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 сваркивоздухосборника В-6,3 из стали 16ГС»

Студент — 15.06.2018г. (подпись, дата) — *Сингин Илья Львович* (фио полностью)

Научный руководитель
д.п.н., профессор — 15.06.2018г. (подпись, дата) — *Мещеряков А.С.* (фамилия, инициалы)

Нормоконтролёр
к.т.н., доцент — 15.06.2018г. (подпись, дата) — *Хорин А.В.* (фамилия, инициалы)

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

Заведующий кафедрой — 15.06.18 (подпись, дата) — *Логинов О.Н.* (фамилия, инициалы)

Работа защищена с отметкой хорошо (протокол заседания ГЭК от 18.06.18 № 9)

Секретарь ГЭК — 18.06.18 (подпись, дата) — *Гуськов М.С.* (фамилия, инициалы)
к.т.н., доцент

Пенза 2018

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

«Утверждаю»
Заведующий кафедрой СЛПиМ
к.т.н., доцент _____ О.Н. Логинов
подпись
«08» 12 2017 г.

ЗАДАНИЕ
на выпускную квалификационную работу

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

Сингин Илья Львович.

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 воздухосборника В-6,3 из стали 16ГС.*
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 емкостного аппарата с учетом мелкосерийного производства.

- производство: мелкосерийное;
- воздухосборник предназначен для создания запаса воздуха для технологических нужд и сглаживания пульсаций в воздухопроводах.

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 резервуара	*1л А1;*
- технологические параметры режимов сварки	*1л А1;*
- схема сборки и сварки резервуара	*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. **Правила 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. **Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность укрепления отверстий** [Текст]: ГОСТ 24755-89. – Введ. 1990-01-01. – М.: Издательство стандартов СССР, 1989. – 39 с.: ил.

Дата выдачи задания: 08.12.2017 г.

Руководитель ВКР:

д.п.н., профессор _____ А.С. Мещеряков

Задание к исполнению принял студент

гр. 14МО1 _____ И.Л. Сингин

08 декабря 2017 г.

Выпускную квалификационную работу к защите допустить

Декан факультета машиностроения и транспорта

Политехнического института ПГУ _____ С.Ю. Киреев

ОПОП освоена в полном объеме.
К государственной итоговой аттестации допустить

Аннотация

Выпускная квалификационная работа содержит 105 с., 22 рис., 28 табл., 34 исползанных источника, 2 прил. Графическая часть из 6 листов формата А1.

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

Объектом разработки является сварная конструкция корпуса воздухосборника из стали 16ГС.

Предметом исследования является процесс сборки и сварки корпуса воздухосборника из стали 16ГС.

Цель работы: разработка технологии сборки и сварки корпуса воздухосборника из стали 16ГС в соответствии с НТД.

Задачи выпускной квалификационной работы:

а) проанализировать объект производства;

б) спроектировать сварную конструкцию изделия;

в) разработать технологию сборки и сварки изделия с выбором материалов, оборудования и средств технологического оснащения.

В работе был проанализирован базовый вариант и разработана усовершенствованная технология сборки и сварки корпуса воздухосборника путем замены: ручной дуговой сварки покрытыми электродами для продольных и кольцевых швов обечаек автоматическую; для угловых соединений и кольцевых швов между днищами и обечайками ручная дуговая сварка была заменена на механизированную в среде защитных газов.

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

					ПГУ.ВКР.15.03.01.14М0114.ПЗ		
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			
Разраб.		Сингин И.Л.			Разработка технологии сборки и сварки воздухосборника В-6,3 из стали 16ГС	Лит.	Лист 2 / Листов 105
Провер.		Мещеряков А.С.					
Н. Контр.		Хорин А.В.				Каф. СЛПиМ, гр. 14М01	
Утверд.		Логинов О.Н.					

Содержание

Введение…….…….…..... 5

1 Литературно – патентный обзор…….. 6

2 Анализ объекта производства……..…..... 9

2.1 Служебное назначение и описание конструкции изделия……..…. 9

2.2 Технические требования……...……..……..... 10

3 Проектирование и расчет элементов конструкции изделия……..... 12

3.1 Выбор материала изделия.……..…….……... 12

3.2 Расчет толщины стенки корпуса……...……..……... 13

3.3 Расчет сварных соединений на прочность……..……..…. 17

4 Разработка технологии сборки и сварки изделия…….. 24

4.1 Разработка схемы технологического процесса изготовления…..… 24

4.2 Заготовительные операции…….……..… 25

4.3 Оценка свариваемости основных материалов конструкции…..... 35

4.4 Выбор и обоснование способов сборки и сварки изделия……... 36

4.5 Выбор сварочных материалов…….…. 39

4.6 Расчет параметров режимов сварки…… 43

4.7 Выбор сварочного оборудования…….....…… 68

4.8 Техника и технология сборки и сварки……..... 72

5 Контроль качества сварных соединений……...……..... 76

5.1 Предварительный контроль..……....…..…….…..……..... 76

5.2 Визуально измерительный контроль.……..…….. 76

5.3 Ультразвуковой контроль.…….…..…..……... 78

5.4 Капиллярный контроль…….....…….…..... 79

5.6 Механические испытания ……...…….…….. 80

5.7 Гидравлические испытания…… 80

6 Проектирование средств технологического оснащения…….. 82

Заключение……..…..……..... 86

Список используемых источников.……..…..... 87

Приложение А……..…….…. 91
Приложение Б……..……. 102

Введение

В данной выпускной квалификационной работе представлен технологический процесс сборки и сварки в заводских условиях элементов конструкции воздухосборника В – 6,3.

Проектируемая конструкция представляет собой 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:

– 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.

– выбор и модернизация средств технологического оснащения.

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

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 воздухосборника В – 6,3.

Патентное исследование проводится в следующем порядке:

– формулируется краткое чёткое задание;

– разрабатывается регламент поиска;

– обосновывается индекс международной патентной классификации;

– систематизируется и анализируется отобранная информация;

– обобщаются результаты, разрабатываются рекомендации;

– составляется отчёт.

Целью данного патентного исследования является исследование технического уровня и тенденции развития оборудования для сборки и сварки корпуса воздухосборника В – 6,3.

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

Дата составления регламента: 28.03.2018.

Объект поиска: стенды для сварки обечаек.

Начало поиска: 29.03.2018.

Завершение поиска: 13.04.2018.

Страны поиска: Россия.

Ретроспективность: 5 лет.

Основные элементы регламента приведены в таблице 1.

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

Таблица 1 – Регламент поиска

Предмет поиска	Индекс МПК	Шрота поиска	Глубина поиска	Источники информации
Стенд для сварки обечаек	*B*23*K*37/04	Россия	5 лет	Реестр изобретений Российской Федерации ФИПС
Стенд для сборки и сварки цилиндрической обечайки с днищем	*B*23*K*37/04	Россия	5 лет	Реестр изобретений Российской Федерации ФИПС
Установка для сварки кольцевых стыков обечаек	*B*23*K*31/02 *B*23*K*37/053 *B*23*K*101/12	Россия	5 лет	Реестр изобретений Российской Федерации ФИПС

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

а) *B*23*K*37/04 – стенд для сварки кольцевого стыка обечайки;

б) *B*23*K*37/04 – стенд для сборки и сварки цилиндрической обечайки с днищем;

в) *B*23*K*31/02; *B*23*K*37/053; *B*23*K*101/12 – установка для сварки кольцевых стыков обечаек.

Для проведения дальнейшего анализа были отобраны описания изобретений, представляющих собой полуавтоматические установки применяемых для сборки емкостных аппаратов. Результаты проведённого поиска отображены в таблице 2.

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.

Таблица 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, *RU*275642 *C*7, *B*23*K*37/04, *B*23*K*31/02	Ганин Ю. П., Казин М. А., Лапшин Г. А., Ткаченко А. Н., Россия, 3330940/25-27, Приоритеты 14.08.2014г 23.07.2015г	Стенд для сборки и сварки обечаек [1]
Технология сборки емкостного оборудования	Россия, *RU*345753*C*7, *B*23*K*37/04	Иванов А. И., Марченко В. Б., Гавва В. Н., Россия 4290100/31-27, Приоритеты 27.07.2015г 30.12.2015г	Стенд для сборки и сварки цилиндрической обечайки с днищем [2]
Технология сборки и сварки емкостного оборудования	Россия, *RU*2374053*C*7, *B*23*K*31/02, *B*23*K*37/053, *B*23*K*101/12	Двуреченский А. Г., Варавин И. И., Котов А. Н., Россия, 2007121422/02, Приоритеты 07.06.2015г 27.11.2006г	Установка для сварки кольцевых стыков обечаек [3]

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

2Анализ объекта производства

2.1 Служебное назначение и описание конструкции изделия

Объектом курсовой работы является воздухосборник В – 6,3. Это изделие конструктивно представляет собой цилиндрический, вертикальный сосуд объемом 6300 л. Состоит из следующих основных конструктивных элементов:

а) цилиндрической части (трех обечаек);

б) двух эллиптических днищ;

в) двух штуцеров;

г) четырех опор для установки по месту использования.

Данная конструкция и ее габаритные размеры изображены на рисунке 1.

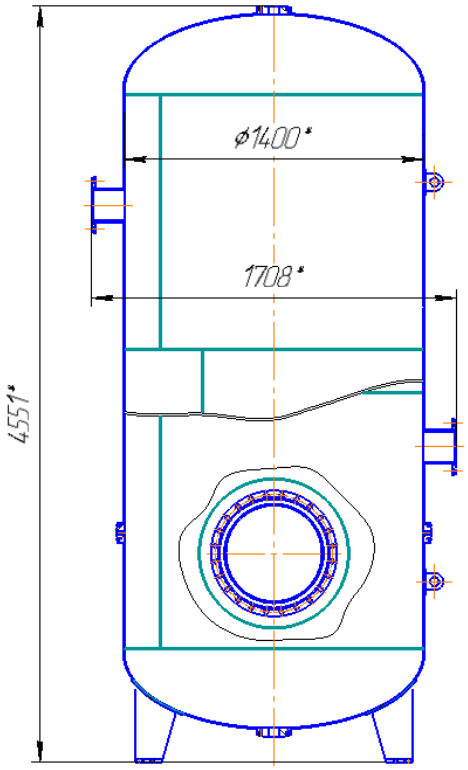


Рисунок 1– воздухосборник В – 6,3

Воздухосборник предназначен для сглаживания пульсаций сжатого воздуха и выравнивания давления в системе при работе компрессоров с избыточ-

ным давлением менее 0,7 МПа, а так же используется в целях создания запаса воздуха, сбора конденсата и охлаждения.

Основные размеры для данной ёмкости, номинальный объём которой составляет 6,3 м³ (6300 л), выбираются в соответствии с ГОСТ 9931-85 [4] и приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Основные размеры воздухосборника В – 6,3

Параметр	Объём номинальный, м³	Диаметр, мм	Длина конструкции, мм	Длина сваренных обечаек, мм	Площадь внутренней поверхности, м²
Значение	6,3	1400,0	4551,0	3600,0	20,4

Сортамент обечаек выбирается по ГОСТ 19903-2015 [5]. Сортамент днищ выбирается по ГОСТ 6533-78 [6].

2.2 Технические требования

Изготовление конструкции производится в соответствии с требованиями ГОСТ Р 52630-2012 [7], ГОСТ 31838-2012 [8], ПБ 03-584-03 [9], Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности [10].

Эксплуатируется в неотапливаемом помещении, при диапазоне температур от минус 20 до 40 °С, рабочей средой является сжатый воздух.

Расчетный срок службы 10 лет. Число циклов нагружения за весь срок службы не более 1000.

Поверхности сварных швов и околошовных зон, подлежащие контролю неразрушающему методами, должны соответствовать требованиям ОСТ 26-5-99 [11].

Воздухосборник испытывается на прочность и герметичность пробным гидравлическим давлением в соответствии с технической характеристикой в течение 10 или более минут. Течь и отпотевания в сварных швах, основном металле, фланцевых и резьбовых соединениях не допускаются.

В связи с тем, что конструкционные стали подвержены коррозии, их необходимо защитить от взаимодействия окружающей среды с поверхностью металла.

Перед тем как нанести антикоррозийное покрытие необходимо:

а) зачистить метал от ржавчины, окалин, и других поверхностных дефектов металла;

б) зачистить сварные швы от шлака, брызг, наплывов;

в) сварные швы должны быть без сварных неровностей, наплывов, подрезов и иметь плавный переход к основному металлу;

г) все поверхности должны быть обеспылены, обезжирены, и отчищены от оксидов.

Не допускаются подтеки лакокрасочных покрытий.

3 Проектирование и расчет элементов конструкции изделия

3.1 Выбор материала изделия

Выбор материала для сварной конструкции является одним из самых важных и первостепенных вопросов. От выбранного материала будет завесить работоспособность конструкции, ее надежность и себестоимость.

Стоимость изделия во многом будет завесить от используемой стали. Основное предпочтение при проектировании сварных конструкций отдается цветным и конструкционным сталям.

При выборе материала следует учитывать эксплуатационные свойства, такие как: диапазон рабочих температур, рабочее давление, наименование и состав рабочей и окружающей среды.

Выбор основного материала для сварных сосудов и их элементов производим в соответствии с ПБ 03-584-03 [9].

Таблица 4– Химический состав в процентах стали 16ГС

Элемент	C	Si	Mn	Ni, Cr, Cu	S	P	N	As
Содержание, %	0,12… 0,18	0,4… 0,7	0,9… 1,2	до 0,3	до 0,04	до 0,035	до 0,003	до 0,08

Основной материал воздухосборника выбираем по ГОСТ 5520-79 [12]. Так как рабочей средой сосуда является сжатый воздух, рабочее давление составляет 0,7 МПа, диапазон рабочих температур невысок и внешняя часть изделия взаимодействует не с агрессивной средой, то для корпуса воздухосборника в качестве основного металла целесообразно будет принять конструкционную низколегированную сталь марки 16ГС.

Полный химический состав стали 16ГС представлен в таблице 4 и регламентируется по ГОСТ 5520-79 [12].

Механические свойства стали 16ГС представлены в таблице 5.

Выбранная сталь не имеет склонности к хрупкости в местах сварки деталей и узлов, а так же сохраняет жесткость.

Таблица 5 – Механические свойства стали 16ГС при Т = 20°С

Параметр	Предел текучести, МПа	Временное сопротивление разрыву, МПа	Относительное удлинение, %
Значение	275,0…325,0	450,0…490,0	не менее 21

Для данной марки стали не свойственна склонность к перегреву: сталь не охрупчивается и не разрушается.

3.2 Расчёт толщины стенки корпуса

Рассчитаем толщину стенки обечайки по ГОСТ 14249-89 [13]. Схема обечайки представлена на рисунке 2.

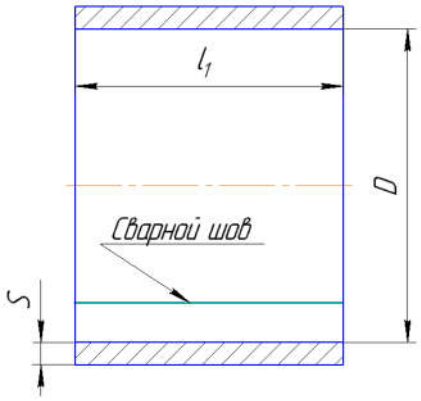


Рисунок 2 – Схема обечайки в разрезе: l_1 – длинна одной обечайки; S – толщина изделия

Исходя из заданных условий, принимаем максимальную расчетную температуру стенки равной плюс 40°С.

Давление в сосуде ($P_к$) во время действия предохранительного клапана определяем по формуле [13]:

$$P_к = P_{Раб} \cdot 1{,}15\,, \qquad (3.1)$$

где $P_{\text{Раб}}$ – рабочее давление в сосуде, Мпа.

Подставляем известные значения в формулу 3.1.

$$P_к = 0{,}7 \cdot 1{,}15 = 0{,}805 \text{ МПа}$$

Давление в сосуде $P_Р$, учитывающее кратковременное повышение его при срабатывании предохранительного клапана, без учета гидростатического давления определяем по формуле[13]:

$$P_Р = 0{,}9 \cdot P_к, \quad (3.2)$$

Подставляем известные значения в формулу 3.2.

$$P_Р = 0{,}9 \cdot 0{,}805 = 0{,}7245 \text{ МПа}$$

Расчетное давление P определяем по формуле [13]:

$$P = P_{\text{Раб}} \cdot 1{,}5 \quad (3.3)$$

Подставляем известные значения в формулу 3.3.

$$P = 0{,}7 \cdot 1{,}5 = 1{,}05 \text{ МПа}$$

Принимаем расчётное давление равным 1 МПа.

Согласно ПБ 03-584-03 [9], сосуды подлежат гидравлическому испытанию после их изготовления. Гидравлическое испытание сосудов, транспортируемых частями и собираемых на месте монтажа, допускается проводить после их сборки на месте установки. Пробное давление ($P_{пр}$) при гидравлическом испытании сосудов определяем по формуле [13]:

$$P_{пр} = 1{,}5 \cdot P, \quad (3.4)$$

Подставляем известные значения в формулу 3.4.

$$P_{пр} = 1{,}5 \cdot 0{,}7 = 1{,}05 \text{ МПа}$$

Толщину стенки обечайки (S) рассчитываем по формуле[10]:

$$S = \frac{P \cdot D}{2 \cdot [\sigma] \cdot 0{,}9 - P}, \quad (3.5)$$

где D – диаметр обечайки, мм;

[σ] – допускаемое напряжение при растяжении, МПа;

0,9 – коэффициент прочности сварных швов.

Определяем допускаемое напряжение для стали 16ГС при температуре 40°С.

Допускаемое напряжение $[\sigma]$ для данной марки стали при расчётной температуре находим по формуле [10]:

$$[\sigma] = [\sigma]_{20} + \frac{[\sigma]_{100} - [\sigma]_{20}}{t_2 - t_1} \cdot (t_2 - t_1), \quad (3.6)$$

где $[\sigma]_{20;100}$ – допускаемое напряжение, МПа при температуре 20 и 100°С;

$t_{1,2}$ – принятые температуры.

При температуре t_1 = 20 °С $[\sigma]_{20} = 196$ МПа;

При температуре t_2=100 °С $[\sigma]_{100} = 177$ МПа.

Подставляем известные значения в формулу 3.6.

$$[\sigma] = 196 + \frac{177 - 196}{100 - 20} \cdot (40 - 20) = 200{,}75 \text{ МПа}$$

Подставляем известные значения в формулу 3.5.

$$S_P = \frac{1 \cdot 1400}{2 \cdot 200{,}75 \cdot 0{,}9 - 1} = 3{,}68 \text{ мм}$$

Прибавка для компенсации коррозии C_1 определяем по формуле [10]:

$$C_1 = E_1 \cdot \tau, \quad (3.7)$$

где, E_1 – скорость коррозии, мм/год;

τ – срок службы изделия, лет.

Принимаем: E_1 = 0,1мм/год, τ = 10 лет.

Подставляем принятые значения в формулу 3.7.

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

Исполнительная толщина стенки без прибавки для компенсации минусового допуска $S_р$ вычисляется по формуле [10]:

$$S_1 = S_р + C_1, \quad (3.8)$$

Подставляем известные значения в формулу 3.8.

$$S_1 = 3{,}68 + 1 = 4{,}68 \text{ мм}$$

Предварительно принимаем лист толщиной 5 мм.

Проверяем необходимость учёта прибавки для компенсации минусового допуска C_2 по формуле [10]:

$$C_2 = 0{,}05 \cdot S_1, \quad (3.9)$$

Подставляем известные значения в формулу 3.9.

$$C_2 = 0{,}05 \cdot 5 = 0{,}25 \text{ мм}$$

Прибавка C_2 учитывается, так как составляет более 5% от толщины листа, согласно ГОСТ 14249-89 [10].

Расчётную толщину стенки обечайки S вычисляем по формуле [10]:

$$S = S_1 + C_2, \quad (3.10)$$

Подставляем известные значения в формулу 3.10.

$$S = 5 + 0{,}25 = 5{,}25 \text{ мм}$$

Принимаем исполнительную толщину стенки S равной 6 мм.

Произведем расчет днищ. Днища проектируемой ёмкости имеют эллиптическую форму. Выбор основных геометрических размеров днища проводят в соответствии с ГОСТ 6533-78 [11], таблица 6.

На рисунке 3 приведена расчетная схема эллиптических днищ, основные размеры днища представлены в таблице 6.

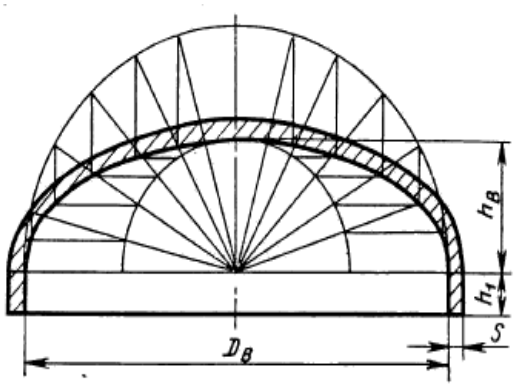


Рисунок 3 – Расчетная схема эллиптических днищ

Таблица 6 – Основные размеры днища

Параметр	D_B	h_1	$h_в$
Значение, мм	1400,0	25,0	350,0

Расчётную толщина стенки эллиптических днищ ($S_{1р}$) определяем согласно ГОСТ 24755-89, по формуле [12]:

$$S_{1P} = \frac{PR}{2\varphi[\sigma] - 0.5P} + c_1 + c_2, \qquad (3.11)$$

где R – радиус кривизны в вершине днища (равен диаметру);

φ – коэффициент для днищ в зависимости от формы (выполнено из 1 заготовки [12];

k – коэффициент запаса прочности [12].

Принимаем R = 1400 мм; φ = 1; k = 1,43.

Подставляем исходные значения в формулу 3.11.

$$S_{1p} = \frac{1 \cdot 1400}{2 \cdot [200,75] - 0,5 \cdot 1} + 1 + 0,25 = 4,7 \text{ мм}$$

Исходя из имеющегося сортамента сортового или фасонного проката для изготовления днищ ёмкостей требуемого объёма и назначения, с учетом толщины стенки обечайки принимаем толщину днищ равную 6 мм.

3.3 Расчёт сварных соединений на прочность

В конструкции ёмкости можно выделить четыре типа сварных соединения: три продольных (продольные вальцовочные швы обечайки); четыре кольцевых (кольцевые соединения обечайки и днищ); три угловых (кольцевые соединения штуцеров с обечайками) и четыре нахлёсточнных шва (швы соединяющие опоры с днищем).

Продольные и кольцевые швы обечаек выполняют с помощью автоматической сварки под слоем флюса и оформляют в соответствии с ГОСТ 8713-79 [16].

Анализ типов соединений по ГОСТ 8713-79 [16] при известной толщине стенок обечайки и днищ показывает, что проплавление корня шва обеспечит двусторонний шов. Этому условию отвечают типы соединения С7. Форма по-

перечного сечения подготовленных кромок и сварного шва, соединения типа С7 представлена на рисунке 4.

Проектируемые сварные соединения должны быть проверены на прочность для кольуевых и продольных и напряжение при срезе для угловых.

Проверку прочности сварных соединений днища и обечайки считаем выполненой, если выполняется условие:

$$\sigma \le [\sigma],$$

где σ – напряжение в сварном соединении, МПа;

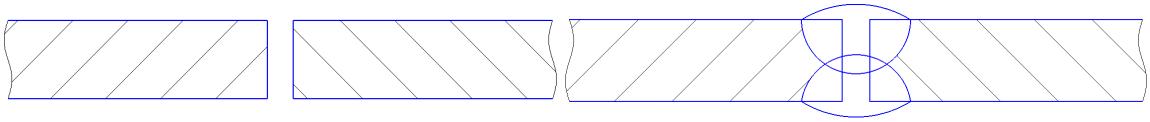
$[\sigma]$ – допускаемое напряжение при растяжении, МПа.

Напряжение в сварном соединении σ определяем по формуле [17]:

$$\sigma = \frac{N}{F}, \qquad (3.12)$$

N – продольная нагрузка, растягивающая шов;

F – площадь поперечного сечения шва.



а) б)

Рисунок 4 – Форма поперечного сечения сварного соединения С7: а) подготовленных кромок, б) сварного шва

Принимаем для стали 16ГС $[\sigma]$ = 200,75 МПа [17].

Продольную нагрузку N рассчитываем по формуле [17]:

$$N = P_{пр} \cdot T\ , \qquad (3.13)$$

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

Так как в конструкции ёмкости применяются эллиптические днища, площадь их внутренней (расчетной) поверхности, на которую действует избыточное давление T, определяем по формуле [17]:

$$T = \frac{1}{2}\pi ab, \tag{3.14}$$

где a – длина большой полуоси;

b – длина малой полуоси.

Согласно ранее принятым значениям a = 1400 мм; b = 375 мм.

Подставляем известные значения в формулу 3.14.

$$T = \frac{1}{2}3{,}14 \cdot 1400 \cdot 375 = 824250 \text{мм}^2$$

Подставляем известные значения в формулу 3.13.

$$N = 1 \cdot 824250 \approx 824 \text{ кН}$$

Длину рассчитываемого сварного шва $L_{ш}$ определяем по формуле [17]:

$$L_{ш} = \pi D - 10 \tag{3.15}$$

Подставляем известные значения в формулу 3.15.

$$L_{ш} = 3{,}14 \cdot 1412 - 10 = 4436{,}24 \approx 4437 \text{ мм}$$

Подставляем известные значения в формулу 3.12.

$$\sigma = \frac{800 \cdot 10^3}{8 \cdot 4424} = 30{,}14 \text{ МПа}$$

Проверяем выполнение условия:

$$\sigma \le [\sigma],$$

Подставляем известные значения.

$$30{,}14 \text{ МПа} \le 200{,}75 \text{ МПа}$$

Так как вычисленное значение напряжения в сварном шве, равное 30,14 МПа меньше нормативного значения 200,75 МПа, сварные соединения работоспособны.

Для продольного шва обечайки, выполняемого автоматической сваркой под слоем флюса, применяем соединение типа С7, расчёт на прочность которого ведётся по формуле [17]:

$$\sigma_{ш} = \frac{N}{F_{ш}}, \tag{3.16}$$

где N – растягивающая сила.

Растягивающая сила N будет определяться по формуле [17]:

$$N = P_{\text{пр}} \cdot T \,, \tag{3.17}$$

где T – площадь металла шва, мм^2.

Площадь металла шва T определяется по формуле [17]:

$$T = \frac{1}{2}\pi\frac{d_{ш}^{2}}{4} \tag{3.18}$$

Подставляем известные значения в формулу 3.18.

$$T = \frac{1}{2}\cdot 3{,}14 \cdot \frac{1412^2}{4} = 769300\text{мм}^2$$

Определяем растягивающие усилие N подставив полученные и известные значения по формуле 3.17.

$$N = 0{,}971 \cdot 769300 \approx 747 \text{ кН}$$

Определяем прочность данного шва $\sigma_{\text{Ш}}$ подставив известные значения по уравнению 3.16.

$$\sigma_{ш} = \frac{747 \cdot 10^3}{6 \cdot 1200} = 103{,}75 \text{ МПа}$$

Соединение считаем работоспособным если выполняется условие:

$$\sigma_{ш} \le \frac{m \cdot R_{\text{н}}}{n \cdot \gamma_{\text{м}}},$$

где N – растягивающая сила, кН;

m – коэффициент условий работы;

$\gamma_{\text{м}}$ – коэффициент безопасности по материалу;

n – коэффициент перегрузки;

$R_{\text{Н}}$ – нормативное сопротивление материала, МПа.

Принимаем $m = 1$; $\gamma_{\text{м}} = 1{,}1$; $n = 1$ [17].

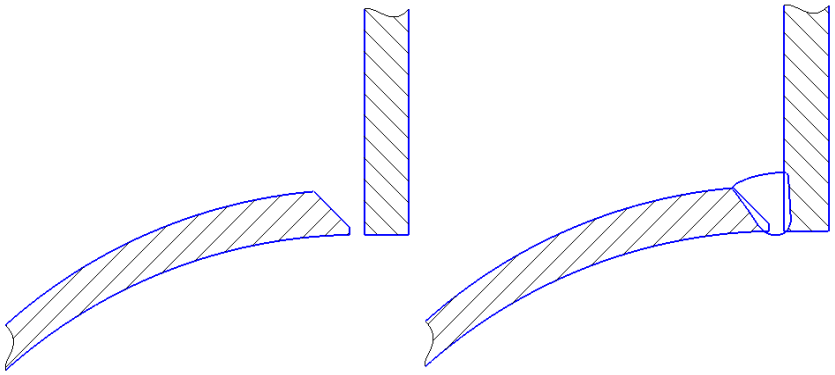
Подставляем известные значения в неравенство.

$$103{,}75 \text{ МПа} \le \frac{1 \cdot 300}{1 \cdot 1{,}1} \text{ МПа},$$

$$103{,}75 \text{ МПа} \le 272{,}72 \text{ МПа}$$

Так как вычисленное значение напряжения в сварном шве, равное 103,75 МПа меньше нормативного значения 272,72 МПа, сварное соединение работоспособно.

Для приварки штуцеров применяют соединения У7 – 1, изображенные на рисунке 5 в соответствии с РД 26-18-8-89 [18].



а) б)

Рисунок 5 – Форма поперечного сечения сварного соединения У7 – 1: а) подготовленных кромок; б) сварного шва

Расчет угловых соединений проводим по формуле [17]:

$$\tau = \frac{N_1}{F}, \tag{3.19}$$

где τ – напряжение среза в угловом сварном соединении;

N_1 – продольная нагрузка, растягивающая шов;

F – площадь поперечного сечения шва.

Расчет площади поперечного сечения шва проводим по формуле[17]:

$$F = 0{,}7 \cdot h_{ш} \cdot L_{ш}, \tag{3.20}$$

где 0,7 – коэффициент определения расчетной толщины углового шва;

$h_{ш}$ – толщина углового шва, принимаемая равной катету вписанного в шов равнобедренного прямоугольного треугольника.

Для рассматриваемого углового сварного соединения величину $h_ш$ определяем по формуле [17]:

$$h_ш = \sqrt{e^2 + g^2} \tag{3.21}$$

Согласно выполненному ранее расчету и ГОСТ 5264-80 [19] имеют сле-

дующие конструктивные параметры: S= 6 мм; e не более 16 мм; g = 4+2 мм.

Подставляем исходные данные в формулу 3.21.

$$h_ш = \sqrt{16^2 + 4^2} = 16{,}49 \approx 17 \text{ мм}$$

Для проектируемого штуцера длину сварного шва определяем по формуле [17]:

$$L_ш = \pi \cdot d_ш - 10 \text{мм}, \quad (3.22)$$

где $d_ш$ – внутренний диаметр штуцера.

Подставляем исходные данные в формулу 3.22.

$$L_ш = 3{,}14 \cdot 147 - 10 = 451{,}58 \approx 452 \text{ мм}$$

Допускаемое напряжение при срезе рассчитываем по формуле [17]:

$$[\tau] = (0{,}5 \ldots 0{,}65) \cdot [\sigma] \quad (3.23)$$

Для стали 16ГС $[\sigma]$ = 200,75 МПа[17].

Подставляем исходные данные в формулу 3.23.

$$[\tau] = (0{,}5 \ldots 0{,}65) \cdot 200{,}75 = 100{,}38 \ldots 130{,}49 \text{ МПа}$$

Площадь для штуцера определяем по формуле [17]:

$$V = \pi \frac{d_ш^2}{4} \quad (3.24)$$

Подставляем исходные данные в формулу 3.25.

$$V = 3{,}14 \cdot \frac{147^2}{4} = 16963{,}07 \approx 16963 \text{ мм}^2$$

Продольная нагрузка N_1 определяется по формуле [17]:

$$N_1 = P_{пр} \cdot V \quad (3.25)$$

Подставляем исходные данные в формулу 3.25.

$$N_1 = 1 \cdot 16963 \approx 17 \text{ кН}$$

Подставляем исходные данные в формулу формуле 3.20.

$$F = 0{,}7 \cdot 17 \cdot 452 = 5378{,}8 \text{ мм}^2$$

Подставляем полученные данные в уравнение 3.19.

$$\tau = \frac{17 \cdot 10^3}{5378{,}8} = 3{,}16 \text{ МПа}$$

Соединение считаем работоспособным если выполняется условие:

$$\tau \leq [\tau]$$

Подставляем исходные данные в неравенство.

$$3{,}16 \text{ МПа} \leq 100{,}38 \text{ МПа}$$

Так как вычисленное значение напряжения на срезе в угловом шве равное 3,16 меньше нормативного 100,38 Н/мм^2 сварное соединение работоспособно.

4 Разработка технологии сборки и сварки изделия

4.1 Разработка схемы технологического процесса изготовления

Технологический процесс состоит из целого ряда технологических операций, которые выполняются в строго определенной последовательности. Согласно ГОСТ 3.1109-82 [20] технологической операцией является законченная часть технологического процесса, выполняемая на одном рабочем месте.

Обеспечение технологичности конструкции изделия регламентируется ГОСТ 14.201-83 [21], данный стандарт устанавливает основные положения, систему показателей, последовательность и содержание работ по обеспечению технологичности.

Технологический процесс изготовления включает в себя:

а) правка проката. Осуществляется в холодном состоянии местной пластической деформацией. От ржавчины и грязи листы очищаются с помощью шабера и щетки;

б) резка. Производится на станке плазменной резки с ЧПУ. Подготовка чертежей для резки осуществляется в компьютерных программах;

в) обработка кромок. Выполняется на специальных кромкострогальных станках и с помощью кромкофрезерных машин, а так же производится зачистка под сварку на ширину в 20 мм от торца с обеих сторон;

г) вальцовка листа. Выполняется на четырехволковом листогибочном станке с ЧПУ;

д) сборка стыков обечаек под сварку, смещение кромок не боле 1 мм;

е) прихватка стыков. Зачистка прихваток. Зачистку производят с помошью УШМ;

ж) сварка обечаек по технологической карте сварки. Зачистка корня шва;

з) зачистка шва от шлака;

и) калибровка обечаек;

й) сборка обечаек между собой и их сварка;

к) сборка и сварка с верхним днищем;

л) разметка и вырезка отверстий под люк–лаз, штуцера и патрубки;

м) сборка и сварка с нижним днищем;

н) сборка, прихватка и сварка штуцеров и люк–лаза;

о) сборка и сварка нижнего днища с опорными стойками;

п) контроль согласно карте контроля сварных швов.

В данном технологическом процессе изготовления предлагается заменить: ручную дуговую сварку продольных и стыковых швов обечаек на автоматическую под слоем флюса; ручную дуговую сварку кольцевых швов днищ с обечайками на механизированную в защитном газе; приварку штуцеров ручной дуговой сваркой предлагается заменить, на механизированную сварку в среде защитных газов. Это позволит повысить производительность процесса, благоприятно скажется на качестве сварных швов.

4.2 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 при изготовлении сварных конструкций можно разделить на два основных этапа:

а) раскрой полуфабрикатов, что составляет 10 % всего объёма заготовительных работ.

б) 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.

К операциям заготовительного процесса относят:

– составление схемы раскроя;

– правка;

– раскрой;

– обработка кромок;

– гибка (вальцовка);

– маркировка.

Для изготовления обечаек и заготовок для днищ применяют заготовки из листового проката, поставляемого по ГОСТ 19903-2015 [5]. Для получения заготовок требуемых геометрических размеров и формы проводится резка металла.

Обечайка представляет собой конструкцию цилиндрической формы со следующими размерами: 1400×1200×6 ($D \times l_1 \times S$).

Выбираем заготовку для обечайки по ГОСТ 19903-2015 [5] «Прокат листовой горячекатаный». Выбираем лист (рисунок 8) со следующими параметрами: 4500×1250×6 ($L_о \times l_о \times S$).

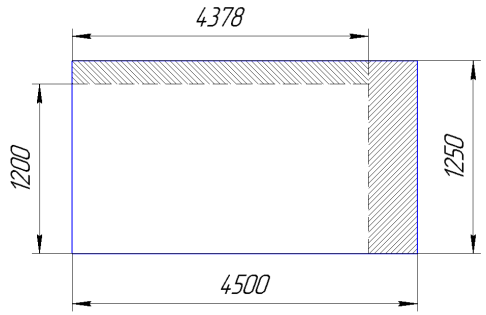


Рисунок 7 – Раскрой выбранного для обечайки листа

Длину заготовки изделия $L_з$ определяем по формуле [14]:

$$L_з = \pi \times (D\text{-}S) \quad (4.1)$$

Подставляем исходные данные в формулу 4.1:

$$L_з = 3{,}14 \times (1400\text{-}6) = 4378 \text{ мм}$$

Определяем коэффициент использования материала Ким, согласно ГОСТ 14.322-83 [22] по формуле:

$$\text{Ким} = \frac{S_{и1}}{S_{з2}} \quad (4.2)$$

где $S_и$ – площадь изделия, мм;

$S_з$ – площадь заготовки, мм.

Площадь изделия $S_{и1}$ определяем по формуле [17]:

$$S_{и1}=L_{з1}\times l_{об} \quad (4.3)$$

Подставляем исходные данные в формулу 4.3.

$$S_{и1}=4378\times 1200=5253600 \text{ мм}^2$$

Площадь заготовки $S_{з1}$ определяем по формуле [17]:

$$S_{з1}=L_{о}\times l_{о} \quad (4.4)$$

Подставляем исходные данные в формулу 4.4.

$$S_{з1}=4500\times 1250=5626000 \text{ мм}^2$$

Выбираем размер листа путем минимальных отходов с помощью коэффициента использования материала Ким по формуле 4.2.

$$\text{Ким}=\frac{5253600}{5626000}=0{,}93$$

По ГОСТ 14.322-83 [22] должно выполнятся условие:

$$\text{Ким} > 0{,}75$$

Подставляем исходные данные для проверки условия.

$$0{,}93 > 0{,}75$$

С учетом выбора данных размеров листа (рисунок 8) коэффициент использования материала Ким равен 0,93, что больше предельного значения 0,75, это сравнение свидетельствует о технологичном выборе заготовки для изготовления обечайки.

Для раскроя листа металла с целью дальнейшего изготовления из него обечайки используется станок плазменной резки с ЧПУ «СПР 6020» представленный на рисунке 8.

Подготовка чертежей для станка осуществляется в программах *AvtoCAD* и *ArchiCAD*, а также *Corel Draw* и других. Открыть чертеж можно в *SheetCamTNG*: здесь создают массив для работы с числовым программным управлением. Эта программа позволяет решать основные задачи, предшествующие запуску технологического процесса, в том числе компоновку деталей и изменение их величины. Главной ее задачей является создание модели движения резака.

Рисунок 8 – Станок плазменной резки с ЧПУ СПР 6020

Основные технические характеристики станка СПР 6020 представлены в таблице 8.

Таблица 8 – основные технические характеристики машины плазменной резки СПР 6020

Параметр	Значение
Размер рабочего поля, мм	6100,0×2100,0
Габариты станка, мм	6700,0×2650,0
Максимальная грузоподъемность станка, кг	4000,0
Максимальная толщина разрезаемого металла, мм	До 50,0
Температура эксплуатации, гр. *С*	0…35
Вертикальный ход перемещения резака *Z*, мм	180,0
Точность позиционирования, мм	0,1
Точность плазменной резки (зависит от толщины металла), мм	0,1
Максимальная скорость холостого хода, м/мин	15,0
Компрессор, атм	6
Бесконтактные аварийные датчики, шт	3
Стойка управления ЧПУ с компьютером и монитором, шт	1

На данном станке вырезается необходимая форма листа для будущей обечайки, а так же отверстия для приварки штуцеров.

Для нарезания кромок по краям листа используется кромкострогальный станок 7808 представленный на рисунке 9.

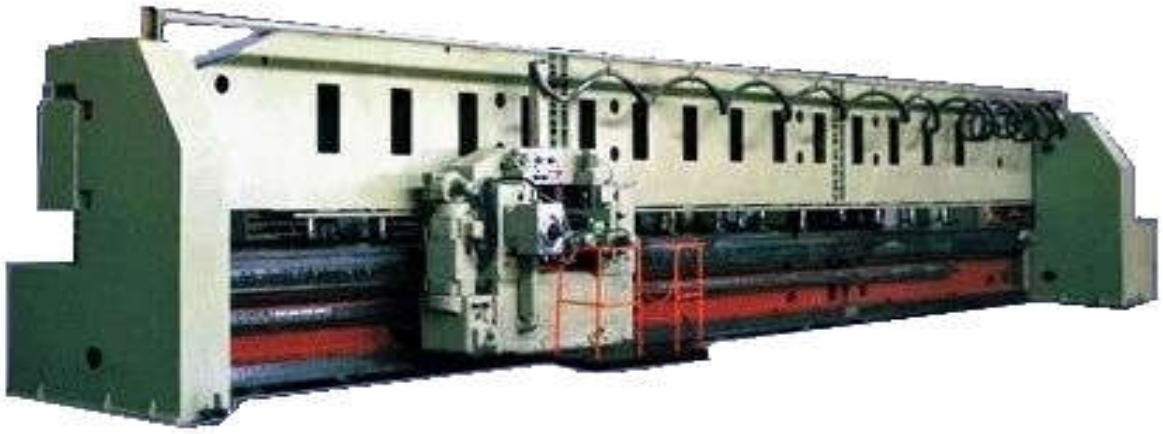


Рисунок 9 – Кромкострогальный станок 7808

Станок модели 7808 предназначен для обработки методом строгания горизонтальных, вертикальных и наклонных поверхностей кромок листов из черных и цветных металлов.

Технические характеристики кромкострогального станка представлены в таблице 9.

Таблица 9 – Технические характеристики кромкострогального станка 7808

Параметр	Значение
Наибольшие размеры обрабатываемого изделия	
Длина, мм	8000,0
Ширина, мм	2000,0
Высота, мм	200,0
Количество гидравлических прижимов листа, шт	8
Количество ручных прижимов листа, шт	3
Количество суппортов, шт	2
Габариты станка	
Длина, мм	14150,0
Ширина, мм	4500,0
Высота, мм	3250,0
Масса станка, кг	38500,0

Для нарезания кромок в отверстиях под штуцера используется кромкофрезерная машинка *EKF* 300/450 представленная на рисунке 10.

Рисунок – 10 Кромкофрезерной машинка *EKF* 300/450.

Агрегат для снятия фаски *EKF* 300/450 предназначен для снятия прямых и криволинейных фасок с внутренних и наружных, прямых и радиусных кромок под углом 30 или 45 градусов. Технические характеристики представлены в таблице 10.

Таблица 10 – Технические параметры машинки *EKF* 300/450

Параметр	Значение
Толщина обрабатываемого листа, мм	не более 100
Глубина фаски, мм	0…8,0
Угол фаски, град	30/45
Электропривод, Вт	15000,0
Частота вращения фрезы, об/мин	6000,0
Габаритные размеры, мм	330,0×138,0×295,0
Масса, кг	4,6

Обработанная фаскоснимателем кромка получается ровной и гладкой, не требует дополнительной обработки.

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 операций вальцовки принимают четырехволковый листогибочный станок с ЧПУ *W*12*NC* – 40×2500 представленный на рисунке 11.

Рисунок 11 – Вальцовочный станок *W12NC* – 40×2500.

Технические параметры вальцовочного станка представлены в таблице 11.

Таблица – 11 Технические параметры вальцовочного станка *W12NC-40x2500*

Параметр	Значение
Максимальная ширина гибки, мм	2500,0
Максимальная толщина гибки, мм	40,0
Толщина подгибки, мм	32,0
Скорость гибки, м/мин	4,5
Минимальный диаметр обечайки при полной нагрузке, мм	1200,0
Предел текучести, МПа	245,0
Диаметр верхнего валика, мм	550,0
Диаметр нижнего валика, мм	530,0
Диаметр бокового валика, мм	280,0
Мощность основного двигателя, кВт	37,0

Данный станок обладает всеми необходимыми характеристиками для вальцовки обечаек необходимого размера.

Днище изготавливается методом горячей объемной штамповки. Горячая объёмная штамповка – это вид обработки металлов давлением, при которой формообразование поковки из нагретой заготовки осуществляют с помощью специального инструмента – штампа.

Штамповка выполняется с отбортовкой.

Далее механическим путем удаляют окалину, проводят контроль толщины металла.

Для штамповки эллиптических днищ используем гидравлический пресс *Erfurt PKnVT VI* 800 *FS*. Предназначен для холодного выдавливания рельефных полостей, поверхностей, для выдавливания рельефа штампов и может быть применен в условиях серийного производства. Технические характеристики приведены в таблице 12.

Таблица 12 – Технические характеристики гидравлического пресса *Erfurt PKnVT VI* 800 *FS*

Параметр	Значение
Максимальное усилие, *т*	800,0
Внутренний ход ползуна, мм	800,0
Наружный ход ползуна, мм	630,0
Максимальная закрытая высота, мм	500,0
Минимальная закрытая высота, мм	355,0
Число ходов в минуту	16
Размер стола, мм	3150,0×2100,0
Внутренний размер ползуна, мм	2500,0×1600,0
Наружный размер ползуна, мм	3150,0×2100,0

Для вырезки отверстий под штуцера и люк-лаз используется источник плазменной резки с ручным плазмотроном *PowerCut* 700.

Данный аппарат имеет небольшие габариты и массу, малое потребление энергии, но ограничен по максимальной мощности (сила тока, как правило, менее 100А). Технические характеристики представлены в таблице 13.

Таблица 13 – Технические характеристики источника плазменной резки с ручным плазмотроном *PowerCut* 700

Наименование	Характеристика
Диапазон регулирования тока, А	30,0-50,0
Коэффициент мощности при максимальном токе	0,88
Напряжение холостого хода, В	320,0
Размеры, Д×Ш×В, мм	558,0×210,0×380,0
Масса, кг	21,0
Рабочая температура, °С	от минус 10 до плюс 40

Основные размеры эллиптического днища приведены на рисунке 12.

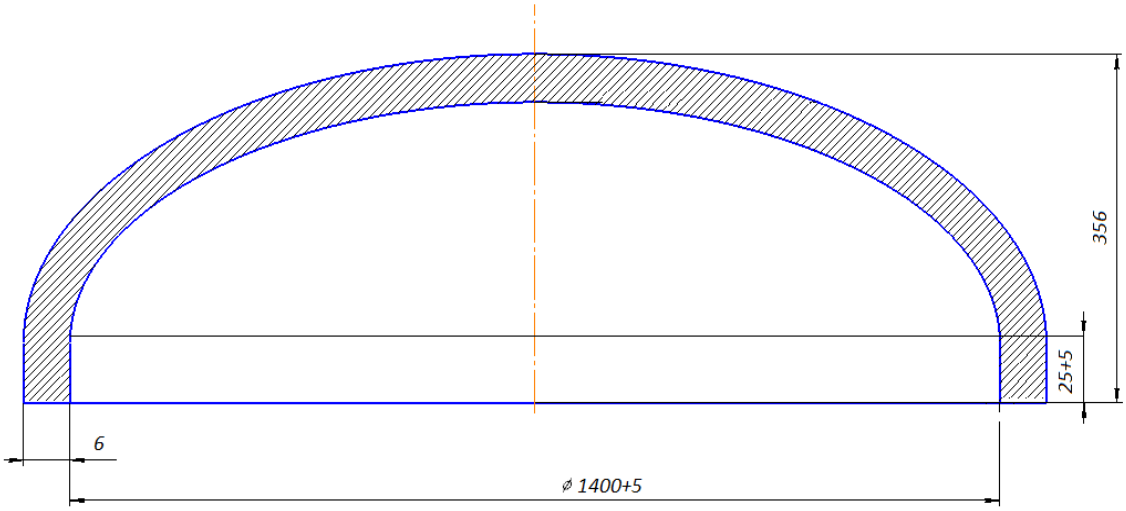


Рисунок 12 – Эллиптическое днище

Диаметр исходной заготовки из листа $D_д$ рассчитываем по формуле [21]:

$$D_д = 2\sqrt{(D_B + s)\cdot(h_1 + 0{,}345\cdot 1{,}002\cdot(D_В + s))}, \quad (4.5)$$

где: $D_В$ – внутренний диаметр днища, мм;

s – толщина стенки днища, мм;

h_1 – высота отбортовки днища, мм.

Подставляем в формулу 4.5 исходные значения.

$$D_д = 2\sqrt{(1400+6)(25+0{,}345\cdot 1{,}002\cdot(1400+6))} = 1685\,\text{мм}$$

Размеры заготовки для одного днища 1700×1700, из сортового проката по

ГОСТ 19903-2015 [5], для двух днищ выбираем лист размером 3400×1700.

Схема раскроя листа размером 3400×1700 для изготовления двух эллиптических отбортованных днищ представлена на рисунке 13.

Коэффициент использования материала $Ким_1$ для изготовления двух днищ будет определяться по формуле [22]:

$$Ким_1 = \frac{2 \cdot \pi \cdot \left(\frac{D_д}{2}\right)^2}{S_з} \quad (4.6)$$

Подставляем известные значения в формулу 4.4.

$$S_з = 3400 \times 1700 = 5626000 \text{ мм}^2$$

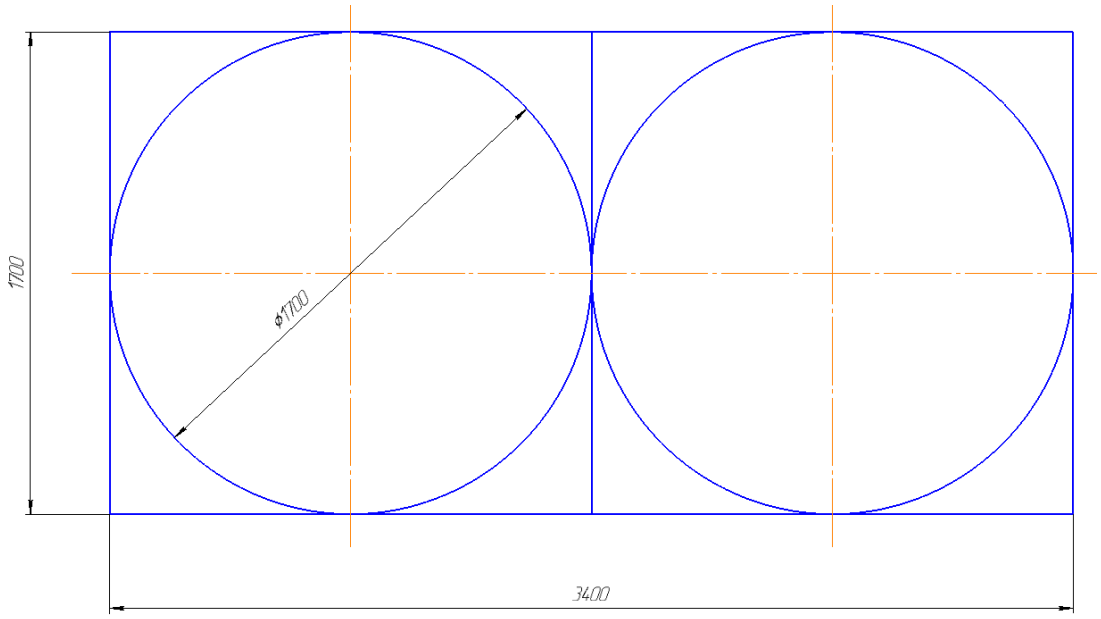


Рисунок 13 – Схема раскроя листа размером 3400×1700 для изготовления двух эллиптических отбортованных днищ

Подставляем известные значения в формулу 4.4.

$$Ким = \frac{2 \cdot 3{,}14 \cdot \left(\frac{1685}{2}\right)^2}{5626000} = 0{,}79$$

По ГОСТ 14.322-83 [22] должно выполнятся условие:

$$Ким > 0{,}75$$

Подставляем исходные данные для проверки условия.

$$0,95 > 0,75$$

С учетом выбора данных размеров листа (рисунок 13) коэффициент использования материала (Ким) равен 0,79, что больше предельного значения 0,75. Данное значение коэффициента свидетельствует о технологичном выборе заготовки для изготовления днищ.

4.3 Оценка свариваемости основных материалов конструкции

Большую роль при проектировании сварных конструкций играет свариваемость. Свариваемость – свойство материала образовывать неразъемное соединение с требуемым качеством и уровнем физико-механических и функциональных свойств соединения как в процессе получения, так и при эксплуатации изделия. Свариваемость низкоуглеродистых сталей определяется в зависимости от углеродного эквивалента.

По свариваемости стали классифицируют на 3 группы:

– хорошо свариваемые стали, углеродный эквивалент которых не превышает 0,35%;

– удовлетворительно свариваемые стали, углеродный эквивалент которых находится в диапазоне от 0,35 до 0,5%;

– плохо свариваемы стали, углеродный эквивалент которых более 0,5%, в этом случае необходимы дополнительные операции.

Углеродный эквивалент $C_{экв}$ определяется по формуле [17]:

$$C_{экв} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Si}{24} + \frac{Cr}{5} + \frac{Ni}{40} + \frac{Cu}{13} + \frac{V}{14} + \frac{P}{2},\% \qquad (4.7)$$

Подставляем исходные значения в формулу 4.7.

$$C_{экв} = 0,12 + \frac{0,9}{6} + \frac{0,15}{24} + \frac{0,15}{5} + \frac{0,15}{40} + \frac{0,15}{13} = 0,321\%$$

Углеродный эквивалент для стали 16ГС не превышает 0,35%, следовательно, эта хорошо свариваемая сталь.

4.4 Выбор и обоснование способов сварки изделия

Для выполнения стыковых и продольных швов принимаем автоматическую сварку под слоем флюса.

Сварка под слоем флюса представленная на рисунке 16 является одним из распространённых способов механизированной сварки плавящимся электродом.

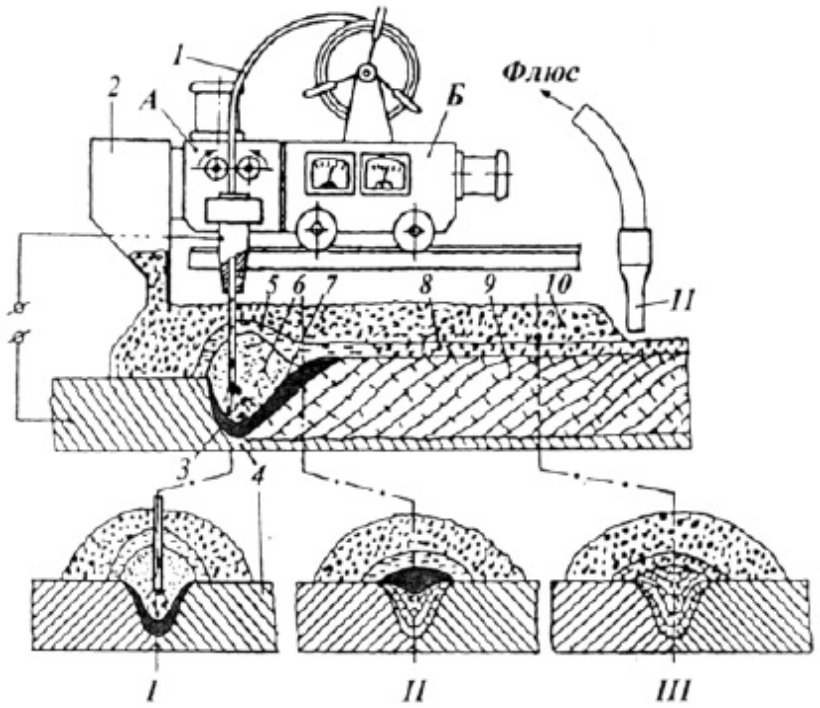


Рисунок 14 – Схема сварки под флюсом: А – сварочная головка; Б – механизм перемещения; I, II, III – поперечные сечения в различных зонах шва; 1 – электродная проволока; 2 – бункер; 3 – дуга; 4 – основной металл; 5 – флюс; 6 – закрытая полость; 7 – сварочная ванна; 8 – шлаковая корка; 9 – сварной шов; 10 – нерасплавленная часть; 11 – флюсоотсос

Во время сварки под слоем флюса применяется, свернутая в кассету или бухту, электродная проволока 1. Перемещение вдоль сварочных кромок, так же подача в зону горения сварочной дуги электродной проволоки механизированы и выполняются сварочным агрегатом оснащенным специальными устройствами такими как, бункер 2 для внедрения в зону сварка флюса и отсоса 11 не распы-

лившейся части 10 со сварного шва для отправки назад в бункер. Перед началом сварочного процесса вдоль свариваемых кромок засыпают флюс толщиной от 50 до 60 мм. При включении автомата зажигается дуга, находящаяся непосредственно между изделием и концом электродной проволоки. Под действием высоких температур происходит расплавление электродной проволоки 1, части флюса 5 и основного металла 4. Дуга горит в закрытой полости 6, которая ограничена сварочной ванной 7 и оболочкой шлака. В полости находятся пары металлов, газа и флюса. Возникающие статическое давление предотвращает разбрызгивание жидкого металла и нарушения в формировании сварного шва.

Обладая относительно малой плотностью, расплавленный шлак всплывает над жидким металлом сварочной ванны и покрывает ее плотным слоем. По мере движения электрода происходит кристаллизация металлической и шлаковых ванн, образуется сварной шов 9, который покрыт шлаковой коркой 8. По окончанию сварки шлаковая корка убирается.

Автоматической сваркой под слоем флюса выполняют нахлёсточные, стыковые и тавровые соединения в нижнем положении. Флюсы разнообразны, обладают разными свойствами, составом и назначение, при сварке выполняют следующие функции:

а) зашита расплавленного металла сварочной ванны от контакта с воздухом;

б) легирование, рафинирование и раскисление металла шва;

в) изменение теплового режима сварки, за счет понижения скорости охлаждения металла;

г) обеспечение устойчивого горения дуги;

д) улучшение условий формирования шва.

Недостатками данного метода являются: хранение и подготовка сварочных флюсов; отсутствие возможности выполнять сварку в разных пространственных положения, без специального оборудования; затруднена регулировка положения дуги относительно кромок изделия.

Данный способ широко применяется в сварке разнородных металлов и сплавов толщиной от 1,5 до 150 мм и более в цеховых и монтажных условиях.

Для выполнения кольцевых швов днищ и всех угловых соединений применяем механизированную сварку в среде CO_2.

Суть способа механизированной сварки в защитных газах неплавящимся и плавящимся электродом схематично изображена на рисунке 16.

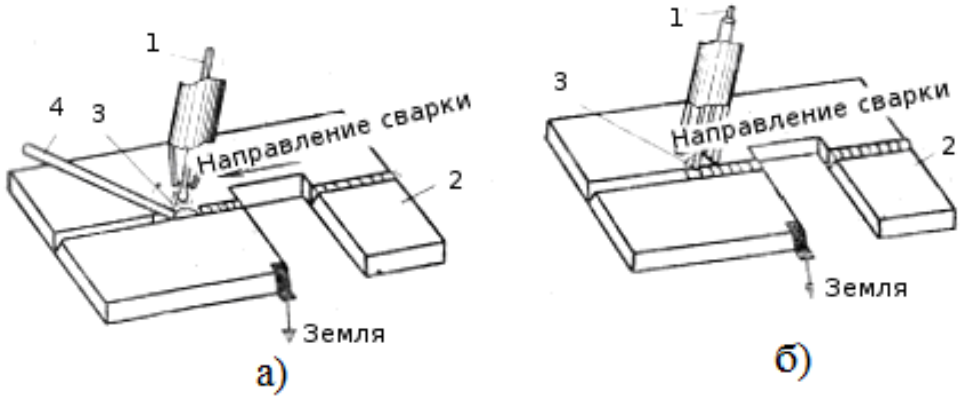


Рисунок 16 – Схема процесса сварки в среде защитных газов: а) неплавящимся электродом; б) плавящимся электродом

При сварке плавящимся электродом дуга горит между основным металлом 2 и сварочной проволокой 1 в защитном газе 3. Проволока подается механически с определенной скоростью, которая зависит от напряжения дуги.

При сварке неплавящимся электродом дуга возбуждается между основным металлом 2 и концом вольфрамового или угольного электрода 1 и горит в защитном газе 3. При данном способе сварки в дугу подается присадочная проволока 4, с целью заполнения разделки.

Установка для сварки в среде защитных газов состоит из сварочного полуавтомата, набора газоэлектрических горелок, баллонов с газами, источника тока и очистителя.

4.5 Выбор сварочных материалов.

Применяемые сварочные материалы (сварочная проволока, электроды, флюс) должны соответствовать требованиям технических условий или стандартов на их поставку, что должно быть подтверждено сертификатом.

Поступающие на предприятия сварочные материалы до запуска в производство должны быть приняты отделом технического контроля.

При приемке сварочной проволоки проверяется:

а) наличие сертификатов на поставленную проволоку и соответствие его данных требованиям ГОСТ 2246-70 [23];

б) наличие бирок намотках и соответствие их данных сертификатам;

в) состояние поверхности проволоки и ее химическое соответствие ГОСТ 2246-70 [23].

Сварочная проволока должна быть ровной, без перегибов, на ее поверхности не должно быть трещин, окалины, масел, следов коррозии и других загрязнений.

Сварочную проволоку следует выбирать, исходя из выбранного ранее материала. Выбор сварочной проволоки проводится по ГОСТ 2246-70 [23]. Так как в сварочном материале содержаться легирующие элементы (марганец и кремний), необходима легированная проволока, в которой предпочтительно должны присутствовать те же легирующие элементы. Для проведения сварочных работ данной конструкции, подходит проволока Св-12ГС, химический состав которой представлен в таблице 14.

Таблица 14 – Химический состав проволоки Св-12ГС, %

Элемент	C	Si	Mn	Cr	Ni	S	P	N
Содержание, %	до 0,14	0,6…0,9	0,8…1,1	до 0,2	до 0,3	до 0,0025	до 0,05	до 0,01

Широко применяется в промышленности высокомарганцовистый флюс

ОСЦ-45. Он представляет собой силикат марганца $MnOSiO_2$ с добавкой фтористого кальция. Для сварки выбираем флюс АН-348А регламентируемый по ГОСТ 9087-81 [24], который обеспечивает большую устойчивость горения дуги по сравнению с флюсом ОСЦ-45.

При приемке флюса проверяется:

– наличие сертификата на поставленный флюс и соответствие его данных требованиям стандарта или технических условий;

– наличие ярлыков на мешках или другой таре и соответствие их данных сертификатам;

– сохранность упаковки.

В случае несоответствия данных сертификата данным ярлыков завод-потребитель должен проводить испытания сварочного флюса в соответствии с ГОСТ 9087-81 [24].

Использование флюсов в случае нарушения условий хранения, не допускается. Применение разрешается только после проведения повторной прокалки по режимам согласно паспортам.

Очистку, прокалку, маркировку, упаковку, хранение и выдачу сварочных материалов следует организовать так, чтобы исключить возможность перепутывания различных марок и партий.

Сварочные флюсы должны обеспечивать:

а) надежную защиту расплавленного металла от воздействия кислорода и азота воздуха;

б) устойчивое стабильное горение дуги;

в) необходимые механические свойства металла шва;

г) хорошее формирование шва, хороший внешний вид и отсутствие внутренних дефектов;

д) легкое отделение шлаковой корки от поверхности металла;

е) отсутствие выделения пыли и вредных газов в процессе сварки.

Химический состав используемого флюса приведен в таблице 15.

Таблица 15 – Химический состав флюса марки АН-348А

Химический элемент	SiO_2	MnO	MgO	CaO	CaF_2	Al_2O_3
Значение, %	41,0…44,0	34,0…38,0	5,0…8,0	6,5	4,0…5,5	4,5

Флюс АН-348А является кислым, марганце-силикатного типа и может принимается с бескремистыми сварочными проволоками, так как он легирует металл шва кремнием и марганцем.

Если влажность воздуха провещает допустимую флюс необходимо просушить при температуре от 255 до 355 °С не менее 2 часов.

Перед использованием флюсы прокаливают в соответствии с режимами, приведенными в таблице 16.

Таблица 16 – Режимы прокалки флюсов

Марка	Режим повторной прокалки 1, 2(перед использованием)		
	Температура, °С		Продолжительность, ч
	Номинальное значение	Предельное отклонение	
АН-348А	350,0	$\pm$50,0	1,0

После прокалки флюс следует хранить:

а) на противнях из нержавеющей стали в сушильном шкафу;

б) в кладовых при температуре при влажности воздуха менее 50% и температуре выше плюс 15°С.

в) в закрытой крышкой с резиновым уплотнением жесткой плотной таре.

Срок годности флюса после прокалки – 15 суток.

Для ручной дуговой сварки выбор типа электродов осуществляется исходя из марки свариваемых материалов и согласно ГОСТ 9466-75 [25], ГОСТ 9467-75 [26].

Основными требованиями для всех видов электродов являются: обеспечения стабильного горения дуги и хорошего формирования шва; получения металла шва заданного химического состава, спокойное и равномерное расплав-

ления электродного металла и высокая производительность сварки, легкая отделимость шлака и достаточная прочность покрытий, сохранение физико-химических и технологических свойств электродов.

По исходным условиям, согласно ГОСТ 9466-75 [25], ГОСТ 9467-75 [26], выбираем тип электродов Э50, механические свойства которого представлены в таблице 17.

Таблица 17 – Механические свойства электрода типа Э50

Тип электрода	Механические свойства при нормальной температуре					Содержание в наплавленном металле, %	
	Металла шва или наплавленного металла			сварного соединения, выполненного электродами диаметром менее 3 мм			
	Временное сопротивление разрыву $\sigma_{в,}$МПа	Относительное удлинение d_5,%	Ударная вязкость $a_н$, МПа	Временное сопротивление разрыву $\sigma_в$, МПа	Угол загиба, град.	серы	фосфора
	Не менее					Не более	
Э50	490,0	16,0	0,69	490,0	120,0	0,040	0,045

Покрытия электродов должны удовлетворять следующим требованиям:

– обеспечивать стабильное горение дуги;

– физические свойства шлаков, должны обеспечивать нормальное формирования шва;

– не должны происходить реакции между шлаками, газами и металлом, способные образовывать пары в швах;

– материалы покрытия должны, хорошо измельчатся и не вступать в реакцию с жидким стеклом или между собой;

– состав покрытий должен обеспечивать применимые санитарно-гигиенические условия труда при изготовлении электродов и в процессе их сгорания.

Произведем выбор сварочных материалов для механизированной сварки в среде защитных газов.

В качестве защитного газа была выбрана двуокись углерода жидкая сва-

рочная поставляемая по ГОСТ 8050-85 [27].

Углекислоту транспортируют и хранят в стальных баллонах или цистернах большой емкости в жидком состоянии с последующей газификацией на заводе, с централизованным снабжением сварочных постов через рамы. В баллоне емкостью 40 л содержится 25 кг CO_2, дающего при испарении 12,5 $м^3$ газа при давлении 760 мм рт. ст. Баллон черного цвета, надписи желтые.

При использовании углекислого газа из-за большого количества кислорода в газовой фазе сварочная проволока должна содержать дополнительное количество легирующих элементов, таких как Si и Mn (больше чем требуется для легирования металла шва). Выбранная ранее сварочная проволока Св-12ГС соответствует данному требованию и применяется для сварки в среде CO_2.

Все прихватки выполнены ручной дуговой сваркой.

4.6 Расчет режимов сварки

Сварные соединения 1 и 2 выполняются автоматической сваркой и имеют одинаковую толщину, следовательно, параметры режима сварки у них будут одинаковые.

Исходные данные для шва № 1:

– основной металл – сталь 16ГС ГОСТ5520-79 [12];

– толщина металла – S=6 мм;

– сварочный флюс – АН-348А, ГОСТ 9087-81 [24];

– сварочная проволока – Св-12ГС, ГОСТ 2246-70 [23];

– способ сварки – автоматическая сварка под слоем флюса;

– тип соединения – стыковое;

– тип шва – продольный;

– положение шва – нижнее;

– тип шва по количеству проходов – двухпроходный двухсторонний;

– формы и размеры подготовки кромок по ГОСТ 8713-79 [16].

Основные типы, конструктивные элементы и размеры соединения С7 представлены на рисунке 17.

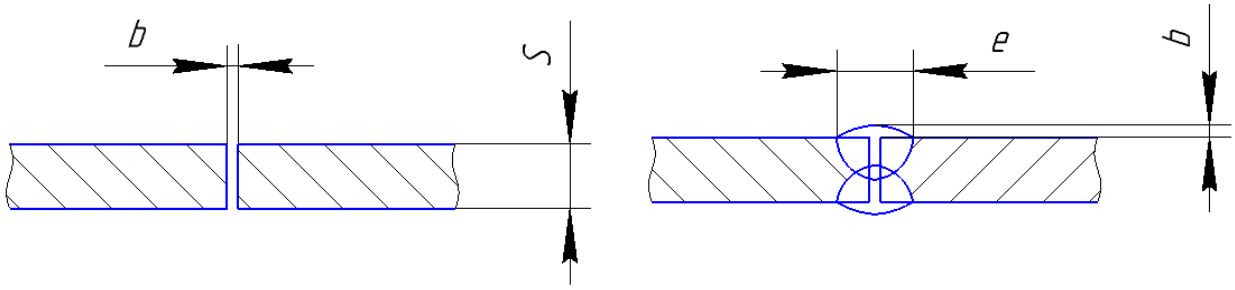


Рисунок 10 – Эскизы шва соединения С7: *b* – зазор между свариваемыми деталями; *e* – ширина валика; *g* – высота

Устанавливаем требуемую глубину проплавления при сварке шва с внутренней стороны по формуле:

$$h_0 = \frac{S}{2} + 1 \quad (4.8)$$

Подставляем полученные значения в формулу 4.8.

$$h_0 = \frac{6}{2} + 1 = 4 \text{ мм}$$

Определяем величину сварочного тока $I_{св}$ по эмпирической формуле:

$$I_{св} = (80\ldots100) * h_0 \quad (4.9)$$

Подставляем полученные значения в формулу 4.9.

$$I_{св} = (80\ldots100) * 4 = 320\ldots400 \text{ А}$$

Для расчетов принимаем $I_{св}$= 320 А.

Определяем диаметр $d_{эл}$ электродной проволоки по формуле:

$$d_{эл} = 1{,}13 * \sqrt{\frac{I_{св}}{j}}, \quad (4.10)$$

где: $I_{св}$ – величина сварочного тока, А;

j – плотность тока, А/мм^2.

Допускаемая плотность тока при автоматической сварке зависит от диаметра электрода и определяется по таблице 18.

Таблица 18 – Допустимая плотность тока для электродов

$d_{эл}$, мм	1	2	3	4	5	6
J,А/мм^2	90…400	65…200	45…90	35…60	30…50	25…45

Принимаем для расчетов плотность тока j =100 А/мм^2.

Подставляем полученные значения в формулу 4.10.

$$d_{эл}=1{,}13*\sqrt{\frac{320}{100}}=2{,}02 \text{ мм}$$

Принимаем $d_{эл}$= 2 мм.

Для проволоки $d_{эл}$= 2 мм скорость сварки $V_{св}$ определяем по формуле:

$$V_{св}=\frac{(8...12)*10^3}{I_{св}} \quad (4.11)$$

Подставляем полученные значения в формулу 4.11.

$$V_{св}=\frac{(8...12)*10^3}{320}=(25…37{,}5) \text{ м/ч}$$

Принимаем $V_{св}$ = 36 м/ч = 1 см/с.

Полученный предел скорости сварки соответствует рекомендуемому 4…16 мм/с при использовании флюса АН – 348А.

Оптимальное напряжение дуги $U_д$ может быть определено по формуле:

$$U_д= 20+\frac{50*10^{-3}}{d_{эл}^{0,5}}*I_{св} \pm 1 \quad (4.12)$$

Подставляем полученные значения в формулу 4.12.

$$U_д= 20+\frac{50*10^{-3}}{3^{0,5}}*350 \pm 1=31{,}1 \text{ В}$$

Принимаем $U_д$=31 В.

Коэффициент формы провара в зависимости от основных параметров режима сварки может быть определяем по формуле:

$$\Psi_{пр}=K^I*(19\text{-}0{,}01*I_{св})*\frac{d_{эл}*U_д}{I_{св}} \quad (4.13)$$

Значение коэффициента K^Iопределяется по таблице 19 исходя из условий по формуле:

$$K^I= 0{,}367*j^{0,1925}=0{,}367*\left(\frac{I_{св}*4}{\pi*d_{эл}^{\ 2}}\right)^{0,1925} \quad (4.14)$$

Принимаем:

– род тока постоянный;

– полярность тока обратная;

– плотность тока j< 120 А/мм^2.

Таблица 19 – Значение коэффициента K^I

Род тока	Полярность	Плотность тока j, А/мм^2	Величина коэффициента K^I
Переменный	-	меньше 120	1
		больше или равна 120	
Постоянный	Обратная	меньше 120	0,367* $j^{0,1925}$
	Прямая		2,820* $j^{0,1925}$
	Обратная	больше или равна 120	0,92
	Прямая		1,12

Подставляем исходные значения в формулу 4.14.

$$K^I = 0{,}367 * \left(\frac{320*4}{3{,}14*2^2}\right)^{0,1925} = 2{,}11$$

Подставляем исходные значения в формулу 4.13.

$$\Psi_{пр} = 0{,}778*(19-0{,}01*320)*\frac{2*24}{320} = 2{,}11$$

Величина погонной энергии $q_п$ рассчитывается по формуле:

$$q_п = \frac{I_{св}*U_д*\eta_д}{V_{св}}, \quad (4.15)$$

где $\eta_д$ – эффективный КПД дуги, для сварки под флюсом.

Принимаем $\eta_д = 0{,}9$.

Подставляем исходные значения в формулу 4.15.

$$q_п = \frac{320*24*0{,}9}{1} = 6912 \text{ Дж/см}$$

Определяем глубину проплавления $h_ф$ по формуле:

$$h_ф = 7{,}6*10^{-3}\sqrt{\frac{q_п}{\Psi_{пр}}} \quad (4.16)$$

Подставляем исходные значения в формулу 4.16.

$$h_ф = 7{,}6*10^{-3}\sqrt{\frac{6912}{2{,}11}} = 0{,}43 \text{ см}$$

Определяем ширину шва b по формуле 4.17:

$$b = \Psi_{пр} * h_ф \quad (4.17)$$

Подставляем полученные значения в формулу 4.17.

$$b=2{,}11*4{,}3 = 9{,}1 \text{ мм}$$

Определяем высоту валика *c* по формуле:

$$c= \frac{F_н}{0{,}75*b} = \frac{\alpha_н*I_{св}}{3600*\gamma*V_{св}*0{,}73*b} \quad (4.18)$$

где $F_н$– площадь поперечного сечения наплавленного металла за данный проход, мм^2;

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

γ – плотность стали = 7,8 г/см^3;

$\alpha_н$ – коэффициент наплавки, определяемый по формуле:

$$\alpha_н= \alpha_р*(1-\frac{\Psi}{100},) \quad (4.19)$$

где Ψ – потери электродного металла.

Принимаем Ψ=10%.

$\alpha_р$ – коэффициент расплавления электродной проволоки, определяется по формуле:

$$\alpha_р= (8{,}3+ 0{,}22*\frac{I_{св}}{d_{эл}})* 10^{-4} \quad (4.20)$$

Подставляем полученные значения в формулу 4.20.

$$\alpha_р= (8{,}3+ 0{,}22*\frac{320}{2})* 10^{-4}=15{,}66 \text{ г/А*ч}$$

Подставляем полученные значения в формулу 4.19.

$$\alpha_н=15{,}66*(1-\frac{10}{100}) = 14{,}1 \text{ г/А*ч}$$

Подставляем полученные значения в формулу 4.18.

$$c= \frac{14{,}1*320}{3600*7{,}8*1*0{,}73*9{,}1} = 0{,}024 \text{ см}$$

Принимаем с= 1 мм.

Определяем высоту шва *H* по формуле:

$$H= h_ф+ c \quad (4.21)$$

Подставляем полученные значения в формулу 4.21.

$$H= 4{,}3+1=5{,}3 \text{ мм}$$

Определяем скорость подачи проволоки по формуле:

$$V_{\text{п пр}} = \frac{4*\alpha_{\text{н}}*I_{\text{св}}}{\pi*{d_{\text{эл}}}^2*\gamma} \quad (4.22)$$

Подставляем полученные значения в формулу 4.22.

$$V_{\text{п пр}} = \frac{4*14,1*320}{3,14*2^2*7,8} = 168,15 \text{ м/ч.}$$

Принимаем $V_{\text{п пр}}$ = 169 м/ч.

Так как режим сварки первого шва обеспечивает фактическую глубину провара, удовлетворяющую поставленному требованию по достижению сплошности провара, ширину шва и высоту валика, соответствующие допустимым пределам соединения С7 ГОСТ 8713-79 [16]. Значение коэффициента формы провара и формы валика соответствуют хорошо сформированным швам.

Режим сварки с обратной стороны шва принимаем аналогичным режиму сварки, рассчитанному для первого шва.

Данный режим обеспечивает получение швов с размерами:

– глубина провара $h_{\text{ф}}$ = 4,2 мм;

– ширина шва b = 13,44 мм;

– высота валика с = 1 мм;

В ходе расчета режима автоматической сварки под слоем флюса соединения С7 были рассчитаны следующие показатели:

а) для шва с внутренней стороны обечайки $d_{\text{эл}}$=2 мм, $I_{\text{св}}$= 320 А, $U_{\text{д}}$=24 В, $V_{\text{св}}$= 36 м/ч, $V_{\text{п пр}}$ = 169 м/ч.

б) для шва с внешней стороны обечайки $d_{\text{эл}}$=2 мм, $I_{\text{св}}$= 320 А, $U_{\text{д}}$=31 В, $V_{\text{св}}$= 36 м/ч, $V_{\text{п пр}}$ = 78 м/ч.

Расчет режимов сварки кольцевых швов обечаек.

Так как толщина металла и способ сварки автоматический под слоем флюса принимаем соединение типа С7 ГОСТ 8713-79 [16], режимы сварки для кольцевых швов обечаек можно принять аналогичными режимам сварки продольных швов.

Для сварных швов №2 принимаем:

а) для шва с внутренней стороны обечайки $d_{эл}$=2 мм, $I_{св}$= 320 А, $U_д$=24 В, $V_{св}$= 36 м/ч, $V_{п\,пр}$ = 169 м/ч.

б) для шва с внешней стороны обечайки $d_{эл}$=2 мм, $I_{св}$= 320 А, $U_д$=31 В, $V_{св}$= 36 м/ч, $V_{п\,пр}$ = 78 м/ч.

Рассчитаем режимы сварки швов № 3.

Угловое соединение У7-1, РД 26-18-8-89 [18] изображено на рисунке 11.

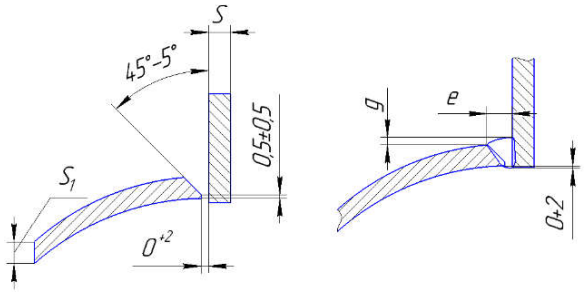


Рисунок 11 – Конструктивные элементы подготовленных кромок свариваемых деталей и шва сварного соединения типа У7-1, РД 26-18-8-89 [18]

Сварной шов типа У7-1 имеет следующие конструктивные параметры: S = 6 мм; S_1 = 6 мм; e не более 16 мм; g = 6…8 мм.

Величина сварочного тока определяется в зависимости от диаметра электродной проволоки согласно рекомендациям таблицы 20.

Таблица 20 – Допускаемая величина сварочного тока

$d_{эл}$, мм	0,5	0,8	1,0	1,2	1,6	2,0	2,5	3,0
$I_{св}$, А	25…70	50…130	70…80	100…240	150…400	200…500	300…700	400…850

По таблице 20 принимаем: $d_{эл у}$ = 1,2 мм; $I_{св у}$ =220 А.

Определим скорость сварки $V_{св у}$ для проволоки $d_{эл у}$ = 1,2 мм по формуле:

$$V_{св у} = \frac{(2...5)\cdot 10^3}{I_{св}} \qquad (4.23)$$

Подставляем полученные значения в формулу 4.23.

$$V_{св у} = \frac{(2...5)\cdot 10^3}{220} = 9{,}1\ldots 22{,}7 \text{ м/ч.}$$

Принимаем $V_{\text{сву}} = 22$ м/ч = 0,61 см/с.

Напряжение дуги $U_{\text{ду}}$ рассчитываем по формуле:

$$U_{\text{ду}} = 20 + \frac{50 \cdot 10^{-3}}{d_{\text{эл}}^{0,5}} \cdot I_{\text{сву}} \pm 1,0 \qquad (4.24)$$

Подставляем полученные значения в формулу 4.24.

$$U_{\text{ду}} = 20 + \frac{50 \cdot 10^{-3}}{1,2^{0,5}} \cdot 220 = 27,6 \pm 1\text{В}$$

Принимаем $U_{\text{д}} = 27$ В.

Определяем коэффициент формы провара $\psi_{\text{пру}}$ по формуле:

$$\psi_{\text{пру}} = K' \cdot (19 - 0,01 \cdot I_{\text{сву}}) \cdot \frac{d_{\text{элу}} \cdot U_{\text{ду}}}{I_{\text{сву}}} \qquad (4.25)$$

Подставляем известные значения в формулу 4.25.

$$\psi_{\text{пру}} = 0,92 \cdot (19 - 0,01 \cdot 220) \cdot \frac{1,2 \cdot 27}{220} = 2,34$$

Определим величину погонной энергии $q_{\text{пу}}$ по формуле:

$$q_{\text{пу}} = \frac{I_{\text{сву}} \cdot U_{\text{ду}} \cdot 0,85}{V_{\text{сву}}} \qquad (4.26)$$

Подставляем известные значения в формулу 4.26.

$$q_{\text{пу}} = \frac{220 \cdot 27 \cdot 0,85}{0,61} = 8277\,\text{Дж/см}$$

Определим фактическую глубину провара *hy* по формуле:

$$h_y = 8,06 \cdot 10^{-3} \sqrt{\frac{q_{\text{пу}}}{\psi_{\text{пру}}}} \qquad (4.27)$$

Подставляем известные значения в формулу 4.27.

$$h_{\text{у}} = 8,06 \cdot 10^{-3} \sqrt{\frac{8277}{2,34}} = 0,48 \text{ см} = 4,8 \text{ мм}$$

Определяем ширину b_y шва по формуле:

$$b_y = \psi_{\text{пру}} \cdot h_y \qquad (4.28)$$

Подставляем известные значения в формулу 4.28.

$$b_y = 2{,}34 \cdot 4{,}8 = 11{,}23 \text{ мм}$$

Определяем коэффициент расплавления проволоки $\alpha_{\text{ру}}$ по формуле:

$$\alpha_{\text{ру}} = \left(8{,}3 + 0{,}22 \cdot \frac{I_{\text{сву}}}{d_{\text{элу}}}\right) \cdot 10^{-4} \quad (4.29)$$

Подставляем известные значения в формулу 4.29.

$$\alpha_{\text{ру}} = \left(8{,}3 + 0{,}22 \cdot \frac{220}{1{,}2}\right) \cdot 10^{-4} = 33{,}4 \cdot 10^{-4} \text{ г/А} \cdot \text{ч} = 12{,}05 \text{ г/А} \cdot \text{с}$$

Определяем коэффициент наплавки $\alpha_{\text{ну}}$ по формуле:

$$\alpha_{\text{ну}} = \alpha_{\text{ру}} \cdot \left(1 - \frac{10}{100}\right) \quad (4.30)$$

Подставляем известные значения в формулу 4.30.

$$\alpha_{\text{ну}} = 12{,}05 \cdot \left(1 - \frac{10}{100}\right) = 10{,}85 \text{ г/А} \cdot \text{с}$$

Определяем площадь наплавленного металла по формуле:

$$F_{\text{нму}} = \frac{\alpha_{\text{ну}} \cdot I_{\text{сву}}}{3600 \cdot \gamma \cdot V_{\text{сву}}} \quad (4.31)$$

Подставляем известные значения в формулу 4.31.

$$F_{\text{нму}} = \frac{10{,}85 \cdot 220}{3600 \cdot 7{,}8 \cdot 0{,}61} = 0{,}14 \text{ см}^2 = 14 \text{ мм}^2$$

Определяем высоту валика c_y по формуле:

$$c_{\text{у}} = \frac{F_{\text{НМу}}}{0{,}73 \cdot \alpha_{\text{ну}}} \quad (4.32)$$

Подставляем известные значения в формулу 4.32.

$$c_{\text{у}} = \frac{14}{0{,}73 \cdot 11{,}23} = 1{,}7 \text{ мм}$$

Определяем высоту шва $H_{\text{у}}$ по формуле:

$$H_{\text{у}} = h_{\text{шу}} + c_{\text{у}} \quad (4.33)$$

Подставляем известные значения в формулу 4.33.

$$H_у = 4,8 + 1,7 = 6,5 \text{ мм}$$

Определяем высоту заполнения разделки с учётом зазора в стыке по формуле, сварной шов типа У7-1 выполняется с зазором 1 мм:

$$f_у = \sqrt{\frac{F_{НМУ} - H_у \cdot a}{tg45°}} \quad (4.34)$$

Подставляем известные значения в формулу 4.34.

$$f_у = \sqrt{\frac{14 - 6,5 \cdot 1}{tg45°}} = 2,7 \text{ мм}$$

Определяем глубину провара притупления $h_{0у}$ по формуле:

$$h_{0у} = H_у - f_у \quad (4.35)$$

Подставляем известные значения в формулу 4.35.

$$h_{0у} = 6,5 - 2,7 = 3,8 \text{ мм}$$

Определим глубину проплавления стенки h_{01} по формуле:

$$h_{01} = (0,8…1) \cdot h_{01} \quad (4.36)$$

Подставляем известные значения в формулу 4.36.

$$h_{01} = (0,8…1) \cdot 3,8 = 3,04…3,8 \text{ мм}$$

Определяем скорость подачи проволоки $V_{ппу}$ по формуле:

$$V_{ппу} = \frac{4 \cdot a_{ну} \cdot I_{сву}}{\pi \cdot d^2 \cdot \gamma} \quad (4.37)$$

Подставляем известные значения в формулу 4.37.

$$V_{ппу} = \frac{4 \cdot 10,85 \cdot 220}{3,14 \cdot 1,2^2 \cdot 7,8} = 270,7 \text{ м/ч}$$

Принимаем $V_{ппу} = 271$ м/ч.

Определим расстояние от сопла горелки до изделия по формуле:

$$l_{эу} = 8 \cdot d_э \quad (4.38)$$

Подставляем известные значения в формулу 4.38.

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

Рассчитаем режимы сварки для последующих проходов.

Для последующих проходов по таблице 20 принимаем сварочную проволоку $d_{эл2}$ = 2 мм, и силу сварочного тока $I_{св2}$ = 370 А.

Определяем скорость сварки для проволоки $d_{эл2}$ = 2 мм скорость сварки $V_{св2}$ определяется по формуле (4.23).

$$V_{св2} = \frac{(8...12)\cdot 10^3}{370} = 21,7 \ldots 32,4 \text{ м/ч}$$

Принимаем $V_{св2}$ = 32 м/ч = 0,89 см/с.

Напряжение дуги $U_{д2}$ рассчитываем по формуле 4.24.

$$U_{д2} = 20 + \frac{50 \cdot 10^{-3}}{2^{0,5}} \cdot 370 = 33,1 \pm 1\text{В}$$

Принимаем напряжение дуги $U_{д2}$ = 33 В.

Определяем коэффициент формы провара $\psi_{пр2}$ по формуле 4.25.

$$\psi_{пр2} = 0,92 \cdot (19 - 0,01 \cdot 370) \cdot \frac{2 \cdot 33}{370} = 2,51$$

Определяем величину погонной энергии $q_{п2}$ по формуле 4.26.

$$q_{п2} = \frac{370 \cdot 33 \cdot 0,85}{0,89} = 11661,2 \text{ Дж/см}$$

Определяем фактическую глубину провара h_2 по формуле 4.27.

$$h_2 = 8,06 \cdot 10^{-3} \sqrt{\frac{11661,2}{2,51}} = 0,549 \text{ см} = 5,5 \text{ мм}$$

Определяем ширину шва b_2 по формуле 4.28.

$$b_2 = 2,51 \cdot 5,5 = 13,8 \text{ мм}$$

Определяем коэффициент расплавления электродной проволоки $\alpha_{р2}$ по формуле 4.29.

$$\alpha_{р2} = \left(8,3 + 0,22 \cdot \frac{370}{1,2}\right) \cdot 10^{-4} = 49 \cdot 10^{-4} \text{ г/А} \cdot \text{ч} = 17,64 \text{ г/А} \cdot \text{с}$$

Определяем коэффициент наплавки $\alpha_{н2}$ по формуле 4.30.

$$\alpha_{н2} = 17,64 \cdot \left(1 - \frac{10}{100}\right) = 15,88 \text{ мм}^2$$

Определяем площадь наплавленного металла $F_{НМ2}$ по формуле 4.31.

$$F_{НМ2} = \frac{15,88 \cdot 370}{3600 \cdot 7,8 \cdot 0,89} = 0,2351 \text{ см}^2 = 23,5 \text{ мм}^2$$

Определяем высоту валика c_2 по формуле 4.32.

$$c_2 = \frac{23,5}{0,73 \cdot 15,88} = 2,03 \text{ мм}$$

Определяем высоту шва H_2 по формуле 4.33.

$$H_2 = 5,5 + 2,03 = 7,53 \text{ мм}$$

Определяем скорость подачи проволоки $V_{пп2}$ по формуле 4.37.

$$V_{пп2} = \frac{4 \cdot 15,88 \cdot 370}{3,14 \cdot 2^2 \cdot 7,8} = 239,89 \text{ м/ч}$$

Принимаем $V_{пп2} = 240$ м/ч.

Определяем расстояние от сопла горелки до изделия по формуле 4.38.

$$l_{э2} = 8 \cdot 2 = 16 \text{ мм}$$

Определяем площадь поперечного сечения наплавленного металла $F_{пнм}$ по формуле 4.39:

$$F_{пнм} = S \cdot a + \frac{(S-p)^2}{2} \cdot tg\alpha + 0,75 \cdot b_2 \cdot c_2 \qquad (4.39)$$

Подставляем известные значения в формулу 4.39.

$$F_{пнм} = 6 \cdot 0 + \frac{(6-1)^2}{2} \cdot tg45° + 0,75 \cdot 15,88 \cdot 2,03 = 39,93 \text{ мм}^2$$

Определяем число проходов стыка n по формуле 4.40:

$$n = \frac{F_{пнм} - F_{нм1}}{F_{нм2}} + 1, \qquad (4.40)$$

где $F_{нм1}$ – площадь наплавленного металла за первый проход;

$F_{нм2}$ – площадь наплавленного металла за второй проход.

Подставляем известные значения в формулу 4.40.

$$n = \frac{39,93 - 19}{23,5} + 1 = 1,89$$

Принимаем количество проходов $n = 2$.

Первый проход (корень шва) выполняется на следующих режимах:

– диаметр электродной проволоки – $d_{эл у}$ = 1,2 мм;

– сила сварочного тока – $I_{св у}$ = 220 А;

– скорость сварки – $V_{св у}$ = 22 м/ч;

– напряжение дуги – $U_{д у}$ = 27 В;

– скорость подачи электродной проволоки – $V_{ппу}$ = 271 м/ч.

Второй проход выполняется на следующих режимах:

– диаметр электродной проволоки – $d_{эл2}$ = 2 мм;

– сила сварочного тока – $I_{св2}$ = 370 А;

– скорость сварки – $V_{св2}$ = 32 м/ч;

– напряжение дуги – $U_{д2}$ = 33 В;

– скорость подачи электродной проволоки – $V_{пп2}$ = 240 м/ч.

Рассчитаем режимы сварки для швов № 6.

Исходные данные:

– основной металл – сталь 16ГС ГОСТ 5520-79;

– толщина металла – S=6 мм;

– способ сварки – ручная дуговая сварка;

– тип соединения – нахлесточное;

– тип шва – нахлесточный;

– положение шва – нижнее;

– тип шва по количеству проходов – многопроходный односторонний;

– величина катета – K = 6 мм;

– зазор между свариваемыми деталями – b = 0

– расстояние B не учитывается, т.к. площадь одной пластины полностью соприкасается с площадью второй.

Формы и размеры подготовки кромок нахлесточного соединения представлены на рисунке 12.

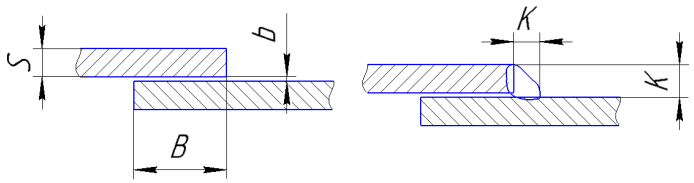


Рисунок 12 – Эскизы шва соединения Н1. Основные характеристики

По ГОСТ 9466-75 [25] были выбраны электроды марки УОНИ 13/55.

Род тока, полярность подключения зависят от свойств электродного покрытия и экономической целесообразности применения источников питания переменного или постоянного тока.

Исходя из свойств электродов с основным покрытием, к которым относятся электроды УОНИ 13/55, выбираем для сварки постоянный ток. Сварка производится на обратной полярности.

Таблица 21 – Практические рекомендации по выбору диаметра электрода

Параметр	S	$d_{эл}$	K	$d_{эл}$
Значение, мм	2	2	2; 3	2
	3	3	3; 4	3
	4	4	4; 5	4
	5; 6	5	5; 6	5
	6	5	6	5

По таблице 21 принимаем: для сварки корня шва $d_{эл1}$= 2 мм; для сварки последующих проходов $d_{эл2}$= 3 мм.

Величина сварочного тока определяется по эмпирическим формулам с учетом рекомендаций изложенных в предыдущих разделах.

Сила тока для $d_{эл1}$ определяется по формуле:

$$I_{э1} = (30…40)\cdot 2 \qquad (4.50)$$

Подставляем исходные значения в формулу 4.50.

$$I_{э1} = (30…40)\cdot 2 = 60…80 \text{ А}$$

Сила тока для $d_{эл2}$ определяется по формуле:

$$I_{э2} = (30…40)\cdot 3 \qquad (4.51)$$

Подставляем исходные значения в формулу 4.51.

$$I_{э2} = (30…40)\cdot 3 = 90…120 \text{ А}$$

Для электродов с основным покрытием расчетная величина сварочного тока корректируется в соответствии с требованиями паспорта на данную марку электродов.

Принимаем: для $d_{эл1}$=2 мм $I_{э1}$=60 А; для $d_{эл2}$=3 мм $I_{э1}$=90 А.

Напряжение на дуге при ручной дуговой сварке изменяется в сравнительно узких пределах и при проектировании технологических процессов сварки выбирается на основании рекомендаций паспорта на данную марку электродов (таблица 22).

Таблица 22 – Оптимальное напряжение дуги $U_э$

Марка электрода	УОНИ 13/45	УОНИ 13/55	ЦЛ-9	ЦЛ-11	ЭА400/10У	ОЗЛ-6С
$U_э$, В	22…26	22…26	22…26	22…26	22…26	20….26

Согласно таблице 22 для расчетов принимаем напряжение дуги $U_э$=22 В.

Длину дуги $l_э$ определяем по формуле:

$$l_э=(0{,}5…1{,}2)\ d_{эл} \qquad (4.52)$$

Подставим исходные значения для $d_{эл1}$=2 мм в формулу 4.52.

$$l_{э1}=(0{,}5…1{,}2)\ 2=(1…2{,}4), \text{ мм}$$

Подставим исходные значения для $d_{эл2}$=3 мм в формулу 4.52.

$$l_{э2}=(0{,}5…1{,}2)\ 3=(1{,}5…3{,}6), \text{ мм}$$

Площадь поперечного сечения наплавленного металла $F_{нэ}$ определяем по формуле:

$$F_{нэ} = \frac{K^2}{2}\cdot 1{,}35 \qquad (4.53)$$

Подставляем исходные значения в формулу 4.53.

$$F_{нэ} = \frac{6^2}{2}\cdot 1{,}35 = 24{,}3 \text{ мм}^2$$

Площадь поперечного сечения наплавленного металла первым проходом F_1 определяется по формуле:

$$F_1=(6...8)\cdot d_{э1} \qquad (4.54)$$

Подставляем исходные значения в формулу 4.54.

$$F_1 = (6...8) \cdot 2 = 12...16 \text{ мм}$$

Принимаем для расчетов площадь поперечного сечения наплавленного металла первым проходом $F_1 = 14$.

Площадь поперечного сечения наплавленного металла первым проходом F_2 определяется по формуле:

$$F_2 = (8...12) \cdot d_{э2} \quad (4.55)$$

Подставляем исходные значения в формулу 4.55.

$$F_2 = (8...12) \cdot 3 = 16...36 \text{ мм}$$

Принимаем для расчетов площадь поперечного сечения наплавленного металла первым проходом $F_2 = 26$.

Число проходов $n_э$ определяем по формуле:

$$n_э = \frac{F_{нэ} - F_1}{F_2} + 1 \quad (4.56)$$

Подставляем исходные значения в формулу 4.56.

$$n_э = \frac{24,3 - 14}{26} + 1 = 1,4$$

Принимаем количество проходов $n_э = 2$.

Скорость при ручной дуговой сварке Vэ определяем по формуле:

$$V\text{э} = \frac{a_{нэ} \cdot I_э}{3600 \cdot 7,85 \cdot F_э}, \quad (4.57)$$

где $\alpha_{нэ}$ – коэффициент наплавки, г/А ч.

Коэффициент наплавки $\alpha_{нэ}$ выбираем на основании рекомендаций паспорта на данную марку электрода.

В соответствии с характеристиками электродов марки УОНИ 13/55 принимаем $\alpha_{нэ} = 9,5$ г/А ч;

Подставляем исходные значения для определения $V_{э1}$ по формуле 4.57.

$$V_{э1} = \frac{9,5*60}{3600*7,85*0,16} = 0,126 \text{ см/с} = 4,54 \text{ м/ч}$$

Подставляем исходные значения для определения $V_{э2}$ по формуле 4.57.

$$V_{э2}=\frac{9,5*90}{3600*7,85*0,26}=0,112 \text{ см/с} =4,03 \text{ м/ч}$$

Параметры для корневого шва:

– постоянный ток;

– обратная полярность;

– диаметр электрода – $d_{эл1}$ = 2 мм;

– сила сварочного тока – $I_{э1}$= 60 А;

– напряжение дуги – $U_э$ = 24 В;

– длина дуги – $l_{э1}$=(1…2,4);

– скорость сварки – $V_{э1}$ =4,54 м/ч.

Параметры для второго прохода:

– постоянный ток;

– обратная полярность;

– диаметр электрода – $d_{эл2}$ = 3 мм;

– сила сварочного тока – $I_{э2}$= 90 А;

– напряжение дуги – $U_э$ = 24 В;

– длина дуги – $l_{э2}$=(1,5…3,6);

– скорость сварки – $V_{э2}$ =4,03 м/ч.

Рассчитаем режимы сварки швов № 4.

Формы и размеры подготовки кромок углового соединения представлены на рисунке 13.

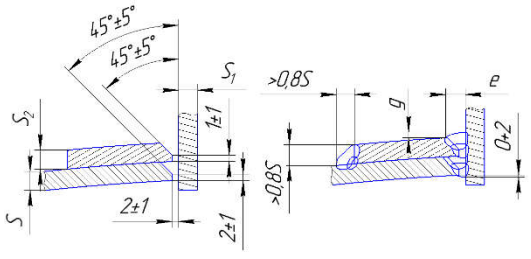


Рисунок 13 – Конструктивные элементы подготовленных кромок свариваемых деталей и шва сварного соединения типа У3 РД 26-18-8-89 [18]

Принимаем: для угловых швов механизированную сварку в среде CO_2, тип соединения У7-1 по РД 26-18-8-89 [18]; для сварки нахлёсточных швов

ручную дуговую покрытыми электродами, тип соединения Н1 по ГОСТ 5264-80 [19].

Процесс сварки начинаем с приварки люк–лаза к обечайке. Толщина стенки люк-лаза и толщина стенки обечайки равны, тип соединения У7-1 по РД 26-18-8-89 [18], режимы сварки принимаем аналогичными режимам приварки штуцеров.

После сварки люк-лаза и обечайки выполняем сварку опорного кольца и обечайки. Толщина металла опорного кольца и обечайки одинаковые, так как это нахлесточное соединение типа Н1 ГОСТ 5264-80 [19], принимаем режимы сварки аналогичными режимам сварки подкладного листа.

Для приварки опорного кольца к люк-лазу принимаем соединения У7-1 по РД 26-18-8-89 [18], так как толщина опорного кольца и стенки люк лаза одинаковые, режимы сварки принимаем аналогичными режиму сварки люк-лаза с обечайкой.

Для первого прохода (корня шва) для соединений типа У7-1 по РД 26-18-8-89 [18] принимаем следующие параметры:

– диаметр электродной проволоки $d_{эл у} = 1{,}2$ мм;

– сила сварочного тока $I_{св у} = 220$ А;

– скорость сварки $V_{св у} = 22$ м/ч;

– напряжение дуги $U_{д у} = 27$ В;

– скорость подачи электродной проволоки $V_{ппу} = 271$ м/ч.

Для второго прохода для соединений типа У7-1 по РД 26-18-8-89 [18] принимаем следующие параметры:

– диаметр электродной проволоки $d_{эл2} = 2$ мм;

– сила сварочного тока $I_{св2} = 370$ А;

– скорость сварки $V_{св2} = 32$ м/ч;

– напряжение дуги $U_{д2} = 33$ В;

– скорость подачи электродной проволоки $V_{пп2} = 240$ м/ч.

Принимаем параметры нахлесточного соединения Н1 по ГОСТ 5264-80 [19] для корневого шва:

– постоянный ток;

– обратная полярность;

– диаметр электрода – $d_{эл1}$ = 2 мм;

– сила сварочного тока – $I_{э1}$= 60 А;

– напряжение дуги – $U_э$ = 24 В;

– длина дуги – $l_{э1}$= (1…2,4);

– скорость сварки – $V_{э1}$ =4,54 м/ч.

Принимаем параметры нахлесточного соединения Н1 по ГОСТ 5264-80 [19] для второго прохода:

– постоянный ток;

– обратная полярность;

– диаметр электрода – $d_{эл2}$ = 3 мм;

– сила сварочного тока – $I_{э2}$= 90 А;

– напряжение дуги – $U_э$ = 24 В;

– длина дуги – $l_{э2}$= (1,5…3,6);

– скорость сварки – $V_{э2}$ =4,03 м/ч.

Рассчитаем режимы сварки швов № 3.

Стыковое соединения С8 ГОСТ 14771-76 изображено на рисунке – 14

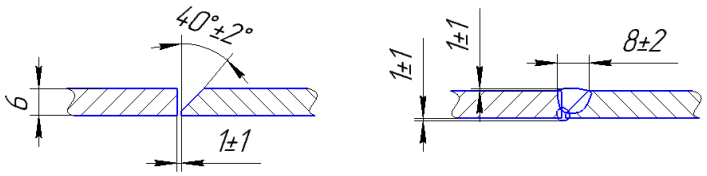


Рисунок – 14 Конструктивные элементы подготовленных кромок свариваемых деталей и шва сварного соединения типа С8

По таблице 20 принимаем диаметр электродной проволоки $d_{элс}$ = 1,6 мм, и силу сварочного тока $I_{свс}$ =250 А

Определим скорость сварки для проволоки $d_{элу}$ = 1,6 мм по формуле:

$$V_{свс} = \frac{(5...8)\cdot 10^3}{I_{св}} \qquad (4.58)$$

Подставляем полученные значения в формулу 4.58.

$$V_{\text{свс}} = \frac{(5...8)\cdot 10^3}{250} = 20\ldots 32 \text{ м/ч.}$$

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

Напряжение дуги $U_{\text{дс}}$ рассчитываем по формуле:

$$U_{\text{дс}} = 20 + \frac{50\cdot 10^{-3}}{d_{\text{элс}}^{0,5}} \cdot I_{\text{свс}} \pm 1{,}0 \qquad (4.59)$$

Подставляем полученные значения в формулу 4.59.

$$U_{\text{дс}} = 20 + \frac{50\cdot 10^{-3}}{1{,}6^{0,5}} \cdot 250 = 29{,}9 \pm 1\text{В}$$

Принимаем $U_{\text{дс}} = 30$ В.

Определяем коэффициент формы провара $\psi_{\text{прс}}$ по формуле:

$$\psi_{\text{прс}} = K' \cdot (19 - 0{,}01 \cdot I_{\text{свс}}) \cdot \frac{d_{\text{элс}} \cdot U_{\text{дс}}}{I_{\text{свс}}} \qquad (4.60)$$

Подставляем известные значения в формулу 4.60.

$$\psi_{\text{пру}} = 0{,}92 \cdot (19 - 0{,}01 \cdot 250) \cdot \frac{1{,}6 \cdot 30}{250} = 2{,}9$$

Определим величину погонной энергии $q_{\text{пс}}$ по формуле:

$$q_{\text{пс}} = \frac{I_{\text{свс}} \cdot U_{\text{дс}} \cdot 0{,}85}{V_{\text{свс}}} \qquad (4.61)$$

Подставляем известные значения в формулу 4.61.

$$q_{\text{пс}} = \frac{250\cdot 30\cdot 0{,}85}{0{,}67} = 9515 \text{Дж/см}$$

Определим фактическую глубину провара $h_{\text{с}}$ по формуле:

$$h_{\text{с}} = 8{,}06\cdot 10^{-3} \sqrt{\frac{q_{\text{пу}}}{\psi_{\text{пру}}}} \qquad (4.62)$$

Подставляем известные значения в формулу 4.62.

$$h_{\text{с}} = 8{,}06\cdot 10^{-3} \sqrt{\frac{9515}{2{,}9}} = 0{,}46 \text{ см} = 4{,}6 \text{ мм}$$

Определяем ширину $b_{\text{с}}$ шва по формуле:

$$b_{\text{с}} = \psi_{\text{прс}} \cdot h_{\text{с}} \quad (4.63)$$

Подставляем известные значения в формулу 4.63.

$$b_{\text{с}} = 2{,}9 \cdot 4{,}6 = 13{,}34 \text{ мм}$$

Определяем коэффициент расплавления электродной проволоки $\alpha_{\text{рс}}$ по формуле:

$$\alpha_{\text{рс}} = \left(8{,}3 + 0{,}22 \cdot \frac{I_{\text{свс}}}{d_{\text{элс}}}\right) \cdot 10^{-4} \quad (4.64)$$

Подставляем известные значения в формулу 4.64.

$$\alpha_{\text{рс}} = \left(8{,}3 + 0{,}22 \cdot \frac{250}{1{,}6}\right) \cdot 10^{-4} = 42{,}7 \cdot 10^{-4} \text{ г/А} \cdot \text{ч} = 15{,}36 \text{ г/А} \cdot \text{с}$$

Определяем коэффициент наплавки $\alpha_{\text{нс}}$ по формуле:

$$\alpha_{\text{нс}} = \alpha_{\text{рс}} \cdot \left(1 - \frac{10}{100}\right), \quad (4.65)$$

Подставляем известные значения в формулу 4.65.

$$\alpha_{\text{нс}} = 15{,}36 \cdot \left(1 - \frac{10}{100}\right) = 13{,}82 \text{ г/А} \cdot \text{с}$$

Определяем площадь наплавленного металла по формуле:

$$F_{\text{нмс}} = \frac{\alpha_{\text{нс}} \cdot I_{\text{свс}}}{3600 \cdot \gamma \cdot V_{\text{свс}}} \quad (4.66)$$

Подставляем известные значения в формулу 4.66.

$$F_{\text{нмс}} = \frac{13{,}82 \cdot 250}{3600 \cdot 7{,}8 \cdot 0{,}67} = 0{,}183 \text{ см}^2 = 18 \text{ мм}^2$$

Определяем высоту валика $c_{\text{с}}$ по формуле:

$$c_{\text{С}} = \frac{F_{\text{НМС}}}{0{,}73 \cdot \alpha_{\text{нс}}} \quad (4.67)$$

Подставляем известные значения в формулу 4.67.

$$c_{\text{с}} = \frac{18}{0{,}73 \cdot 13{,}82} = 1{,}8 \text{ мм}$$

Определяем высоту шва $H_{\text{с}}$ по формуле:

$$H_c = h_c + c_c \quad (4.68)$$

Подставляем известные значения в формулу 4.68.

$$H_c = 4{,}6 + 1{,}8 = 6{,}4 \text{ мм}$$

Определяем высоту заполнения разделки с учётом зазора в стыке по формуле, сварной шов типа С8 выполняется с зазором 1 мм:

$$f_C = \sqrt{\frac{F_{НМс} - H_C \cdot a}{tg40°}} \quad (4.69)$$

Подставляем известные значения в формулу 4.69.

$$f_C = \sqrt{\frac{14 - 6{,}4 \cdot 1}{0{,}839}} = 3 \text{ мм}$$

Определяем глубину провара притупления h_{0c} по формуле:

$$h_{0c} = H_c - f_c \quad (4.70)$$

Подставляем известные значения в формулу 4.70.

$$h_{0c} = 6{,}4 - 3 = 3{,}4 \text{ мм}$$

Определим глубину проплавления стенки h_{01} по формуле:

$$h_{01} = (0{,}8 \ldots 1) \cdot h_{0c} \quad (4.71)$$

Подставляем известные значения в формулу 4.71.

$$h_{01} = (0{,}8 \ldots 1) \cdot 3{,}4 = 2{,}43 \ldots 3{,}4 \text{ мм}$$

Определяем скорость подачи проволоки $V_{ппс}$ по формуле:

$$V_{ппс} = \frac{4 \cdot a_{нс} \cdot I_{свс}}{\pi \cdot d^2 \cdot \gamma} \quad (4.72)$$

Подставляем известные значения в формулу 4.72.

$$V_{ппс} = \frac{4 \cdot 13{,}82 \cdot 250}{3{,}14 \cdot 1{,}6^2 \cdot 7{,}8} = 220{,}4 \text{ м/ч}$$

Принимаем $V_{ппс} = 221$ м/ч.

Определим расстояние от сопла горелки до изделия по формуле:

$$l_{эс} = 8 \cdot d_{эс} \quad (4.73)$$

Подставляем известные значения в формулу 4.73.

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

Рассчитаем режимы сварки для последующих проходов.

Для последующих проходов по таблице 20 принимаем сварочную проволоку $d_{эл3}$ = 2 мм, и силу сварочного тока $I_{св3}$ = 340 А.

Определяем скорость сварки для проволоки $d_{эл3}$ = 2 мм скорость сварки $V_{св2}$ определяется по формуле (4.58).

$$V_{св3} = \frac{(8...12)\cdot 10^3}{340} = 23{,}5 \ldots 35{,}3 \text{ м/ч}$$

Принимаем $V_{св3}$ = 35 м/ч = 0,97 см/с.

Напряжение дуги $U_{д3}$ рассчитываем по формуле 4.59.

$$U_{д3} = 20 + \frac{50 \cdot 10^{-3}}{2^{0,5}} \cdot 340 = 32 \pm 1\text{В}$$

Принимаем напряжение дуги $U_{д3}$ = 32 В.

Определяем коэффициент формы провара $\psi_{пр3}$ по формуле 4.60.

$$\psi_{пр3} = 0{,}92 \cdot (19 - 0{,}01 \cdot 340) \cdot \frac{2 \cdot 32}{340} = 2{,}7$$

Определяем величину погонной энергии $q_{п3}$ по формуле 4.61.

$$q_{п3} = \frac{340 \cdot 32 \cdot 0{,}85}{0{,}97} = 9534{,}02 \text{ Дж/см}$$

Определяем фактическую глубину провара h_2 по формуле 4.62.

$$h_3 = 8{,}06 \cdot 10^{-3} \sqrt{\frac{9534{,}02}{2{,}7}} = 0{,}48 \text{ см} = 4{,}8 \text{ мм}$$

Определяем ширину шва b_3 по формуле 4.63.

$$b_3 = 2{,}7 \cdot 4{,}8 = 12{,}96 \text{ мм}$$

Определяем коэффициент расплавления электродной проволоки $\alpha_{р3}$ по формуле 4.64.

$$\alpha_{р3} = \left(8{,}3 + 0{,}22 \cdot \frac{340}{2}\right) \cdot 10^{-4} = 45{,}7 \cdot 10^{-4} \text{ г/А}\cdot\text{ч} = 16{,}45 \text{ г/А}\cdot\text{с}$$

Определяем коэффициент наплавки $\alpha_{н3}$ по формуле 4.65.

$$\alpha_{н3} = 16{,}45 \cdot \left(1 - \frac{10}{100}\right) = 14{,}8 \text{ мм}^2$$

Определяем площадь наплавленного металла $F_{НМ3}$ по формуле 4.66.

$$F_{НМ3} = \frac{14{,}8 \cdot 340}{3600 \cdot 7{,}8 \cdot 0{,}97} = 0{,}185 \text{ см}^2 = 18{,}5 \text{ мм}^2$$

Определяем высоту валика c_3 по формуле 4.67.

$$c_3 = \frac{18{,}5}{0{,}73 \cdot 14{,}8} = 1{,}71 \text{мм}$$

Определяем высоту шва H_3 по формуле 4.68.

$$H_3 = 4{,}8 + 1{,}71 = 6{,}51 \text{ мм}$$

Определяем скорость подачи проволоки $V_{ПП3}$ по формуле 4.72.

$$V_{ПП3} = \frac{4 \cdot 14{,}8 \cdot 340}{3{,}14 \cdot 2^2 \cdot 7{,}8} = 205{,}45 \text{ м/ч}$$

Принимаем $V_{пп2} = 206$ м/ч.

Определяем расстояние от сопла горелки до изделия $l_{э3}$ по формуле 4.73.

$$l_{э3} = 8 \cdot 2 = 16 \text{ мм}$$

Определяем площадь поперечного сечения наплавленного металла $F_{пн3}$ по формуле 4.74:

$$F_{ПН3} = S \cdot a + \frac{(S-p)^2}{2} \cdot tg\alpha + 0{,}75 \cdot b_3 \cdot c_3, \text{ мм}^2 \qquad (4.74)$$

Подставляем известные значения в формулу 4.74.

$$F_{ПН3} = 6 \cdot 0 + \frac{(6-1)^2}{2} \cdot tg40° + 0{,}75 \cdot 12{,}96 \cdot 1{,}71 = 27 \text{мм}^2$$

Определяем число проходов стыка n по формуле 4.75:

$$n = \frac{F_{ПН3} - F_{НМС}}{F_{НМ3}} + 1, \qquad (4.75)$$

где $F_{нмс}$ – площадь наплавленного металла за первый проход;

$F_{нм3}$ – площадь наплавленного металла за второй проход.

Подставляем известные значения в формулу 4.75.

$$n = \frac{27-18}{18{,}5} + 1 = 1{,}48$$

Принимаем количество проходов $n = 2$.

Первый проход (корень шва) выполняется на следующих режимах:

– диаметр электродной проволоки – $d_{эл с}$ = 1,6 мм;

– сила сварочного тока – $I_{св с}$ = 250 А;

– скорость сварки – $V_{св с}$ = 24 м/ч;

– напряжение дуги – $U_{дс}$ = 30 В;

– скорость подачи электродной проволоки – $V_{ппс}$ = 221 м/ч.

Второй проход выполняется на следующих режимах:

– диаметр электродной проволоки – $d_{эл2}$ = 2 мм;

– сила сварочного тока – $I_{св2}$ = 340 А;

– скорость сварки – $V_{св2}$ = 35 м/ч;

– напряжение дуги – $U_{д2}$ = 32 В;

– скорость подачи электродной проволоки – $V_{пп2}$ = 206 м/ч.

Все формулы, коэффициенты и таблицы взяты по [17].

4.7 Выбор сварочного оборудования

Сварка должна быть выполнена на аттестованном сварочном оборудовании в соответствии с РД 03-614-03 [28].

Сварочное оборудование должно иметь инструкцию по эксплуатации, а так же паспорт завода-изготовителя, быть в исправном состоянии и соответствовать характеристикам заявленным в паспорте.

Для изготовления ёмкости, в соответствии с ПБ 03-585-03 [9] и ГОСТ Р 52630-2012 [7], для соединения обечайки с днищами ранее была выбрана автоматическая дуговая сварка под флюсом, для приварки штуцеров дуговая сварка в защитном газе.

Для автоматической сварки под слоем флюса выбираем сварочный автомат АДФ-1002 представленный на рисунке 15.

Рисунок – 15 Сварочный автомат АДФ–1002

Сварочный автомат АДФ–1002 предназначен для сварки под слоем флюса соединений встык с разделкой и без разделки кромок, для сварки угловых швов вертикальным и наклонным электродом, а также нахлесточных швов. Швы могут быть прямолинейными и кольцевыми. Автомат в процессе работы передвигается по изделию или по уложенной на нем направляющей линейке. Технические характеристики сварочного автомата указаны в таблице 22.

Таблица 22 – Техническая характеристика трактора АДФ–1002

Параметр	Значение
Напряжение питающей трех фазной сети , В	380,0
Номинальный сварочный ток , А	1000,0
Диаметр электродной проволоки , мм	3,0-5,0
Скорость подачи электродной проволоки , м/час	60,0-360,0
Скорость сварки , м/час	12,0-80,0
Предельный угол наклона сварочной головки в плоскости перпендикулярной шву	45º
Емкость барабана для проволоки , кг	15,0
Емкость бункера дц в кв	6,5
Габаритный размеры , мм	
Длина	715,0
Ширина	345,0
Высота	440,0

Сварочный автомат АДФ–1002 поставляется с блоком управления для источника питания типа ВДУ–1250 представленном на рисунке 16.

Рисунок – 16 Сварочный выпрямитель ВДУ–1250

Сварочный выпрямитель ВДУ–1250 предназначен для комплектации автоматов для сварки и наплавки под слоем флюса и в среде зашитого газа, его технические характеристики указаны в таблице 23.

Таблица 23 – Техническая характеристика ВДУ–1250

U питающей сети, В	3х380,0
Номинальный сварочный ток, А	1250,0
Пределы регулирования сварочного тока , А	150,0-1250,0
Номинальное рабочее напряжение, В	44,0
Напряжение холостого хода, В	55,0
Потребляемая мощность, кВт	73,0
Габаритные размеры (Д×Ш×В), мм	790,0×610,0×410,0
Масса, кг	520,0

Приварку опорных стоек, по техническим соображениям, выполняют с помощью ручной дуговой сварки.

Для ручной дуговой сварки выбираем сварочный трансформатор марки ТДМ–181 представленный на рисунке 17

Рисунок 17 – Сварочный трансформатор ТДМ–181

Сварочный трансформатор ТДМ–181 предназначен для ручной дуговой сварки покрытыми электродами на переменном токе малоуглеродистых и низколегированных сталей. Отличительной чертой трансформатора является то, что регулировка сварочного тока обеспечивается механическим ручным перемещением магнитного шунта горизонтального исполнения. Механизм такого шунтового регулирования резко уменьшает время необходимое на смену режима сварки. Трансформатор отличается простотой, надежностью и низким весом. Технические характеристики представлены в таблице 24.

Таблица – 24. Технические характеристики сварочного трансформатора ТДМ–181

Параметр	Значение
Напряжение питающей сети, В	220,0 или 380,0
Частота питающей сети, Гц	50,0
Номинальный сварочный ток, А	180,0
Максимальный сварочный ток, А	180,0
Минимальный сварочный ток, А	25,0
Диаметр электрода, мм	2…6
Габаритные размеры, мм	415,0×265,0×485,0

Для механизированной сварки в среде CO_2 принимаем сварочный полуавтомат Сварог *MIG* 3500(*J*93) представленный на рисунке 18.

Рисунок – 18 сварочный полуавтомат Сварог *MIG* 3500(*J*93)

Сварог *MIG* 3500 (*J*93) используется для механизированной сварки в среде защитного газа. Режим обратной полярности позволяет также осуществлять сварку порошковой проволокой (*FCAW*) без защитного газа. Для удобства использования оснащены тележкой с поворотными колесами, на которую установлен баллон с газом. Технические характеристики полуавтомата Сварог *MIG* 3500 (*J*93) представлены в таблице 25.

Таблица – 25. Технические характеристики полуавтомата Сварог *MIG* 3500 (*J*93)

Параметр	Значение
Напряжение питающей сети, В	380±15%
Рабочее напряжение *MIG*, В	16,5…31,5
Рабочее напряжение *MMA*, В	20,8…34,0
Скорость подачи проволоки м/мин	1,5…15,0
Сварочный ток *MIG/MMA*, А	50,0…350,0
Подающий механизм	Встроенный
Диаметр электрода *MMA*, мм	1,5-6,0
Диаметр сварочной проволоки *MIG*, мм	0,6; 0,8; 1; 1,2
Габариты	900×400×670

Отличительными особенностями данного полуавтомата являются: холостой прогон проволоки; розетка 36 В для подогрева газа и регулировка индуктивности.

4.8Техника и технология сборки и сварки

Сварку продольных и кольцевых стыков обечаек выполняем с помощью автоматической сваркой под флюсом на специальной установке, состоящей из роликового стенда М61071 и велосипедной тележки ВТ-3. Общий вид этой установки показан на рисунке 19.

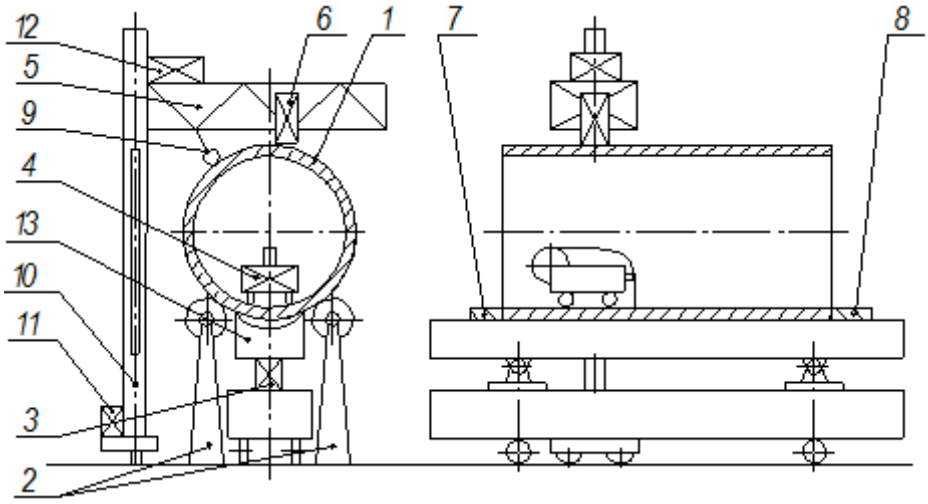


Рисунок 19 – Установка для сварки продольных и кольцевых стыков воздухосборника: 1 – обечайка; 2 – роликовый стенд; 3 – пневмоцилиндр флюсовой подушки; 4 – сварочный трактор; 5 – консольная балка (балкон); 6 – сварочный автомат; 7 – входная планка; 8 – выводная планка; 9 – концевой выключатель; 10 – велосипедная тележка; 11 – привод велосипедной тележки; 12 – привод балкона; 13 – флюсовый поджим.

Сборку обечайки, стоящей на роликовых опорах отверстием для люка вверх, с люком осуществляем с помощью распорки, закрепляющей люк относительно отверстия, рисунок 20.

Для установки люка будем использовать схему с заглублением люка в корпус аппарата. С помощью распорки устанавливаем необходимую величину

заглубления люка в корпус аппарата, затем в соответствии с требованиями ГОСТ Р 52630-2012 [7] выверяем отклонение оси люка (допускается не более 10 мм), отклонения по высоте (вылету) люка (не должно быть более 5 мм) и перпендикулярность оси люка относительно корпуса (при помощи угольника). Выставление зазора производим по шаблону.

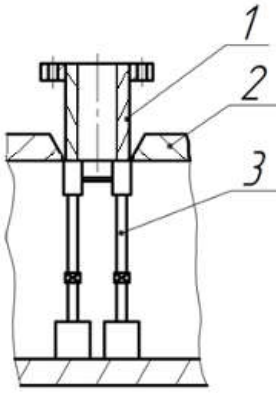


Рисунок 20 – Способ установки люка и штуцера в корпус аппарата: 1 – штуцер (люк); 2 – стенка ёмкости; 3 – распорка.

Последовательность сборки и сварки корпуса воздухосборника:

1. Свариваем обечайки между собой (кольцевые швы). К трем обечайкам с помощью ручной дуговой сварки привариваем по два транспортировочных ушка отвечающих требованиям ГОСТ 13716-73 [29]. Стыкуем кромки обечаек, зачищаем от ржавчины и иных загрязнений, обезжириваем. Транспортируем обечайки мостовым краном на роликовый стенд М61071, стыкуем кромки. Прихватываем с помощью РДС: длинна прихватки 60 мм; шаг 200 мм; электроды УОНИ 13/45; диаметр электрода 2 мм; сварочный ток 60…90 А; напряжение на дуге 22 – 26 В; полярность обратная. Отбиваем шлак. Зачищаем прихватки заподлицо с основным металлом. Выполняем последовательно сварку обечаек согласно рассчитанным режимами.

2. Свариваем днища с обечайками (кольцевые швы). Привариваем по два транспортировочных ушка, согласно требованиям ГОСТ 13716-73 [29]. Очищаем от грязи и ржавчины стыкуемые кромки, обезжириваем. Транспортируем верхнее днище мостовым краном к обечайкам. Стыкуем с помощью распорного устройства с противоположно направленной резьбой. Прихватываем с

помощью РДС: длинна прихватки 60 мм; шаг 200 мм; электроды УОНИ 13/45; диаметр электрода 2 мм; сварочный ток 60…90 А; напряжение на дуге 22…26 В; полярность обратная. Отбиваем шлак. Зачищаем прихватку заподлицо с основным металлом. Выполняем сварку верхнего днища с обечайкой согласно рассчитанным режимам. Вырезаем отверстия под приварку штуцеров и люклаза. Для нижнего днища выполняем очистку, обезжиривание, транспортировку, стыковку, прихватку, обивку шлака, зачистку прихваток и сварку аналогично операциям для верхнего днища.

3. Привариваем люк–лаз и штуцера к обечайкам (угловые и нахлесточные швы). Нарезаем кромки отверстий под люк и штуцера. Очищаем от грязи кромки обечайки отверстий под люк и штуцера, обезжириваем. Транспортируем люк мостовым краном к подготовленному отверстию. Стыкуем кромки с помощью специальной распорки. Прихватываем РДС: длинна прихваток 60 мм; шаг 100 мм; электроды УОНИ13/45; диаметр электродов 2 мм: сварочный ток 60…90 А; напряжение на дуге 22…26 В; полярность обратная. Отбиваем шлак. Зачищаем прихватку заподлицо с основным металлом. Выполняем сварку люка и обечайки согласно рассчитанным режимам. Транспортируем штуцера к отверстиям. Стыкуем кромки с помощью специальной распорки. Прихватываем РДС длинна прихватки 40 мм; шаг 80 мм, электроды УОНИ13/45; диаметр электрода 4 мм; сварочный ток 60…90 А; напряжение на дуге 20…24 В; полярность обратная. Отбиваем шлак. Зачищаем прихватку заподлицо с основным металлом. Выполняем сварку штуцеров и обечайки согласно рассчитанным режимам.

4. Привариваем опорные стойки к днищу (нахлесточные швы). Производим разметку на днище под опорные стойки. Транспортируем стойки к днищу. Очищаем от ржавчины и других загрязнений метал днища в обе стороны на расстояние не менее 20 мм по обе стороны от разметки под сварной шов. Прихватываем РДС: длинна прихватки 50 мм; шаг 90 мм; электроды УОНИ13/45; диаметр электрода 2 мм; сварочный ток 60…90 А; напряжение на дуге 20…24 В, полярность обратная. Отбиваем шлак. Зачищаем прихватку на возможную

глубину, не задевая основной металл. Выполняем сварку опорных стоек с днищем согласно рассчитанным режимам шва.

Выбранные режимы сварных соединения обеспечивают полную переплавку прихваток.

Для зачистки прихваток используем шлифмашину угловую *AEGWS*13–125*XE* представленную на рисунке 21 и зачистной лепестковый круг.

Рисунок 21 – Угловая шлифмашинка *AEGWS*13–125*XE*

*AEG WS*13–125*XE* предназначена для выполнения шлифовальных и отрезных работ по металлу и иным конструкционным и строительным материалам без подачи воды в бытовых условиях с помощью шлифовальных отрезных кругов. Технические характеристики представлены в таблице 26.

Таблица 26 – Технические характеристики угловой шлифмашинки *AEGWS*13–125*XE*

Параметр	Значение
Мощность, Вт	1300,0
Напряжение, В	220,0
Диаметр шлифовального диска, мм	125,0
Длинна кабеля, м	4,0

Для обезжиривания поверхности под сварку используем УАЙТ–спирит.

5.Контроль качества сварных соединений

5.1 Предварительный контроль

Контроль качества сварных соединений начинаем проводить еще до выполнения сварки. Проверяем:

– Квалификацию сварщиков;

– Качество заготовок для сборки;

– Качество основного металла изделия;

– Качество сварочных материалов (проволока, электроды, флюс, защитный газ и т.п.);

– Исправность сварочного оборудования, его соответствие характеристикам указанным в паспорте;

– Исправность вспомогательного оборудования (роликовые стенды, центраторы и тп).

До выполнения проверки сварка изделий не допускается.

Для контроля сварных соединений воздухосборника выбираем следующие методы контроля: визуально–измерительный контроль, ультразвуковой контроль, капиллярный, гидравлические испытания, испытания на статический изгиб, испытания на статическое растяжение.

5.2 Визуально – измерительный контроль

Во время сварки изделия проводим постоянный контроль внешнего вида шва, его геометрических размеров, осуществляют контроль за соблюдением режимов сварки и исправностью сварочного оборудования, наблюдают за выполнением технологического процесса.

Внешнему осмотру и измерениям подвергаются все сварные соединения конструкции, независимо от способов сварки, назначения и ответственности швов. Перед тем как преступить к визуально-измерительному контролю свар-

ной шов и прилегающую к нему поверхность металла зачищают по обе стороны на ширину не менее 20 мм, чтобы шлак и иные загрязнения не затрудняли осмотр.

Для ВИК размеров сварных соединений используем специальные шаблоны или иной измерительный инструмент для проверки геометрических размеров шва.

По ГОСТ Р 52630-2012 [7] сварной шов подвергается визуально-измерительному контролю по всей длине.

По РД 03-606-03 [28] в сварном шве визуально контролируем:

– отсутствие или наличие трещин;

– отсутствие или наличие дефектов в виде пор, прожогов, отслоений, наплывов, усадочных раковин, включений, свищей, подрезов, непроваров, брызг расплавленного металла, западаний между валиками, грубой чешуйчатости;

– качество зачистки металла на месте приварок временных креплений, отсутствие дефектов зачищенной поверхности;

– качество зачистки поверхности шва и околошовных зон под последующий контроль неразрушающими методами;

– наличие клейма шва и правильности его выполнения.

По РД 03-606-03 [28] в сварном шве измерениями контролируем:

– размеры катета углового шва;

– подрезы (длину и глубину) основного металла;

– высоту углублений между валиками и чешуйчатость поверхности;

– вогнутость и выпуклость обратной стороны шва;

– размеры шва и выявленных дефектов.

Визуально измерительный контроль проводим для всех сварных швов в объеме 100%.

5.3 Ультразвуковой контроль.

Ультразвуковой контроль регламентирует ГОСТ 55724-2013 [30].

Суть ультразвукового метода контроля заключается в излучении и принятии отраженных ультразвуковых колебаний. Для принятия ультразвуковых колебаний используют специальное оборудование – ультразвуковой дефектоскоп и пьезоэлектропреобразователь. После анализируют полученные данные для определения возможных дефектов.

Процесс проведения ультразвуковой дефектоскопии проводят в следующей последовательности:

– очищаем сварной шов и околошовную зоны на расстояние 50…70 мм от шва, с двух сторон;

– шов и околошовную поверхность обрабатываем солидолом, машинным маслом или глицерином;

– производим настройку прибора для контроля сварных соединений толщиной не более 20 мм;

– искатель перемещаем вдоль шва по зигзагообразной траектории, стараясь повернуть вокруг оси на 10…15º;

– с появлением устойчивого сигнала на дисплее прибора в зоне проведения УЗК искатель максимально разворачиваем и продолжаем поиск до тех пор, пока не появится сигнал с максимальной амплитудой;

– проводят уточнение вызвана ли максимальная амплитуда колебаний отражением волны от швов, если да то продолжают искать сигнал с наибольшей амплитудой;

– фиксируем дефект и записываем его координаты;

– координаты зафиксированных дефектов заносим в таблицу, для их повторного обнаружения и устранения.

Контроль для данных соединений при толщине металла 6 мм выполняем за один проход

С помощью УЗК возможно выявить следующие дефекты: поры; непровары; участки с несоответствием химического состава; участки с искажением

геометрического размера; зоны, пораженные коррозией; провисание металла в нижней зоне сварного шва; дефекты свищеобразного характера; несплошности и несплавления металла и расслоение наплавленного металла.

Назначаем ультразвуковой контроль согласно ГОСТ 55724–2013 [30] для сварных швов № 1, 2, 3 и 5 в объеме не менее 50%.

5.4 Капиллярный контроль.

Контроль капиллярным методом выполняют согласно требованиям ОСТ 26-6-99 [11], ГОСТ 18442-80 [31].

Суть метода капиллярной дефектоскопии основана на проникновении специальных веществ в наружные слои шва под действием атмосферного давления, последующая обработка проявителем увеличивается цевтоконтрастность дефектного участка с выявлением качественного и количественного состава повреждений.

Процесс проведения цветного метода капиллярной дефектоскопии проводим в следующей последовательности:

– предварительная очистка поверхности с помощью очистителя;

– нанесение пенетранта;

– удаление излишков;

– нанесение проявителя;

– выявление дефектов;

– очистка поверхности.

Капиллярная дефектоскопия используется для выявления поверхностных дефектов малых размеров, которые определить с помощью визуально–измерительного контроля не представляется возможным. В результате капиллярной дефектоскопии выявляются: трещины, свищи, раковины, поры, непровары, межкристаллическая коррозия и так далее.

Назначаем согласно ОСТ 26-6-99 [11], ГОСТ 18442-80 [31], цветной метод капиллярной дефектоскопии для сварных швов № 4 и 6 в объеме 100%.

5.4 Механические испытания.

Механические испытания регламентируются по ГОСТ 6996-66 [32] и РД 26-11-08-86 [33].

Суть испытания на статический изгиб: образец сварного соединения подвергают изгибу сосредоточенной нагрузкой в месте сварного шва, при этом в верхней части сварного шва возникает сжимающее напряжение, а в нижней растягивающие.

Для испытания на статический изгиб образец должен быть сварен на режимах сварки принятых для сварного соединения; в аналогичных условиях; с использованием таких же сварочных материалов и оборудования; сварщиком, который будет варить сварной шов на изделии.

Суть испытания на статическое растяжение: образец сварного соединения подвергают растяжению на специальном оборудовании до его разрушения. При этом определяют предел прочности и предел текучести, а так же точку разрушения.

Для испытания на статическое растяжение образец должен быть выполнен аналогично образцу для статического изгиба.

Для сварных швов № 1, 2 и 3 согласно ГОСТ 6996-66 [32] и РД 26-11-08-86 [33], принимаем по два образца на растяжение и изгиб.

5.5 Гидравлические испытания сварных соединений.

Испытания на герметичность регламентируются по ГОСТ Р 52630-2012 [7], ГОСТ 3242-79 [34] и ГОСТ 3285-77 [35].

Суть гидравлического контроля: сварную конструкцию наполняют водой, при помощи насоса создают давление в 1,5…2 раза превышавшие рабочее и выдерживают конструкцию под давлением на протяжении 5…10 минут. После создания пробного гидравлического давления сварные швы конструкции ос-

матривают с целью выявления утечки воды, выноса капель и отпотевании. После обнаружения утечек давление в конструкции сбрасывает и вода откачивается обратно.

Контроль качества сварного соединения №3, осуществляем следующим образом: после приварки опорного кольца к обечайке и штуцеру в нем высверливаем небольшое отверстие для дальнейшей приварки к нему штуцера и подачи в штуцер пробного гидравлического давления в 1 МПа, при этом осматриваем сварные соединения на возможные течи, отпотевания. Давление выдерживаем на протяжении 5…10, после воду выкачиваем, штуцер срезаем, оставшееся отверстие завариваем на тех же режимах, на которых проводят сварку данного соединения.

Назначаем для сварных швов № 1, 2, 3 и 4 метод контроля течеисканием в соответствии с требованиями ГОСТ 52630-2012 [7] и ГОСТ 3242–79 [34] пробным гидравлическим давлением в 1 МПа, на протяжении 10 минут.

6. Проектирование средств технологического оснащения

В выпускной квалификационной работе для сварки продольных и кольцевых швов между обечайками и днищами предлагается использовать Роликовый стенд М61071 и велосипедную тележку ВТ-3, которая представлена на рисунке 22.

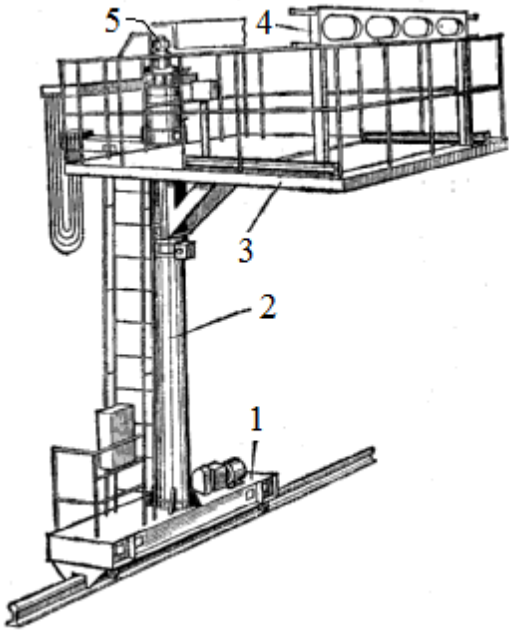


Рисунок 22 – Велосипедная тележка с балконом: 1– самоходная платформа; 2– стойка; 3 – балкон; 4 – направляющая для сварочного аппарата; 5 – верхний ролик

Все сварные швы выполняем на роликовых опорах. Роликовый стенд М61071 служит для вращения обечаек с определенной скоростью при автоматической сварке кольцевых и продольных швов.

Вращатель состоит из не приводной и приводной секций, установленных на фундамент. Приводная секция представляет собой раму, с двумя приводными роликоопорами, обе со своим приводом вращения. Общий шкаф управления приводами закреплен на раме.

Непрвиодная секция содержит две не приводные роликовые опоры.

Для настройки вращателя на заданный диаметр свариваемого изделия перемещаем роликоопоры на секциях. Перемещение роликоопор осуществляем винтовой подачей до совпадения стрелки на роликоопоре и давлением на линейке. Достижение рационального расположения с помощью вращателей способствует сокращению вспомогательного времени на сварку.

Технические параметры роликового стенда приведены в таблице 27.

Таблица 27 – Технические параметры роликового стенда

Наименования параметров	Значение
Крутящий момент на оси вращения приводных роликов, Н×м,	не менее2000,0
Грузоподъемность, кг	20000,0
Внешний диаметр роликов, мм	400,0
Диаметр свариваемых изделий, мм	400,0…4000,0
Угловой люфт приводного ролика, градусы, не более 3 мм на радиус 200 мм	0,8
Скорость вращения приводных роликов, об/мин	
Наименьшая	0,075
Наибольшая	2,5
Наименьшая маршевая	0,0016
Наибольшая маршевая	0,0522
Отклонение сварочной скорости, %	4,
Габаритные размеры	
Приводной роликоопоры, мм	5500,0×695,0×560,0
Не приводной, мм	2684,0×530,0×560,0
Масса, кг	1310,0
Устанавливаемая мощность, кВт	3,0

Тележки для сварки длинных прямолинейных и кольцевых швов имеют по мимо маршевой, еще и рабочую(сварочную) скорость перемещения.

Перемещение велотележки осуществляем по двум, расположенным в вертикальной плоскости. Велосипедные тележки монтируют из колонн установленных на двухколесных платформах, которые осуществляют перемещение по

верхнему рельсу, удерживающему тележку от опрокидывания. Тележка обладает небольшой производственной площадью, может быть расположена только у стенки цеха, в противном случае необходимо специальное удерживающее устройство для верхнего рельса. Верхний рельс иногда может быть закреплен на цеховых колоннах, такое крепление допустимо только при достаточной жесткости колонн. Во избежание передачи колебаний колонн при движении велотележки на сварочный аппарат, крепления кронштейнов осуществляют с помощью амортизирующих(резиновых) прокладок.

Технические характеристики велосипедной тележки ВТ-3 приведены в таблице 28.

Таблица 28 – Технические характеристики велосипедной тележки ВТ-3

Параметры	Значения
Высота уровня сварки, мм	2200,0…4800,0
Наибольшая длинна швов, мм	2500,0
Маршевая скорость перемещения тележки, м/мин	10,0
Габаритные размеры, мм	4500,0×3900,0×7000,0
Масса, кг	5300,0

Произведём расчет скорости вращения обечайки.

Скорость автоматической сварки для кольцевых швов, согласно рассчитанным показателям составляет 34…38 м/ч или 0,6 ± 0,03 м/мин.

Расчет скорости вращения обечайки на роликовом стенде ω определяется по формуле [17]:

$$\omega = \frac{\upsilon_{СВ}}{R}, \text{ об/мин}, \qquad (6.1)$$

где $\upsilon_{СВ}$ – скорость сварки кольцевых швов автоматической сваркой, м/мин;

R – радиус обечайки, м.

Подставляем полученные данные в формулу 6.1.

$$\omega = \frac{0,6}{0,7} = 0,857 \text{ об/мин}$$

Таким образом роликовый стенд обеспечивает вращение обечайки со сварочной скоростью для сварки кольцевых швов, так как это значение входит в диапазон допустимых скоростей вращения роликов от 0,075 до 2,5 об/мин.

Заключение

В выпускной квалификационной работе в соответствии с исходными требованиями к сварной конструкции проведена работа по проектированию элементов конструкции и технологии сборки и сварки.

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы были решены задачи по: расчету и проектированию сварной конструкции; методике выбора основных и сварочных материалов; расчету режимов и выбору оборудования для получения качественных сварных швов; составлению и составу технологической документации, применяемой в области сварочного производства; контролю качества сварных соединений.

Конструкция корпуса является технологичной, выбранные способы и режимы сварки позволяют выполнить сварные соединения требуемого качества при минимальных затратах.

Список используемых источников

1. **Стенд для сборки и сварки обечайки** [Текст]: пат. 1030132 Рос. Федерация: МПК *B*23*K*37/04 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.

2. **Установка для сборки и сварки цилиндрической обечайки с днищем** [Текст]: пат. 1454630 Рос. Федерация: МПК *B*23*K* 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.

3. **Установка для сварки кольцевых стыков оболочек** [Текст]: пат. 2374053 Рос. Федерация: МПК *B*23*K* 31/02, *B*23*K* 37/053, *B*23*K* 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.

4. **Корпуса цилиндрические стальных сварных сосудов и аппаратов. Типы, основные параметры и размеры** [Текст]: ГОСТ 9931-85. – Введ. – 1987-01-01. – М.: Издательство стандартов, 1988. – I, 25 с.: ил.

5. **Прокат листовой горячекатаный. Сортамент** [Текст]: ГОСТ 19903-2015. – Введ. – 2016-09-01. – М.: Стандартинформ, 2016, 9 с.: ил.

6. **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.

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

8. **Аппараты колонные. Технические требования** [Текст]: ГОСТ 31838-2012. – Введ. – 2014-01-01. – М.: Стандартинформ, 2012. – 12 с.: ил.

9. **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.

10. **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. Федераци. – М.: Кодекс, 2001. – 22 с.

11. **Контроль неразрушающий. Цветной метод контроля сварных соединений, наплавленного и основного металла** [Текст]: ОСТ 26-5-99. – Введ. – 2004-04-01. – М.: Государственный комитет СССР по стандартам, 1999. – 38 с.: ил.

12. **Прокат листовой из углеродистой, низколегированной и легированной стали для котлов и сосудов, работающих под давлением** [Текст]: ГОСТ 5520-79. – Введ. – 1980-01-01. – М.: ИПК издательство стандартов, 2003. – IV, 18 с.: ил.

13. **Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность** [Текст]: ГОСТ 14249-89. – Введ. 1990-01-01. – М.: Стандартинформ, 2008. – 54 с.: ил.

14. **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.

15. **Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность укрепления отверстий** [Текст]: ГОСТ 24755-89. – Введ. 1990-01-01. – М.: Издательство стандартов СССР, 1989. – 39 с.: ил.

16. **Сварка под флюсом. Соединения сварные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры** [Текст]: ГОСТ 8713-79. – Введ. – 1981-01-01. – М.: Стандартинформ, 2007 – III, 38с.: ил.

17. **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.

18. **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.

19. **Ручная дуговая сварка. Соединения сварные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры** [Текст]: ГОСТ 5264-80. – Введ. 1981-07-01. – М.: Госстандарт СССР, 1980. –I, 37 с.: ил.

20. **Единая база технологической документации. Термины и определения основных понятий** [Текст]: ГОСТ 3.1109-82. – Введ. 1983-01-01. – М.: Стандартинформ, 2012. – 98 с.

21. **Обеспечение технологичности конструкции изделия** [Текст]: ГОСТ 14.201-83. – Введ. 1984-01-01. – М.: Стандартинформ, 2009. – 8 с.

22. **Нормирование расхода материалов** [Текст]: ГОСТ 14.322-83. – Введ. 1984-01-01. – М.: Стандартинформ, 2009. – I, 6с.: ил.

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

24. **Флюсы сварочные плавленые. Технические условия** [Текст]: ГОСТ 9087-81. – Введ .1982-01-01. – М.: Издательство стандартов, 2002. – II, 10 с.

25. **Электроды покрытые металлические для ручной дуговой сварки сталей и наплавки. Классификация и общие технические условия** [Текст]: ГОСТ 9466-75. – Введ. 1976.01.01. – М.: Госстандарт СССР, 1975. –10 с.

26. **Электроды покрытые металлические для ручной дуговой сварки конструкционных и теплоустойчивых сталей** [Текст]: ГОСТ 9467-75. –

Введ. 1997-01-01. – М.: Госстандарт СССР, 1977. –6 с

27. **Двуокись углерода газообразная и жидкая. Технические условия** [Текст]: ГОСТ 8050-85. – Введ. 1987-01-01. – М.: Издательство стандартов, 1995. – II, 22 с.

28. . **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.

29. **Устройства строповые для сосудов и аппаратов. Технические условия** [Текст]: ГОСТ 13716-73. – Введ. 1975-01-01. – М.: ИПК издательство стандартов, 1999. – IV, 21с.

30. **Контроль неразрушающий. Соединения сварные. Методы ультразвуковые** [Текст]: ГОСТ Р 55724-2013. – Введ. 2015-07-01. – М.: Стандартинформ, 2014. – 41 с.: ил.

31. **Контроль неразрушающий. Капиллярные методы. Общие требования** [Текст]: ГОСТ 18442-80. – Введ. 1981-07-01. – М.: Издательство стандартов, 2005. – II, 56 с.

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

33. **Сварные соединения. Механические испытания** [Текст]: РД 26-11-08-86. – Введ. 1987-01-01. – Волгоград: Министерство химического и нефтяного машиностроения, 1986. – 26 с.

34. **Соединения сварные. Методы контроля качества** [Текст]: ГОСТ 3242-79. – Введ. 1981-01-01. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2002. – 9 с.

Приложение А

КАРТА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА СВАРКИ (НАПЛАВКИ)
СВАРНЫХ ШВОВ №1, 2.
ВОЗДУХОСБОРНИКА В-6,3

№ п/п	Наименование	Обозначения (показатели)
1	Нормативный документ	*ГОСТ Р 52630-2012; ПБ 03-584-03*
2	Способ сварки	*АФ*
3	Основной материал (марки)	*16ГС*
4	Основной материал (группа)	*1 (М01)*
5	Сварочные материалы	*Св-12ГС*
6	Толщина свариваемых деталей	*6 мм*
7	Диаметр деталей в зоне сварки	*Плоские детали*
8	Тип шва	*СШ*
9	Тип соединения	*Стыковое, С7 ГОСТ 8713-79*
10	Вид шва соединения	*дс, бз*
11	Форма подготовки кромок	*Без разделки кромок*
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.

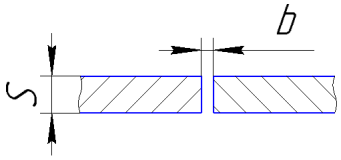
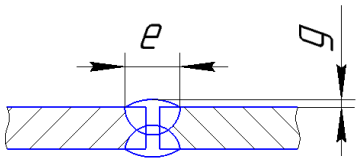
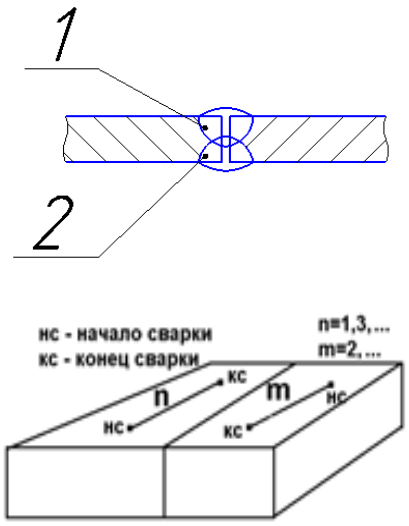
Конструкция соединения	Конструктивные элементы шва	Порядок сварки
		

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

S=S1	N	b		e	g	
		Номин.	Пред. откл.	Номин.	Номин.	Пред. откл.
6	1	0	+1,0	< 19	2,0	+1,0 -1,5

Сварочное оборудование (тип): *тип А10*
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: *Прихватить с помощью РДС: длинна прихватки 60±10 мм, шаг 200±10, электроды*

					ПГУ.ВКР.15.03.01.14М0114.ПЗ		
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			
Разраб.		Сингин И.Л.			Разработка технологии сборки и сварки воздухосборника В-6,3 из стали 16ГС	Лит.	Лист 92 / Листов 105
Провер.		Мещеряков А.С.					
Н. Контр.		Хорин А.В.				Каф. СЛПиМ, гр. 14М01	
Утверд.		Логинов О.Н.					

УОНИ13/45–∅4 мм, сварочный ток 140-160 А, напряжение на дуге 20-24 В, полярность обратная
Защита сварочной ванны/защита корня шва: *флюсовая защита*
Газ/флюс: *флюс АН-348А*
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**
1	*3*	*по*	*320-400*	*60-70*	*30-32*	*34-38*	*73-82*
2	*3*	*по*	*320-400*	*60-70*	*30-32*	*34-38*	*73-82*

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	*ГОСТ Р 52630-2012; ПБ 03-584-03; ГОСТ 3242-79*	*ГОСТ Р 52630-2012; ПБ 03-584-03; ГОСТ 3242-79*	*100 %*
Ультразвуковой	*ГОСТ Р 52630-2012; ПБ 03-584-03; ГОСТ 14782-86*	*ГОСТ Р 52630-2012; ПБ 03-584-03; ГОСТ 14782-86*	*50 %*
Статическое растяжение	*ГОСТ Р 52630-2012; ПБ 03-584-03; ГОСТ 1497-84*	*ГОСТ Р 52630-2012; ПБ 03-584-03; ГОСТ 1497-84*	*2 образца*
Статический изгиб	*ГОСТ Р 52630-2012; ПБ 03-584-03; ГОСТ 1497-84*	*ГОСТ Р 52630-2012; ПБ 03-584-03; ГОСТ 1497-84*	*2 образца*
Гидравлические испытания	*ГОСТ Р 52630-2012; ПБ 03-584-03*	*ГОСТ Р 52630-2012; ПБ 03-584-03*	

Разработал: _____ /*Сингин И.Л.*/
(подпись)

КАРТА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА СВАРКИ (НАПЛАВКИ) СВАРНЫХ ШВОВ №3. ВОЗДУХОСБОРНИКА В-6,3

№ п/п	Наименование	Обозначения (показатели)
1	Нормативный документ	*ГОСТ Р 52630-2012; ПБ 03-584-03*
2	Способ сварки	*УП*
3	Основной материал (марки)	*16ГС*
4	Основной материал (группа)	*1 (М01)*
5	Сварочные материалы	*Св-12ГС*
6	Толщина свариваемых деталей	*6 мм*
7	Диаметр деталей в зоне сварки	*Плоские детали*
8	Тип шва	*СШ*
9	Тип соединения	*Стыковое, С8 ГОСТ 14771-76*
10	Вид шва соединения	*ос, бп*
11	Форма подготовки кромок	*С разделкой одной кромки, угол 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.

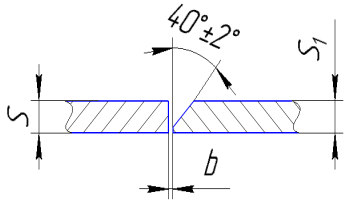
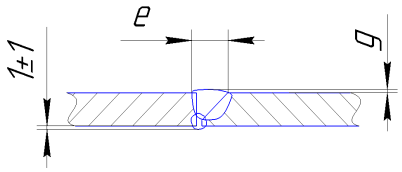
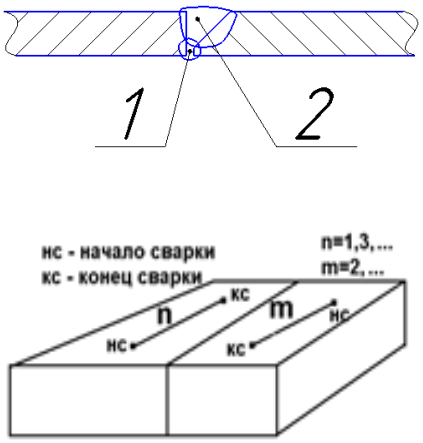
Конструкция соединения	Конструктивные элементы шва	Порядок сварки
		

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

S=S1	N	b		e		g	
		Номин.	Пред. откл.	Номин.	Пред. откл.	Номин.	Пред. откл.
6	2	1	±1,0	8	±2	1,0	±1

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: *Прихватить с помощью РДС: длинна прихватки 60±10 мм, шаг 200±10, электроды УОНИ13/45–∅4 мм, сварочный ток 140-160 А, напряжение на дуге 20-24 В, полярность обратная*
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
1	*1,6*	*по*	*230-270*	*11,8-13,8*	*29-31*	*23-25*	*211-231*
2	*2*	*по*	*320-360*	*15-17*	*30-32*	*34-36*	*196-216*

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	*ГОСТ Р 52630-2012; ПБ 03-584-03; ГОСТ 3242-79*	*ГОСТ Р 52630-2012; ПБ 03-584-03; ГОСТ 3242-79*	*100 %*
Ультразвуковой	*ГОСТ Р 52630-2012; ПБ 03-584-03; ГОСТ 14782-86*	*ГОСТ Р 52630-2012; ПБ 03-584-03; ГОСТ 14782-86*	*50 %*
Статическое растяжение	*ГОСТ Р 52630-2012; ПБ 03-584-03; ГОСТ 1497-84*	*ГОСТ Р 52630-2012; ПБ 03-584-03; ГОСТ 1497-84*	*2 образца*
Статический изгиб	*ГОСТ Р 52630-2012; ПБ 03-584-03; ГОСТ 1497-84*	*ГОСТ Р 52630-2012; ПБ 03-584-03; ГОСТ 1497-84*	*2 образца*
Гидравлические испытания	*ГОСТ Р 52630-2012; ПБ 03-584-03*	*ГОСТ Р 52630-2012; ПБ 03-584-03*	

Разработал: _____ /*Сингин И.Л.*/
(подпись)

КАРТА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА СВАРКИ (НАПЛАВКИ)
СВАРНЫХ ШВОВ №5
ВОЗДУХОСБОРНИКА В-6,3

№ п/п	Наименование	Обозначения (показатели)
1	Нормативный документ	*ГОСТ Р 52630-2012; ПБ 03-584-03*
2	Способ сварки	*УП*
3	Основной материал (марки)	*16ГС*
4	Основной материал (группа)	*1 (М01)*
5	Сварочные материалы	*СВ-12ГС*
6	Толщина свариваемых деталей	*6 мм*
7	Диаметр деталей в зоне сварки	*221 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 одной кромки, угол 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.

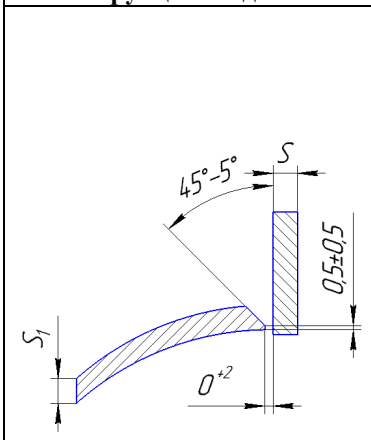
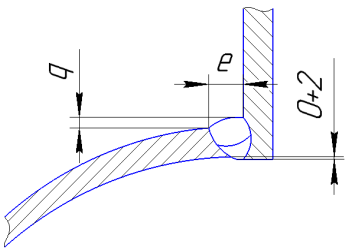
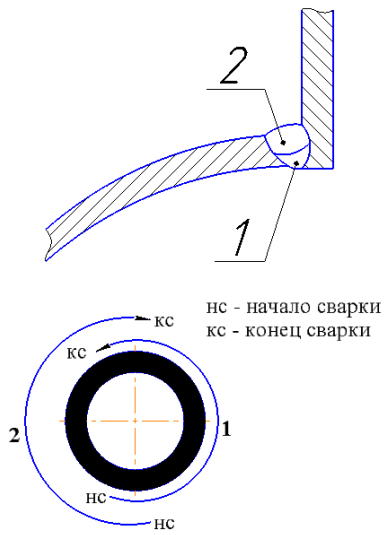
Конструкция соединения	Конструктивные элементы шва	Порядок сварки
		

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

S	S1	N	e	q	
				Номин.	Пред. откл.
6	6	2	≤ 16	4	+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
Корневой	*2*	*по*	*270-350*	*15-17*	*28-30*	*26-28*	*154-174*
Запол-няющий	*2*	*по*	*330-400*	*15-17*	*32,1-34,1*	*31-33*	*230-250*

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 измери-тельный	*ГОСТ Р 52630-2012; ПБ 03-584-03; ГОСТ 3242-79*	*ГОСТ Р 52630-2012; ПБ 03-584-03; ГОСТ 3242-79*	*100 %*
Ультразвуковой	*ГОСТ Р 52630-2012; ПБ 03-584-03; ГОСТ 14782-86*	*ГОСТ Р 52630-2012; ПБ 03-584-03; ГОСТ 14782-86*	*50 %*
Гидравлические испытания	*ГОСТ Р 52630-2012; ПБ 03-584-03*	*ГОСТ Р 52630-2012; ПБ 03-584-03*	

Разработал: _____ /*Сингин И.Л.*/
(подпись)

КАРТА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА СВАРКИ (НАПЛАВКИ)
СВАРНЫХ ШВОВ №4
ВОЗДУХОСБОРНИКА В-6,3

№ п/п	Наименование	Обозначения (показатели)
1	Нормативный документ	*ГОСТ Р 52630-2012; ПБ 03-584-03*
2	Способ сварки	*УП, РД*
3	Основной материал (марки)	*16ГС*
4	Основной материал (группа)	*1 (М01)*
5	Сварочные материалы	*Св-12ГС, УОНИ 13/55*
6	Толщина свариваемых деталей	*6 мм*
7	Диаметр деталей в зоне сварки	*500, 700*
8	Тип шва	*УШ*
9	Тип соединения	*Угловое, У3 РД 26-18-8-89*
10	Вид шва соединения	*ос, бп*
11	Форма подготовки кромок	*С разделкой кромок с одной стороны, угл 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.

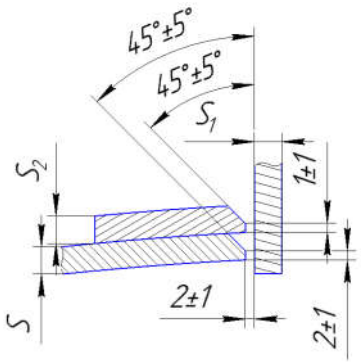
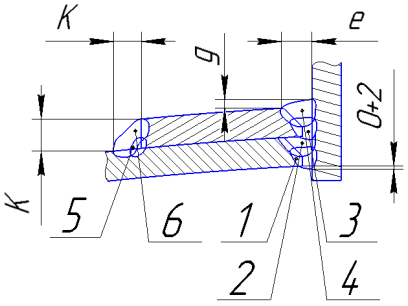
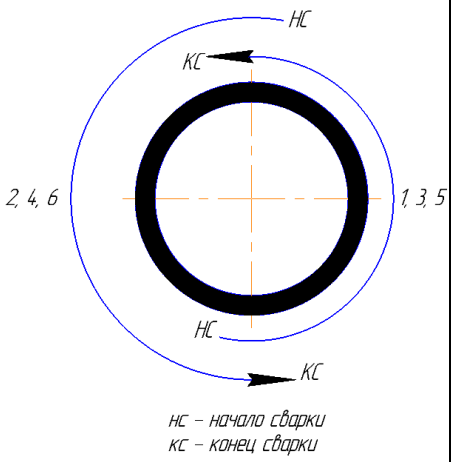
Конструкция соединения	Конструктивные элементы шва	Порядок сварки
		

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

$S=S_1=S_2$	K	N	e	q	
				Номин.	Пред. откл.
6	0,8S	6	≤ 16	4	+2

Сварочное оборудование (тип): *для швов № 1,2,3,4 тип А11; для швов № 5,6 А1.*
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: *нет*
Защита сварочной ванны/защита корня шва: *для швов № 1,2,3,4 газовая защита; для швов № 5,6 нет*
Газ/флюс: *для швов № 1,2,3,4 углекислый газ 1-го сорта ГОСТ 8050-85; для швов № 4,5 нет.*
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
1	*2*	*Постоянный, обратная*	*270-350*	*15-17*	*29,6-31,6*	*26-28*	*154-174*
2	*2*	*Постоянный, обратная*	*330-400*	*15-17*	*32,1-34,1*	*31-33*	*230-250*
3	*2*	*Постоянный, обратная*	*270-350*	*15-17*	*29,6-31,6*	*26-28*	*154-174*
4	*2*	*Постоянный, обратная*	*330-400*	*15-17*	*32,1-34,1*	*31-33*	*230-250*
5	*3*	*Постоянный, обратная*	*90-120*	*-*	*20-26*	*4-6*	*-*
6	*4*	*Постоянный, обратная*	*120-160*	*-*	*20-26*	*4-6*	*-*

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	*ГОСТ Р 52630-2012; ПБ 03-584-03; ГОСТ 3242-79*	*ГОСТ Р 52630-2012; ПБ 03-584-03; ГОСТ 3242-79*	*100 %*
Гидравлические испытания	*ГОСТ Р 52630-2012; ПБ 03-584-03*	*ГОСТ Р 52630-2012; ПБ 03-584-03*	
Капиллярный	*ГОСТ Р 52630-2012; ПБ 03-584-03*	*ГОСТ 18442-80, ОСТ 26-5-99*	*100 %*

Разработал: _____ /*Сингин И.Л.*/
(подпись)

КАРТА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА СВАРКИ (НАПЛАВКИ) СВАРНЫХ ШВОВ № 5. ВОЗДУХОСБОРНИКА В-6,3

№ п/п	Наименование	Обозначения (показатели)
1	Нормативный документ	*ГОСТ Р 52630-2012; ПБ 03-584-03*
2	Способ сварки	*РД*
3	Основной материал (марки)	*16ГС*
4	Основной материал (группа)	*1 (М01)*
5	Сварочные материалы	*УОНИ 13/55*
6	Толщина свариваемых деталей	*6 мм*
7	Диаметр деталей в зоне сварки	*Плоские детали*
8	Тип шва	*СШ*
9	Тип соединения	*Нахлесточное, Н1 ГОСТ 5264-80*
10	Вид шва соединения	*ос, сп*
11	Форма подготовки кромок	*Без разделки кромок*
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.

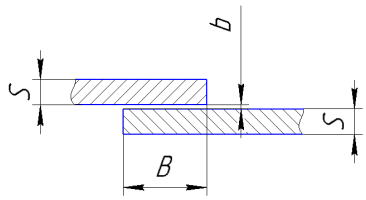
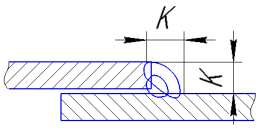
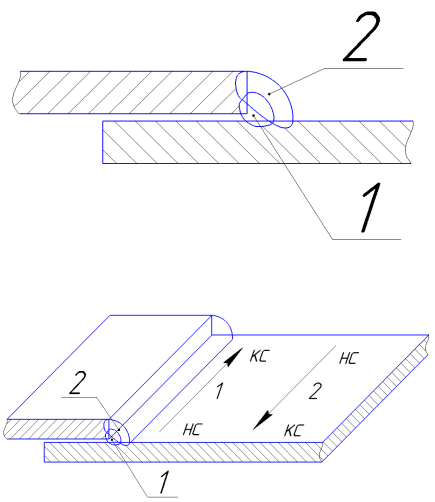
Конструкция соединения	Конструктивные элементы шва	Порядок сварки
		

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

S=S1	N	b		B
		Номин.	Пред. откл.	
6	2	0	+1,5	8-40

Сварочное оборудование (тип): *тип А1.*
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: *Прихватить РДС длинна 50±10 мм, шаг 90±10 мм, электроды УОНИ13/45–∅ 4 мм, сварочный ток 140-160 А, напряжение на дуге 20-24 В, полярность обратная*
Защита сварочной ванны/защита корня шва: *нет*
Газ/флюс: *нет*
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
1	*3*	*Постоянный, обратная*	*90-120*	*-*	*20-26*	*4-6*	*-*
2	*4*	*Постоянный, обратная*	*120-160*	*-*	*20-26*	*4-6*	*-*

Примечания: *в таблице приведены параметры режима сварки в положении Н1.*

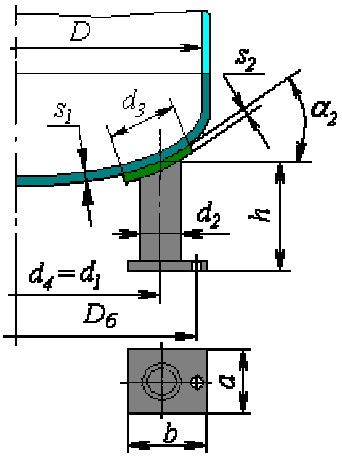
Требования к контролю качества

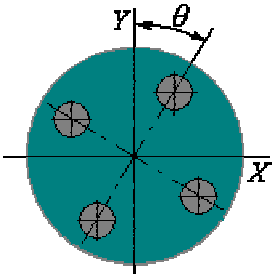
Метод контроля, вид испытаний	НД на методику контроля	НД на оценку качества	Объем контроля
Визуально измерительный	*ГОСТ Р 52630-2012; ПБ 03-584-03; ГОСТ 3242-79*	*ГОСТ Р 52630-2012; ПБ 03-584-03; ГОСТ 3242-79*	*100 %*
Капиллярный	*ГОСТ Р 52630-2012; ПБ 03-584-03*	*ГОСТ 18442-80, ОСТ 26-5-99*	*100 %*

Разработал: _____ /*Сингин И.Л.*/
(подпись)

Приложение Б

Расчёт опорных стоек в системе *Passat* 2.15





Исходные данные

Элемент, связанный с опорой:	Днище эллиптическое №2
Тип опоры:	Тип А
Внутренний диаметр обечайки(днища), D:	1400 мм
Толщина стенки обечайки, s_1:	6 мм
Прибавка для компенсации коррозии и эрозии, c_1:	1 мм
Прибавка для компенсации минусового допуска, c_2:	0,25 мм
Прибавка технологическая, c_3:	0 мм
Сумма прибавок к расчётной толщине стенки, c:	1,25 мм
Число опор:	Четыре (обычный монтаж)
Диаметр окружности стоек, d_1:	1100 мм
Высота опоры, h:	200 мм
Наружный диаметр стойки, d_2:	140 мм
Диаметр опорной окружности, d_4:	1100 мм
Угол между осью стойки и вертикалью, β: $\beta = \operatorname{arctg}\left(\frac{d_1 - d_4}{2 \cdot h}\right)$	0 °
Угол расположения опор, ϑ:	45 °

Анкерные болты:

Материал:	16ГС (МДС 31-4.2000)
Номинальный диаметр, d:	12 мм
Диаметр болтовой окружности, $D_б$:	1300 мм

					ПГУ.ВКР.15.03.01.14М0114.ПЗ		
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			
Разраб.		Сингин И.Л.			Разработка технологии сборки и сварки воздухосборника В-6,3 из стали 16ГС	Лит.	Лист 103 / Листов 105
Провер.		Мещеряков А.С.					
Н. Контр.		Хорин А.В.				Каф. СЛПиМ, гр. 14М01	
Утверд.		Логинов О.Н.					

Подкладной лист:

Диаметр подкладного листа, d_3: 200 мм

Толщина подкладного листа, s_2: 6 мм

Эффективный диаметр в месте приварки:
$d_e = d_3 = 200$ мм

Расчётные величины для эллиптического днища с H = 0.25D = 350 мм:

$1-\frac{3}{4}\cdot\left(\frac{d_4}{D}\right)^2$ *= 1 – 3/4 * (1100 / 1400)^2* = 0,537

$\sin\alpha_2 = \frac{d_4}{2\cdot D\cdot\sqrt{1-\frac{3}{4}\cdot\left(\frac{d_4}{D}\right)^2}}$ *= 1100 / (2 * 1400 * (0,537)$^{1/2}$)* = 0,5361

α_2 *= arcsin(0,5361)* = 32,42 °

$r_m = \frac{2\cdot D\cdot\sqrt{1-\frac{3}{4}\cdot\left(\frac{d_4}{D}\right)^2}}{1+\frac{1}{1-\frac{3}{4}\cdot\left(\frac{d_4}{D}\right)^2}}$ *= 2* 1400 * (0,537)$^{1/2}$ / (1 + 1/ 0,537)* = 716,9 мм

Расчёт в рабочих условиях

Условия нагружения:

Расчётная температура, T: 25 °C

Расчётное внутреннее избыточное давление, p: 0,766 МПа

Расчётный изгибающий момент, M: 110,7 Н м

Расчётное внешнее осевое усилие, F: 0 Н

Расчёт на прочность и устойчивость по ГОСТ Р 52857.5-2007

Действие момента M допускается только в том случае, если опоры связаны между собой жесткой рамой, препятствующей взаимному перемещению стоек.
При этом должно быть выполнено условие:

$\frac{G+F}{4} > \frac{M}{d_4}$

$\frac{G+F}{4}$ *= (9576 + 0) / 4* = 2394 Н

$\frac{M}{d_4}$ *= 110,7 / 1100* = 100,6 Н

Условие выполнено, расчёт анкерного болта не требуется

Определение расчётных усилий

Усилие, действующее на опору:

$F_1 = \frac{G+F}{2} + \frac{M}{d_4}$ *= (9576 + 0) / 2 + 110,7 / 1100* = 4889 Н

Допускаемое осевое усилие в месте приварки стойки :

$[F_1] = 1.57\cdot[\sigma]\cdot(s_1-c)^2\cdot\frac{\cos\beta}{\cos(\alpha_2-\beta)}\cdot\sqrt{1+5\cdot\frac{d_e^2}{r_m\cdot(s_1-c)}}$ *= 1.57 * 181,5 * (6 – 1,4)^2 * cos(0) / cos(32,42 – 0) * (1 + 5 * 200^2 / (716,9 * (6 – 1,4)))$^{1/2}$* = $5{,}608\cdot10^4$ Н

$$\frac{F_1}{[F_1]} \le 1.0$$

$$\frac{F_1}{[F_1]} = 4889 / 5{,}608 \cdot 10^4 \qquad [F_1] = 1{,}57 \cdot [\sigma] \cdot (S_1 - C)^2 \cdot \frac{\cos\beta}{\cos(\alpha_2 - \beta)} \cdot \sqrt{1 + 5 \cdot \frac{d_e^2}{r_m \cdot (S - C)}} = 2{,}03$$

Условие прочности и устойчивости выполнено

Допускаемое внутреннее избыточное давление в срединной части выпуклого днища Днище эллиптическое №2:

$[p_1]$ = 1,191 МПа

$$\frac{F_1 - p \cdot \frac{\pi \cdot d_4^2}{4}}{[F_1]} + \frac{p}{[p_1]} \le 1.0$$

$$\frac{F_1 - p \cdot \frac{\pi \cdot d_4^2}{4}}{[F_1]} + \frac{p}{[p_1]} \le 1.0 = (4889 - 0{,}766 * 3{,}142 * 200^2 / 4) / 5{,}608 \cdot 10^4 + 0{,}766 / 1{,}191 = 0{,}3014 \le 1.0$$

Условие прочности и устойчивости выполнено

Расчёт в условиях испытаний (Гидроиспытания)

Условия нагружения при испытаниях:

Расчётная температура, T:	20 °C
Расчётное внутреннее избыточное давление, p:	1,013 МПа
Расчётный изгибающий момент, M:	299,3 Н м
Расчётное внешнее осевое усилие, F:	0 Н

Расчёт на прочность и устойчивость по ГОСТ Р 52857.5-2007

Действие момента M допускается только в том случае, если опоры связаны между собой жесткой рамой, препятствующей взаимному перемещению стоек.

При этом должно быть выполнено условие:

$$\frac{G+F}{4} > \frac{M}{d_4}$$

$$\frac{G+F}{4} = (7{,}177 \cdot 10^4 + 0) / 4 = 1{,}794 \cdot 10^4 \text{ Н}$$

$$\frac{M}{d_4} = 299{,}3 / 1100 = 272{,}1 \text{ Н}$$

Условие выполнено, расчёт анкерного болта не требуется

Определение расчётных усилий

Усилие, действующее на опору :

$$F_1 = \frac{G+F}{2} + \frac{M}{d_4} = (7{,}177 \cdot 10^4 + 0) / 2 + 299{,}3 / 1100 = 3{,}616 \cdot 10^4 \text{ Н}$$

Допускаемое осевое усилие в месте приварки стойки :

$$[F_1] = 1.57 \cdot [\sigma] \cdot (s_1 - c)^2 \cdot \frac{\cos\beta}{\cos(\alpha_2 - \beta)} \cdot \sqrt{1 + 5 \cdot \frac{d_0^2}{s_m \cdot (s_1 - c)}} = 1.57 * 254{,}5 * (6 - 1{,}4)^2 * \cos(0) / \cos(32{,}42 - 0) * (1 + 5 * 200^2 / (716{,}9 * (6 - 1{,}4)))^{1/2} = 7{,}866 \cdot 10^4 \text{ Н}$$

$$\frac{F_1}{[F_1]} \le 1.0$$

$$\frac{F_1}{[F_1]} = 3{,}616 \cdot 10^4 / 7{,}866 \cdot 10^4 = 0{,}4597 \le 1.0$$

Условие прочности и устойчивости выполнено