.: Издательство стандартов, 1984. – 16 с.: ил.

14. Сталь углеродистая обыкновенного качества. Марки [Текст]: ГОСТ 380-2005. – Введ. 2008-07-01. – М.: Стандартиформ, 2009. – 8 с.

15. Прокат толстолистовой из углеродистой стали обыкновенного качества. Технические условия [Текст]: ГОСТ 14637-89. – Введ. 1991-01-01. – М.: Стандартиформ, 2009. – 9 с.

16. Свариваемость. Определение [Текст]: ГОСТ 29273-92. – Введ. 1993-01-01. – М.: Издательство стандартов, 1995. – 3 с.

					ПГУ.ВКР.15.03.01.14М0117.ПЗ	Лист
						109
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

17. **Свариваемость сталей. Метод оценки влияния сварки плавлением на основной металл** [Текст]: ГОСТ 23870-79. – Введ. 1981-01-01. – М.: Издательство стандартов 1982. – 10 с.: ил.

18. **Прокат повышенной прочности. Общие технические условия** [Текст]: ГОСТ 19281-2014. – Введ. 2015-01-01. – М.: Стандартинформ, 2016. – 47 с.:ил.

19. **Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность** [Текст]: ГОСТ 14249-89. – Введ. 1990-01-01. – М.: Стандартинформ, 2008. – 54 с.: ил.

20. **Методические указания к расчету цилиндрических обечаек стальных сварных сосудов и аппаратов** [Текст]: учеб-метод, пособие / А.И. Барвин [и др.] – Северодонецк, СТИ, 2002. – 83 с.

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

22. **Дуговая сварка в защитном газе. Соединения сварные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры** [Текст]: ГОСТ 14771-76. – Введ. 1977-07-01. – М.: Стандартинформ, 2007. – III, 37 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. **Проектирование сварных конструкций. Расчет сварных соединений** [Текст]: учеб. пособие / С.Г. Усатый, А.Е. Розен, С.Н. Чугунов [и др.] – Пенза: Изд-во ПГУ, 2010. – 132 с.

25. **Единая база технологической документации. Термины и определения основных понятий** [Текст]: ГОСТ 3.1109-82. – Введ. 1983-01-01. – М.: Стандартинформ, 2012. – 98 с.

26. **Обеспечение технологичности конструкции изделия** [Текст]: ГОСТ 14.201-83. – Введ. 1984-01-01. – М.: Стандартинформ, 2009. – 8 с.

27. **Машины термической резки металлов серии МТР «Кристалл»** [Текст]: ТУ 3874-008-50014349-2007. – Введ. 2009-09-15. – Санкт-Петербург.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ПГУ.ВКР.15.03.01.14М0117.ПЗ

110

28. **Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды** [Текст]: ГОСТ 15150-69. – Введ. 1979-01-01. – М.: Стандартиформ, 2010. – V, 57 с.: ил.

29. **Изделия электротехнические. Исполнения для различных климатических районов. Общие технические требования в части воздействия климатических факторов внешней среды** [Текст]: ГОСТ 15543-70. – Введ. 1971-01-01. – М.: Издательство стандартов, 1984. – IV, 15 с.

30. **Порядок применения сварочных технологий при изготовлении, монтаже, ремонте и реконструкции технических устройств для опасных производственных объектов** [Текст]: РД 03-615-03. – Введ. 2003-06-19. – М.: Госгортехнадзор России, 2003. – 153 с.: ил.

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

32. **Двуокись углерода газообразная и жидкая. Технические условия** [Текст]: ГОСТ 8050-85. – Введ. 1987-01-01. – М.: Издательство стандартов, 1995. – II, 22 с.

33. **Инженерно-технологические основы подготовки сварочного производства** [Текст]: учеб. пособие / В.Г. Гордиевский, А.Е. Розен, С.Г. Усатый, [и др.] Пенза: Изд-во ПГУ, 2010. – 276 с.

34. **Инструкция по визуальному и измерительному контролю** [Текст]: РД 03-606-03. – Введ. 2003-06-11. – М.: Госгортехнадзор России, 2003. – 101 с.: ил.

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

36. **Металлы. Методы испытаний на растяжение** [Текст]: ГОСТ 1497-84. – Введ. 1986-01-01. – М.: Стандартиформ, 2008. – III, 22 с.: ил.

37. Контроль неразрушающий. Соединения сварные. Методы ультразвуковые [Текст]: ГОСТ Р 55724-2013. – Введ. 2015-07-01. – М.: Стандартиформ, 2014. – 41 с.: ил.

38. Контроль неразрушающий акустический. Термины и определения [Текст]: ГОСТ 23829-85. – Введ. 1987-01-01. – М.: Издательство стандартов, 1986. – 18 с.

39. Контроль неразрушающий. Капиллярные методы. Общие требования [Текст]: ГОСТ 18442-80. – Введ. 1981-07-01. – М.: Издательство стандартов, 2005. – II, 56 с.

					<i>ПГУ.ВКР.15.03.01.14М0117.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						<i>112</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

Приложение А

					ПГУ.ВКР.15.03.01.14М0117.ПЗ	Лист
						113
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

**КАРТА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА СВАРКИ (НАПЛАВКИ)
СВАРНОГО ШВОВ №1
ПРОБООТБОРНИКА ПО-316-2018**

№ п/п	Наименование	Обозначения (показатели)
1	Нормативный документ	ГОСТ Р 52630-2012; ПБ 03-584-03
2	Способ сварки	УП
3	Основной материал (марки)	Ст3сп5
4	Основной материал (группа)	1 (M01)
5	Сварочные материалы	СВ-08Г2С
6	Толщина свариваемых деталей	4 мм
7	Диаметр деталей в зоне сварки	Плоские детали
8	Тип шва	СШ
9	Тип соединения	Стыковое, С9 ГОСТ 14771-76
10	Вид шва соединения	ос, сп
11	Форма подготовки кромок	С разделкой кромок при угле раскрытия 40 град.
12	Положение при сварке	Н1
13	Режимы подогрева	Подогрев отсутствует
14	Режимы термообработки	Термообработка отсутствует
15	Дополнительные параметры	нет

Таблица 1. – Последовательность выполнения и форма сварного соединения.

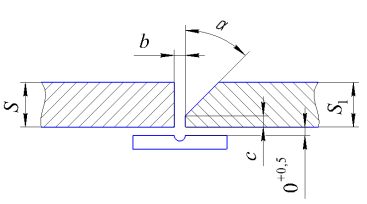
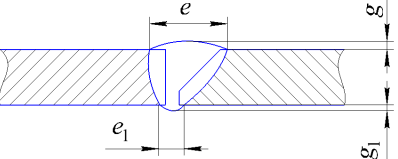
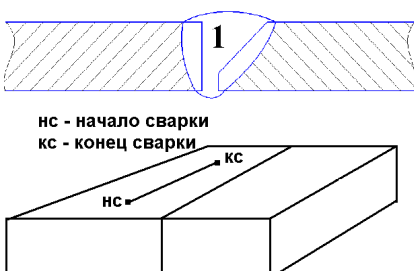
Конструкция соединения	Конструктивные элементы шва	Порядок сварки
		

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

S=S 1	N	b		c		e		e ₁		q		q ₁		a	
		Но- мин.	Пред откл.	Но- мин.	Пред откл.	Но- мин.	Пред откл.	Но- мин.	Пред откл.	Но- мин.	Пред откл.	Но- мин.	Пред откл.	Но- мин.	Пред откл.
4,0	1	1,0	±1	1,0	±1	6,0	±2	4	±2	1	+1	1,5	±1	40	±2

Сварочное оборудование (тип): тип А11+А5.

Метод подготовки и очистки: Зачистка механическим способом до металлического блеска участков металла от кромок разделки на ширину не менее 20 мм с наружной и внутренней стороны.

Требования к прихватке: Шов выполняется без прихваток.

Защита сварочной ванны/защита корня шва: газовая защита

Газ/флюс: Углекислый газ 1-го сорта ГОСТ 8050-85.

Неплавящийся электрод (тип, размер): нет.

Детали формирования корня шва: Шов выполняется на подкладном цилиндре

					ПГУ.ВКР.15.03.01.14М0117.ПЗ						
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата							
Разраб.	Ульянов М. Д.				Разработка технологии сборки и сварки в заводских условиях элементов конструкции пробоотборника ПО-316-2018	Лит.		Лист		Листов	
Провер.	Мещеряков А. С.							113		127	
Н. Контр.	Харин А. В.					Каф. СЛПМ, гр. 14М01					
Утверд.	Логинов О. Н.										

Технологические параметры сварки*

Номер слоя (валика)	Диаметр электрода, мм	Род и полярность тока	Сварочный ток, А	Вылет электрода, мм	Напряжение дуги, В	Скорость сварки, м/ч	Скорость подачи электродной проволоки, м/ч
1	1,6	по	200-280	15-25	29-31	21-33	200-210

Примечания: в таблице приведены параметры режима сварки в положении Н1.

Требования к контролю качества

Метод контроля, вид испытаний	НД на методику контроля	НД на оценку качества	Объем контроля
Визуально измерительный	РД 03-606-03	РД 03-606-03	100 %
Ультразвуковой	ГОСТ Р 55724-2013	ГОСТ Р 55724-2013	30 %
Статическое растяжение	ГОСТ 6996-66; ГОСТ 1497-84	ГОСТ 6996-66; ГОСТ 1497-84	2 обр
Статический изгиб	ГОСТ 6996-66; ГОСТ 1497-84	ГОСТ 6996-66; ГОСТ 1497-84	2 обр
Гидравлические испытания	ГОСТ Р 52630-2012; ПБ 03-584-03	ГОСТ Р 52630-2012; ПБ 03-584-03	изд

Разработал:

(подпись)

/Ульянов М.Д./

					ПГУ.ВКР.15.03.01.14М0117.ПЗ	Лист
						114
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

**КАРТА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА СВАРКИ (НАПЛАВКИ)
СВАРНЫХ ШВОВ №2; №3; №4; №6
ПРОБООТБОРНИКА ПО-316-2018**

№ п/п	Наименование	Обозначения (показатели)
1	Нормативный документ	ГОСТ Р 52630-2012; ПБ 03-584-03
2	Способ сварки	АПГ
3	Основной материал (марки)	Ст3сп5
4	Основной материал (группа)	1 (M01)
5	Сварочные материалы	СВ-08Г2С
6	Толщина свариваемых деталей	5; 8 мм
7	Диаметр деталей в зоне сварки	От 24 до 120 мм
8	Тип шва	УШ
9	Тип соединения	Угловое, У7-1 РД 26-18-8-89
10	Вид шва соединения	ос, бп
11	Форма подготовки кромок	С разделкой кромок при угле раскрытия 45 град.
12	Положение при сварке	Н1
13	Режимы подогрева	Подогрев отсутствует
14	Режимы термообработки	Термообработка отсутствует
15	Дополнительные параметры	нет

Таблица 1. – Последовательность выполнения и форма сварного соединения.

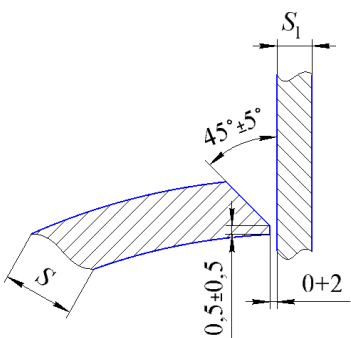
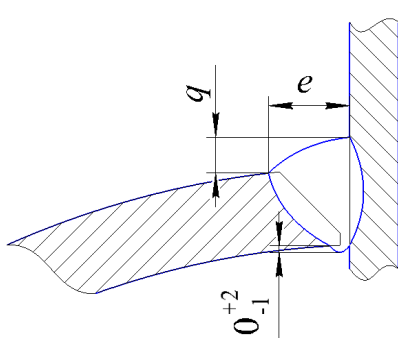
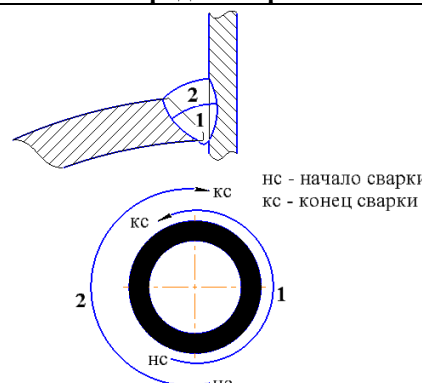
Конструкция соединения	Конструктивные элементы шва	Порядок сварки
		 <p>НС - начало сварки КС - конец сварки</p>

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

S	S1	N	20 ≤ e	q	
				Номин.	Пред. откл.
8,0	5,0	2		6	+2

Сварочное оборудование (тип): тип А11.

Метод подготовки и очистки: Зачистка механическим способом до металлического блеска участков металла от кромок разделки на ширину не менее 20 мм с наружной и внутренней стороны.

Требования к прихватке: Шов выполняется без прихваток.

Защита сварочной ванны/защита корня шва: газовая защита

Газ/флюс: Углекислый газ 1-го сорта ГОСТ 8050-85.

Неплавящийся электрод (тип, размер): нет.

Детали формирования корня шва: нет.

Технологические параметры сварки*

Номер слоя (валика)	Диаметр электрода, мм	Род и полярность тока	Сварочный ток, А	Вылет электрода, мм	Напряже- ние дуги, В	Скорость сварки, м/ч	Скорость подачи электродной прово- локи, м/ч	
1	2	3	4	5	6	7	8	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ПГУ.ВКР.15.03.01.14М0117.ПЗ			115

1	2	3	4	5	6	7	8
Корневой	1,2	по	160-240	8-18	28-30	10-25	320-330
Заполняющий	2	по	360-440	15-25	33-35	20-30	270-280

Примечания: в таблице приведены параметры режима сварки в положении Н1.

Требования к контролю качества

Метод контроля, вид испытаний	НД на методику контроля	НД на оценку качества	Объем контроля
Визуально измерительный	РД 03-606-03	РД 03-606-03	100 %
Ультразвуковой	ГОСТ Р 55724-2013	ГОСТ Р 55724-2013	30 %
Гидравлические испытания	ГОСТ Р 52630-2012; ПБ 03-584-03	ГОСТ Р 52630-2012; ПБ 03-584-03	изд

Разработал:

(подпись)

/Ульянов М.Д./

					ПГУ.ВКР.15.03.01.14М0117.ПЗ	Лист
						116
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

**КАРТА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА СВАРКИ (НАПЛАВКИ)
СВАРНОГО ШВОВ №5
ПРОБООТБОРНИКА ПО-316-2018**

№ п/п	Наименование	Обозначения (показатели)
1	Нормативный документ	ГОСТ Р 52630-2012; ПБ 03-584-03
2	Способ сварки	АПГ
3	Основной материал (марки)	Ст3сп5
4	Основной материал (группа)	1 (М01)
5	Сварочные материалы	СВ-08Г2С
6	Толщина свариваемых деталей	4 мм
7	Диаметр деталей в зоне сварки	300 мм
8	Тип шва	СШ
9	Тип соединения	Стыковое, С8 ГОСТ 14771-76
10	Вид шва соединения	ос, бп
11	Форма подготовки кромок	С разделкой кромок при угле раскрытия 40 град.
12	Положение при сварке	НП
13	Режимы подогрева	Подогрев отсутствует
14	Режимы термообработки	Термообработка отсутствует
15	Дополнительные параметры	нет

Таблица 1. – Последовательность выполнения и форма сварного соединения.

Конструкция соединения	Конструктивные элементы шва	Порядок сварки
		<p>нс - начало сварки кс - конец сварки</p>

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

S=S1	N	b		c		e		q		a	
		Номин.	Пред. откл.	Номин.	Пред. откл.	Номин.	Пред. откл.	Номин.	Пред. откл.	Номин.	Пред. откл.
4,0	1	1,0	±1	1,0	±1	6,0	±2	1	+1	40	±2

Сварочное оборудование (тип): тип А11.

Метод подготовки и очистки: Зачистка механическим способом до металлического блеска участков металла от кромок разделки на ширину не менее 20 мм с наружной и внутренней стороны.

Требования к прихватке: Шов выполняется без прихваток.

Защита сварочной ванны/защита корня шва: газовая защита

Газ/флюс: Углекислый газ 1-го сорта ГОСТ 8050-85.

Неплавящийся электрод (тип, размер): нет.

Детали формирования корня шва: нет.

Технологические параметры сварки*

Номер слоя (валика)	Диаметр электрода, мм	Род и полярность тока	Сварочный ток, А	Вылет электрода, мм	Напряжение дуги, В	Скорость сварки, м/ч	Скорость подачи электродной проволоки, м/ч
1	1,6	по	180-260	15-25	28-30	23-36	170-180

Примечания: в таблице приведены параметры режима сварки в положении НП.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ПГУ.ВКР.15.03.01.14М0117.ПЗ	Лист
						117

Требования к контролю качества

Метод контроля, вид испытаний	НД на методику контроля	НД на оценку качества	Объем контроля
Визуально измерительный	<i>РД 03-606-03</i>	<i>РД 03-606-03</i>	<i>100 %</i>
Ультразвуковой	<i>ГОСТ Р 55724-2013</i>	<i>ГОСТ Р 55724-2013</i>	<i>30 %</i>
Статическое растяжение	<i>ГОСТ 6996-66; ГОСТ 1497-84</i>	<i>ГОСТ 6996-66; ГОСТ 1497-84</i>	<i>2 обр</i>
Статический изгиб	<i>ГОСТ 6996-66; ГОСТ 1497-84</i>	<i>ГОСТ 6996-66; ГОСТ 1497-84</i>	<i>2 обр</i>
Гидравлические испытания	<i>ГОСТ Р 52630-2012; ПБ 03-584-03</i>	<i>ГОСТ Р 52630-2012; ПБ 03-584-03</i>	<i>изд</i>

Разработал:

(подпись)

/Ульянов М.Д./

**КАРТА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА СВАРКИ (НАПЛАВКИ)
СВАРНЫХ ШВОВ №7
ПРОБООТБОРНИКА ПО-316-2018**

№ п/п	Наименование	Обозначения (показатели)
1	Нормативный документ	ГОСТ Р 52630-2012; ПБ 03-584-03
2	Способ сварки	АПГ
3	Основной материал (марки)	Ст3сп5
4	Основной материал (группа)	1 (М01)
5	Сварочные материалы	СВ-08Г2С
6	Толщина свариваемых деталей	4 мм
7	Диаметр деталей в зоне сварки	Плоские деталь
8	Тип шва	УШ
9	Тип соединения	Тавровое, Т7 ГОСТ 14771-76
10	Вид шва соединения	дс, бз
11	Форма подготовки кромок	С разделкой кромок с одной стороны, при угле раскрытия 45 град.
12	Положение при сварке	Н2
13	Режимы подогрева	Подогрев отсутствует
14	Режимы термообработки	Термообработка отсутствует
15	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		K ₁		α	
		Номин.	Пред. откл.	Номин.	Пред. откл.	Номин.	Пред. откл.	Номин.	Пред. откл.	Номин.	Пред. откл.
4,0	2	0	+1	1,0	±1	6,0	±2	5	±1	45	±2

Сварочное оборудование (тип): тип А11.

Метод подготовки и очистки: Зачистка механическим способом до металлического блеска участков металла от кромок разделки на ширину не менее 20 мм с наружной и внутренней стороны.

Требования к прихватке: Прихватки выполняются на расстоянии между собой в диапазоне от 30 до 60 мм, длина прихваток должна быть в диапазоне от 0,5 до 4 мм, высота прихваток 4 мм.

Защита сварочной ванны/защита корня шва: газовая защита

Газ/флюс: Углекислый газ 1-го сорта ГОСТ 8050-85.

Неплавящийся электрод (тип, размер): нет.

Детали формирования корня шва: нет.

Технологические параметры сварки*

Номер слоя (валика)	Диаметр электрода, мм	Род и полярность тока	Сварочный ток, А	Вылет электрода, мм	Напряжение дуги, В	Скорость сварки, м/ч	Скорость подачи электродной проволоки, м/ч
1	2	3	4	5	6	7	8
Подварочный	1,2	по	100-180	8-18	25-27	6-18	170-180

1	2	3	4	5	6	7	8
Заполняющий	1,2	по	140-220	8-18	27-29	11-28	268-279

Примечания: в таблице приведены параметры режима сварки в положении Н1.

Требования к контролю качества

Метод контроля, вид испытаний	НД на методику контроля	НД на оценку качества	Объем контроля
Визуально измерительный	РД 03-606-03	РД 03-606-03	100 %
Капиллярный	ГОСТ 18442-80	ГОСТ 18442-80	100%

Разработал:

(подпись)

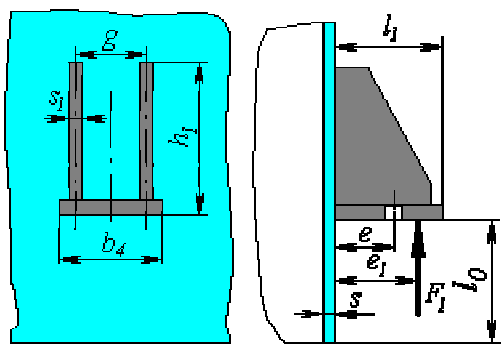
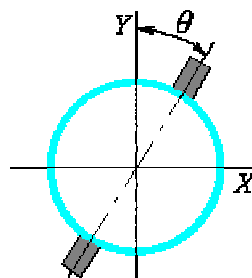
/Ульянов М.Д./

					ПГУ.ВКР.15.03.01.14М0117.ПЗ	Лист
						120
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Приложение Б

					ПГУ.ВКР.15.03.01.14М0117.ПЗ	Лист
						121
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Опорные лапы



Исходные данные

Элемент, связанный с опорой:	Обечайка цилиндрическая №1
Тип опоры:	Тип А
Внутренний диаметр обечайки, D:	300 мм
Толщина стенки обечайки, s:	4 мм
Прибавка для компенсации коррозии и эрозии, c_1 :	0,2 мм
Прибавка для компенсации минусового допуска, c_2 :	0,4 мм
Прибавка технологическая, c_3 :	0 мм
Сумма прибавок к расчётной толщине стенки, c :	0,6 мм
Число опор:	Две
Расстояние от края элемента, l_0 :	175 мм
Ширина основной плиты, b_4 :	60 мм
Высота опорной лапы, h_1 :	99 мм
Расстояние между средними линиями рёбер, g :	46 мм
Толщина стенки лапы, s_1 :	4 мм
Длина опорной лапы, l_1 :	60 мм
Расстояние между точкой приложения усилия и обечайкой или подкладным листом, e_1 :	35 мм
Угол расположения опор, ϑ :	0 °

					ПГУ.ВКР.15.03.01.14М0117.ПЗ							
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата								
Разраб.		Ульянов М. Д.			Разработка технологии сборки и сварки в заводских условиях элементов конструкции пробоотборника ПО-316-2018			Лит.	Лист	Листов		
Провер.		Мещеряков А. С.								122	127	
								Каф. С/ПМ, гр. 14М01				
Н. Контр.		Харин А. В.										
Утверд.		Логинов О. Н.										

Анкерные болты:

Материал:	Ст3 (МДС 31-4.2000)
Номинальный диаметр, d:	16 мм
Расстояние между осью болта и обечайкой или подкладным листом, e:	35 мм
Коэффициенты прочности сварных швов :	
φ_F	= 0,9

Расчёт в рабочих условиях

Условия нагружения:

Расчётная температура, T:	20 °C
Расчётное внутреннее избыточное давление, p:	0,4052 МПа
Расчётный изгибающий момент, M:	0 Н м
Расчётное внешнее осевое усилие, F:	0 Н

Расчёт на прочность и устойчивость по ГОСТ Р 52857.5-2007

Определение расчётных усилий

Диаметр обечайки в середине опоры :

$$D_R = D = 300 \text{ мм}$$

Действие момента допускается только в плоскости опорных лап.

Усилие, действующее на опорную лапу:

$$F_1 = \frac{G+F}{2} + \frac{M}{D_R + 2 \cdot (e_1 + s + s_2)} = (590,3 + 0) / 2 + 0 / (300 + 2 \cdot (35 + 4 + 0)) = 295,2 \text{ Н}$$

Для опор типов А, В, С (при укреплении подкладным листом – для всех типов):

$$\bar{\sigma}_m = \frac{p \cdot D_R}{2 \cdot (s - e)} = 0,4052 \cdot 300 / (2 \cdot (4 - 0,6)) = 17,87 \text{ МПа}$$

$$\Phi_2 = \frac{\bar{\sigma}_m}{K_2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi} = 17,87 / (1,25 \cdot 140 \cdot 0,9) = 0,1135$$

$$\Phi_1 = 0,3$$

$$K_1 = \frac{1 - \Phi_2^2}{\left(\frac{1}{3} + \Phi_1 \cdot \Phi_2\right) + \sqrt{\left(\frac{1}{3} + \Phi_1 \cdot \Phi_2\right)^2 + (1 - \Phi_2^2) \cdot \Phi_1}} = 1,174$$

Примечание: при $\Phi_2 < 0$ в расчёте K_1 знаки Φ_1 и Φ_2 меняют на противоположные
Предельное напряжение изгиба :

$$[\sigma_1] = K_1 \cdot K_2 \cdot [\sigma] = 1,174 \cdot 1,25 \cdot 140 = 205,5 \text{ МПа}$$

$$x = \ln \left(\frac{D_R}{2 \cdot (s - e)} \right) = \ln (300 / (2 \cdot 4 - 0,6)) = 3,787$$

$$y = \ln \frac{h_1}{D_R} = \ln (99 / 300) = (-1,109)$$

Коэффициент K_7 (определяется в зависимости от конструкции опорной лапы):

$$K_7 = e^{\left(\frac{-5,964 - 11,395x - 18,984y - 2,413x^2 - 7,286xy - 2,042y^2 + 0,1322x^3 + 0,4833x^2y + 0,8469xy^2 + 1,428y^3}{10^{-2}} \right)}$$

$$= \exp[(-5,964 - 11,395 \cdot 3,787 - 18,984 \cdot (-1,109) - 2,413 \cdot 3,787^2 - 7,286 \cdot 3,787 \cdot (-1,109) - 2,042 \cdot (-1,109)^2 + 0,1322 \cdot 3,787^3 + 0,4833 \cdot 3,787^2 \cdot (-1,109) + 0,8469 \cdot 3,787 \cdot (-1,109)^2 + 1,428 \cdot (-1,109)^3) \cdot 10^{-2}] = 0,7182$$

					ПГУ.ВКР.15.03.01.14М0117.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		123

Допускаемое осевое усилие в месте приварки опорной лапы (при $g/h_1 = 0,4646$):

$$[F_1] = \frac{[\sigma_1] \cdot h_1 \cdot (s-c)^2}{K_7 \cdot e_1} \cdot \left(0.5 + \frac{g}{h_1}\right) = 205,5 \cdot 99 \cdot (4 - 0,6)^2 / (0,7182 \cdot 35) \cdot (0,5 + 46 / 99) = 9027 \text{ Н}$$

Несущая способность обечайки в месте приварки опорной лапы определяется выполнением условия:

$$F_1 \leq [F_1]$$

$$F_1 = 295,2 \text{ Н} \leq [F_1] = 9027 \text{ Н}$$

Заключение: **Условие прочности и устойчивости выполнено**

Расчёт в условиях испытаний (Гидроиспытания)

Условия нагружения при испытаниях:

Расчётная температура, T: 20 °C

Расчётное внутреннее избыточное давление, p: 0,5052 МПа

Расчётный изгибающий момент, M: 0 Н м

Расчётное внешнее осевое усилие, F: 0 Н

Расчёт на прочность и устойчивость по ГОСТ Р 52857.5-2007

Определение расчётных усилий

Действие момента допускается только в плоскости опорных лап.

Усилие, действующее на опорную лапу:

$$F_1 = \frac{G + F}{2} + \frac{M}{D_R \cdot 2 \cdot (s_1 + s_2)} = (590,3 + 0) / 2 + 0 / (300 + 2 \cdot (35 + 4 + 0)) = 295,2 \text{ Н}$$

Для опор типов А, В, С (при укреплении подкладным листом – для всех типов):

$$\bar{\sigma}_m = \frac{p \cdot D_R}{2 \cdot (s - c)} = 0,5052 \cdot 300 / (2 \cdot (4 - 0,4)) = 21,05 \text{ МПа}$$

Допускаемые напряжения для материала Ст3 при температуре T = 20 °C (условия гидроиспытаний):

$$[\sigma]^{20} = \eta^* R_{e/20} / n_T = 1 \cdot 210 / 1,1 = 190,9 \text{ МПа}$$

$$\Phi_2 = \frac{\bar{\sigma}_m}{K_2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi} = 21,05 / (1,05 \cdot 190,9 \cdot 0,9) = 0,1167$$

$$\Phi_1 = 0,3$$

$$K_1 = \frac{1 - \Phi_2^2}{\left(\frac{1}{3} + \Phi_1 \cdot \Phi_2\right) + \sqrt{\left(\frac{1}{3} + \Phi_1 \cdot \Phi_2\right)^2 + (-\Phi_2^2) \cdot \Phi_1}} = 1,171$$

Примечание: при $\Phi_i < 0$ в расчёте K_1 знаки Φ_1 и Φ_2 меняют на противоположные
Предельное напряжение изгиба :

$$[\sigma_1] = K_1 \cdot K_2 \cdot [\sigma] = 1,171 \cdot 1,05 \cdot 190,9 = 234,8 \text{ МПа}$$

$$z = \ln \left(\frac{D_R}{2 \cdot (s - c)} \right) = \ln (300 / (2 \cdot 4 - 0,4)) = 3,73$$

$$y = \ln \frac{h_1}{D_R} = \ln (99 / 300) = (-1,109)$$

Коэффициент K_7 (определяется в зависимости от конструкции опорной лапы):

$$K_7 = e^{\left(\begin{aligned} &(-5,964 - 11,395x - 18,984y - 2,413x^2 - 7,286xy - 2,042y^2 + \\ &+ 0,1322x^3 + 0,4833x^2y + 0,8469xy^2 + 1,428y^3) \cdot 10^{-4} \end{aligned} \right)}$$

$$= \exp[(-5,964 - 11,395 \cdot 3,73 - 18,984 \cdot (-1,109) - 2,413 \cdot 3,73^2 - 7,286 \cdot 3,73 \cdot (-1,109) - 2,042 \cdot (-1,109)^2 + 0,1322 \cdot 3,73^3 + 0,4833 \cdot 3,73^2 \cdot (-1,109) + 0,8469 \cdot 3,73 \cdot (-1,109)^2 + 1,428 \cdot (-1,109)^3) \cdot 10^{-4}] = 0,726$$

					ПГУ.ВКР.15.03.01.14М0117.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		124

Допускаемое осевое усилие в месте приварки опорной лапы (при $g/h_1 = 0,4646$):

$$[F_1] = \frac{[\sigma_1] \cdot h_1 \cdot (s - e)^2}{K_7 \cdot e_1} \cdot \left(0.5 + \frac{g}{h_1} \right) = 234,8 \cdot 99 \cdot (4 - 0,4)^2 / (0,726 \cdot 35) \cdot (0,5 + 46 / 99) = 1,144 \cdot 10^4 \text{ Н}$$

Несущая способность обечайки в месте приварки опорной лапы определяется выполнением условия:

$$F_1 \leq [F_1]$$

$$F_1 = 295,2 \text{ Н} \leq [F_1] = 1,144 \cdot 10^4 \text{ Н}$$

Закключение: **Условие прочности и устойчивости выполнено**

					ПГУ.ВКР.15.03.01.14М0117.ПЗ	Лист
						125
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Приложение В

					ПГУ.ВКР.15.03.01.14М0117.ПЗ	Лист
						126
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

					ПГУ.ВКР.15.03.01.14М0117.ПЗ					
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						
Разраб.		Ульянов М. Д.			Разработка технологии сборки и сварки в заводских условиях элементов конструкции продвигателя ПО-316-2018					
Провер.		Мещеряков А. С.								
Н. Контр.		Харин А. В.								
Утверд.		Логинов О. Н.			Каф. СЛПМ, гр. 14М01					
					Лит.		Лист		Листов	
							122		127	