

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

Факультет
промышленных технологий,
электроэнергетики и
транспорта
(наименование)

Кафедра
«Сварочное, литейное производство
и материаловедение»
(наименование)

Направление подготовки

15.03.01 «Машиностроение»
(код и наименование)

Профиль

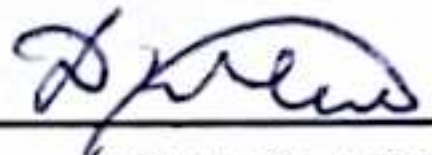
«Оборудование и технология
сварочного производства»
(наименование)

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему

«Разработка технологии сборки и сварки корпуса шарового крана
DN 500 из стали 09Г2С»

Студент

 20.06.25
(подпись, дата)

Мещеряков Даниил
Аркадьевич
(ф.и.о. полностью)

Научный руководитель
к.т.н., профессор

 20.06.25
(подпись, дата)

Казанцев И.А.
(фамилия, инициалы)

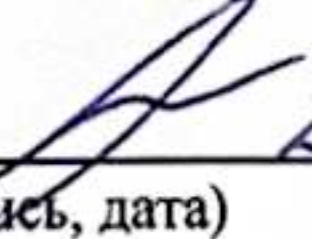
Нормоконтролёр
к.т.н., доцент

 21.06.25
(подпись, дата)

Хорин А.В.
(фамилия, инициалы)

Работа допущена к защите (протокол заседания кафедры от 10.06.2025 № 13)

Заведующий кафедрой

 23.06.25
(подпись, дата)

Розен А.Е.
(фамилия, инициалы)

Работа защищена с отметкой Хорошо (протокол заседания ГЭК от 23.06.2025 № 2)

Секретарь ГЭК
к.т.н., доцент

 23.06.2025
(подпись, дата)

Гуськов М.С.
(фамилия, инициалы)

Пенза, 2025

ФГБОУ ВО «ПЕНЗЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
ФАКУЛЬТЕТ ПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ
И ТРАНСПОРТА

Кафедра «Сварочное, литейное производство и материаловедение»

«Утверждаю»

Заведующий кафедрой СЛПИМ
д.т.н., профессор А.Е. Розен

подпись

« 28 » *декабря* 202 *4* г.

ЗАДАНИЕ

на выпускную квалификационную работу

Студента гр. 21МОС1 ФПТЭТ Политехнического института ПГУ, очной формы обучения по направлению подготовки 15.03.01 «Машиностроение»

Мещеряков Даниил Аркадьевич

Научный руководитель работы: к.т.н., профессор Казанцев И.А.

Время выполнения ВКР: с 28.12.2024 г. по 04.07.2025 г.

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

Тема работы: Разработка технологии сборки и сварки корпуса шарового крана DN500 из стали 09Г2С

Тема утверждена приказом ректора ПГУ № 1381/О от 28.12.24 г.

Техническое задание на работу (назначение изделия, технология сборки и сварки): Разработать технологию сборки и сварки шарового крана DN 500 из стали 09Г2С:

- шаровой кран предназначен для перекрытия потока транспортируемой газообразной среды в трубопроводных линиях;
- рабочее давление 4 МПа;
- установка на открытом воздухе;
- температура окружающей среды от минус 40 до плюс 50 °С.

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;
- литературно-патентный обзор с выявлением патентной и научно-технической информации, исследованием технического уровня и тенденций развития технологии сварки;
- анализ объекта производства с обоснованием выбора основного материала корпуса и корпусных элементов;

- конструкторская часть – проектные расчеты корпуса шарового крана и корпусных элементов, расчеты на прочность сварных соединений;
- технологическая часть с расчетами режимов сварки, выбором сварочного оборудования и сварочных материалов, назначение методов контроля качества сварных соединений и выбор средств технологического оснащения;
- заключение – выводы и обоснования по теме работы и полученным результатам.

Графическая часть бакалаврской работы (перечень и содержание плакатов)

- Общий вид корпуса шарового крана 1л А1;
- Расчет на прочность корпуса (обечайки) крана шарового в программе «ПАССАТ» 1л А1;
- Технологические параметры режимов сварки 1л А1;
- Схема сборки и сварки шарового крана 1л А1;
- Средства технологического оснащения 1л А1;
- Методы контроля сварных соединений и КСС 1л А1;

Рекомендуемая литература:

1. Усатый С.Г. Проектирование сварных конструкций. Расчет сварных соединений [Текст]: учебное пособие / С.Г. Усатый, А.Е. Розен, С.Н. Чугунов, С.Г. Ракитин, А.В. Прыщак - Пенза: Изд-во Пензенского гос. ун-та, 2010. - 132 с.

2. Гордиевский В.Г. Инженерно-технологические основы подготовки сварочного производства [Текст]: учебное пособие / В.Г. Гордиевский, А.Е. Розен, С.Г. Усатый, С.С. Солдатова, А.О. Кривенков, А.В. Прыщак - Пенза: Изд-во Пензенского гос. ун-та, 2010. - 276 с.

Руководитель ВКР:

к.т.н., профессор

 Казанцев И.А.

Задание к исполнению принял студент

гр. 21МОС1

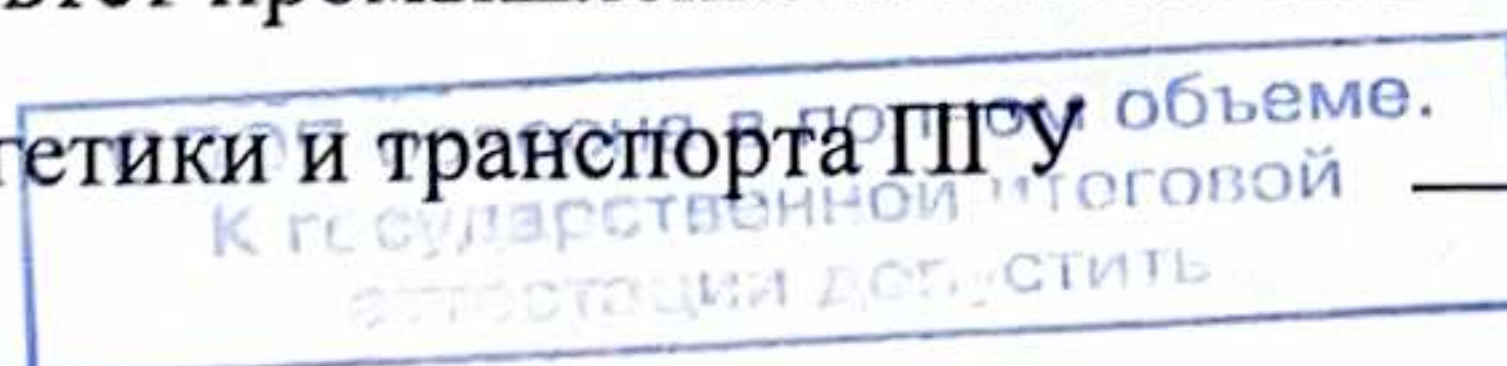
 Мещеряков Д.А.

28 декабря 2024 г.

Выпускную квалификационную работу к защите допустить

Декан факультет промышленных технологий

электроэнергетики и транспорта ПТУ



 С.Ю. Киреев

ФГБОУ ВО «ПЕНЗЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
ФАКУЛЬТЕТ ПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ
И ТРАНСПОРТА
кафедра «Сварочное, литейное производство и материаловедение»

«Утверждаю»
Руководитель ВКР
к.т.н., профессор Казанцев И.А.

_____ *подпись*
« ____ » _____ 202__ г.

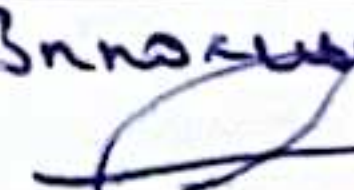
КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

на выпускную квалификационную работу

Студенту гр. 21МОС1 ФПТЭТ Политехнического института ПГУ, очной формы обучения по направлению подготовки 15.03.01 «Машиностроение»

Мещерякову Даниилу Аркадьевичу

Тема работы: Разработка технологии сборки и сварки корпуса шарового крана DN500 из стали 09Г2С

Наименование этапа работы	Срок исполнения		Отметка о выполнении
	начало	окончание	
1. Получение задания, его уяснение, беседа с руководителем. Подготовка к выполнению ВКР.	28.12.24	28.12.24	Выполнено 
2. Подбор и изучение рекомендованной литературы.	28.12.24	10.01.25	Выполнено 
3. Изучение объекта исследования, постановка цели и задачи работы. Написание введения.	20.01.25	27.01.25	Выполнено 
4. Проведение литературно-патентного обзора. Выбор основных нормативно-технических документов.	30.01.25	07.02.25	Выполнено 
5. Проектирование и расчет элементов конструкции изделия. Оформление соответствующего раздела.	10.02.25	19.02.25	Выполнено 
6. Разработка технологии сборки и сварки изделия. Контроль качества сварных соединений. Оформление соответствующих разделов.	21.02.25	16.03.25	Выполнено 
7. Завершение оформления пояснительной записки, схем и рисунков.	20.03.25	15.04.25	Выполнено 

8. Представление завершенной ВКР нормоконтролеру	28.04.25	06.05.25	Выполнено
9. Представление ВКР руководителю на просмотр и проверку на плагиат.	07.05.25	14.05.25	Выполнено
10. Предварительная защита ВКР	04.06.25	05.06.25	Выполнено
11. Полное завершение всех работ и представление зав. кафедрой на подпись пояснительной записки (совместно с графической частью, протоколом проверки на плагиат и отзывом руководителя)	18.06.25	20.06.25	Выполнено
12. Защита выпускной квалификационной работы	23.06.25	04.07.25	Выполнено

Прохождение каждого этапа подготовки ВКР подтверждается подписью руководителя.

Студент учебной группы 21МОС1 Д.А. Мещеряков Мещеряков Д.А.

" 28 " сентября 2024 г.

Ректору Пензенского
государственного университета
А. Д. Гулякову
от студента гр. 21МОС1

Мещерякова Даниила Аркадьевича
(фамилия, имя, отчество)

ЗАЯВЛЕНИЕ

Я, Мещеряков Даниил Аркадьевич, студент 4 курса очной формы обучения направления подготовки 15.03.01 «Машиностроение», бакалаврская программа «Оборудование и технология сварочного производства», прошу провести проверку с использованием системы «Антиплагиат» выпускной квалификационной работы на тему: *«Разработка технологии сборки и сварки корпуса шарового крана DN 500 из стали 09Г2С»*, выполненной мной самостоятельно, на содержание элементов плагиата.

Все прямые заимствования из печатных и электронных источников, а также из защищенных ранее выпускных квалификационных работ, кандидатских и докторских диссертаций имеют соответствующие ссылки.

Я ознакомлен с действующим Стандартом университета «Выпускная квалификационная работа обучающихся по образовательным программам высшего образования – программам бакалавриата, программам специалитета и программам магистратуры», согласно которому обнаружение плагиата является основанием для недопуска ВКР к защите.



(подпись студента)

15.05.25

(дата)

ВКР представлена на проверку _____ 15.05.25
(дата)

Руководитель ВКР



Подпись

Казанцев И.А.

И.О.Фамилия

Протокол

Проверки на оригинальность в системе «Антиплагиат. ВУЗ» выпускной квалификационной работы на тему «Разработка технологии сборки и сварки корпуса шарового крана DN500, ...» студента 4 курса Мещерякова Даниила Аркадьевича, направления подготовки 15.03.01 «Машиностроение», профиля подготовки «Оборудование и технология сварочного производства».

Руководитель ВКР: Казанцев Игорь Алексеевич, к. т. н, профессор каф. «Сварочное, литейное производство и материаловедение».

Результат проверки на плагиат бакалаврской работы Мещерякова Даниила Аркадьевича составляет 59,14% оригинальности, что соответствует существующим требованиям стандарта СТО ПГУ 3.12-2018. Выпускная квалификационная работа может быть рекомендована к защите.



Отчет предоставлен сервисом
«Антиплагиат» - <http://prgpa.antiplagiat.ru>



Отчет о проверке

Автор: Казанцев И. А.

Название документа: Мещеряков Д.А., ВКР

Проверяющий: Казанцев И. А.

Организация: Пензенский государственный университет

РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОВЕРКИ



Совпадения:
35,7%

Оригинальность:
59,14%

Цитирование:
5,16%

Самодетерминация:
0%

«Совпадения», «Цитирование», «Самодетерминация», «Оригинальность» являются отдельными показателями, отображаемыми в процентах и в сумме дающие 100%, что соответствует проверенному тексту документа.

- **Совпадения** — фрагменты проверенного текста, полностью или частично совпадающие с найденными источниками, за исключением фрагментов, которые система отнесла к цитированию или самодетерминации. Показатель «Совпадения» — это доля фрагментов проверенного текста, отнесенных к совпадениям, в общем объеме текста.
- **Самодетерминация** — фрагменты проверенного текста, совпадающие или почти совпадающие с фрагментами текста источника, автором или соавтором которого является автор проверенного документа. Показатель «Самодетерминация» — это доля фрагментов текста, отнесенных к самодетерминации, в общем объеме текста.
- **Цитирование** — фрагменты проверенного текста, которые не являются авторскими, но которые система отнесла к корректно оформленным. К цитированию относятся также шаблонные фразы, библиографические фрагменты текста, найденные модулем поиска «ПС Гарант» исключительно в правовой документации. Показатель «Цитирование» — это доля фрагментов проверенного текста, отнесенных к цитированию, в общем объеме текста.
- **Текстовое пересечение** — фрагмент текста проверенного документа, совпадающий или почти совпадающий с фрагментом текста источника.
- **Источник** — документ, проиндексированный в системе и содержащийся в выданном поиске, по которому проводится проверка.
- **Оригинальный текст** — фрагменты проверенного текста, не обнаруженные ни в одном источнике и не отнесенные ни одним из модулей поиска. Показатель «Оригинальность» — это доля фрагментов проверенного текста, отнесенных к оригинальному тексту, в общем объеме текста.

Обращаем Ваше внимание, что система находит текстовые совпадения проверенного документа с проиндексированными в системе источниками. При этом система является вспомогательным инструментом, определение корректности совпадения или цитирования, а также авторства текстовых фрагментов проверенного документа остается в компетенции проверяющего.

ИНФОРМАЦИЯ О ДОКУМЕНТЕ

Номер документа: 53

Количество страниц: 66

Тип документа: Не указано

Символов в тексте: 67710

Дата проверки: 15.05.2025 07:03:56

Слов в тексте: 5084

Дата корректировки: Нет

Число предложений: 915

Комментарий: не указан

Работу проверил: Казанцев И.А.

Дата подписи: 15.05.25

ОТЗЫВ

на выпускную квалификационную работу студента

Мещерякова Даниила Аркадьевича

Тема работы: «Разработка технологии сборки и сварки корпуса шарового крана DN 500 из стали 09Г2С»

Выпускная квалификационная работа Мещерякова Даниила Аркадьевича выполнена в соответствии с заданием и содержит графическую часть на 6 листах формата А1, расчетно-пояснительную записку на 109 страницах.

На листах графической части студент приводит общий вид конструкции с техническими требованиями, предъявляемыми к сварной конструкции, чертежи сварных соединений, схему сборки и сварки изделия, таблицу параметров режимов сварки, сборочно-сварочные приспособления, таблицу технологичности сварных соединений, карту контроля сварных соединений.

В расчетно-пояснительной записке, дан анализ объекта производства и характеристика проектируемого изделия, выполнены проектировочно-прочностные расчеты сварной конструкции, выбрано сборочно-сварочное приспособление. На основе анализа НТД обоснован выбор наиболее рациональных способов сварки, выполнены расчеты технологических параметров и режимов сварки.

Оформление графической части и расчетно-пояснительной записки соответствует требованиям стандартов ЕСКД.

В процессе всего периода обучения Мещеряков Даниил проявил такие качества как ответственность, дисциплинированность и уважительное отношение к профессорско-преподавательскому составу и одногруппникам. На старших курсах Даниил закрывал сессию в срок и на стипендию. Преимущественной оценкой была оценка отлично. Интересовался научными направлениями, которые есть на кафедре, планирует продолжить обучение в магистратуре по материаловедению.

За время выполнения выпускной квалификационной работы Мещеряков Даниил Аркадьевич проявил себя заинтересованным, технически грамотным специалистом, обладающими знаниями, способным самостоятельно решать поставленные перед ним задачи. Даниил отличался целеустремленностью в написании работы и её успешной защите. Считаю, что ВКР может быть допущена к защите в ГЭК, а его автор заслуживает оценки «отлично» и присвоения квалификации бакалавра по направлению 15.03.01 «Машиностроение» по профилю «Оборудование и технология сварочного производства».

Руководитель работы: к.т.н., профессор



Казанцев И.А.

Аннотация

Выпускная квалификационная работа содержит 109 с., 18 рис., 31 табл., 44 использованных источников, 3 прил. Графическая часть из 6 листов формата А1.

ОБЕЧАЙКА, ДНИЩЕ, СТАЛЬ, СВАРКА, ШОВ, СВАРОЧНАЯ
ПРОВОЛОКА, СОЕДИНЕНИЕ, ФЛЮС, КАЧЕСТВО, РЕЖИМЫ СВАРКИ,
СВАРОЧНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

Цель работы – разработка технологии сборки и сварки корпуса шарового крана $DN\ 500$, $PN\ 4,0$ МПа. В выпускной квалификационной работе были поставлены следующие задачи:

- а) провести анализ объекта производства, определить назначение и технические требования конструкции;
- б) произвести выбор основных материалов сварочной конструкции;
- в) провести расчет и проектирование сварной конструкции;
- г) произвести выбор способов сварки;
- д) выбрать технику и технологию сварки изделия с выбором материалов;
- е) выбрать режимы сварки с последующим выбором оборудования и средств технологического оснащения;
- ж) назначить методы контроля качества сварных соединений.

					ПГУ.ВКР.15.03.01.21М0109 000 ПЗ							
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Разработка технологии сборки и сварки корпуса крана шарового DN 500 PN 4,0 МПа из стали 09Г2С			Лит.	Лист	Листов		
Разраб.	Мещеряков Д.А.									2	109	
Пров.	Казанцев И.А.							Кафедра «С/ПлМ», группа 21МОС1				
Т. Контр.	Казанцев И.А.											
Н. Контр.	Хорин А.В.											
Утв.	Розен А.Е.											

Содержание

Введение.....	2
1 Патентный обзор.....	5
2 Анализ объекта производства.....	10
3 Обоснование выбора основных материалов сварной конструкции.....	14
4 Расчет и проектирование сварной конструкции.....	17
5 Выбор способов сварки.....	30
6 Обоснование выбора сварочных материалов	33
7 Расчет параметров режимов сварки.....	37
8 Выбор сварочного оборудования.....	67
9 Контроль сварных соединений.....	73
9.1 Визуальный контроль.....	74
9.2 Ультразвуковой контроль.....	75
9.3 Капиллярный контроль.....	76
9.4 Гидравлический контроль.....	77
Заключение.....	80
Список использованных источников.....	82
Приложение А.....	87
Приложение Б.....	103

Введение

Сварка – технологический процесс изготовления изделий посредством сборки и соединения отдельных заготовок и деталей. При этом соединение осуществляется не механическими средствами в форме болтов, заклепок, стяжек и других видов, а за счет сил межатомного взаимодействия соединяемых деталей.

С помощью сварки соединяют различные металлы и их сплавы в изделиях и конструкциях, а также и некоторые другие материалы (стекло, керамику, пластмассы).

Размеры сварных изделий могут быть от долей миллиметра (приборы электроники) до многих сотен метров (пролетные конструкции железнодорожных и шоссейных мостов, корпуса океанских лайнеров, магистральные и технологические трубопроводы).

Сварка применяется для изготовления различной запорной арматуры. Запорная арматура применяется на газопроводах, нефтепроводах. Она служит для перекрытия или регулировки подачи той или иной среды.

Шаровой кран – это специальное устройство, имеющее в конструкции сферический или круглый элемент для регулирования потока проходящей среды. Регулировка происходит за счет перемещения расположенного внутри шара (отсюда и название). Он способен полностью закрывать или частично перекрывать трубопровод, создавая нужное давление и напор в системе.

Изделия устанавливаются на трубопроводах, перегоняющих воду, стоки, газ, нефть, молоко и другие жидкие или газообразные продукты. Установка шаровых кранов актуальна как в домашних системах, так на промышленных предприятиях. В число решаемых ими задач входят: создание и поддержание необходимого давления в трубопроводной системе путем изменения проходного сечения; изолирование отдельных участков трубопровода в случае аварийной ситуации или протечки; обеспечение безопасных условий для проведения профилактических и регламентированных ремонтов труб.

1 Патентный обзор

Патентный поиск – это выборка по фондам патентной документации для оценки охраняемой способности изобретения, полезной модели, промышленного образца (возможности предоставления им правовой охраны), а также для определения уровня техники – совокупности технических сведений, имеющих отношение к данному решению.

В данной выпускной квалификационной работе рассматривается технологический процесс сборки и сварки корпуса шарового крана *DN 500* из стали 09Г2С.

Патентное исследование проводится в следующем порядке:

- а) формулирование задач поиска;
- б) определение глубины поиска;
- в) проведение поиска патентных аналогов;
- г) систематизируется и анализируется отобранная информация, обобщаются результаты, разрабатываются рекомендации;
- д) составляется отчёт.

Целью данного патентного исследования является поиск технического решения для повышения технологичности, исследование технического уровня и тенденции развития оборудования для сборки и сварки сварной конструкции крана шарового *DN 500*.

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

Дата составления регламента: 15.04.2025. Объект поиска: оборудование и технология для сварки обечаек.

Начало поиска: 15.04.2025.

Завершение поиска: 25.04.2025.

Страны поиска: Россия.

					ПГУ.ВКР.15.03.01.21М0109 000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		5

Ретроспективность: 15 лет.

В результате проведения поиска было выявлено некоторое количество объектов изобретений. Основные элементы регламента приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Регламент поиска

Предмет поиска	Индекс МПК	Страна поиска	Глубина поиска	Источники информации
1	2	3	4	5
Способ механизированной сварки в среде инертных и защитных газов	<i>B23K 9/173</i> <i>B23K 9/095</i> <i>B23K 9/10</i>	Россия	15 лет	Реестр изобретений Российской Федерации ФИПС
Устройство для дуговой автоматизированной сварки в среде защитных газов	<i>B23K 9/16</i>	Россия	15 лет	Реестр изобретений Российской Федерации ФИПС
Сварочная горелка для электродуговой сварки в среде защитных газов	<i>B23K 9/167</i>	Россия	15 лет	Реестр изобретений Российской Федерации ФИПС
Головка для сварки плавящимся электродом	<i>B23K 37/02</i> <i>B23K 9/022</i>	Россия	15 лет	Реестр изобретений Российской Федерации ФИПС
Способ сварки под флюсом деталей разной толщины	<i>B23K 33/00</i> <i>B23K 9/18</i>	Россия	15 лет	Реестр изобретений Российской Федерации ФИПС

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5
Устройство для сварки кольцевых швов	B23K 37/04	Россия	15 лет	Реестр изобретений Российской Федерации ФИПС
Устройство для сварки кольцевых швов цилиндрических изделий	B23K 37/02	Россия	15 лет	Реестр изобретений Российской Федерации ФИПС
Устройство для закрепления деталей при сварке их кольцевым швом	B23K 37/04	Россия	15 лет	Реестр изобретений Российской Федерации ФИПС
Установка для автоматической сварки сложных кольцевых швов	B23K 37/04 B23K 9/16	Россия	15 лет	Реестр изобретений Российской Федерации ФИПС

Для проведения дальнейшего анализа были отобраны описания изобретений, представляющие собой полуавтоматические установки и применяемые для сборки запорной арматуры и трубопроводов в нефтепромышленности. Результаты проведённого поиска отображены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты поиска патентной информации

Предмет поиска (объект исследования, его составные части)	Страна выдачи, Индекс МПК	Заявитель (патентообладатель), страна, номер заявки, дата публикации	Название изобретения (полной модели, образца)
1	2	3	4
Технология сварки запорной арматуры	Россия, <i>RU 2789640 C1</i>	Федюкин С.В, Россия, 2022122417, 06.02.2023	Способ механизированной сварки в среде защитных газов [4]
Технология сварки запорной арматуры	Россия, <i>RU 2387523 C1</i>	Букато В.К., Гусельников Ю.М., Степенкова Н.А, Россия, 2009116094/02, 27.04.2010	Устройство для автоматизирован- ной сварки в среде защитных газов [5]
Технология сварки запорной арматуры	Россия, <i>RU 177249 U1</i>	Дмитренко А.Б., Моршинин С.В., Мягков Ю.А., Сомсиков А.А, Россия, 2017113612, 14.02.2018	Устройство для сварки в среде защитных газов [6]
Технология сварки запорной арматуры	Россия, <i>RU 2457089 C1</i>	Кулик В.И., Гудков А.В., Черкасова Л.И., Сушко В.М, Россия, 2011110160/02, 27.07.2012	Оборудование для сварки плавающимся электродом [7]
Технология сварки запорной арматуры	Россия, <i>RU 2763952 C1</i>	Татарченко Г.А., Мамаев И.В, Россия, 2021104716, 11.01.2022	Способ сварки под флюсом кольцевых и продольных швов [8]
Технология сборки и сварки цилиндрической обечайки	Россия, <i>RU 147558 U1</i>	Захаров И.Г., Волошина С.И., Смородин В.В., Тимофеев В.В, Россия, 2014127028/02, 10.11.2014	Установка для сварки кольцевых швов [9]

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4
Технология сборки и сварки запорной арматуры	Россия, <i>RU 2417144 C2</i>	Карасев Ю.В, Россия , 2008148651/02, 27.04.2011	Установка для сварки кольцевых швов цилиндрических изделий [10]
Технология сборки и сварки запорной арматуры	Россия, <i>RU 152056 U1</i>	Кулик В.И, Гудков А.В., Черкасова Л.И., Шаров А.В., Созонович Н.И., Макаревский Н.И., Картузов Н.О, Россия, 2014143925/02, 27.04.2015	Приспособление для закрепления деталей при сварке кольцевых швов [11]
Технология сборки и сварки запорной арматуры	Россия, <i>RU 162137 U1</i>	Соколов В.В, Дудин А.И, Россия, 2015139263/02, 27.05.2016	Установка для сварки сложных кольцевых стыков обечайки [12]

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

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

производственных объектов магистральных трубопроводов», государственным стандартам (ГОСТ) ГОСТ Р 56001 – 2014 «Арматура трубопроводная для объектов газовой промышленности», ГОСТ Р 52760 – 2007 «Арматура трубопроводная ТРЕБОВАНИЯ К МАРКИРОВКЕ И ОТЛИЧИТЕЛЬНОЙ ОКРАСКЕ», ГОСТ Р 54808 – 2011 «Арматура трубопроводная НОРМЫ ГЕРМЕТИЧНОСТИ ЗАТВОРОВ», ГОСТ 356 – 80 «ДАВЛЕНИЯ УСЛОВНЫЕ, ПРОБНЫЕ И РАБОЧИЕ», ГОСТ 28909-1991 «КРАНЫ ШАРОВЫЕ И ЗАТВОРЫ ДИСКОВЫЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ ДЛИНЫ», ГОСТ 33260 «МЕТАЛЛЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ В АРМАТУРОСТРОЕНИИ», ГОСТ 33857-2016 «СВАРКА И КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ Технические требования», ГОСТ 12.2.063-2015 «Арматура трубопроводная ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ», стандартов конструкторского бюро арматуростроения (СТ ЦКБА) СТ ЦКБА 003-2003 «Арматура трубопроводная. Корпуса и крышки. Нормирование статической прочности», СТ ЦКБА 005 «Арматура трубопроводная. Металлы, применяемые в арматуростроении», СТ ЦКБА 025 – 2006 «Арматура трубопроводная. Сварка и контроль качества сварных соединений. Технические требования».

Кран эксплуатируется при диапазоне температур от минус 60 до плюс 100°С. Климатическое исполнение «У1» в соответствии с ГОСТ 15150 – 69 «Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов».

Рабочей средой является природный газ. Расчетный срок службы 30 лет. Рабочее давление 4 МПа.

Класс герметичности – «А», по ГОСТ Р 54808 – 2011.

В соответствии с требованиями ГОСТ Р 56001 – 2014 и требованиями заказчика к системам, в которых краны устанавливают, конструкция крана шарового должна быть прочной, коррозионностойкой, надежной в течение установленного в технической документации срока службы. Краны должны быть герметичными по отношению к внешней среде, стойкими к воздействию климатических факторов.

					ПГУ.ВКР.15.03.01.21М0109 000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		11

По ГОСТ Р 56001 – 2014 в конструкции кранов DN 100 и более предусматривают систему ввода смазки, очистителя и (или) уплотнительного герметика в зону «седло-затвор» для смазки, промывки или восстановления герметичности по затвору. Подачу смазки осуществляют через фитинги, обеспечивающие быстросъемное подсоединение набивочного устройства.

Маркировка и отличительная окраска изделий выбирается по ГОСТ Р 52760-2007 «Арматура трубопроводная. Требования к маркировке и отличительной окраске»

Согласно данному нормативу обязательные знаки маркировки включают в себя следующее: товарный знак и (или) наименование изготовителя, значение номинального давления PN (в кгс/см², без указания размерности) или рабочего давления (P_p) при максимальной температуре рабочей среды, или расчетного давления (P), значение номинального диаметра (DN), значение максимальной температуры рабочей среды для арматуры, у которой имеется маркировка P_p , или для ограничения температуры по материалам отдельных деталей, материал корпуса, стрелку, указывающую направление подачи рабочей среды для арматуры с регламентированным направлением подачи рабочей среды, дата изготовления (месяц и год).

Так как материал корпусных деталей – конструкционная сталь, которая относится ко II группе материалов, то наружные поверхности стальной арматуры должны быть окрашены в отличительный цвет в соответствии с таблицей 3.

Таблица 3 - Отличительная окраска арматуры

Материал корпусных деталей арматуры	Группа материала	Цвет отличительной окраски
Углеродистая сталь	II	Серый

Окраске подлежат наружные поверхности и детали арматуры, не имеющие других защитных покрытий. Окраска арматуры должна производиться в соответствии с требованиями настоящего стандарта и технической документацией на конкретное изделие. Выбор покрытий производится в зависимости от воздействующих климатических факторов, рабочих сред,

рабочей температуры, конструктивных особенностей изделия и др. Места, не подлежащие окраске, должны быть указаны в КД на изделие и технологическом процессе.

Согласно ГОСТ 12.2.063 – 2015 транспортирование и хранение арматуры, ее узлов и деталей необходимо проводить с учетом всех требований безопасности, предусмотренных разработчиком в технических условиях, с учетом принятых технологических процессов и условий транспортирования и хранения. Должна быть обеспечена защита персонала от опасных материалов и веществ, применяемых для консервации и упаковки. Применяемые материалы и вещества не должны снижать надежность и безопасность арматуры. Транспортирование арматуры необходимо осуществлять по стандартам и технических условий на конкретные типы и виды арматуры, в соответствии с правилами, действующими на конкретных видах транспорта. Погрузку, разгрузку, транспортирование и складирование арматуры должен проводить обученный персонал с соблюдением требований безопасности и охраны труда.

					<i>ПГУ.ВКР.15.03.01.21М0109 000 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		<i>13</i>

3 Обоснование выбора основных материалов сварной конструкции

В соответствии с данным нормативом для изготовления деталей корпуса шарового крана используют ГОСТ Р 55509 – 2013 «МЕТАЛЛЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ В АРМАТУРОСТРОЕНИИ». Выбор материала производим по ГОСТ 33260 – 2015 «Арматура трубопроводная. Металлы применяемые в арматуростроении», который устанавливает условия применения металлических материалов для изготовления основных деталей трубопроводной арматуры.

Так как проектируемый шаровой кран эксплуатируется в нормальных условиях, транспортируемая среда – природный газ, температура транспортируемой среды от минус 60 до плюс 100°С, то в качестве материалов для его изготовления указанным ГОСТом рекомендуются углеродистые низколегированные стали.

Материал назначается для каждого элемента в зависимости от условий его эксплуатации, назначения этого элемента.

Из ГОСТ 33260 – 2015 следует, что по рабочим условиям для изготовления корпусных деталей шарового крана с номинальным давлением 4 МПа соответствует сталь легированная конструкционная 09Г2С.

Химический состав стали 09Г2С ГОСТ 19281 – 2014 приводится в таблице 4.

Таблица 4 – Массовая доля элементов в стали 09Г2С, % (ГОСТ 19281 – 2014)

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	V
Не более 0,12	0,5-0,8	1,3-1,7	Не более 0,03	Не более 0,035	Не более 0,3	Не более 0,3	Не более +0,3	Не более 0,12

Механические свойства проката из стали 09Г2с, в соответствии с ГОСТ 5520 – 2017 приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Механические свойства проката из стали 09Г2С (ГОСТ 5520 – 2017)

Марка стали	Толщина проката, мм	Механические свойства						
		Предел текучести $\sigma_{0,2}$, Н/мм ² , не менее	Временное сопротивле ние σ_B , Н/мм ²	Относительное удлинение δ_5 , %, не менее	Ударная вязкость КСУ, Дж/см ² , не менее			После механичес кого старения при температу ре (20 ⁺¹⁵ ₋₁₀)°C
					При температуре, °C			
					20 ⁺¹⁵ ₋₁₀	-40	-70	
	» 32 » 60 »	285	450-620	21	59	34	29	29

Сталь 09Г2С применяется для изготовления металлических сварных конструкций, обечаек, фланцев, штуцеров и других изделий, работающих при температуре от минус 70°С до плюс 425°С.

Сварка стали 09Г2С не требовательна к типу электродов и может проходить с использованием таких способов сварки, как ручная дуговая, электрошлаковая, автоматическая дуговая сварка под флюсом и с газовой защитой.

Главное преимущество этой стали – высокая механическая прочность, которая позволяет применять более тонкие детали по сравнению с деталями, изготовленными из других сталей. Это значит, что детали из стали 09Г2С имеют меньший вес, что экономически более выгодно. Кроме того, еще один плюс этой стали – низкая склонность к отпускной хрупкости.

Свариваемость основного металла по его влиянию на состав и свойства металла шва, а также по его сопротивляемости образованию холодных трещин можно приближенно оценить, исходя из химического состава основного металла

низколегированной стали, на ее сопротивляемость образования трещин при сварке принято выражать посредством эквивалента углерода.

По ГОСТ Р 56001 – 2014 [4] эквивалент углерода рассчитывается по формуле :

$$C_{\text{э}} = C + \frac{Mn}{6}$$

где $C_{\text{э}}$ – эквивалент углерода, %;

C – содержание углерода, %;

Mn – содержание марганца, %;

Подставляем известные значения в формулу:

$$C_{\text{э}} = 0,06 + \frac{1,5}{6} = 0,31$$

Так как $C_{\text{э}} = 0,31$, то сталь 09Г2С имеет хорошую свариваемость.

Согласно РД 03-615-03, в зависимости от химического состава, структуры, свойств и назначения различают несколько групп основных материалов, применяемых в сварных конструкциях. Данный материал стали входит в группу М01 (W01).

4 Расчет и проектирование сварной конструкции

Проектируемый кран шаровой (рис 2) состоит из следующих основных частей: обечайки 1, трубы корпуса 2 и двух магистральных фланцев 3.

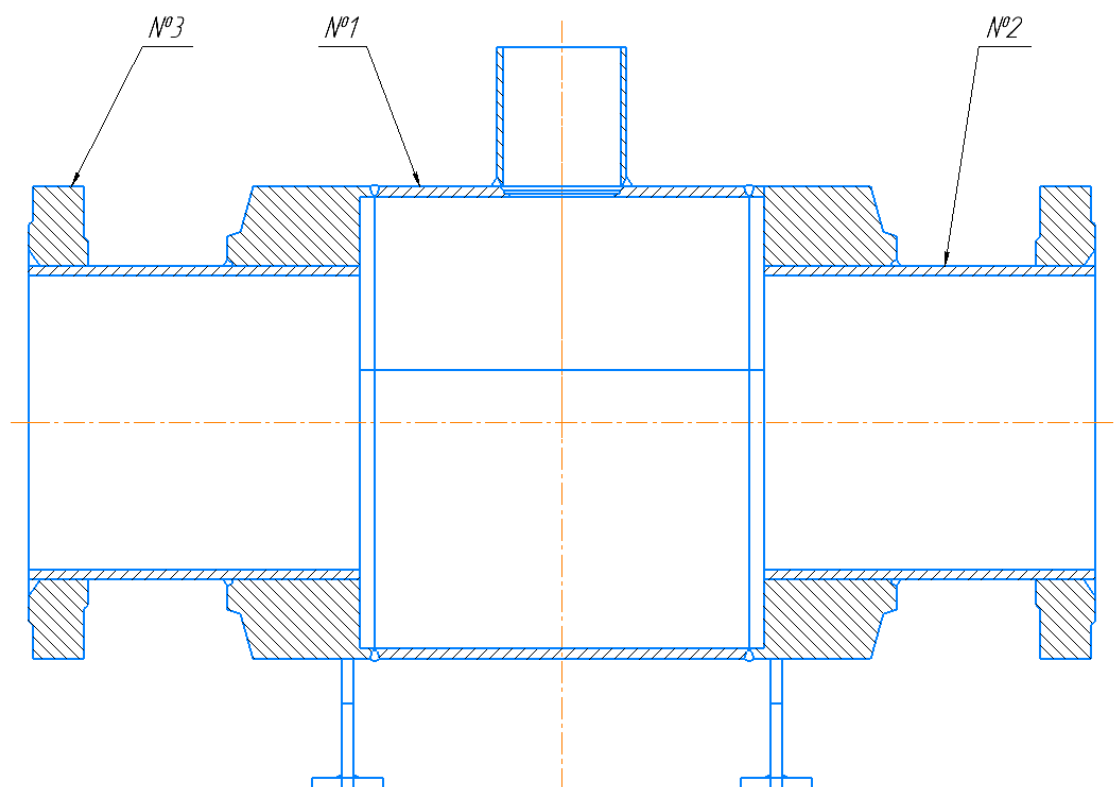


Рисунок 2 – Чертеж шарового крана

Для определения строительной длины, согласно ГОСТ Р 56001 – 2014, регламентируется использовать ГОСТ 28908 – 91. Геометрические характеристики представлены в таблице 6

Таблица 6 – Геометрические размеры крана шарового (ГОСТ 28908 – 91)

Строительная длина, L, мм	Диаметр прохода, DN, мм
1250	500

Предельные отклонения строительных длин арматуры представлены в таблице 7

Таблица 7 – Предельные отклонения строительных длин арматуры (ГОСТ – 28909 – 91)

Строительная длина L, мм	Предельное отклонение, мм	
	С фланцевым присоединением	Со сварным присоединением
» 1000» 1600	±6	±10

По ГОСТ Р 56001 – 2014 проектировочный расчет выполняют в соответствии с требованиями норм расчета ГОСТ 34233 – 2017.

Расчёт на допускаемые напряжения для стали 09Г2С рассчитывается по формуле

$$[\sigma] = \frac{R_{p0,2}}{n_T}$$

где $R_{p0,2}$ - минимальное значение предела текучести при расчетной температуре;
 n_T – коэффициент запаса прочности по пределу текучести.

Коэффициент n_T принимаем равным 1,5.

Расчетная температура по ГОСТ 34233.1 – 2017 используется для определения прочностных характеристик материала, допускаемых напряжений, а также при расчете на прочность с учетом температурных воздействий.

Если невозможно провести тепловые расчеты или измерения и если во время эксплуатации температура стенки корпуса (крышки) повышается до температуры среды, то за расчетную температуру допускается принимать максимальную температуру среды. Принимаем температуру стенки сосуда равной $T = 100 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Следовательно, при данной расчетной температуре минимальное значение предела текучести будет равно $R_{p0,2} = 235 \text{ МПа}$.

Следовательно, допускаемые напряжения $[\sigma_1]$ стали 09Г2С будут равны:

$$[\sigma_1] = \frac{235}{1,5} = 156,6 \text{ МПа}$$

По ГОСТ Р 56001 – 2014 шаровые краны должны проходить испытания на прочность, плотность, герметичность. Испытывают прочность и плотность материала корпусных деталей и сварных швов. В качестве испытываемой среды используют воду, воздух, гелий. Величина пробного давления и время выдержки

шаровых кранов устанавливаются в соответствии со стандартами, при этом пробное давление должно быть не менее чем полуторное рабочее давление.

Так как на начальном этапе проектировании отношение допускаемых напряжений материала при температуре 20°C и наибольшей температуре среды неизвестно, то значение $P_{пр}$ будет составлять

$$P_{пр} = 1,5P_{раб},$$

где $P_{раб}$ – рабочее давление.

Величина пробного давления равна:

$$P_{пр} = 1,5 \cdot 4 = 6 \text{ МПа}$$

Согласно ГОСТ 34233.1-2017 величина расчетного давления находится по формуле

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

где

$$P_k = 1,15 \cdot P_{раб},$$

тогда

$$P_k = 1,15 \cdot 4 = 4,6 \text{ МПа}$$

$$P_p = 4,6 \cdot 0,9 = 4,15 \text{ МПа}$$

Расчет на прочность не требуется, если величина расчетного давления в условиях испытания будет меньше, чем величина расчетного давления в рабочих условиях, умноженное на $1,35 \cdot \left[\frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]} \right]$

$$P_{пр} = 6 < P_p \cdot 1,35 \cdot \left[\frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]} \right]$$

$$\text{Следовательно } P_{пр} = 6 < 4,15 \cdot 1,35 \cdot \frac{196}{177} = 6 < 6,2$$

Исходя из полученных результатов, следует, что расчет на прочность не требуется, так как условие выполняется.

Также необходимо рассчитать толщину стенки магистрального фланца, привариваемого к корпусу.

По ГОСТ 33259 – 2015, согласно параметрам шарового крана, выбираем тип фланца №01 фланец стальной плоский приварной. Пример фланца изображен на рисунке 3.

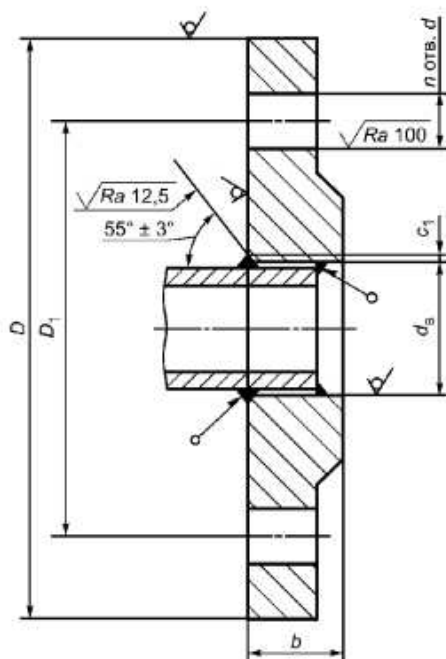


Рисунок 3 – Фланец

Согласно ГОСТ 34233.2 – 2017 номинальная толщина стенки S должна удовлетворять следующему условию:

$$S \geq S_R + c$$

где S_R – расчетная толщина стенки, определяется по формуле в соответствии с ГОСТ 34233.2 – 2017:

$$S_R = \frac{P \cdot D_y}{2[\sigma] \cdot \varphi - P}$$

где P – расчетное внутреннее давление; D_y – условный проход; $[\sigma]$ – допускаемые напряжения для стали 09Г2С при рабочей температуре; φ – коэффициент прочности сварных швов, по ГОСТ Р 56001 – 2014 равный 1.

c – прибавка к расчетной толщине стенки, определяется по формуле:

$$c = c_1 + c_2 + c_3$$

где c_1 – прибавка для компенсации коррозии; c_2 – прибавка для компенсации минусового допуска; c_3 – технологическая прибавка.

Прибавку на компенсации коррозии можно принять 0,2 мм/год, так как проектируемая конструкция будет эксплуатироваться на открытом воздухе, внутренняя среда неагрессивна. Так как срок службы шарового крана 30 лет, то $c_1 = 0,2 \cdot 30 = 6$ мм. Величину прибавки для компенсации минусового допуска

следует принимать по ГОСТ 19903 – 2015 и принять равной 1,6, следовательно $c_2 = 1,6$. Технологическую прибавку можно принять 0, так как прибавки для компенсации коррозии и минусового допуска достаточно для конструкции.

Следовательно $c = 6 + 1,6 + 0 = 7,6$ мм.

Принимая во внимание принятые значения, можно рассчитать толщину стенки магистрального фланца шарового крана:

$$S_R = \frac{4,15 \cdot 500}{2[156,6] \cdot 1 - 4,15} = 6,71 \text{ мм}$$

Значение номинальной толщины стенки магистрального фланца равно:

$$S = 6,71 + 7,6 = 14,31 \text{ мм.}$$

Из стандартного ряда по ГОСТ 19903-2015 выбираем толщину магистрального фланца равной $S = 16$ мм.

Следовательно, толщина трубы корпуса будет равняться:

$$S_R = \frac{4,15 \cdot 500}{2[156,6] \cdot 1 - 4,15} = 6,71 \text{ мм}$$

С прибавкой на коррозию: $S = 6,71 + 7,6 = 14,31$ мм.

Из стандартного ряда по ГОСТ 19903 – 2015 выбираем толщину трубы корпуса равной $S = 16$ мм.

Толщина стенки обечайки будет равна:

$$S_R = \frac{4,15 \cdot 750}{2[156,6] \cdot 1 - 4,15} = 10,07 \text{ мм}$$

Номинальная толщина равняется:

$$S = 10,07 + 7,6 = 17,76 \text{ мм.}$$

Из стандартного ряда по ГОСТ 19903-2015 выбираем толщину стенки обечайки равной 18 мм.

Допускаемое внутреннее избыточное давление вычисляют по формуле:

$$[p] = \frac{2[\sigma]\varphi \cdot (S - c)}{D + S - c}$$

где $[\sigma]$ - допускаемые напряжения при расчетной температуре;

φ – коэффициент прочности сварных швов, равный 1;

S – номинальная толщина стенки цилиндрической обечайки;

s – прибавка на компенсацию коррозии

Избыточное давление для магистрального фланца:

$$[p] = \frac{2 \cdot 156,6 \cdot 1 \cdot (16 - 7,6)}{500 + 16 - 7,6} = \frac{2630,88}{508,4} = 5,17 \text{ МПа}$$

Для трубы корпуса:

$$[p] = \frac{2 \cdot 156,6 \cdot 1 \cdot (16 - 7,6)}{500 + 16 - 7,6} = \frac{2630,88}{508,4} = 5,17 \text{ МПа.}$$

Для обечайки:

$$[p] = \frac{2 \cdot 156,6 \cdot 1 \cdot (18 - 7,6)}{750 + 18 - 7,6} = \frac{3257,28}{760,4} = 4,28 \text{ МПа.}$$

Выбор сварных швов и способа сварки выполняется по ГОСТ 33857-2016 «СВАРКА И КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ Технические требования»

Для соединения основных элементов корпуса шарового крана применяются следующие сварные швы (рис 4)

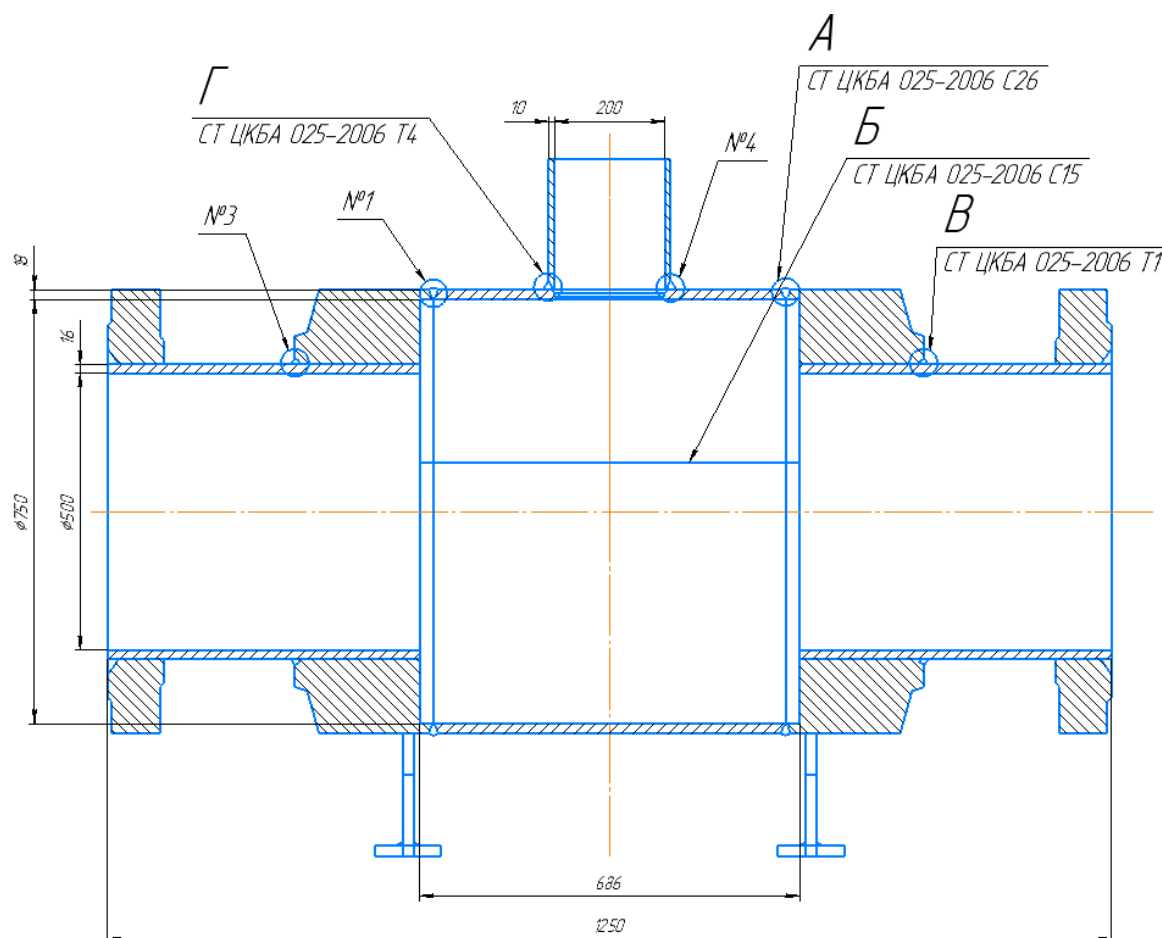


Рисунок 4 – Проектируемые сварные швы

Шов № 1 имеет стыковое соединение С26 (рис 5) и выполняется автоматической сваркой под слоем флюса по ГОСТ 33857 – 2016. Данный сварной шов предназначен для приварки магистральных фланцев к обечайке.

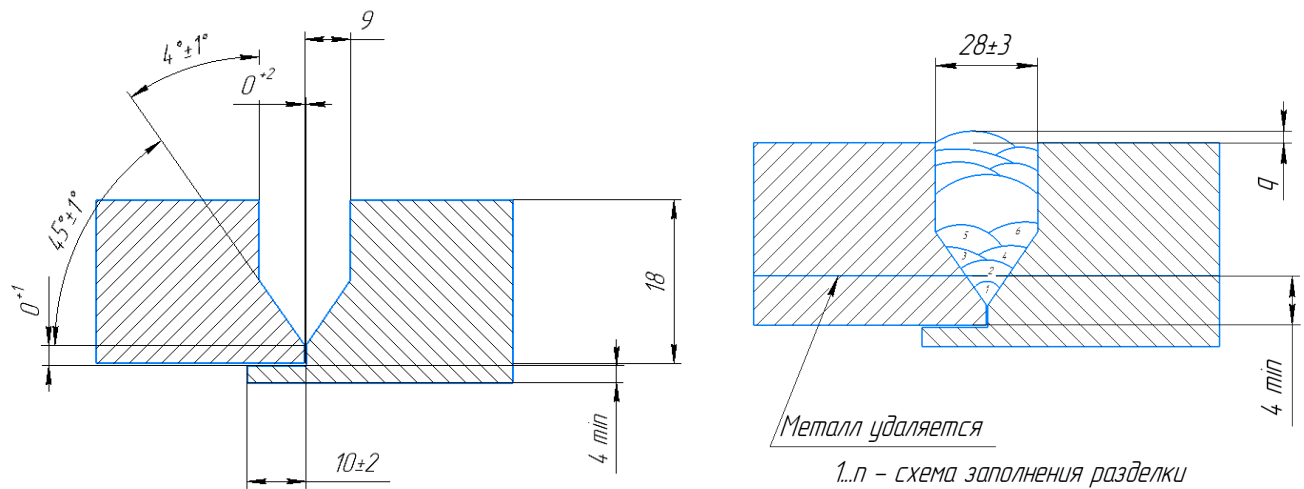


Рисунок 5 – Стыковой шов С26, конструктивные элементы

Сварной шов имеет следующие параметры: $S=18$ мм, $q=4^{+3}_{-3}$ мм, $l=28^{+3}_{-3}$ мм, $\alpha = 45 \pm 1^\circ$.

Так как шов №1 стыковой то его проверка на прочность будет проводиться по формуле:

$$\sigma = \frac{N}{F} \leq [\sigma]$$

Величину F можно найти по следующей формуле:

$$F = l_{\text{ш}} \cdot \delta$$

где $l_{\text{ш}}$ - длина шва, мм;

$$l_{\text{ш}} = 3,14 \cdot 750 = 2355 \text{ мм}$$

δ - толщина стенки.

$$F = 3,14 \cdot 750 \cdot 18 = 42390 \text{ мм}^2$$

По формуле определим продольную силу N :

$$N = P \cdot S$$

где P – расчетное давление, МПа;

S – примерная площадь поверхности, мм²

$$N = 4 \cdot \frac{3,14 \cdot 750^2}{4} = 1766250 \text{ Н}$$

$$\sigma = \frac{N}{F} \leq [\sigma] = \frac{1766250}{42390} = 41,66 < 156,6$$

Так как вычисленное значение напряжения в сварном шве получилось меньше нормативного значения, то сварное соединение №1 является работоспособным.

Шов № 2 имеет стыковое соединение С15 (рис 6). Данный сварной шов предназначен для сварки продольного шва обечайки. ГОСТ 33857 – 2016 регламентирует использовать в качестве способа сварки автоматическую сварку под слоем флюса.

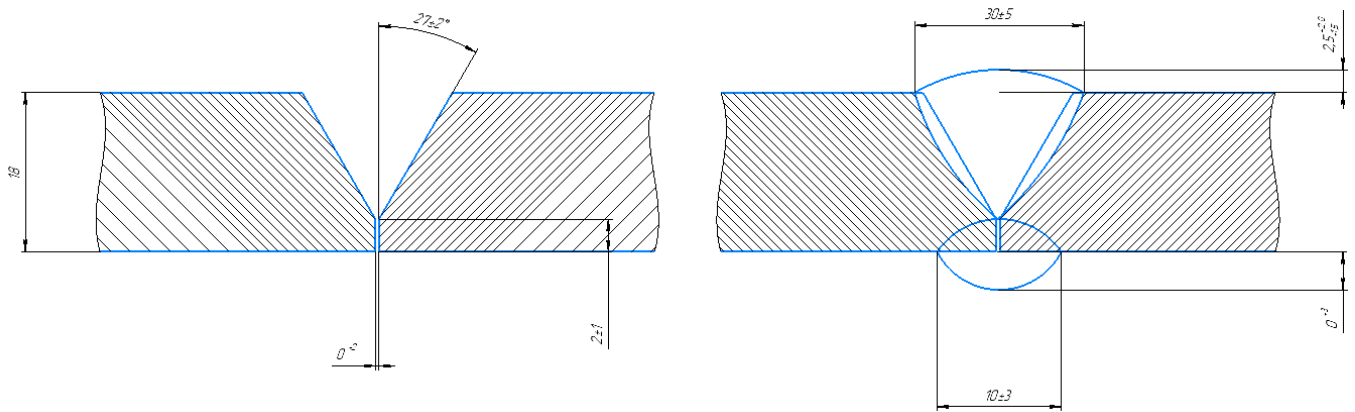


Рисунок 6 – Стыковой шов С15, конструктивные элементы

Сварной шов С15 имеет следующие параметры: $S=18$ мм, $l=30\pm 5$ мм, $q=2,5^{+2,0}_{-1,5}$ мм.

Так как шов №2 продольный стыковой шов обечайки, то расчет на прочность будет выполняться по следующей формуле:

$$\sigma = \frac{Pr}{S}$$

где P – расчетное давление, МПа;

r – радиус, мм;

S – толщина стенки;

Шов №2 стыковой, следовательно, должно выполняться условие равнопрочности:

$$\sigma = \frac{N}{F} \leq [\sigma]$$

Подставляя значения, получаем:

$$\sigma = \frac{4 \cdot 375}{18} = 83,3 \text{ МПа}$$

$$\sigma = 83,3 \leq [\sigma] = 156,6$$

Так как вычисленное значение напряжения в сварном шве получилось меньше нормативного значения, то сварное соединение №2 является работоспособным.

Шов № 3 имеет тавровое соединение Т1 (рис 7) и выполняется механизированной сваркой в среде защитных газов по ГОСТ 33857 – 2016. Данный сварной шов предназначен для приварки трубы к обечайке.

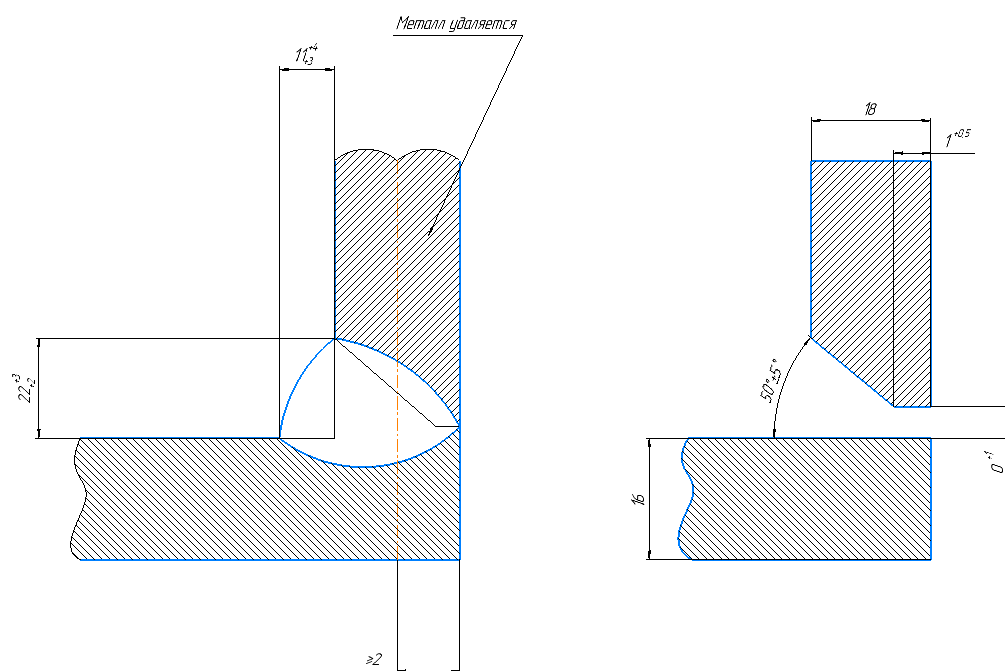


Рисунок 7 – Тавровый шов Т1, конструктивные элементы

Сварной шов имеет следующие параметры: $S=16$ мм, $l=22^{+3}_{-2}$ мм, $q=11^{+4}_{-3}$ мм.

Шов №3 рассчитывается по следующей формуле:

$$\tau = \frac{N}{F} \leq [\tau]$$

где $[\tau]$ - допускаемые напряжения в сварном шве при срезе, которые равняются $[\tau] = 0,5 \dots 0,6[\sigma] = 0,5 \cdot 156,6 = 78,3$;

τ – напряжение среза в угловом сварном соединении;

N – продольная нагрузка, растягивающая шов;

F – площадь поперечного сечения шва

Для таврового шва площадь поперечного сечения равна:

$$F = \beta h_{\text{ш}} l_{\text{ш}}$$

где β – коэффициент определения расчетной толщины углового шва;

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

$l_{\text{ш}}$ – длина шва.

Длина шва рассчитывается по формуле:

$$l_{\text{ш}} = \pi D = 3,14 \cdot 500 = 1570 \text{ мм}$$

Для рассматриваемого углового соединения величина $h_{\text{ш}}$ равняется:

$$h_{\text{ш}} = \sqrt{e^2 + g^2} = \sqrt{16^2 + 16^2} \approx 22$$

Площадь поперечного сечения равна:

$$F = 0,8 \cdot 22 \cdot 1570 = 27632 \text{ мм}^2$$

Определим продольную нагрузку по формуле:

$$N = P \cdot S$$

где P – расчетное давление;

S – площадь поверхности.

$$N = P \cdot \frac{\pi D^2}{4} = 4 \cdot \frac{3,14 \cdot 500^2}{4} = 785000 \text{ Н}$$

$$\tau = \frac{785000}{27632} \approx 28,4$$

$$\tau = 28,4 \leq 78,3$$

Таким образом, сварное соединение №3 является работоспособным.

Шов № 4 имеет тавровое соединение Т4 (рис 8) и выполняется ручной механизированной сваркой в среде защитных газов по ГОСТ 33857 – 2016. Данный сварной шов предназначен для приварки патрубка к корпусу.

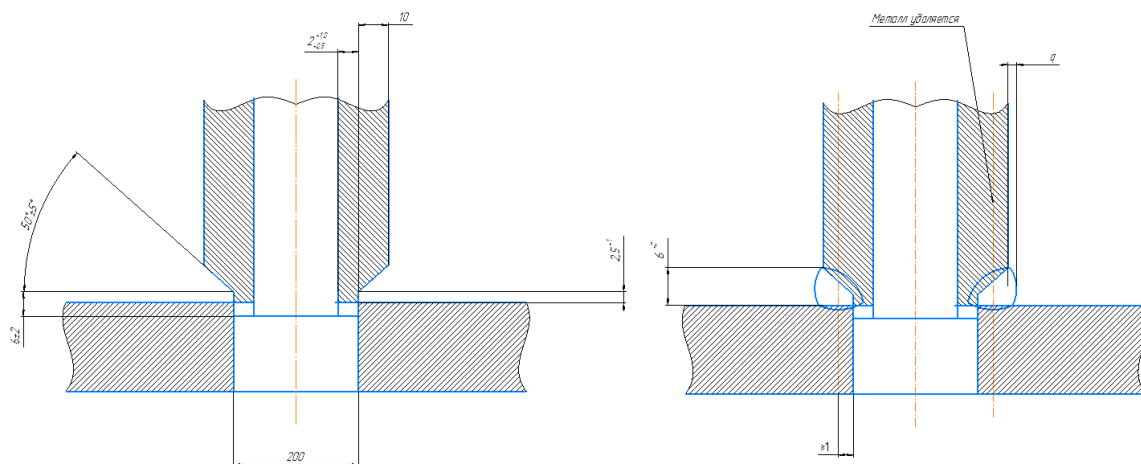


Рисунок 8 – Тавровый шов Т4, конструктивные элементы

Сварной шов имеет следующие параметры: $S=10$ мм, $l=6^{+2}$ мм.

Шов №4 рассчитывается по следующей формуле:

$$\tau = \frac{N}{F} \leq [\tau]$$

где $[\tau]$ - допускаемые напряжения в сварном шве при срезе, которые равняются $[\tau] = 0,5 \dots 0,6[\sigma] = 0,5 \cdot 156,6 = 78,3$;

τ – напряжение среза в угловом сварном соединении;

N – продольная нагрузка, растягивающая шов;

F – площадь поперечного сечения шва

Для таврового шва площадь поперечного сечения равна:

$$F = \beta h_{\text{ш}} l_{\text{ш}}$$

где β – коэффициент определения расчетной толщины углового шва;

$h_{\text{ш}}$ - толщина углового шва, принимаемая равной катету вписанного в шов равнобедренного прямоугольного треугольника;

$l_{\text{ш}}$ – длина шва.

Длина шва рассчитывается по формуле:

$$l_{\text{ш}} = \pi D = 3,14 \cdot 200 = 628 \text{ мм}$$

Для рассматриваемого углового соединения величина $h_{\text{ш}}$ равняется:

$$h_{\text{ш}} = \sqrt{e^2 + g^2} = \sqrt{10^2 + 10^2} \approx 14$$

Площадь поперечного сечения равна:

$$F = 0,8 \cdot 14 \cdot 628 = 7034 \text{ мм}^2$$

Определим продольную нагрузку по формуле:

$$N = P \cdot S$$

где P – расчетное давление;

S – площадь поверхности.

$$N = P \cdot \frac{\pi D^2}{4} = 4 \cdot \frac{3,14 \cdot 200^2}{4} = 125600 \text{ Н}$$

$$\tau = \frac{125600}{7034} \approx 17,9$$

$$\tau = 17,9 \leq 78,3$$

Таким образом, сварное соединение №4 является работоспособным.

Шов № 5 имеет тавровое соединение У1 (рис 9) и выполняется механизированной сваркой в среде защитных газов по ГОСТ 33857 – 2016. Данный сварной шов предназначен для приварки фланца к трубе.

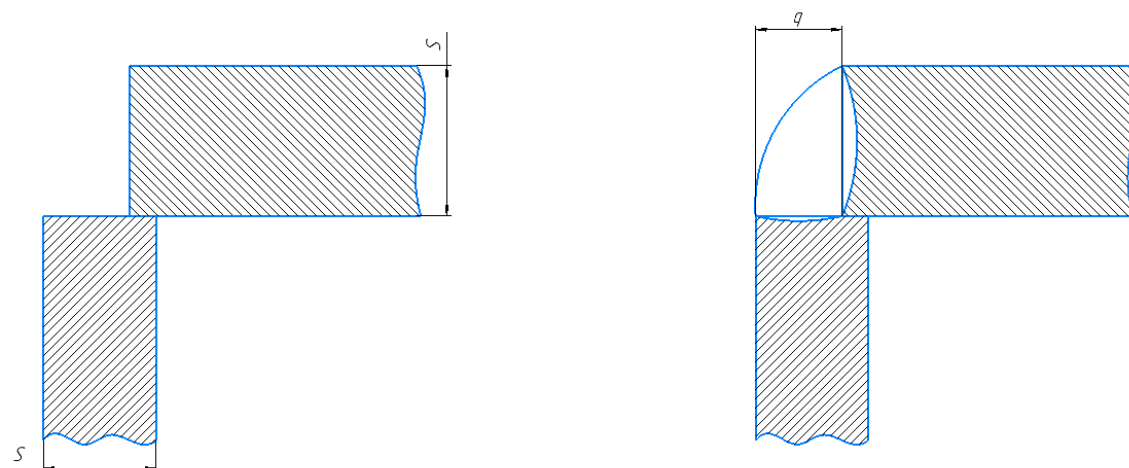


Рисунок 9 – Тавровый шов У1, конструктивные элементы

Сварной шов имеет следующие параметры: $S_1 = 18$ мм, $S_2 = 16$ мм.

Шов №5 рассчитывается по следующей формуле:

$$\tau = \frac{N}{F} \leq [\tau]$$

где $[\tau]$ – допускаемые напряжения в сварном шве при срезе, которые равняются $[\tau] = 0,5 \dots 0,6[\sigma] = 0,5 \cdot 156,6 = 78,3$;

τ – напряжение среза в угловом сварном соединении;

N – продольная нагрузка, растягивающая шов;

F – площадь поперечного сечения шва

Для таврового шва площадь поперечного сечения равна:

$$F = \beta h_{\text{ш}} l_{\text{ш}}$$

где β – коэффициент определения расчетной толщины углового шва;

$h_{\text{ш}}$ - толщина углового шва, принимаемая равной катету вписанного в шов равнобедренного прямоугольного треугольника;

$l_{\text{ш}}$ – длина шва.

Длина шва рассчитывается по формуле:

$$l_{\text{ш}} = \pi D = 3,14 \cdot 500 = 1570 \text{ мм}$$

Для рассматриваемого углового соединения величина $h_{\text{ш}}$ равняется:

$$h_{\text{ш}} = \sqrt{e^2 + g^2} = \sqrt{10^2 + 10^2} \approx 14$$

Площадь поперечного сечения равна:

$$F = 0,8 \cdot 14 \cdot 1570 = 17584 \text{ мм}^2$$

Определим продольную нагрузку по формуле:

$$N = P \cdot S$$

где P – расчетное давление;

S – площадь поверхности.

$$N = P \cdot \frac{\pi D^2}{4} = 4 \cdot \frac{3,14 \cdot 500^2}{4} = 785000 \text{ Н}$$

$$\tau = \frac{785000}{17584} \approx 44,6$$

$$\tau = 44,6 \leq 78,3$$

Таким образом, сварное соединение №5 является работоспособным.

5 Выбор способа сварки

Учитывая толщины свариваемого металла, конструкцию изделия, протяженности сварных швов, требования к качеству выпускаемой продукции, тип производства выбираем для сварки кольцевых швов и продольного шва обечайки автоматическую сварку под слоем флюса.

Основным критерием для выбора является ее удобство и высокая производительность по сравнению с ручной дуговой сваркой и полуавтоматической сваркой в среде защитных газов.

Автоматическая сварка обеспечивает большую величину проплавления. Данный способ соединения металлов не отличается высокой маневренностью. Он подходит только для получения прямолинейных или кольцевых швов. По этой же причине его нельзя использовать в труднодоступных местах. Так же из-за высокой текучести расплавленного флюса и металла сварочные работы можно выполнять только в нижнем положении.

Автоматические и механизированные виды сварки под слоем флюса отличаются от традиционной технологии тем, что дуга при ее выполнении горит не в открытом воздухе, а под слоем сыпучего вещества с рядом специальных свойств, которое называется флюсом. В момент зажигания сварочной дуги одновременно начинают плавиться металл детали и электрода, а также используемый флюс. В результате испарений металла и флюса, образующихся в зоне сварки, формируется газовая полость, которая наполнена образовавшимися парами, смешанными со сварочными газами.

Достоинства способа:

- повышенная производительность;
- минимальные потери электродного металла (не более 2%);
- отсутствие брызг;
- максимально надёжная защита зоны сварки;
- минимальная чувствительность к образованию оксидов;
- мелкочешуйчатая поверхность металла шва в связи с высокой стабильностью процесса горения дуги;

- не требуется защитных приспособлений от светового излучения, поскольку дуга горит под слоем флюса;
- низкая скорость охлаждения металла обеспечивает высокие показатели механических свойств металла шва.

Для сварки трубы с обечайкой будем применять механизированную сварку в среде защитных газов. Схема механизированной сварки плавящимся электродом показана на рисунке 10.

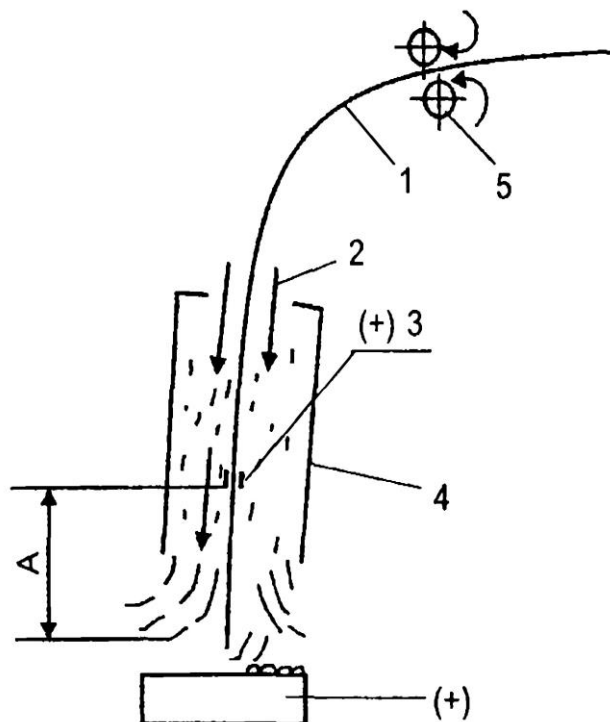


Рисунок 10 – Механизированная сварка плавящимся электродом в защитных газах: 1 – электродная проволока; 2 – защитный газ; 3 – токоподводящий мундштук; 4 – сопло для защитного газа; 5 – подающий механизм; А – вылет электродной проволоки

Полуавтоматическая сварка в среде углекислого газа позволяет увеличить производительность труда, по сравнению со сваркой штучными электродами, в 3 раза.

В зону сварки через сопло поступает газ, струя которого, обтекая сварочную дугу и сварочную ванну, предохраняет расплавленный металл от воздействия атмосферного воздуха.

Электродная проволока подается непрерывно в зону сварки со скоростью плавления. Сварочная горелка перемещается вдоль свариваемых кромок, в результате чего совершается процесс сварки с образованием шва. Сварку производят на постоянном токе обратной полярности.

Механизированные способы сварки обладают высокой производительностью, квалификация сварщиков при этом требуется меньшая, чем при ручной сварке. Механизированная сварка широко распространена как при монтаже, так и при изготовлении изделий. С помощью механизированной сварки можно получать сварные швы, которые характеризуются большой протяженностью. Этим способом можно получать соединения толстостенных изделий. Вместе с тем, сварка применима и для выполнения коротких швов, а также сварки деталей относительно небольшой толщины.

Недостатками способа являются: повышение массы сварочной горелки, невозможность сварки в труднодоступных местах, в сложных пространственных положениях. Механизированная сварка в углекислом газе является наиболее пожароопасной. Эффективность механизированной сварки снижается при выполнении прямолинейных и криволинейных швов большой протяженности.

6 Обоснование выбора сварочных материалов

Сварочные материалы, применяемые при изготовлении и ремонте арматуры, должны удовлетворять требованиям соответствующих стандартов и иметь сертификат.

Выбор сварочных материалов для автоматической сварки под слоем флюса производится в соответствии с ГОСТ 33857-2016.

Химический состав металла шва, его физические и механические свойства определяются составом сварочной проволоки и флюса. Поэтому флюс и проволоку выбирают как единую систему, обеспечивающую требуемое качество сварных швов.

Для автоматической сварки под флюсом деталей из углеродистых и низколегированных сталей, эксплуатируемых при температуре не ниже минус 45 °С, по ГОСТ 33857-2016 рекомендует использовать сварочные проволоки и флюс, указанные в таблице 8 и 9 соответственно.

Таблица 8 – Химический состав сварочной проволоки Св – 08Г2С

Химические элементы	Углерод	Кремний	Марганец	Никель	Хром	Сера	Фосфор
Содержание, %	0,05...0,11	0,7...0,95	1,8...2,1	до 0,25	до 0,2	до 0,025	до 0,03

Таблица 9 – Химический состав сварочного флюса АН – 348А

Химические элементы	Оксид титана (IV)	Оксид циркония (IV)	Оксид натрия	Фтористый кальций	Оксид Железа (III)	Сера	Фосфор
Содержание, %	–	–	–	3...6	0,5...2,0	до 0,12	до 0,12

В соответствии с ГОСТ 33857 – 2016 хранение флюсов допускается в специальных кладовых с температурой воздуха не ниже +15°С, при его относительной влажности воздуха не более 50%.

Сварочную проволоку в бухтах и прутки, изготовленные из них, следует хранить в сухом, закрытом помещении. Также должны иметься металлические ярлыки предприятия–изготовителя

Согласно ГОСТ 9087 – 81 флюс следует упаковывать в бумажные мешки по ГОСТ 2226. Масса одного нетто мешка составляет от 20 до 50 кг. Также флюс должен транспортироваться в крытых транспортных средствах, любым видом транспорта.

Согласно ГОСТ 33857 – 2016 флюс перед использованием должен быть просушен. Режим прокалки представлен в таблице 10.

Таблица 10 – Режим сушки флюса

Марка флюса по ГОСТ 9087-81	Температура прокалки, °С	Минимальное время выдержки, ч	Срок годности при условии хранения в кладовых, сутки
АН-348А	380-420	3	5

Произведем выбор сварочных материалов для механизированной сварки в среде защитных газов. В качестве защитного газа применяют аргон по ГОСТ 10157 – 2016 высшего сорта в смеси газов: аргон (75-85)%, двуокись углерода.

Для сварки стали 09Г2С следует использовать стальную легированную сварочную проволоку марки Св – 08Г2С по ГОСТ 2246 – 70, обладающую меньшей склонностью к разбрызгиванию и лучшей сопротивляемостью к окислению при сварке.

Механические свойства наплавленного металла Св – 08Г2С представлены в таблице 11.

Таблица 11– Механические свойства наплавленного металла Св – 08Г2С

Предел текучести, МПа	Предел прочности, МПа	Удлинение относительное, %	Вязкость ударная, Дж/см ²
450	550	30	70

Значение временного сопротивления сварочной проволоки по ГОСТ 2246 – 70 представлены в таблице 12.

Таблица 12 – Временное сопротивление сварочной проволоки
(ГОСТ 2246 – 70)

Диаметр проволоки, мм	Временное сопротивление разрыву проволоки, МПа (кгс/мм ²), предназначенной	
	Для сварки (наплавки)	Для изготовления электродов
0,3-0,5	882-1372 (90-140)	-
0,8-1,5	882-1323 (90-135)	-
1,6	882-1274 (90-130)	686 – 980 (70-100)
2,0	784-1176 (80-120)	686 – 980 (70-100)

На поверхности низкоуглеродистой и легированной проволоки не допускается наличие технологических смазок, за исключением следов мыльной смазки без графита и серы.

В данном разделе был произведен выбор сварочной проволоки Св – 08Г2С и для автоматической, и для механизированной сварки; защитные материалы – флюс АН – 348А, аргон и жидкую двуокись углерода в качестве защитного газа.

7 Расчет параметров режима сварки

Качество сварных соединений во многом определяется правильно разработанной технологией сварки. Одним из главных элементов технологического процесса сварки является её режим.

Режимы сварки зависят от многих факторов:

- толщины свариваемого металла;
- теплофизических свойств свариваемого металла;
- формы швов;
- требований к качеству сварного соединения;
- – пространственного положения сварки.

К основным параметрам режима сварки относят

- диаметр электродной проволоки $d_{эл}$, мм;
- величина сварочного тока $I_{св}$, А;
- плотность тока в электродной проволоке J , А/мм²;
- напряжение на дуге, $U_{в}$, В;
- скорость сварки $V_{св}$, м/ч;
- род тока (переменный или постоянный);
- полярность тока (прямая или обратная).

Исходные данные для сварного соединения №1:

- толщина свариваемых деталей 18 мм;
- материал свариваемых деталей – сталь 09Г2С;
- длина сварного соединения 2355 мм
- марка сварочной проволоки и флюса – Св – 08Г2С по ГОСТ 2246 – 70, флюс АН – 348А по ГОСТ 9087 – 81;
- род и полярность тока – постоянный ток обратной полярности;
- тип соединения С26 по СТ ЦКБА 025 – 2006.

Конструктивные элементы подготавливаемых кромок свариваемых деталей и шва сварного соединения С26 по СТ ЦКБА 025 – 2006, представлены на рисунке 11.

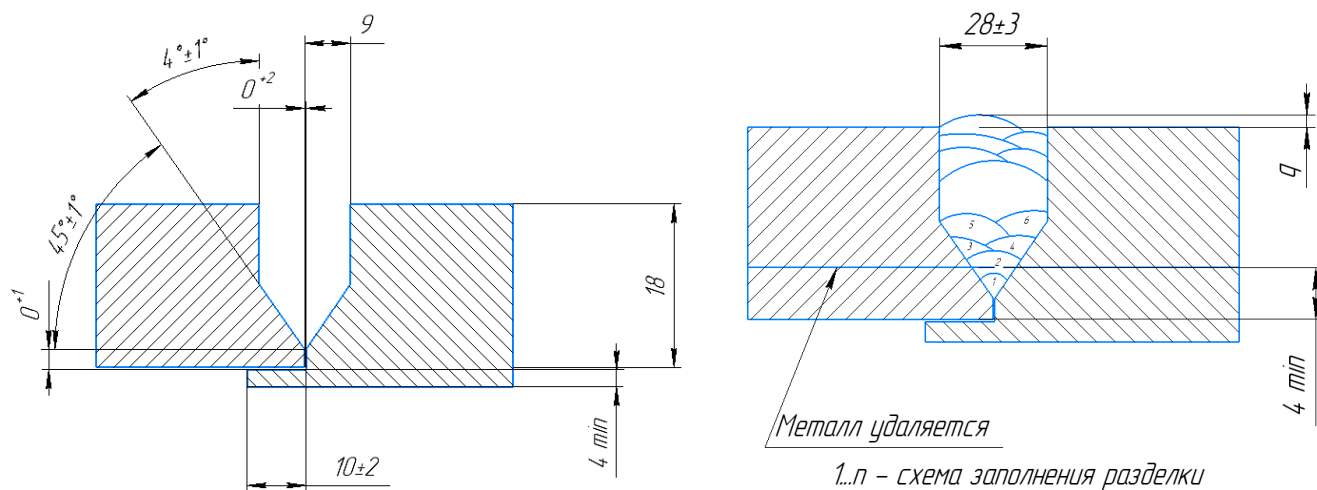


Рисунок 11 – Параметры сварного соединения С26

Данное сварное соединение выполняется автоматической сваркой под слоем флюса в несколько проходов.

Установим требуемую глубину проплавления по формуле:

$$h = \frac{S}{2} + 1,$$

где h – требуемая глубина проплавления, мм;

S – толщина свариваемой детали, мм.

$$h = \frac{18}{2} + 1 = 10 \text{ мм}$$

Принимаем требуемую глубину проплавления $h = 10$ мм.

Определим ориентировочную величину сварочного тока по формуле:

$$I_{\text{св}} = (80 \dots 100) \cdot h$$

где $I_{\text{св}}$ – величина сварочного тока, А.

$$I_{\text{св}} = (80 \dots 100) \cdot 10 = 500 \dots 800 \text{ А}$$

Принимаем $I_{\text{св}} = 500 \text{ А}$

Определим диаметр сварочной проволоки по формуле:

$$d_{\text{эл}} = 1,13 \sqrt{\frac{I_{\text{св}}}{J}}$$

где $d_{\text{эл}}$ – диаметр сварочной проволоки, мм;

J – допускаемая плотность тока А/мм²

Допускаемая плотность тока определяется по таблице 13

Параметр	Значение параметра				
Диаметр сварочной проволоки $d_{эл}$, мм	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0
Допускаемая плотность тока J , А/мм ²	90...400	65...200	45...90	35...65	30...50

Следуя из предположения, что для выполнения сварного соединения детали толщиной 18 мм потребуется сварочная проволока диаметром 4 мм, принимаем допускаемую плотность тока $J = 65 \text{ А/мм}^2$.

Определим диаметр сварочной проволоки по формуле:

$$d_{эл} = 1,13 \sqrt{\frac{800}{65}} = 3,96 \text{ мм}$$

Принимаем $d_{эл}=4 \text{ мм}$.

Определим скорость сварки по формуле:

$$V_{св} = \frac{(12 \dots 16) \cdot 10^3}{I_{св}}$$

где $V_{св}$ – скорость сварки, м/ч.

$$V_{св} = \frac{(12 \dots 16) \cdot 10^3}{800} = 15 \dots 20 \text{ м/ч}$$

Принимаем $V_{св}=18 \text{ м/ч}$

Определим напряжение на дуге U_d , по формуле:

$$U_d = 20 + \frac{50 \cdot 10^{-3}}{d_{эл}^{0,5}} \cdot I_{св} \pm 1$$

где U_d – напряжение на дуге, В.

$$U_d = 20 + \frac{50 \cdot 10^{-3}}{4^{0,5}} \cdot 500 \pm 1 = 33 \dots 35 \text{ В}$$

Принимаем $U_d = 34 \text{ В}$.

Определим коэффициент формы провара по формуле:

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

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

K' – эмпирический коэффициент.

Величина коэффициента K' определяется в зависимости от рода тока и его полярности по таблице 14

Род тока	Полярность	Плотность тока J, А/мм ²	Величина коэффициента K'
Переменный	-	Меньше 120	1
		Больше или равна 120	
Постоянный	Обратная	Меньше 120	$0,364 \cdot J^{0,1925}$
	Прямая		$2,820 \cdot J^{0,1925}$
	Обратная	Больше или равна 120	0,92
	Прямая		1,12

Так как сварка производится на постоянном токе обратной полярности, а плотность тока, при заданном значении диаметра сварочной проволоки равняется $J = 65 \text{ А/мм}^2$, то величина коэффициента K' будет вычисляться по формуле:

$$K' = 0,364 \cdot J^{0,1925}$$

$$K' = 0,364 \cdot 65^{0,1925} = 0,364 \cdot 2,12 = 0,81$$

Определим коэффициент формы провара по формуле:

$$\psi_{\text{пр}} = 0,81 \cdot (19 - 0,01 \cdot 800) \cdot \frac{4 \cdot 40}{800} = 1,78$$

Для автоматической сварки под слоем флюса коэффициент формы провара должен находиться в пределах от 0,8 до 4,0.

Рассчитаем погонную энергию по формуле:

$$q_{\text{п}} = \frac{I_{\text{св}} \cdot U_{\text{д}} \cdot \eta_{\text{д}}}{V_{\text{св}}}$$

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

$\eta_{\text{д}}$ – коэффициент полезного действия дуги.

$$q_{\text{п}} = \frac{800 \cdot 40 \cdot 0,9}{0,5} = 57600 \text{ Дж/см}$$

Определим фактические размеры шва

Фактическая глубина проплавления определяется по формуле:

$$h_{\phi} = 7,6 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt{\frac{q_{\text{п}}}{\psi_{\text{пр}}}}$$

где h_{ϕ} – фактическая глубина проплавления, мм.

$$h_{\phi} = 7,6 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt{\frac{57600}{1,78}} = 13,6 \text{ мм}$$

Фактическая ширина шва определяется по формуле:

$$e = \psi_{\text{пр}} \cdot h_{\phi}$$

где e – фактическая ширина шва, мм

$$e = 1,78 \cdot 13,6 = 24,2 \text{ мм}$$

Определим фактическую высоту валика c_3 по формуле:

$$c_3 = \frac{F_H - H \cdot b_3}{0,73 \cdot e - b_3}$$

где c_3 – фактическая высота валика, мм;

F_H – площадь поперечного сечения наплавленного металла за данных проход, мм²;

b_3 – зазор между соединяемыми деталями, мм;

H – общая высота шва.

Общая высота шва определяется по формуле:

$$H = h_{\phi} + c_{\text{в}}$$

где $c_{\text{в}}$ – высота валика при соединении без зазора между деталями, мм.

Высота валика между деталями определяется по формуле:

$$c_{\text{в}} = \frac{F_H}{0,73 \cdot e}$$

Определим площадь поперечного сечения наплавленного металла за данный проход по формуле:

$$F_H = \frac{\alpha_{\text{н}} \cdot I_{\text{св}}}{3600 \cdot \gamma \cdot V_{\text{св}}}$$

где $\alpha_{\text{н}}$ – коэффициент расплавления электродной проволоки, г/А·ч;

γ – плотность сварочной проволоки, равняется 7,81 г/см³.

Коэффициент наплавки определяется по формуле:

$$\alpha_n = \alpha_p \cdot \left(1 - \frac{\varphi}{100}\right)$$

где α_p – коэффициент расплавления электродной проволоки, г/А·с;

φ – потери электродного металла вследствие окисления испарения и разбрызгивания.

Коэффициент расплавления электродной проволоки определяется по формуле:

$$\alpha_p = \left(8,3 + 0,22 \cdot \frac{I_{св}}{d_{эл}}\right) \cdot 10^4$$

$$\alpha_p = \left(8,3 + 0,22 \cdot \frac{800}{4}\right) \cdot 10^4 = 0,0052 \text{ г/А} \cdot \text{с} = 18,83 \text{ г/А} \cdot \text{ч}$$

Подставляем известные значения в формулы:

$$\alpha_n = 18,83 \cdot \left(1 - \frac{10}{100}\right) = 16,95 \text{ г/А} \cdot \text{ч}$$

$$F_H = \frac{16,95 \cdot 800}{3600 \cdot 7,81 \cdot 0,5} = 96,46 \text{ мм}^2$$

$$c_B = \frac{96,46}{0,73 \cdot 24,2} = 5,46 \text{ мм}$$

$$H = 13,6 + 5,46 = 19,06 \text{ мм}$$

$$c_3 = \frac{96,46 - 19,06 \cdot 2}{0,73 \cdot 24,2 - 2} = 3,72 \text{ мм}$$

Определим коэффициент формы валика по формуле:

$$\psi_B = \frac{e}{c_B}$$

где ψ_B – коэффициент формы валика.

$$\psi_B = \frac{24,2}{5,46} = 4,43$$

Определим скорость подачи электродной проволоки

$$V_{п.п} = \frac{4 \cdot \alpha_n \cdot I_{св}}{\pi \cdot d_{эл}^2 \cdot \gamma}$$

где $V_{п.п}$ – скорость подачи электродной проволоки, м/ч

$$V_{п.п} = \frac{4 \cdot 16,95 \cdot 800}{3,14 \cdot 4^2 \cdot 7,81} = 63 \text{ м/ч}$$

Определим время горения дуги по формуле:

$$T_{\text{осн}} = \frac{T_1}{60}$$

где $T_{\text{осн}}$ – время горения дуги, мин;

T_1 – время сварки на одну сторону, мин

Время сварки определяется по формуле:

$$T_1 = \frac{3600 \cdot F_{\text{н}} \cdot l \cdot \gamma}{\alpha_{\text{н}} \cdot I_{\text{св}}}$$

где l – длина сварного соединения, см

$$T_1 = \frac{3600 \cdot 0,9646 \cdot 235,5 \cdot 7,81}{16,95 \cdot 500} = 471 \text{ с}$$

Определяем время горения дуги по формуле:

$$T_{\text{осн}} = \frac{471}{60} = 7,85 \text{ мин}$$

Расчет потребного количества сварочной проволоки производится по формуле:

$$\omega_{\text{СП}} = (1,7 \dots 1,9) \cdot \omega_{\text{н.м}}$$

где $\omega_{42П}$ – вес сварочной проволоки, г;

$\omega_{\text{н.м}}$ – вес наплавленного металла, г.

Вес наплавленного металла определяется по формуле:

$$\omega_{\text{н.м}} = F_{\text{н}} \cdot l \cdot \gamma$$

$$\omega_{\text{н.м}} = 0,9646 \cdot 235,5 \cdot 7,81 = 1774,15 \text{ г}$$

Вес сварочной проволоки определяется по формуле:

$$\omega_{\text{СП}} = (1,7 \dots 1,9) \cdot 1774,15 = 3016,05 \dots 3370,89 \text{ г}$$

Рассчитаем режим сварки для сварного шва №2.

Исходные данные:

- толщина свариваемых деталей 18 мм;
- материал свариваемых деталей – сталь 09Г2С;
- длина сварного соединения 686 мм
- марка сварочной проволоки и флюса – Св – 08Г2С по ГОСТ 2246 – 70, флюс АН – 348А по ГОСТ 9087 – 81;
- род и полярность тока – постоянный ток обратной полярности;
- тип соединения С15 по СТ ЦКБА 025 – 2006.

Конструктивные элементы подготавливаемых кромок свариваемых деталей и шва сварного соединения С15 по СТ ЦКБА 025 – 2006, представлены на рисунке 12.

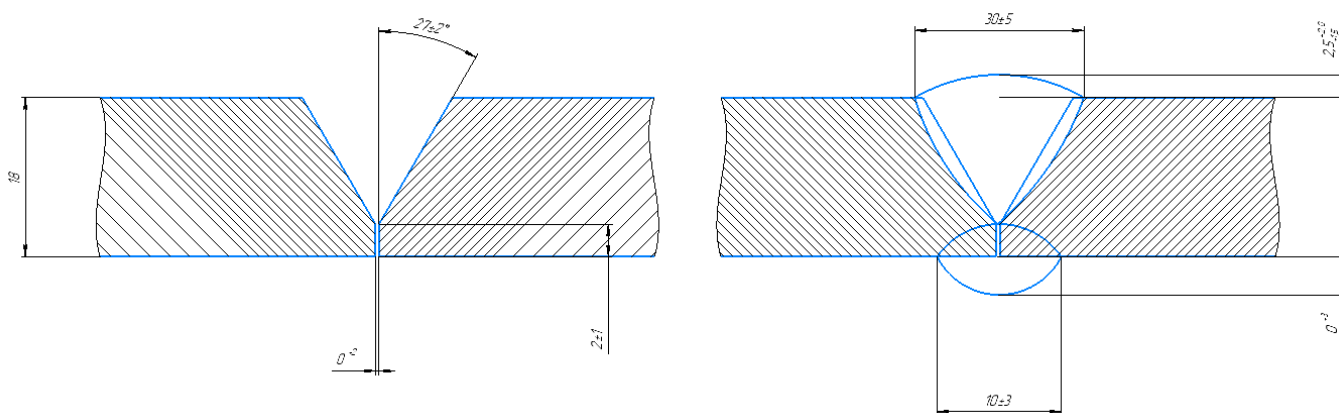


Рисунок 12 – Параметры сварного соединения С15

Данное сварное соединение выполняется автоматической сваркой под слоем флюса в несколько проходов.

Установим требуемую глубину проплавления по формуле:

$$h = \frac{S}{2} + 1,$$

где h – требуемая глубина проплавления, мм;

S – толщина свариваемой детали, мм.

$$h = \frac{18}{2} + 1 = 10 \text{ мм}$$

Принимаем требуемую глубину проплавления $h = 5$ мм.

Определим ориентировочную величину сварочного тока по формуле:

$$I_{\text{св}} = (60 \dots 90) \cdot h$$

где $I_{\text{св}}$ – величина сварочного тока, А.

$$I_{\text{св}} = (60 \dots 90) \cdot 10 = 600 \dots 900 \text{ А}$$

Принимаем $I_{\text{св}}=600 \text{ А}$

Определим диаметр сварочной проволоки по формуле:

$$d_{\text{эл}} = 1,13 \sqrt{\frac{I_{\text{св}}}{J}}$$

где $d_{\text{эл}}$ – диаметр сварочной проволоки, мм;

J – допускаемая плотность тока А/мм^2

Допускаемая плотность тока определяется по таблице 15

Параметр	Значение параметра				
Диаметр сварочной проволоки $d_{\text{эл}}$, мм	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0
Допускаемая плотность тока J , А/мм^2	90...400	65...200	45...90	35...65	30...50

Следуя из предположения, что для выполнения сварного соединения детали толщиной 18 мм потребуется сварочная проволока диаметром 4 мм, принимаем допускаемую плотность тока $J = 65 \text{ А/мм}^2$.

Определим диаметр сварочной проволоки по формуле:

$$d_{\text{эл}} = 1,13 \sqrt{\frac{800}{65}} = 3,96 \text{ мм}$$

Принимаем $d_{\text{эл}}=4 \text{ мм}$.

Определим скорость сварки по формуле:

$$V_{\text{св}} = \frac{(12 \dots 16) \cdot 10^3}{I_{\text{св}}}$$

где $V_{\text{св}}$ – скорость сварки, м/ч.

$$V_{\text{св}} = \frac{(12 \dots 16) \cdot 10^3}{800} = 15 \dots 20 \text{ м/ч}$$

Принимаем $V_{\text{св}}=18 \text{ м/ч}$

Определим напряжение на дуге $U_{\text{д}}$, по формуле:

$$U_d = 20 + \frac{50 \cdot 10^{-3}}{d_{эл}^{0,5}} \cdot I_{св} \pm 1$$

где U_d – напряжение на дуге, В.

$$U_d = 20 + \frac{50 \cdot 10^{-3}}{4^{0,5}} \cdot 600 \pm 1 = 31 \dots 33 \text{ В}$$

Принимаем $U_d = 32 \text{ В}$.

Определим коэффициент формы провара по формуле:

$$\psi_{пр} = K' \cdot (19 - 0,01 \cdot I_{св}) \cdot \frac{d_{эл} \cdot U_d}{I_{св}}$$

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

K' - эмпирический коэффициент.

Величина коэффициента K' определяется в зависимости от рода тока и его полярности по таблице 16

Род тока	Полярность	Плотность тока J, А/мм ²	Величина коэффициента K'
Переменный	-	Меньше 120	1
		Больше или равна 120	
Постоянный	Обратная	Меньше 120	$0,364 \cdot J^{0,1925}$
	Прямая		$2,820 \cdot J^{0,1925}$
	Обратная	Больше или равна 120	0,92
	Прямая		1,12

Так как сварка производится на постоянном токе обратной полярности, а плотность тока, при заданном значении диаметра сварочной проволоки равняется $J = 65 \text{ А/мм}^2$, то величина коэффициента K' будет вычисляться по формуле:

$$K' = 0,364 \cdot J^{0,1925}$$

$$K' = 0,364 \cdot 65^{0,1925} = 0,364 \cdot 2,12 = 0,81$$

Определим коэффициент формы провара по формуле:

$$\psi_{пр} = 0,81 \cdot (19 - 0,01 \cdot 800) \cdot \frac{4 \cdot 40}{800} = 1,78$$

Для автоматической сварки под слоем флюса коэффициент формы провара должен находиться в пределах от 0,8 до 4,0.

Рассчитаем погонную энергию по формуле:

$$q_{\text{п}} = \frac{I_{\text{св}} \cdot U_{\text{д}} \cdot \eta_{\text{д}}}{V_{\text{св}}}$$

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

$\eta_{\text{д}}$ – коэффициент полезного действия дуги.

$$q_{\text{п}} = \frac{800 \cdot 40 \cdot 0,9}{0,5} = 57600 \text{ Дж/см}$$

Определим фактические размеры шва

Фактическая глубина проплавления определяется по формуле:

$$h_{\text{ф}} = 7,6 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt{\frac{q_{\text{п}}}{\psi_{\text{пр}}}}$$

где $h_{\text{ф}}$ – фактическая глубина проплавления, мм.

$$h_{\text{ф}} = 7,6 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt{\frac{57600}{1,78}} = 13,6 \text{ мм}$$

Фактическая ширина шва определяется по формуле:

$$e = \psi_{\text{пр}} \cdot h_{\text{ф}}$$

где e – фактическая ширина шва, мм

$$e = 1,78 \cdot 13,6 = 24,2 \text{ мм}$$

Определим фактическую высоту валика c_3 по формуле:

$$c_3 = \frac{F_{\text{Н}} - H \cdot b_3}{0,73 \cdot e - b_3}$$

где c_3 – фактическая высота валика, мм;

$F_{\text{Н}}$ – площадь поперечного сечения наплавленного металла за данных проход, мм²;

b_3 – зазор между соединяемыми деталями, мм;

H – общая высота шва.

Общая высота шва определяется по формуле:

$$H = h_{\text{ф}} + c_{\text{в}}$$

где $c_{\text{в}}$ – высота валика при соединении без зазора между деталями, мм.

Высота валика между деталями определяется по формуле:

$$c_B = \frac{F_H}{0,73 \cdot e}$$

Определим площадь поперечного сечения наплавленного металла за данный проход по формуле:

$$F_H = \frac{\alpha_H \cdot I_{CB}}{3600 \cdot \gamma \cdot V_{CB}}$$

где α_H – коэффициент расплавления электродной проволоки, г/А·с;

γ – плотность сварочной проволоки, равняется 7,81 г/см³.

Коэффициент наплавки определяется по формуле:

$$\alpha_H = \alpha_p \cdot \left(1 - \frac{\varphi}{100}\right)$$

где α_p – коэффициент расплавления электродной проволоки, г/А·с;

φ – потери электродного металла вследствие окисления испарения и разбрызгивания.

Коэффициент расплавления электродной проволоки определяется по формуле:

$$\alpha_p = \left(8,3 + 0,22 \cdot \frac{I_{CB}}{d_{эл}}\right) \cdot 10^4$$

$$\alpha_p = \left(8,3 + 0,22 \cdot \frac{800}{4}\right) \cdot 10^4 = 0,0052 \text{ г/А} \cdot \text{с} = 18,83 \text{ г/А} \cdot \text{ч}$$

Подставляем известные значения в формулы:

$$\alpha_H = 18,83 \cdot \left(1 - \frac{10}{100}\right) = 16,95 \text{ г/А} \cdot \text{ч}$$

$$F_H = \frac{16,95 \cdot 800}{3600 \cdot 7,81 \cdot 0,5} = 96,46 \text{ мм}^2$$

$$c_B = \frac{96,46}{0,73 \cdot 24,2} = 5,46 \text{ мм}$$

$$H = 13,6 + 5,46 = 19,06 \text{ мм}$$

$$c_3 = \frac{96,46 - 19,06 \cdot 2}{0,73 \cdot 24,2 - 2} = 3,72 \text{ мм}$$

Определим коэффициент формы валика по формуле:

$$\psi_B = \frac{e}{c_B}$$

					ПГУ.ВКР.15.03.01.21М0109 000 ПЗ	Лист
						47
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

где ψ_v – коэффициент формы валика.

$$\psi_v = \frac{24,2}{5,46} = 4,43$$

Определим скорость подачи электродной проволоки

$$V_{п.п} = \frac{4 \cdot \alpha_n \cdot I_{св}}{\pi \cdot d_{эл}^2 \cdot \gamma}$$

где $V_{п.п}$ – скорость подачи электродной проволоки, м/ч

$$V_{п.п} = \frac{4 \cdot 16,95 \cdot 800}{3,14 \cdot 4^2 \cdot 7,81} = 13,8 \text{ м/ч}$$

Определим время горения дуги по формуле:

$$T_{очн} = \frac{T_1}{60}$$

где $T_{очн}$ – время горения дуги, мин;

T_1 – время сварки на одну сторону, мин

Время сварки определяется по формуле:

$$T_1 = \frac{3600 \cdot F_n \cdot l \cdot \gamma}{\alpha_n \cdot I_{св}}$$

где l – длина сварного соединения, см

$$T_1 = \frac{3600 \cdot 0,9646 \cdot 68,6 \cdot 7,81}{16,95 \cdot 800} = 137 \text{ с}$$

Определяем время горения дуги по формуле:

$$T_{очн} = \frac{137}{60} = 2,28 \text{ мин}$$

Расчет потребного количества сварочной проволоки производится по формуле:

$$\omega_{СП} = (1,7 \dots 1,9) \cdot \omega_{н.м}$$

где $\omega_{48П}$ – вес сварочной проволоки, г;

$\omega_{н.м}$ – вес наплавленного металла, г.

Вес наплавленного металла определяется по формуле:

$$\omega_{н.м} = F_n \cdot l \cdot \gamma$$

$$\omega_{н.м} = 0,9646 \cdot 68,6 \cdot 7,81 = 516,79 \text{ г}$$

Вес сварочной проволоки определяется по формуле:

$$\omega_{\text{СП}} = (1,7 \dots 1,9) \cdot 516,79 = 878,54 \dots 981,9 \text{ г}$$

Рассчитаем режим сварки для сварного шва №3.

Исходные данные:

- толщина свариваемых деталей 16 мм;
- материал свариваемых деталей – сталь 09Г2С;
- длина сварного соединения 1570 мм
- марка сварочной проволоки и флюса – Св-08Г2С по ГОСТ 2246-70, защитный газ аргон и двуокись углерода по ГОСТ 10157-2016;
- род и полярность тока – постоянный ток обратной полярности;
- тип соединения Т1 по ГОСТ 33857-2016.

Конструктивные элементы подготавливаемых кромок свариваемых деталей и шва сварного соединения Т1 по ГОСТ 33857-2016, представлены на рисунке 13.

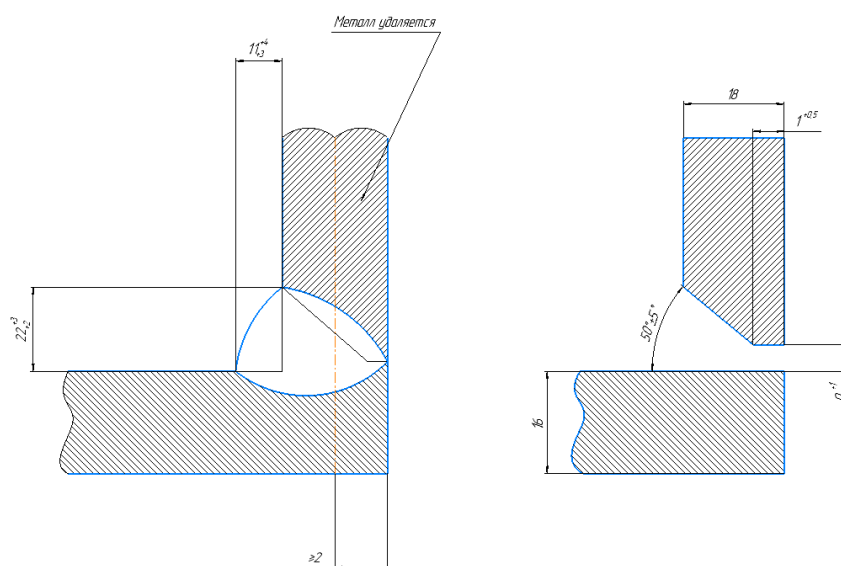


Рисунок 13 – Параметры сварного соединения Т1

Произведем выбор диаметра электродной проволоки по таблице 17.

Таблица 17 – Зависимость величины диаметра электродной проволоки от толщины свариваемых изделий

Параметр	Значение			
Толщина деталей S, мм	1,0...2,0	3,0...6,0	6,0...12,0	10,0...24,0
Диаметр сварочной проволоки $d_{эл}$, мм	0,8...1,0	1,2...1,6	1,6...2,0	2,0 и более

Так как толщина свариваемой детали равняется 16 мм, то выбираем диаметр сварочной проволоки $d_{эл}$ 2,2 мм.

Величина сварочного тока определяется в зависимости от диаметра электродной проволоки, согласно таблице 18.

Таблица 18 – Допускаемая величина сварочного тока в зависимости от диаметра электродной проволоки

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

Исходя из принятого диаметра электродной проволоки, выбираем величину сварочного тока $I_{св}=500$ А

Рассчитаем скорость сварки $V_{св}$ одностороннего шва по формуле:

$$V_{св} = \frac{(2 \dots 5) \cdot 10^3}{I_{св}}$$

$$V_{св} = \frac{(2 \dots 5) \cdot 10^3}{500} = 4 \dots 10 \text{ м/ч}$$

Принимаем $V_{св}=8$ м/ч=0,22 см/с.

Напряжение дуги при механизированной сварке рассчитывается по формуле:

$$U_d = 20 + \frac{50 \cdot 10^{-3}}{d_{эл}^{0,5}} \cdot I_{св} \pm 1$$

$$U_d = 20 + \frac{50 \cdot 10^{-3}}{2,2^{0,5}} \cdot 500 \pm 1 = 31 \pm 1 \text{ В}$$

Принимаем $U_d = 31 \text{ В}$.

Определяем коэффициент формы провара по формуле:

$$\psi_{пр} = K' \cdot (19 - 0,01 \cdot I_{св}) \cdot \frac{d_{эл} \cdot U_d}{I_{св}}$$

$$\psi_{пр} = 0,81 \cdot (19 - 0,01 \cdot 500) \cdot \frac{2,2 \cdot 31}{500} = 1,55$$

Для механизированной сварки коэффициент формы провара входит в интервал от 0,8 до 4,0, следовательно условие выполняется.

Определим величину погонной энергии по формуле:

$$q_{п} = \frac{I_{св} \cdot U_d \cdot \eta_d}{V_{св}}$$

где η_d – коэффициент полезного действия дуги, равный 0,8.

$$q_{п} = \frac{500 \cdot 31 \cdot 0,8}{0,22} = 56363 \text{ Дж/см}$$

Определим фактическую глубину проплавления по формуле:

$$h_{ф} = 8,06 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt{\frac{q_{п}}{\psi_{пр}}}$$

$$h_{ф} = 8,06 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt{\frac{56363}{1,55}} = 1,53 \text{ см} = 15,3 \text{ мм}$$

Определим фактическую ширину шва по формуле

$$e = \psi_{пр} \cdot h_{ф}$$

$$e = 1,55 \cdot 15,3 = 23,7 \text{ мм}$$

Коэффициенты наплавки и расплавления электродной проволоки определяются по формулам:

$$\alpha_n = \alpha_p \cdot \left(1 - \frac{\varphi}{100}\right)$$

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

$$\alpha_p = \left(8,3 + 0,22 \cdot \frac{500}{2,2}\right) \cdot 10^4 = 58,3 \cdot 10^{-4} \text{ г/А} \cdot \text{с}$$

$$\alpha_H = 58,3 \cdot 10^{-4} \cdot \left(1 - \frac{10}{100}\right) = 52,5 \text{ г/А} \cdot \text{ч}$$

Площадь наплавки определяется по формуле:

$$F_H = \frac{K^2}{2}$$

где K – катет шва, мм.

$$F_H = \frac{16^2}{2} = 128 \text{ мм}^2$$

Определим высоту валика по формуле:

$$c_B = \frac{F_H}{0,73 \cdot e}$$

$$c_B = \frac{128}{0,73 \cdot 23,7} = 7,4 \text{ мм}$$

Определим общую высоту шва по формуле:

$$H = h_{\phi} + c_B$$

$$H = 15,3 + 7,4 = 22,7 \text{ мм}$$

Определим высоту заполнения по формуле:

$$g = \sqrt{F_H}$$

$$g = \sqrt{128} = 11,3 \text{ мм}$$

Определим глубину проплавления полки углового соединения по формуле:

$$h_0 = H - g$$

где h_0 – глубина проплавления полки углового соединения, мм.

$$h_0 = 22,7 - 11,2 = 11,4 \text{ мм}$$

Определим глубину проплавления вертикальной стенки углового соединения по формуле:

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

где h_{01} – глубина проплавления вертикальной стенки углового соединения, мм.

$$h_{01} = (0,8 \dots 1,0) \cdot 11,4 = 9,12 \dots 11,4 \text{ мм}$$

Определим скорость подачи проволоки по формуле:

$$V_{п.п} = \frac{4 \cdot \alpha_n \cdot I_{св}}{\pi \cdot d_{эл}^2 \cdot \gamma}$$

$$V_{п.п} = \frac{4 \cdot 52,47 \cdot 500}{3,14 \cdot 2,2^2 \cdot 7,81} = 884 \text{ м/ч}$$

Проверим правильность выбора режима сварки через оптимальную величину коэффициента формы провара по формуле:

$$\psi_{опр} = \frac{b}{H}$$

где $\psi_{опр}$ – оптимальная величина коэффициента формы провара;

b – ширина шва, мм.

При этом должно выполняться условие $\psi_{опр} \leq 2,0$.

Ширина шва определяется по формуле:

$$b = \sqrt{2 \cdot K^2}$$

$$b = \sqrt{2 \cdot 16^2} = 22,62 \text{ мм}$$

Определяем правильность выбора режима сварки по формуле:

$$\psi_{опр} = \frac{22,62}{22,8} = 0,99$$

Полученное значение оптимального коэффициента формы провара равняется 0,99, что соответствует условию удовлетворительного формирования шва, т.е не превышает 2,0. Следовательно, режим сварки выбран правильно.

Согласно рекомендации, представленным в таблице для проволоки диаметром $d_{эл}=2,2$ мм, расстояние от сопла горелки, до изделия составляет от 20 до 40 мм.

Время сварки определяется по формуле:

$$T_1 = \frac{3600 \cdot F_n \cdot l \cdot \gamma}{\alpha_n \cdot I_{св}}$$

где l – длина сварного соединения, см

$$T_1 = \frac{3600 \cdot 128 \cdot 68,6 \cdot 7,81}{52,47 \cdot 500} = 9410 \text{ с}$$

Определяем время горения дуги по формуле:

$$T_{\text{осн}} = \frac{9410}{60} = 156 \text{ мин}$$

Расчет потребного количества сварочной проволоки производится по формуле:

$$\omega_{\text{СП}} = (1,7 \dots 1,9) \cdot \omega_{\text{н.м}}$$

где $\omega_{\text{СП}}$ – вес сварочной проволоки, г;

$\omega_{\text{н.м}}$ – вес наплавленного металла, г.

Вес наплавленного металла определяется по формуле:

$$\omega_{\text{н.м}} = F_{\text{н}} \cdot l \cdot \gamma$$

$$\omega_{\text{н.м}} = 128 \cdot 68,6 \cdot 7,81 = 68578 \text{ г}$$

Вес сварочной проволоки определяется по формуле:

$$\omega_{\text{СП}} = (1,7 \dots 1,9) \cdot 68578 = 116582,6 \dots 130298,2 \text{ г}$$

Вылет электрода будет определяться для проволоки диаметром 2,2 по формуле:

$$l_{\text{эп}} = (8 \dots 18) \cdot d_{\text{эп}}$$

где $l_{\text{эп}}$ – вылет электрода, мм

$$l_{\text{эп}} = (8 \dots 18) \cdot 2,2 = 17,6 \dots 39,6 \text{ мм}$$

Принимаем расход защитного газа согласно таблице 19 для проволоки диаметром 2,2 мм в пределах от 20 до 25 л/мин.

Таблица 19 – Параметры расхода защитного газа и вылет электродной проволоки

Диаметр сварочной проволоки $d_{\text{эл}}$, мм	Расход защитного газа, л/мин	Вылет электрода $l_{\text{эп}}$, мм
0,5...0,8	5,0...8,0	5,0...8,0
1,0...1,4	8,0...16,0	8,0...15,0
1,6...2,0	15,0...20,0	15,0...25,0
2,5...3	20,0...25,0	18,0...30,0

Произведем расчет режима сварки для сварного соединения №4.

Исходные данные:

- толщина свариваемых деталей 10 мм;
- материал свариваемых деталей – сталь 09Г2С;
- длина сварного соединения 471 мм
- марка сварочной проволоки и флюса – Св-08Г2С по ГОСТ 2246-70, защитный газ аргон и двуокись углерода по ГОСТ 10157-2016;
- род и полярность тока – постоянный ток обратной полярности;
- тип соединения Т4 по ГОСТ 33857-2016.

Конструктивные элементы подготавливаемых кромок свариваемых деталей и шва сварного соединения Т4 по ГОСТ 33857-2016, представлены на рисунке 14.

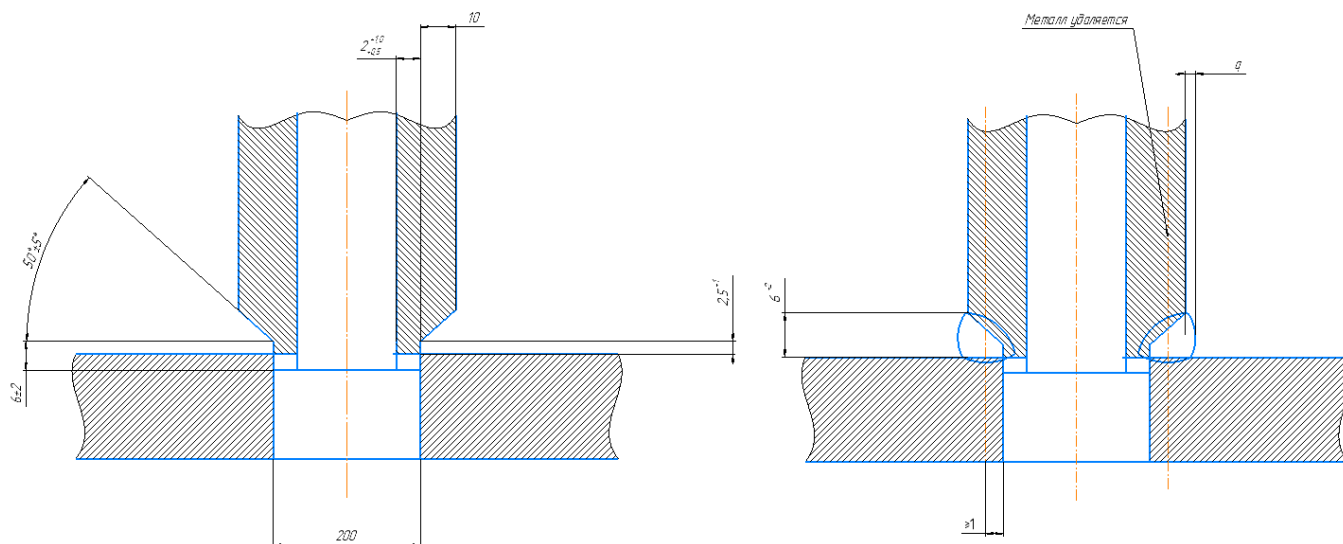


Рисунок 14 – Параметры сварного соединения Т4

Произведем выбор диаметра электродной проволоки по таблице 20.

Таблица 20 – Зависимость величины диаметра электродной проволоки от толщины свариваемых изделий

Параметр	Значение			
Толщина деталей S, мм	1,0...2,0	3,0...6,0	6,0...12,0	10,0...24,0
Диаметр сварочной проволоки $d_{эл}$, мм	0,8...1,0	1,2...1,6	1,6...2,0	2,0 и более

Так как толщина свариваемой детали равняется 10 мм, то выбираем диаметр сварочной проволоки $d_{эл}$ 1,8 мм.

Величина сварочного тока определяется в зависимости от диаметра электродной проволоки, согласно таблице 21.

Таблица 21 – Допускаемая величина сварочного тока в зависимости от диаметра электродной проволоки

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

Исходя из принятого диаметра электродной проволоки, выбираем величину сварочного тока $I_{св}=300$ А

Рассчитаем скорость сварки $V_{св}$ однопроводного шва по формуле:

$$V_{св} = \frac{(2 \dots 5) \cdot 10^3}{I_{св}}$$

$$V_{св} = \frac{(2 \dots 5) \cdot 10^3}{300} = 6 \dots 16 \text{ м/ч}$$

Принимаем $V_{св}=10 \text{ м/ч}=0,27 \text{ см/с}$.

Напряжение дуги при механизированной сварке рассчитывается по формуле:

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

$$U_{д} = 20 + \frac{50 \cdot 10^{-3}}{1,8^{0,5}} \cdot 300 \pm 1 = 31 \pm 1 \text{ В}$$

Принимаем $U_{д}=31 \text{ В}$.

Определяем коэффициент формы провара по формуле:

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

$$\psi_{\text{пр}} = 0,81 \cdot (19 - 0,01 \cdot 300) \cdot \frac{1,8 \cdot 31}{300} = 2,41$$

Для механизированной сварки коэффициент формы провара входит в интервал от 0,8 до 4,0, следовательно условие выполняется.

Определим величину погонной энергии по формуле:

$$q_{\text{п}} = \frac{I_{\text{св}} \cdot U_{\text{д}} \cdot \eta_{\text{д}}}{V_{\text{св}}}$$

где $\eta_{\text{д}}$ – коэффициент полезного действия дуги, равный 0,8.

$$q_{\text{п}} = \frac{300 \cdot 31 \cdot 0,8}{0,27} = 27555,5 \text{ Дж/см}$$

Определим фактическую глубину проплавления по формуле:

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

$$h_{\text{ф}} = 8,06 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt{\frac{27555,5}{2,41}} = 0,86 \text{ мм}$$

Определим фактическую ширину шва по формуле

$$e = \psi_{\text{пр}} \cdot h_{\text{ф}}$$

$$e = 2,41 \cdot 0,86 = 2 \text{ мм}$$

Коэффициенты наплавки и расплавления электродной проволоки определяются по формулам:

$$\alpha_{\text{н}} = \alpha_{\text{р}} \cdot \left(1 - \frac{\varphi}{100}\right)$$

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

$$\alpha_{\text{р}} = \left(8,3 + 0,22 \cdot \frac{300}{1,8}\right) \cdot 10^4 = 44,5 \cdot 10^{-4} \text{ г/А} \cdot \text{с}$$

$$\alpha_{\text{н}} = 44,5 \cdot 10^{-4} \cdot \left(1 - \frac{10}{100}\right) = 40,5 \text{ г/А} \cdot \text{ч}$$

Площадь наплавки определяется по формуле:

$$F_H = \frac{K^2}{2}$$

где K – катет шва, мм.

$$F_H = \frac{10^2}{2} = 50 \text{ мм}^2$$

Определим высоту валика по формуле:

$$c_B = \frac{F_H}{0,73 \cdot e}$$

$$c_B = \frac{50}{0,73 \cdot 2} = 34,2 \text{ мм}$$

Определим общую высоту шва по формуле:

$$H = h_\phi + c_B$$

$$H = 0,86 + 34,2 = 35,06 \text{ мм}$$

Определим высоту заполнения по формуле:

$$g = \sqrt{F_H}$$

$$g = \sqrt{50} = 7,07 \text{ мм}$$

Определим глубину проплавления полки углового соединения по формуле:

$$h_0 = H - g$$

где h_0 – глубина проплавления полки углового соединения, мм.

$$h_0 = 35,06 - 7,07 = 27,99 \text{ мм}$$

Определим глубину проплавления вертикальной стенки углового соединения по формуле:

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

где h_{01} – глубина проплавления вертикальной стенки углового соединения, мм.

$$h_{01} = (0,8 \dots 1,0) \cdot 27,99 = 22,4 \dots 27,99 \text{ мм}$$

Определим скорость подачи проволоки по формуле:

$$V_{п.п} = \frac{4 \cdot \alpha_H \cdot I_{св}}{\pi \cdot d_{эл}^2 \cdot \gamma}$$

$$V_{п.п} = \frac{4 \cdot 40,5 \cdot 300}{3,14 \cdot 1,8^2 \cdot 7,81} = 611 \text{ м/ч}$$

Проверим правильность выбора режима сварки через оптимальную величину коэффициента формы провара по формуле:

$$\psi_{опр} = \frac{b}{H}$$

где $\psi_{опр}$ – оптимальная величина коэффициента формы провара;

b – ширина шва, мм.

При этом должно выполняться условие $\psi_{опр} \leq 2,0$.

Ширина шва определяется по формуле:

$$b = \sqrt{2 \cdot K^2}$$

$$b = \sqrt{2 \cdot 100} = 14,14 \text{ мм}$$

Определяем правильность выбора режима сварки по формуле:

$$\psi_{опр} = \frac{14,14}{35,05} = 0,4$$

Полученное значение оптимального коэффициента формы провара равняется 0,4, что соответствует условию удовлетворительного формирования шва, т.е не превышает 2,0. Следовательно, режим сварки выбран правильно.

Согласно рекомендации, представленным в таблице для проволоки диаметром $d_{эл}=1,8$ мм, расстояние от сопла горелки, до изделия составляет от 15 до 25 мм.

Время сварки определяется по формуле:

$$T_1 = \frac{3600 \cdot F_H \cdot l \cdot \gamma}{\alpha_H \cdot I_{св}}$$

где l – длина сварного соединения, см

$$T_1 = \frac{3600 \cdot 50 \cdot 47,1 \cdot 7,81}{40,5 \cdot 300} = 5449 \text{ с}$$

Определяем время горения дуги по формуле:

$$T_{осн} = \frac{5449}{60} = 90 \text{ мин}$$

Расчет потребного количества сварочной проволоки производится по формуле:

					ПГУ.ВКР.15.03.01.21М0109 000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		59

$$\omega_{\text{СП}} = (1,7 \dots 1,9) \cdot \omega_{\text{Н.М}}$$

где $\omega_{\text{СП}}$ – вес сварочной проволоки, г;

$\omega_{\text{Н.М}}$ – вес наплавленного металла, г.

Вес наплавленного металла определяется по формуле:

$$\omega_{\text{Н.М}} = F_{\text{н}} \cdot l \cdot \gamma$$

$$\omega_{\text{Н.М}} = 50 \cdot 47,1 \cdot 7,81 = 18392 \text{ г}$$

Вес сварочной проволоки определяется по формуле:

$$\omega_{\text{СП}} = (1,7 \dots 1,9) \cdot 18392 = 31267,3 \dots 34944,8 \text{ г}$$

Вылет электрода будет определяться для проволоки диаметром 1,8 по формуле:

$$l_{\text{эл}} = (8 \dots 18) \cdot d_{\text{эл}}$$

где $l_{\text{эл}}$ – вылет электрода, мм

$$l_{\text{эл}} = (8 \dots 18) \cdot 1,8 = 14,4 \dots 32,4 \text{ мм}$$

Принимаем расход защитного газа согласно таблице 22 для проволоки диаметром 1,8 мм в пределах от 15 до 20 л/мин.

Таблица 22 – Параметры расхода защитного газа и вылет электродной проволоки

Диаметр сварочной проволоки $d_{\text{эл}}$, мм	Расход защитного газа, л/мин	Вылет электрода $l_{\text{эл}}$, мм
0,5...0,8	5,0...8,0	5,0...8,0
1,0...1,4	8,0...16,0	8,0...15,0
1,6...2,0	15,0...20,0	15,0...25,0
2,5...3	20,0...25,0	18,0...30,0

Произведем расчет режима сварки для сварного соединения №5.

Исходные данные:

- толщина свариваемых деталей 18 мм;
- материал свариваемых деталей – сталь 09Г2С;
- длина сварного соединения 1570 мм
- марка сварочной проволоки и флюса – Св-08Г2С по ГОСТ 2246-70, защитный газ аргон и двуокись углерода по ГОСТ 10157-2016;
- род и полярность тока – постоянный ток обратной полярности;
- тип соединения У1 по ГОСТ 33857-2016.

Конструктивные элементы подготавливаемых кромок свариваемых деталей и шва сварного соединения У1 по ГОСТ 33857-2016, представлены на рисунке 15.

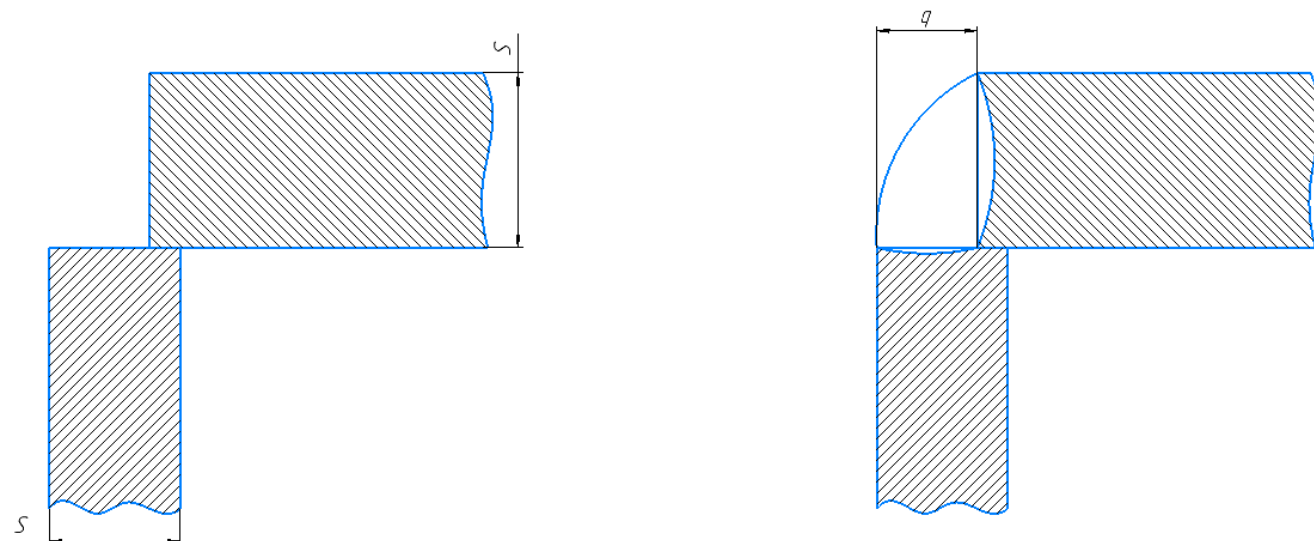


Рисунок 15– Параметры сварного соединения У1

Произведем выбор диаметра электродной проволоки по таблице 23.

Таблица 23 – Зависимость величины диаметра электродной проволоки от толщины свариваемых изделий

Параметр	Значение			
Толщина деталей S, мм	1,0...2,0	3,0...6,0	6,0...12,0	10,0...24,0
Диаметр сварочной проволоки $d_{эл}$, мм	0,8...1,0	1,2...1,6	1,6...2,0	2,0 и более

Так как толщина свариваемой детали равняется 18 мм, то выбираем диаметр сварочной проволоки $d_{эл}$ 2,0 мм.

Величина сварочного тока определяется в зависимости от диаметра электродной проволоки, согласно таблице 24.

Таблица 24 – Допускаемая величина сварочного тока в зависимости от диаметра электродной проволоки

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

Исходя из принятого диаметра электродной проволоки, выбираем величину сварочного тока $I_{св}=300$ А

Рассчитаем скорость сварки $V_{св}$ однопроводного шва по формуле:

$$V_{св} = \frac{(2 \dots 5) \cdot 10^3}{I_{св}}$$

$$V_{св} = \frac{(2 \dots 5) \cdot 10^3}{300} = 6 \dots 16 \text{ м/ч}$$

Принимаем $V_{св}=10 \text{ м/ч}=0,27 \text{ см/с}$.

Напряжение дуги при механизированной сварке рассчитывается по формуле:

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

$$U_{д} = 20 + \frac{50 \cdot 10^{-3}}{2,0^{0,5}} \cdot 300 \pm 1 = 31 \pm 1 \text{ В}$$

Принимаем $U_{д}=31 \text{ В}$.

Определяем коэффициент формы провара по формуле:

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

$$\psi_{\text{пр}} = 0,81 \cdot (19 - 0,01 \cdot 300) \cdot \frac{2,0 \cdot 31}{300} = 2,5$$

Для механизированной сварки коэффициент формы провара входит в интервал от 0,8 до 4,0, следовательно условие выполняется.

Определим величину погонной энергии по формуле:

$$q_{\text{п}} = \frac{I_{\text{св}} \cdot U_{\text{д}} \cdot \eta_{\text{д}}}{V_{\text{св}}}$$

где $\eta_{\text{д}}$ – коэффициент полезного действия дуги, равный 0,8.

$$q_{\text{п}} = \frac{300 \cdot 31 \cdot 0,8}{0,27} = 27555,5 \text{ Дж/см}$$

Определим фактическую глубину проплавления по формуле:

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

$$h_{\text{ф}} = 8,06 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt{\frac{27555,5}{2,41}} = 0,86 \text{ мм}$$

Определим фактическую ширину шва по формуле

$$e = \psi_{\text{пр}} \cdot h_{\text{ф}}$$

$$e = 2,41 \cdot 0,86 = 2 \text{ мм}$$

Коэффициенты наплавки и расплавления электродной проволоки определяются по формулам:

$$\alpha_{\text{н}} = \alpha_{\text{р}} \cdot \left(1 - \frac{\varphi}{100}\right)$$

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

$$\alpha_{\text{р}} = \left(8,3 + 0,22 \cdot \frac{300}{2,0}\right) \cdot 10^4 = 41,3 \cdot 10^{-4} \text{ г/А} \cdot \text{с}$$

$$\alpha_{\text{н}} = 41,3 \cdot 10^{-4} \cdot \left(1 - \frac{10}{100}\right) = 37,2 \text{ г/А} \cdot \text{ч}$$

Площадь наплавки определяется по формуле:

$$F_H = \frac{K^2}{2}$$

где K – катет шва, мм.

$$F_H = \frac{10^2}{2} = 50 \text{ мм}^2$$

Определим высоту валика по формуле:

$$c_B = \frac{F_H}{0,73 \cdot e}$$

$$c_B = \frac{50}{0,73 \cdot 2} = 34,2 \text{ мм}$$

Определим общую высоту шва по формуле:

$$H = h_\phi + c_B$$

$$H = 0,86 + 34,2 = 35,06 \text{ мм}$$

Определим высоту заполнения по формуле:

$$g = \sqrt{F_H}$$

$$g = \sqrt{50} = 7,07 \text{ мм}$$

Определим глубину проплавления полки углового соединения по формуле:

$$h_0 = H - g$$

где h_0 – глубина проплавления полки углового соединения, мм.

$$h_0 = 35,06 - 7,07 = 27,99 \text{ мм}$$

Определим глубину проплавления вертикальной стенки углового соединения по формуле:

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

где h_{01} – глубина проплавления вертикальной стенки углового соединения, мм.

$$h_{01} = (0,8 \dots 1,0) \cdot 27,99 = 22,4 \dots 27,99 \text{ мм}$$

Определим скорость подачи проволоки по формуле:

$$V_{п.п} = \frac{4 \cdot \alpha_H \cdot I_{св}}{\pi \cdot d_{эл}^2 \cdot \gamma}$$

$$V_{п.п} = \frac{4 \cdot 37,2 \cdot 300}{3,14 \cdot 2,0^2 \cdot 7,81} = 61,1 \text{ м/ч}$$

Проверим правильность выбора режима сварки через оптимальную величину коэффициента формы провара по формуле:

$$\psi_{\text{опр}} = \frac{b}{H}$$

где $\psi_{\text{опр}}$ – оптимальная величина коэффициента формы провара;

b – ширина шва, мм.

При этом должно выполняться условие $\psi_{\text{опр}} \leq 2,0$.

Ширина шва определяется по формуле:

$$b = \sqrt{2 \cdot K^2}$$

$$b = \sqrt{2 \cdot 100} = 14,14 \text{ мм}$$

Определяем правильность выбора режима сварки по формуле:

$$\psi_{\text{опр}} = \frac{14,14}{35,05} = 0,4$$

Полученное значение оптимального коэффициента формы провара равняется 0,4, что соответствует условию удовлетворительного формирования шва, т.е не превышает 2,0. Следовательно, режим сварки выбран правильно.

Согласно рекомендации, представленным в таблице для проволоки диаметром $d_{эл}=1,8$ мм, расстояние от сопла горелки, до изделия составляет от 15 до 25 мм.

Время сварки определяется по формуле:

$$T_1 = \frac{3600 \cdot F_H \cdot l \cdot \gamma}{\alpha_H \cdot I_{св}}$$

где l – длина сварного соединения, см

$$T_1 = \frac{3600 \cdot 50 \cdot 1570 \cdot 7,81}{37,2 \cdot 300} = 54 \text{ с}$$

Определяем время горения дуги по формуле:

$$T_{\text{осн}} = \frac{5449}{60} = 90 \text{ мин}$$

Расчет потребного количества сварочной проволоки производится по формуле:

$$\omega_{\text{СП}} = (1,7 \dots 1,9) \cdot \omega_{\text{н.м}}$$

где $\omega_{\text{СП}}$ – вес сварочной проволоки, г;

$\omega_{\text{Н.М}}$ – вес наплавленного металла, г.

Вес наплавленного металла определяется по формуле:

$$\omega_{\text{Н.М}} = F_{\text{Н}} \cdot l \cdot \gamma$$

$$\omega_{\text{Н.М}} = 50 \cdot 47,1 \cdot 7,81 = 18392 \text{ г}$$

Вес сварочной проволоки определяется по формуле:

$$\omega_{\text{СП}} = (1,7 \dots 1,9) \cdot 18392 = 31267,3 \dots 34944,8 \text{ г}$$

Вылет электрода будет определяться для проволоки диаметром 1,8 по формуле:

$$l_{\text{эл}} = (8 \dots 18) \cdot d_{\text{эл}}$$

где $l_{\text{эл}}$ – вылет электрода, мм

$$l_{\text{эл}} = (8 \dots 18) \cdot 2,0 = 16 \dots 36 \text{ мм}$$

Принимаем расход защитного газа согласно таблице 25 для проволоки диаметром 2,0 мм в пределах от 15 до 20 л/мин.

Таблица 25 – Параметры расхода защитного газа и вылет электродной проволоки

Диаметр сварочной проволоки $d_{\text{эл}}$, мм	Расход защитного газа, л/мин	Вылет электрода $l_{\text{эл}}$, мм
0,5...0,8	5,0...8,0	5,0...8,0
1,0...1,4	8,0...16,0	8,0...15,0
1,6...2,0	15,0...20,0	15,0...25,0
2,5...3	20,0...25,0	18,0...30,0

8 Выбор сварочного оборудования

Согласно ГОСТ 33857-2016 для сварки и наплавки должны применяться сварочные установки постоянного тока, оборудование и измерительная аппаратура, позволяющие обеспечить заданные режимы сварки, надежность в работе и контроль режимов сварки в процессе работы.

Для сварки узлов и конструкций стальной трубопроводной арматуры опасных производственных объектов, следует применять оборудование, отвечающее требованиям и аттестованное в соответствии с РД 03-614-03.

Колебания режимов сварки в процессе работы не должны выходить за пределы, установленные технологическим процессом. Если сварочное оборудование, измерительная аппаратура или вспомогательное оборудование не обеспечивают выполнение или контроль заданного режима сварки, сварочные работы с применением этого оборудования запрещаются.

Колебания напряжения питающей сети, к которой подключено сварочное оборудование, допускается в пределах $\pm 5\%$ от номинального значения.

Выполняем прихватки с помощью ручной аргонодуговой сварки.

Согласно ГОСТ 33857-2016 количество прихваток в шве варьируется от 3-4 штук, длиной от 10 до 20 мм равномерно по диаметру.

Режимы для механизированной сварки в среде защитных газов показаны в таблице 26.

Таблица 26

S, мм	Сила тока, А	Диаметр электрода, мм	Напряжение, В	Скорость сварки, м/ч	Расход газа л/мин	Вылет электрода, мм
16	200...260	1,2-1,4	22....26	25-35	8-10	10-12

Режимы для автоматической сварки под слоем флюса показаны в таблице 27.

Таблица 27

S, мм	Сила тока, А	Диаметр электрода, мм	Напряжение, В	Скорость сварки, м/ч	Число проходов
-------	-----------------	-----------------------------	------------------	-------------------------	----------------

16	900...1100	6	35...40	20	10
18	900...1100	6	35...40	20	10

Для выполнения автоматической сварки под флюсом выбираем источник питания *ZD 7 - 1250 IGBT* и головку сварочную *MZ 9* типа 400, предназначенную для дуговой сварки под флюсом обечаек с внутренним диаметром от 400 мм. Технические характеристики сварочной головки и источника питания представлены в таблице 28.

Таблица 28 – Технические характеристики источника питания *ZD 7* и головки сварочной *MZ 9*

Параметры	Значение
Напряжение питающей сети, В	380
Частота питающей сети, Гц	50
Пределы регулирования рабочего напряжения, В	24...83
Напряжение холостого хода, В	83
Диапазон сварочного тока, А	100...1250
ПВ при цикле 10 минут, %	100
Диаметр проволоки, мм	3...5
Длина, мм	для ZD7-1250 IGBT: 780
Ширина, мм	для ZD7-1250 IGBT: 390
Высота, мм	для ZD7-1250 IGBT: 800
Масса нетто, кг	для ZD7-1250 IGBT: 105
Потребляемая мощность, кВА	66
Вращение головки вдоль и поперек продольной оси, град	±45
Скорость подачи электродной проволоки, м/ч	55...550
Емкость флюсового бункера, кг	5
Емкость кассеты с проволокой, кг	25

Источник питания и головка сварочная представлены на рисунке 16.



Рисунок 16 – Источник питания ZD7 и головка сварочная MZ9

Для механизированной сварки в среде защитных газов принимаем сварочный полуавтомат СВАРОГ *TECH MIG 5000 (N221)* показанный на рисунке 17.



Рисунок 17 – Сварочный полуавтомат СВАРОГ *TECH MIG 5000 (N221)*

СВАРОГ *TECH MIG 5000 (N221)* предназначен для механизированной сварки в среде защитных газов и их смесях.

Для удобства использования аппараты оснащены тележкой с поворотными колесами, на которую также устанавливается баллон с газом. Технические характеристики представлены в таблице 29.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ПГУ.ВКР.15.03.01.21М0109 000 ПЗ

Лист

69

Таблица 29 – Технические характеристики сварочного полуавтомата
Сварог *MIG 3500 (J93)*

Наименование параметра	Значение параметра
Напряжение питающей сети, В	380±15%
Сварочное напряжение, В	15...48
Напряжение холостого хода, В	75
Сварочный ток, А	50,0...500,0
Ток при ПВ 100%, А	380
Подающий механизм	Встроенный
Диаметр электрода, мм	1,5...6
Диаметр сварочной проволоки, мм	0,8/1,0/1,2/1,6
Габаритный размеры, мм	1100×520×1450
Вес, кг	107,7
Скорость подачи проволоки, мм/сек	25...300

Сварку кольцевых швов необходимо выполнять с использованием манипуляторов или другого оборудования, которое может обеспечить равномерное (без рывков) вращение свариваемых деталей.

Для автоматизации процессов сварки кольцевых швов автоматической сварки под флюсом применяется установка, состоящая из универсального вращателя *ProArc PT - 1500* и сварочной колонны. Общий вид этой установки показан на рисунке 18.

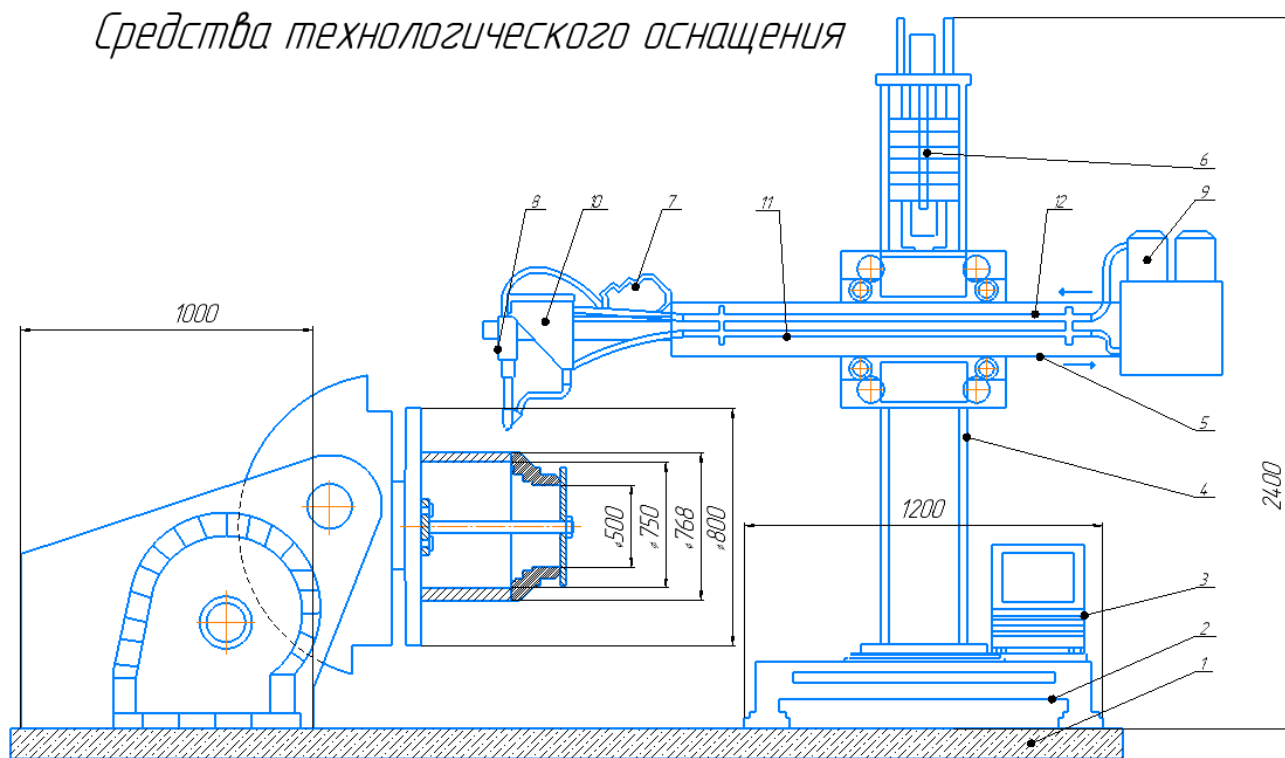


Рисунок 18 – Установка для сварки кольцевых стыков крана шарового:

1 – фундамент; 2 – рельсовая платформа; 3 – источник питания; 4 – вертикальная колонна; 5 – выдвижная консоль; 6 – противовес колонны; 7 – система подачи проволоки; 8 – сварочная головка; 9 – устройство подачи и циркуляции флюса; 10 – малый бункер; 11 – трубка забора отработанного флюса; 12 – трубка подачи флюса

Технические характеристики универсального вращателя представлены в таблице 30.

Таблица 30 – Технические характеристики *ProArc PT-1500*

Параметры	Значение
Грузоподъёмность, кг	6000
Мощность электродвигателя привода вращения, кВт	0,75
Мощность электродвигателя привода наклона, кВт	0,37
Диаметр планшайбы, мм	800
Угол наклона, °	0...135
Частота вращения планшайбы, об./мин	0,05...1

Продолжение таблицы 30

Сварочный ток, А	800
Длина, мм	1400
Ширина, мм	1000
Высота, мм	990
Масса, кг	750

9 Контроль качества сварных соединений

Перед началом сварки необходимо проконтролировать:

- наличие техпроцессов;
- квалификацию сварщиков;
- чистоту кромок и поверхностей, подготовленных под сварку и наплавку;
- контрольные размеры свариваемых деталей;
- применяемые сварочные материалы;
- качество газовой защиты перед началом аргонодуговой сварки;
- исправность сварочного оборудования, аппаратуры, приборов, приспособлений.

В зависимости от условий эксплуатации для сварных соединений корпусных деталей арматуры устанавливается пять категорий сварных соединений из сталей перлитного класса.

Рассматриваемые сварные соединения относятся к первой категории.

Для задвижек свыше *DN 200* рекомендуется ультразвуковой контроль.

Для сварных соединений первой категории визуальный и измерительный контроль, ультразвуковой контроль, капиллярный контроль и гидравлические испытания применяют в полном объеме.

Методы и объем неразрушающего контроля сварных соединений приведены в таблице 31.

Таблица 31 – Методы и объем неразрушающего контроля сварных соединений по ГОСТ 33857 – 2016

Категория сварного соединения	Объем контроля, %			
	Визуальный и измерительный контроль	Капиллярный контроль	Ультразвуковой контроль	Гидравлические испытания
1	100	100	100	100

Также необходимо провести механические испытания на статическое растяжение, ударную вязкость и статический изгиб для сварных соединений С26 и С15, выполненных автоматической сваркой под флюсом.

Шероховатость сварных соединений для проведения неразрушающих методов контроля должна быть не более: $Ra\ 3,2$ ($Rz\ 20$) – при капиллярном контроле; $Ra\ 6,3$ ($Rz\ 40$) – при ультразвуковом контроле.

9.1 Визуальный и измерительный контроль

Во время сварки изделия проводим постоянный контроль внешнего вида шва, его геометрических размеров. Осуществляют контроль соблюдения режимов сварки и исправность 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 приступить к визуальному и измерительному контролю, сварной 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 необходимо использовать специальные шаблоны или иной измерительный инструмент для проверки геометрических размеров шва. Сварной шов подвергается визуальноизмерительному контролю по всей длине.

Визуальный осмотр производится невооруженным глазом, а в сомнительных случаях с помощью лупы после тщательной очистки швов и поверхности наплавки от шлака и брызг.

Контроль проводим в соответствии с ГОСТ 3242 «Соединения сварные. Методы контроля».

По ГОСТ 33857 – 2016 в сварном шве визуально контролируем:

- соответствие формы и размеров шва и наплавки кромок требованиям чертежа и техпроцессов;
- наличие поверхностных дефектов, превышающих нормы допустимых;

– качество подготовки поверхности швов, наплавки под сварку и околошовной зоны для проведения последующих контрольных операций; – наличие и правильность маркировки или клеймения швов; – основные размеры сварной сборки по техпроцессу.

Нормы оценки качества сварных соединений при визуальном контроле и наплавленных деталей должны соответствовать требованиям ГОСТ 33857-2016.

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

9.2 Ультразвуковой контроль

Суть ультразвукового метода контроля заключается в излучении и принятии отраженных ультразвуковых колебаний.

Качество сварного соединения считается удовлетворительным при одновременном соблюдении следующих требований:

– характеристики и количество несплошностей удовлетворяют нормам настоящего стандарта;

– несплошность не является протяженной;
расстояние по поверхности сканирования между двумя соседними несплошностями не менее условной протяженности несплошности с большим значением этого показателя;

– поперечные трещины отсутствуют.

При проведении ультразвукового контроля средства контроля, методика контроля и требования к подготовке поверхности, по которой производится перемещение искателя, должны соответствовать требованиям ГОСТ-55724-2013 «Контроль неразрушающий. Соединения сварные. Методы ультразвуковые».

Для принятия ультразвуковых колебаний используют специальное оборудование – ультразвуковой дефектоскоп и пьезоэлектрический преобразователь. После анализируют полученные данные для определения возможных дефектов.

Процесс проведения ультразвуковой дефектоскопии проводят в следующей последовательности:

- очищаем сварной шов и около шовную зону на расстояние от 50 до 70 мм от шва, с двух сторон;
- шов и около шовную 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 $10...15^\circ$;
- 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 продолжаем искать сигнал с наибольшей амплитудой;
- фиксируем дефект и записываем его координаты;
- координаты зафиксированных дефектов заносим в таблицу, для повторного обнаружения и устранения.

Ультразвуковой контроль проводим для всех сварных соединений в объёме 100%.

9.3 Капиллярный контроль

Капиллярный контроль назначают с целью выявления дефектов, выходящих на поверхность сварных швов и наплавленного металла.

Капиллярный контроль выполняется, как правило, с двух сторон сварного соединения. При отсутствии возможности выполнения контроля с двух сторон он производится с одной стороны.

При капиллярном контроле не допускаются: поры, превышающие нормы, не заваренные кратеры, прожоги, наплывы и свищи, усадочные раковины, не сплавления, трещины и подрезы.

Оценка качества сварных соединений может проводиться как по индикаторным следам, так и по фактическим характеристикам выявленных

					ПГУ.ВКР.15.03.01.21М0109 000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		76

несплошностей после удаления проявителя, в зоне зафиксированных индикаторных следов.

Методика проведения капиллярного контроля должна удовлетворять требованиям ГОСТ 18442 – 80 «Контроль неразрушающий. Капиллярные методы.

Общие требования».

Этапами проведения контроля являются: подготовка объекта к контролю; обработка объекта дефектоскопическими материалами; проявление дефектов, их обнаружение и расшифровка; окончательная чистка объекта.

Первым делом необходимо очистить контролируемую поверхность и полость дефектов от всевозможных загрязнений, лакокрасочных покрытий, моющих составов и дефектоскопических материалов, оставшихся от предыдущего контроля, а также сушку контролируемой поверхности и полостей дефектов.

Далее заполняем полости дефектов индикаторным пенетрантом, после чего необходимо удалить его избыток и нанести проявитель.

Капиллярный контроль проводится по II классу чувствительности РД5Р.9537.

После окончательной чистки, путем промывки в воде или органических растворителях, результаты контроля заносят в протокол.

Капиллярный контроль проводим для всех сварных швов в объеме 100 %.

9.4 Механические испытания

Стыковые сварные соединения, выполненные автоматической сваркой под флюсом, находящиеся под нагрузкой, подвергают следующим механическим испытаниям: испытания на статическое растяжение металла шва, статический и ударный изгиб. Методика проведения механических испытаний металла шва и сварного соединения, типы образцов и определяемые характеристики должны соответствовать требованиям ГОСТ 6996 – 66 «Методы определения механических свойств».

Нормы оценки при испытании сварного соединения на растяжение должны быть не ниже нижнего предела основного металла.

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 также точку разрушения.

Суть испытания на ударный изгиб – образец должен свободно лежать на опорах копра. Установка образца должна производиться с помощью шаблона, обеспечивающего симметричное расположение концентратора относительно опор с погрешностью не более $\pm 0,5$ мм. Испытание должно проводиться при ударе маятника со стороны, противоположной концентратору, в плоскости его симметрии. Работу удара определяют по шкале маятникового копра или аналоговых отсчетных устройств. Испытания необходимо производить не менее чем на трех образцах.

При получении неудовлетворительных результатов при проведении механических испытаний допускается проведение повторного испытания на удвоенном количестве образцов.

Образцы для испытаний отбирают из проб, вырезанных непосредственно из специально сваренных для проведения испытаний контрольных соединений.

9.5 Гидравлические испытания

					ПГУ.ВКР.15.03.01.21М0109 000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		78

Гидравлические испытания проводятся с целью проверки прочности и плотности сварных соединений и регламентируются по ГОСТ Р 54302-2009 «Арматура трубопроводная МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ И ИСПЫТАНИЙ».

Качество сварного соединения считается неудовлетворительным, если в процессе испытания будут обнаружены разрушения, течь или потение.

Суть гидравлического контроля – сварную конструкцию наполняют водой, при помощи насоса создают давление до двух раз превышающее рабочее и выдерживают конструкцию под давлением на протяжении от 5 до 10 минут. После создания пробного гидравлического давления сварные швы конструкции осматривают с целью выявления утечки воды, выноса капель и отпотеваний. После обнаружения утечек давление в конструкции сбрасывают и откачивают воду.

Гидравлический контроль проводим для всех сварных швов в объеме 100 %.

					ПГУ.ВКР.15.03.01.21М0109 000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		79

Заключение

В данном курсовом проекте на основании нормативно-технической документации и знаниях полученных при изучении профилирующих дисциплин были спроектированы элементы конструкции и технология сварки корпуса крана шарового *DN 500 PN 4,0 МПа*.

Также были выполнены следующие задачи:

1) проведен анализ объекта проектирования, его назначение, технические требования;

2) выбран и обоснован материал, который применяется для изготовления корпусных деталей шарового крана. Был произведен расчет свариваемости материала;

3) проведен расчет на прочность проектируемой конструкции. Была рассчитана толщина корпусных деталей. Также были назначены сварные соединения и проведены их проверочные расчеты.

4) произведен выбор способа сварки для сварных соединений конструкции.

5) произведен выбор и обоснован выбор сварочных материалов для сварки соединений конструкции. Также были рассмотрены условия хранения сварочного материала;

6) рассмотрена техника и технология сварки проектируемой конструкции. Был произведен подбор оборудования для сварки конструкции, рассмотрены технические характеристики оборудования;

7) рассмотрены основные виды контроля сварных соединений для проектируемой конструкции, приведены краткие характеристики методов контроля. Также были назначены методы контроля на сварные соединения и их объем.

8) рассмотрена техника безопасности при сварке проектируемой конструкции.

Также были разработаны чертежи элементов сварной конструкции, выполненные в соответствии с правилами единой системы конструкторской документации (ЕСКД).

					<i>ПГУ.ВКР.15.03.01.21М0109 000 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		<i>81</i>

Список использованных источников

1. **Акулов, А.И. Технология и оборудование сварки плавлением** [Текст]: учеб. для вузов / А.И. Акулов, Г.А. Бельчук, В.П. Демянцевич. – М.: Машиностроение, 1977. – 432 с.
2. **Блинов, А.Н. Сварные конструкции** [Текст]: учеб. для техникумов / А.Н. Блинов, К.В. Лялин. – М.: Строй издат. – 1990. – 353 с.
3. **Сварка и резка в промышленном строительстве** [Текст]: справочник строителя в 2-х т. / Б.Д. Малышев [и др.]. – М.: Строй издат, 1989. – 590 с.
4. **Способ механизированной сварки в среде инертных и защитных газов** [Текст]: пат. 2789640 Рос. Федерация: МПК В23К 9/173, В23К 9/095, В23К 9/10/ Федюнкин С.В.; заявитель и патентообладатель Акционерное общество, науч. - произ. фирма. - № 2022122417; заявл. 18.08.22; опубл. 06.02.23, Бюл. № 4.
5. **Устройство для автоматизированной сварки в среде защитных газов** [Текст]: пат. 2387523 Рос. Федерация: МПК В23К 9/16/ Букаато В.К., Гусельников Ю.М., Стешенкова Н.А.; заявитель и патентообладатель открытое акционерное общество, центр тех. судостроения. - № 2009116094/02; заявл. 27.04.2009; опубл. 27.04.2010, Бюл. № 12.
6. **Сварочная горелка для электродуговой сварки в среде защитных газов** [Текст]: пат. 177249 Рос. Федерация: МПК В23К 9/167/ Дмитренко А.Б., Моршинин С.В., Мягков Ю.А., Сомсиков А.А.; заявитель и патентообладатель открытое акционерное общество, центр тех. судостроения. - № 2017113612; заявл. 19.04.2017; опубл. 14.02.2018, Бюл. № 5.
7. **Головка для сварки плавящимся электродом** [Текст]: пат. 2457089 Рос. Федерация: МПК В23К 9/167/ Кулик В.И., Гудков А.В., Черкасова Л.И., Сушко В.М.; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное унитарное предприятие. - № 2011110160/02; заявл. 18.03.2011; опубл. 27.07.2012, Бюл. № 21.
8. **Способ сварки под флюсом деталей различной толщины** [Текст]: пат. 2763952 Рос. Федерация: МПК В23К 33/00, В23К 9/18/ Татарченко Г.А.,

Мамаев И.В.; заявитель и патентообладатель Государственная корпорация по атомной энергии. - № 2021104716; заявл. 24.02.2021; опубл. 11.01.2022, Бюл. № 2.

9. **Устройство для сварки кольцевых швов** [Текст]: пат. 147558 Рос. Федерация: МПК В23К 37/04/ Захаров И.Г., Волошина С.И., Смородин В.В., Тимофеев В.В.; заявитель и патентообладатель открытое акционерное общество. - № 2014127028/02; заявл. 02.07.2014; опубл. 10.11.2014, Бюл. № 31.

10. **Установка для сварки кольцевых швов цилиндрических изделий** [Текст]: пат. 2187888 Рос. Федерация: МПК В23К 37/04/ Карасев Ю.В.; заявитель и патентообладатель открытое акционерное общество, науч. - исслед. ин-т. - № 2008148651/02; заявл. 09.12.2008; опубл. 27.04.2011, Бюл. № 12.

11. **Устройство для закрепления деталей при сварке их кольцевым швом** [Текст]: пат. 152056 Рос. Федерация: МПК В23К 37/04/ Кулик В.И., Гудков А.В., Черкасова Л.И., Созонович Н.И., Макаревский Н.И., Шаров А.В., Картузов Н.О.; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное унитарное предприятие, науч. - произв. объединение. - № 2014143925/02; заявл. 31.10.2014; опубл. 27.04.2015, Бюл. № 12.

12. **Установка для автоматической сварки сложных кольцевых швов** [Текст]: пат. 162137 Рос. Федерация: МПК В23К 37/04, В23К 9/16/ Соколов В.В., Дудин А.И.; заявитель и патентообладатель публичное акционерное общество, маш. - строит завод. - № 2015139263/02; заявл. 15.09.2015; опубл. 27.05.2016, Бюл. № 15.

13. **Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила промышленной безопасности при использовании оборудования, работающего под избыточным давлением»** [Текст]: Приказ Ростехнадзора от 25.03.2014 №116 (ред. от 12.12.2017) – 35 с.

14. **Краны шаровые, конусные и цилиндрические на номинальное давление не более PN 250** [Текст]: ГОСТ 21345-2005. – Введ. 2017–05–18.– М.: Стандартиформ, 2017 – 31 с.

15. **Арматура и детали трубопроводов. Давления номинальные,**

					ПГУ.ВКР.15.03.01.21М0109 000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		83

пробные и рабочие. Ряды [Текст]: ГОСТ 356-80. – Введ. 2017–05–18.–М.: Стандартиформ, 2017 – 31 с.

16. **Краны шаровые и затворы дисковые. Строительные длины** [Текст]: ГОСТ 28908-91. – Введ.2018–04–14. – М.: Стандартиформ, 2018 – 31 с.

17. **Межгосударственный стандарт Арматура трубопроводная. Общие требования безопасности** [Текст]: ГОСТ 12.2.063-2015. – Введ. – 1980-01-01. – М: Государственный комитет СССР по стандартам, 1985. – II, 39 с.

18. **Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды** [Текст]: ГОСТ 15150-69 – 32 с.

19. **Арматура трубопроводная. Нормы герметичности затворов** [Текст]: ГОСТ 9544-2015 – 50 с.

20. **Арматура трубопроводная. Требования к маркировке** [Текст]: ГОСТ 4666-2015 – Введ. 2017–03–01. – М.: Стандартиформ, 2017. – 21 с.

21. **Арматура трубопроводная. Металлы, применяемые в арматуростроении** [Текст]: СТ ЦКБА 005.1-2003. – Введ. – 2003-07-25. – М.: ОАО «НИИХИММАШ», 2003. – 55 с.

22. **Арматура трубопроводная. Металлы, применяемые в арматуростроении** [Текст]: ГОСТ 33260-2015. – Введ. 2016–04–01. – М.:Стандартиформ, 2015. – 61 с.

23. **Прокат повышенной прочности. Общие технические условия (с Изменением N1)** [Текст]: ГОСТ 19281-2014. – Введ. 2016–09–01.–М: Стандартиформ, 2016. – 9 с.: ил.

24. **Краны шаровые стальные для нефтяной, нефтехимической и смежных отраслей** [Текст]: ГОСТ 34293-2017. – Введ. 2019–03–01. – М: Стандартиформ, 2018. – 21 с.

25. **Арматура трубопроводная. Сварка и контроль качества сварных соединений. Технические требования** [Текст]: ГОСТ 33857-2016. – Введ.

2015–07–01. – М: Стандартиформ, 2014. – 41 с.

26. **Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет цилиндрических и конических обечаек, выпуклых и плоских днищ и крышек** [Текст]: ГОСТ 34233.1-2017. – Введ. 2018–08–01. – М: Стандартиформ, 2018. – 35 с.

27. **Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Общие требования** [Текст]: ГОСТ 34233.2-2017. – Введ. 2018–11–14. – М: Стандартиформ, 2018. – 58 с.

28. **Прокат листовой горячекатаный** [Текст]: ГОСТ 19903-2015. – Введ. 2016–09–01. – М: Стандартиформ, 2016. – 15 с.

29. **Нормирование расхода материалов. Основные положения** [Текст]: ГОСТ 14.322-83. – Введ. 1984–01–01. – М: Стандартиформ, 2009. – 6 с.

30. **Фланцы арматуры, соединительных частей и трубопроводов на номинальное давление до P_N 250** [Текст]: ГОСТ 33259-2015. – Введ. 2016–04–01. – М.: Стандартиформ, 2016. – 101 с.

31. **Арматура трубопроводная. Сварка и контроль качества сварных соединений** [Текст]: СТ ЦКБА 025-2006. – Введ. 2006–04–25. – М: АО «НПФ ЦКБА», 2006 г. – 71 с.

32. **Сварка под флюсом. Соединения сварные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры** [Текст]: ГОСТ 8713-79. – Введ. – 1982-01-01. – М.: Государственный комитет СССР по стандартам, 1985. – II, 41 с.

33. **Дуговая сварка в защитном газе. Соединения сварные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры** [Текст]: ГОСТ 14771-76. – Введ. – 1982-01-01. – М.: Государственный комитет СССР по стандартам, 1985. – II, 41 с.: ил.

34. **Электроды покрытые металлические для ручной дуговой сварки конструкционных и теплоустойчивых сталей** [Текст]: ГОСТ 9467-75. – Введ. 1977–01–01. – М.: Стандартиформ, 2008. – 7 с.

					<i>ПГУ.ВКР.15.03.01.21М0109 000 ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		85

35. Проволока стальная сварочная. Технические условия [Текст]: ГОСТ 2246-70. – Введ. 1970–06–23. – М.: Стандартиформ, 2003. – 14 с.

36. Флюсы сварочные плавные. Технические условия [Текст]: ГОСТ 9087-81. – Введ. 1982–01–01. – М.: Издательство стандартов, 1981. – 14 с.

37. Двуокись углерода газообразная и жидкая. Технические условия [Текст]: ГОСТ 8050-85. – Введ. 1987–01–01. – М.: Стандартиформ, 2006. – 24 с.

38. Инструкция по визуальному и измерительному контролю [Текст]: СТО 9701105632-003-2021. – Введ. 2021–03–26. – М.: ООО «СК», 2021. – 71 с.

39. Контроль неразрушающий. Соединения сварные. Методы ультразвуковые [Текст]: ГОСТ 14782-86. – Введ. 1988–01–01. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2001. – 27 с.

40. Контроль неразрушающий. Капиллярные методы [Текст]: ГОСТ 18442-80. – Введ. 1981–07–01. – М.: Издательство стандартов, 1987. – 26 с.

41. Методы определения механических свойств [Текст]: ГОСТ 6996-66. – Введ. 1967–01–01. – М.: Стандартиформ, 2006. – 62 с.

42. Проектирование элементов конструкции и технологии сварки газового баллона ГБ-140-10-Ф1 [Текст]: метод. указания к курсовому проекту / С. Г. Усатый, С. Н. Чугунов, А.В. Прыщак, А. О. Кривенков, Д. Б. Крюков. – Пенза: Изд-во ПГУ, 2019. – 68 с.

43. Проектирование сварных конструкций. Элементы расчета и технологии [Текст]: метод. указания к курсовому проекту / С. Г. Усатый, С. Н. Чугунов, А.В. Прыщак, И. А. Казанцев. – Пенза: Изд-во ПГУ, 2019. – 72 с.

44. Инженерно-технологические основы подготовки сварочного производства [Текст]: учеб. пособие / В.Г. Гордиевский, С.Н. Чугунов, И.А. Казанцев [и др.]; под ред. д.т.н., проф. А.Е. Розена. – Пенза: Изд-во ПГУ, 2010.– 273 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А
(Карты технологического процесса сварки)

					<i>ПГУ.ВКР.15.03.01.21М0109 000 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		<i>87</i>

КАРТА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА СВАРКИ (НАПЛАВКИ) ИЗДЕЛИЯ (УЗЛА, СВАРНОГО СОЕДИНЕНИЯ)

№1

Характеристики процесса

№ п/п	Наименование	Обозначения (показатели)
1	Нормативный документ	ГОСТ Р 56001- 2014, СТ ЦКБА 025-2006
2	Способ сварки	АФ
3	Основной материал (марки)	09Г2С
4	Основной материал (группа)	1(М01)
5	Сварочные материалы	Проволока Св-08Г2С по ГОСТ 2246-70, флюс АН-348А по ГОСТ 9087-81
6	Толщина свариваемых деталей	18 мм
7	Диаметр деталей в зоне сварки	750 мм
8	Тип шва	СШ
9	Тип соединения	Стыковое С26 СТ ЦКБА 025-2006
10	Вид шва соединения	ос (бп)
11	Форма подготовки кромок	Со скосом двух кромок
12	Положение при сварке	Н1
13	Вид покрытия электродов (для РД)	Отсутствует
14	Режимы подогрева	Отсутствует
15	Режимы термообработки	Присутствует (см. таблицу 4)
16	Дополнительные параметры	Нет

Таблица 1 – Последовательность выполнения и форма сварного соединения

Конструкция соединения	Конструктивные элементы шва

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ПГУ.ВКР.15.03.01.21М0109 000 ПЗ

Лист

88

Таблица 2 – Геометрические размеры сварных соединений, мм

S, мм	l, мм		q, мм		α
	номинально е	предельные отклонения	номинальное	Предельное отклонение	
18	28	± 3	4	± 3	$45^\circ \pm 1$

Таблица 3 – Технологические параметры сварки

Номер слоя	Диаметр электродов, мм	Сила тока, А	Род и полярность тока	Напряжение, В	Скорость сварки, м/ч	Скорость подачи проволоки
1	2	3	4	5	6	7
Корневой (А)	4	500- 800	<i>по</i>	33-35	15-20	62-69
Заполняющий (Б)	5	600- 900	<i>по</i>	33-35	15-20	90-98

Сварочное оборудование (тип): источник питания *ZD 7 – 1250 IGBT*, головка сварочная *MZ 9* типа 400.

Метод подготовки и очистки:

Перед сборкой под сварку кромки и прилегающие к ним зоны основного металла должны быть очищены от загрязнений, масел и прочих загрязнений на ширине не менее 20 мм.

Перед сваркой просушить сварочный флюс при $t=380-420^\circ\text{C}$, в течение 3 часов.

Сварку следует выполнять минимально возможно короткой дугой. В процессе сварки необходимо как можно реже обрывать дугу.

Требования к прихватке: Прихватки выполнять аргонодуговой сваркой. Согласно СТ ЦКБА 025-2006 количество прихваток в шве варьируется от 3-4 штук, длиной от 10 до 20 мм равномерно по диаметру.

Так как толщина свариваемых деталей менее 30 мм, то, согласно СТ ЦКБА 025-2006, они подвергаются последующей термообработке. Температура отпуска деталей представлена в таблице 4.

					ПГУ.ВКР.15.03.01.21М0109 000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		89

Таблица 4 – Температура подогрева и отпуска

Материал деталей	Предварительный и сопутствующий подогрев	Отпуск
09Г2С	-	600-650°C

Таблица 5 – Требования к контролю качества

Метод контроля, вид испытаний		НД на методику контроля	НД на оценку качества	Объем контроля
Визуальный		ГОСТ Р ИСО 17637- 2014	СТ ЦКБА 025-2006	100%
Измерительный				100%
Ультразвуковой		ГОСТ-55724-2013		100%
Капиллярный		ГОСТ 18442-80		100%
Механические испытания	На растяжен ие	ГОСТ 6996-66		2 образца
	На статичес кий изгиб			2 образца
	На ударный изгиб			3 образца
Гидравлические испытания		ГОСТ Р 54302-2009		100%

Разработал:

/Мещеряков Д.А./

					ПГУ.ВКР.15.03.01.21М0109 000 ПЗ	Лист
						90
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

КАРТА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА СВАРКИ (НАПЛАВКИ)

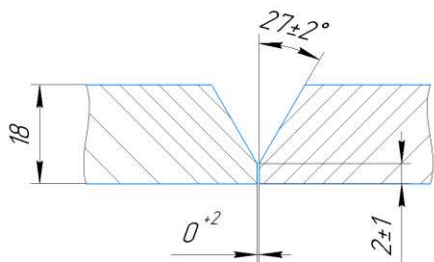
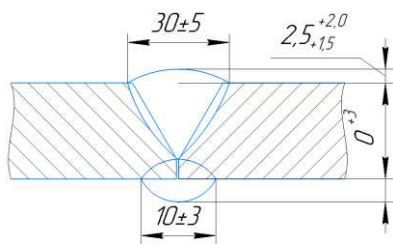
ИЗДЕЛИЯ (УЗЛА, СВАРНОГО СОЕДИНЕНИЯ)

№2

Характеристики процесса

№ п/п	Наименование	Обозначения (показатели)
1	Нормативный документ	ГОСТ Р 56001- 2014, СТ ЦКБА 025-2006
2	Способ сварки	АФ
3	Основной материал (марки)	09Г2С
4	Основной материал (группа)	1(М01)
5	Сварочные материалы	Проволока Св-08Г2С по ГОСТ 2246-70, флюс АН-348А по ГОСТ 9087-81
6	Толщина свариваемых деталей	18 мм
7	Диаметр деталей в зоне сварки	-
8	Тип шва	СШ
9	Тип соединения	Стыковое С15 СТ ЦКБА 025-2006
10	Вид шва соединения	ос (бп)
11	Форма подготовки кромок	Со скосом двух кромок
12	Положение при сварке	Н1
13	Вид покрытия электродов (для РД)	Отсутствует
14	Режимы подогрева	Отсутствует
15	Режимы термообработки	Присутствует (см. таблицу 4)
16	Дополнительные параметры	Нет

Таблица 1 – Последовательность выполнения и форма сварного соединения

Конструкция соединения	Конструктивные элементы шва
	

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ПГУ.ВКР.15.03.01.21М0109 000 ПЗ

Лист

91

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

S, мм	l, мм		q, мм		α
	номинальное	предельные отклонения	номинальное e	Предельное отклонение	
18	30	± 5	2,5	+2,0 -1,5	$27^\circ \pm 2$

Таблица 3 – Технологические параметры сварки

Номер слоя	Диаметр электрода, мм	Сила тока, А	Род и полярность тока	Напряжение, В	Скорость сварки, м/ч	Скорость подачи проволоки
1	2	3	4	5	6	7
Корневой (А)	4	450-760	<i>по</i>	31-33	15-20	23-28
Заполняющий (Б)	5	550-780	<i>по</i>	31-33	15-20	32-37

Сварочное оборудование (тип): источник питания *ZD 7 – 1250 IGBT*, головка сварочная *MZ 9* типа 400.

Метод подготовки и очистки:

Перед сборкой под сварку кромки и прилегающие к ним зоны основного металла должны быть очищены от загрязнений, масел и прочих загрязнений на ширине не менее 20 мм.

Перед сваркой просушить сварочный флюс при $t=380-420^\circ\text{C}$, в течение 3 часов.

Сварку следует выполнять минимально возможно короткой дугой. В процессе сварки необходимо как можно реже обрывать дугу.

Требования к прихватке: Прихватки выполнять аргонодуговой сваркой. Согласно СТ ЦКБА 025 – 2006 количество прихваток в продольном шве варьируется от 3 – 4 штук, длиной от 10 до 20 мм равномерно по диаметру.

Так как толщина свариваемых деталей менее 30 мм, то, согласно СТ ЦКБА 025-2006, они подвергаются последующей термообработке. Температура отпуска деталей представлена в таблице 4.

Таблица 4 – Температура подогрева и отпуска

Материал деталей	Предварительный и сопутствующий подогрев	Отпуск
09Г2С	-	600-650°C

Таблица 5 – Требования к контролю качества

Метод контроля, вид испытаний		НД на методику контроля	НД на оценку качества	Объем контроля
Визуальный		ГОСТ Р ИСО 17637-2014	СТ ЦКБА 025-2006	100%
Измерительный				100%
Ультразвуковой		ГОСТ-55724- 2013		100%
Капиллярный		ГОСТ 18442-80		100%
Механические испытания	На растяжение	ГОСТ 6996-66		2 образца
	На статический изгиб			2 образца
	На ударный изгиб			3 образца
Гидравлические испытания		ГОСТ Р 54302- 2009		100%

Разработал:

/Мещеряков Д.А./

КАРТА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА СВАРКИ (НАПЛАВКИ)

ИЗДЕЛИЯ (УЗЛА, СВАРНОГО СОЕДИНЕНИЯ)

№3

Характеристики процесса

№ п/п	Наименование	Обозначения (показатели)
1	Нормативный документ	ГОСТ Р 56001- 2014, СТ ЦКБА 025-2006
2	Способ сварки	МП
3	Основной материал (марки)	09Г2С
4	Основной материал (группа)	1(М01)
5	Сварочные материалы	Проволока Св-08Г2С по ГОСТ 2246-70, Защитный газ: смесь газов аргон 80 %, двуокись углерода 20% по ГОСТ 8050-85
6	Толщина свариваемых деталей	16+18 мм
7	Диаметр деталей в зоне сварки	500 мм
8	Тип шва	ТШ
9	Тип соединения	Тавровое Т1 СТ ЦКБА 025-2006
10	Вид шва соединения	ос (бп)
11	Форма подготовки кромок	Со скосом одной кромки
12	Положение при сварке	Н1
13	Вид покрытия электродов (для РД)	Отсутствует
14	Режимы подогрева	Отсутствует
15	Режимы термообработки	Присутствует (см. таблицу 4)
16	Дополнительные параметры	Нет

Таблица 1 – Последовательность выполнения и форма сварного соединения

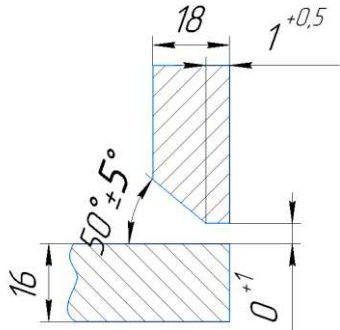
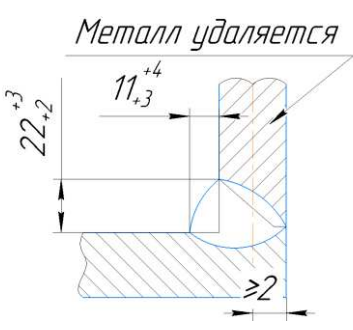
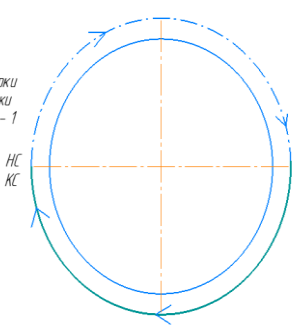
Конструкция соединения	Конструктивные элементы шва	Порядок выполнения сварного шва
		

Таблица 2 – Геометрические размеры сварных соединений, мм

S, мм	l, мм		q, мм	
	номинальное	предельные отклонения	номинальное	Предельное отклонение
16	22	+8 -2	11	+4 -3

Таблица 3 – Технологические параметры сварки

S, мм	Сила тока, А	Диаметр электрода, мм	Напряжение, В	Скорость сварки, м/ч	Расход газа л/мин	Вылет электрода, мм	Скорость подачи проволоки, м/ч
16	400-600	2,2	30-32	9-22	10-25	17,6-39,6	80-90

Сварочное оборудование (тип): сварочный полуавтомат СВАРОГ *TECH* MIG 5000 (N221)

Метод подготовки и очистки:

Перед сборкой под сварку кромки и прилегающие к ним зоны основного металла должны быть очищены от загрязнений, масел и прочих загрязнений на ширине не менее 20 мм.

Требования к прихватке: Согласно СТ ЦКБА 025-2006 количество прихваток в шве 3-4 штуки, их длина от 10 до 20 мм.

Так как толщина свариваемых деталей менее 30 мм, то, согласно СТ ЦКБА 025-2006, они подвергаются последующей термообработке. Температура отпуска деталей представлена в таблице 4.

Таблица 4 – Температура подогрева и отпуска

Материал деталей	Предварительный и сопутствующий подогрев	Отпуск
09Г2С	-	600-650°C

Таблица 5 - Требования к контролю качества

Метод контроля, вид испытаний	НД на методику контроля	НД на оценку качества	Объем контроля
Визуальный	ГОСТ Р ИСО 17637-2014	СТ ЦКБА 025-2006	100%
Измерительный			100%
Ультразвуковой	ГОСТ-55724-2013		100%
Капиллярный	ГОСТ 18442-80		100%

Разработал:

/Мещеряков Д.А/

КАРТА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА СВАРКИ (НАПЛАВКИ)

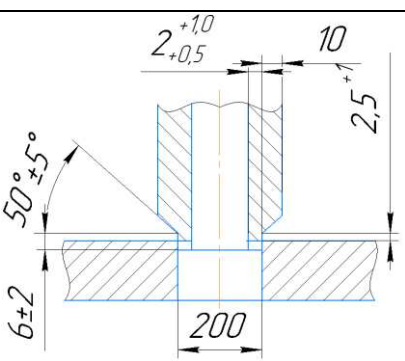
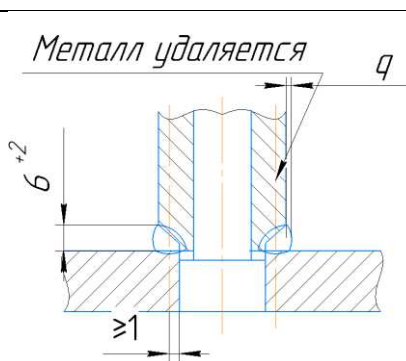
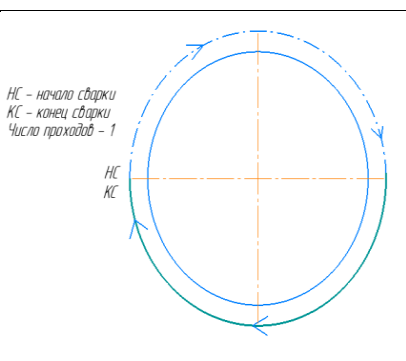
ИЗДЕЛИЯ (УЗЛА, СВАРНОГО СОЕДИНЕНИЯ)

№4

Характеристики процесса

№ п/п	Наименование	Обозначения (показатели)
1	Нормативный документ	ГОСТ Р 56001- 2014, СТ ЦКБА 025-2006
2	Способ сварки	МП
3	Основной материал (марки)	09Г2С
4	Основной материал (группа)	1(М01)
5	Сварочные материалы	Проволока Св-08Г2С по ГОСТ 2246-70, Защитный газ: смесь газов аргон 80 %, двуокись углерода 20% по ГОСТ 8050-85
6	Толщина свариваемых деталей	10+18 мм
7	Диаметр деталей в зоне сварки	200 мм
8	Тип шва	ТШ
9	Тип соединения	Тавровое Т4 СТ ЦКБА 025-2006
10	Вид шва соединения	ос (бп)
11	Форма подготовки кромок	Без скоса кромок
12	Положение при сварке	Н1
13	Вид покрытия электродов (для РД)	Отсутствует
14	Режимы подогрева	Отсутствует
15	Режимы термообработки	Присутствует (см. таблицу 4)
16	Дополнительные параметры	Нет

Таблица 1 – Последовательность выполнения и форма сварного соединения

Конструкция соединения	Конструктивные элементы шва	Порядок выполнения сварного шва
	<p>Металл удаляется</p> 	 <p>НС – начало сварки КС – конец сварки Число проходов – 1</p>

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

ПГУ.ВКР.15.03.01.21М0109 000 ПЗ

Лист

97

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

S, мм	l, мм	
	номинальное	предельные отклонения
10	6	+2

Таблица 3 – Технологические параметры сварки

S, мм	Сила тока, А	Диаметр электрода, мм	Напряжение, В	Скорость сварки, м/ч	Расход газа л/мин	Вылет электрода, мм	Скорость подачи проволоки, м/ч
10	200-400	1,8-	30-32	6-16	15-20	14,4-32,4	60-70

Сварочное оборудование (тип): сварочный полуавтомат СВАРОГ *TECH MIG* 5000 (N221)

Метод подготовки и очистки:

Перед сборкой под сварку кромки и прилегающие к ним зоны основного металла должны быть очищены от загрязнений, масел и прочих загрязнений на ширине не менее 20 мм.

Требования к прихватке: Согласно СТ ЦКБА 025-2006 количество прихваток в шве 3 – 4 штуки, их длина от 10 до 20 мм.

Так как толщина свариваемых деталей менее 30 мм, то, согласно СТ ЦКБА 025-2006, они подвергаются последующей термообработке. Температура отпуска деталей представлена в таблице 4.

Таблица 4 – Температура подогрева и отпуска

Материал деталей	Предварительный и сопутствующий подогрев	Отпуск
09Г2С	-	600-650°C

Таблица 5 -Требования к контролю качества

Метод контроля, вид испытаний	НД на методику контроля	НД на оценку качества	Объем контроля
Визуальный	ГОСТ Р ИСО 17637-2014	СТ ЦКБА 025-2006	100%
Измерительный			100%
Ультразвуковой	ГОСТ-55724- 2013		100%
Капиллярный	ГОСТ 18442-80		100%

Разработал:

/Мещеряков Д.А/

КАРТА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА СВАРКИ (НАПЛАВКИ)

ИЗДЕЛИЯ (УЗЛА, СВАРНОГО СОЕДИНЕНИЯ)

№5

Характеристики процесса

№ п/п	Наименование	Обозначения (показатели)
1	Нормативный документ	ГОСТ Р 56001- 2014, СТ ЦКБА 025-2006
2	Способ сварки	МП
3	Основной материал (марки)	09Г2С
4	Основной материал (группа)	1(М01)
5	Сварочные материалы	Проволока Св-08Г2С по ГОСТ 2246-70, Защитный газ: смесь газов аргон 80 %, двуокись углерода 20% по ГОСТ 8050-85
6	Толщина свариваемых деталей	16+18 мм
7	Диаметр деталей в зоне сварки	500 мм
8	Тип шва	УШ
9	Тип соединения	Угловое У1 СТ ЦКБА 025-2006
10	Вид шва соединения	ос (бп)
11	Форма подготовки кромок	Без скоса кромок
12	Положение при сварке	Н1
13	Вид покрытия электродов (для РД)	Отсутствует
14	Режимы подогрева	Отсутствует
15	Режимы термообработки	Присутствует (см. таблицу 4)
16	Дополнительные параметры	Нет

Таблица 1 – Последовательность выполнения и форма сварного соединения

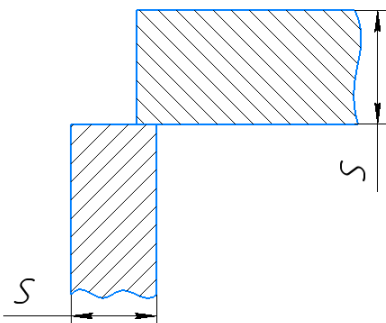
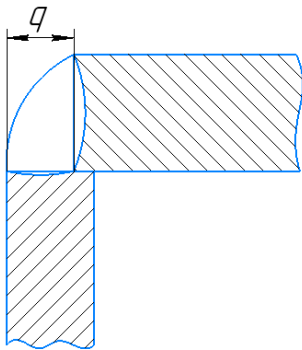
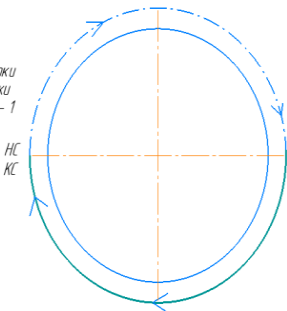
Конструкция соединения	Конструктивные элементы шва	Порядок выполнения сварного шва
		 <p>НС – начало сварки КС – конец сварки Число проходов – 1</p>

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

S, мм	q, мм	
	номинальное	предельные отклонения
18	От S/2 До S	-

Таблица 3 – Технологические параметры сварки

S, мм	Сила тока, А	Диаметр электрода, мм	Напряжение, В	Скорость сварки, м/ч	Расход газа л/мин	Вылет электрода, мм	Скорость подачи проволоки, м/ч
18	200-400	2,0	30-32	7-18	15-20	16-36	60-70

Сварочное оборудование (тип): сварочный полуавтомат СВАРОГ *TECH MIG* 5000 (N221)

Метод подготовки и очистки:

Перед сборкой под сварку кромки и прилегающие к ним зоны основного металла должны быть очищены от загрязнений, масел и прочих загрязнений на ширине не менее 20 мм.

Требования к прихватке: Согласно СТ ЦКБА 025 – 2006 количество прихваток в шве 3 – 4 штуки, их длина от 10 до 20 мм.

Так как толщина свариваемых деталей менее 30 мм, то, согласно СТ ЦКБА 025 – 2006, они подвергаются последующей термообработке. Температура отпуска деталей представлена в таблице 4.

Таблица 4 – Температура подогрева и отпуска

Материал деталей	Предварительный и сопутствующий подогрев	Отпуск
09Г2С	-	600-650°C

Таблица 5 -Требования к контролю качества

Метод контроля, вид испытаний	НД на методику контроля	НД на оценку качества	Объем контроля
Визуальный	ГОСТ Р ИСО 17637-2014	СТ ЦКБА 025-2006	100%
Измерительный			100%
Ультразвуковой	ГОСТ-55724- 2013		100%
Капиллярный	ГОСТ 18442-80		100%

Разработал: _____ /Мещеряков Д.А/

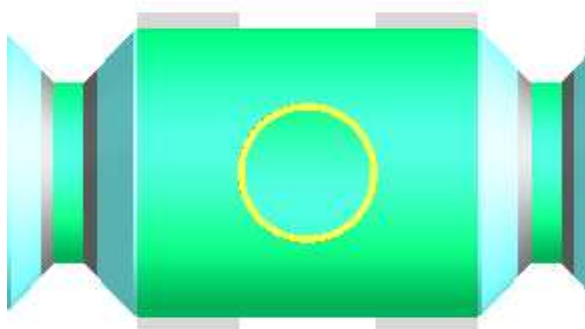
ПРИЛОЖЕНИЕ Б
(Расчет конструкции в программе «ПАССАТ»)

					<i>ПГУ.ВКР.15.03.01.21М0109 000 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		<i>103</i>

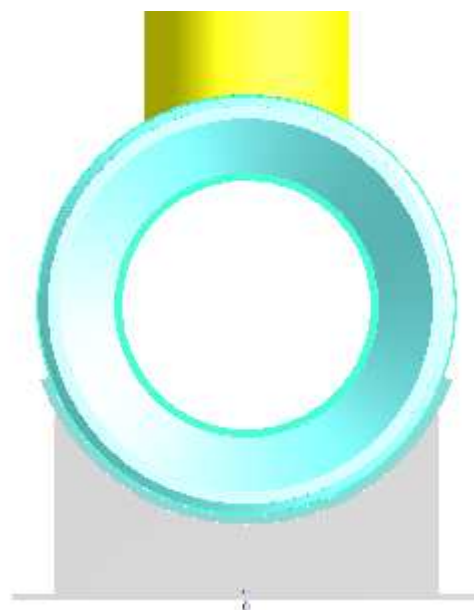
Общие положения

Расчет на прочность выполнен на ЭВМ по программе «Пассат 3.05.0.7», разработанной ООО НТП «Трубопровод».

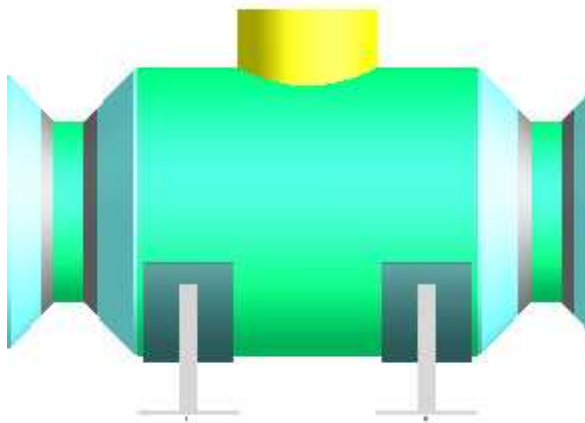
Общий вид аппарата



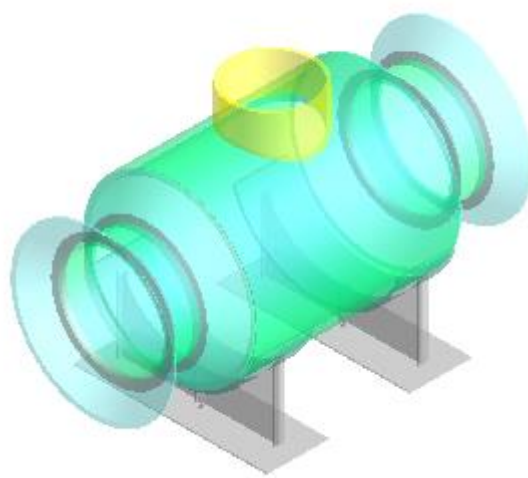
Вид сверху



Вид слева



Вид спереди



Изометрический вид

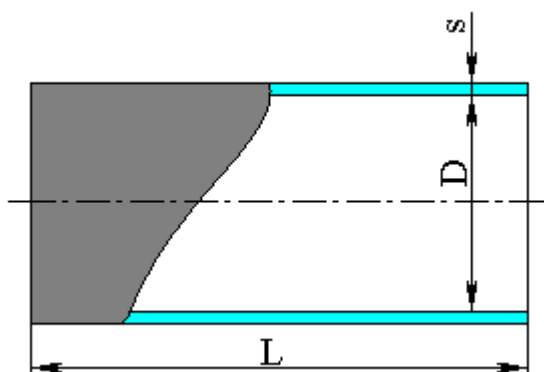
Основные элементы

					ПГУ.ВКР.15.03.01.21М0109 ООО ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		104

Элемент	Материал	Диаметр, мм	Толщина, мм	Длина (высота), мм	Суммарная прибавка, мм	Коэффициент прочности сварного шва
Переход конический №4	09Г2С Прокат	750/ 500	25	100	7,6	1
Обечайка цилиндрическая №2	09Г2С Прокат	500	16	162	7,6	1
Переход конический №1	09Г2С Прокат	500/ 786	25	120	7,6	1
Обечайка цилиндрическая №1	09Г2С Прокат	786	30	1000	7,6	1
Переход конический №2	09Г2С Прокат	786/ 500	25	120	7,6	1
Обечайка цилиндрическая №3	09Г2С Прокат	500	16	162	7,6	1
Переход конический №3	09Г2С Прокат	500/ 750	25	100	7,6	1

Элемент	Расчетная температура, °С	Расчетное давление, МПа	Допускаемые напряжения, МПа	Расчетная толщина с уч. прибавок, мм	Допускаемое давление, МПа
Переход конический №4	100	4	177	18,583	4,2749
Обечайка цилиндрическая №2	100	4	177	13,314	5,8489
Переход конический №1	20	4	196	17,89	4,5275
Обечайка цилиндрическая №1	100	4	177	16,583	9,809
Переход конический №2	20	4	196	17,89	4,5275
Обечайка цилиндрическая №3	100	4	177	13,314	5,8489
Переход конический №3	100	4	177	18,583	4,2749

Корпус



Эскиз элемента

Исходные данные

Материал:	09Г2С ГОСТ 19281 Прокат
Внутр. диаметр, D:	500 мм
Толщина стенки, s:	18 мм
Прибавка для компенсации коррозии и эрозии, c_1	6 мм
Прибавка для компенсации минусового допуска, c_2 :	1,6 мм
Прибавка технологическая, c_3 :	0,3 мм
Сумма прибавок к расчётной толщине стенки, c:	7,6 мм
Длина обечайки, L:	686 мм

Коэффициенты прочности сварных швов:

Продольный шов: $\varphi_p = 1$

Окружной шов: $\varphi_T = 1$

Расчёт в рабочих условиях

Условия нагружения:

Расчётная температура, T:	100 С
Расчётное внутреннее избыточное давление, p	4 МПа
Расчётный изгибающий момент, M	4,1634 кН·м
Расчётное поперечное усилие, Q:	13,024 кН
Расчётное осевое растягивающее усилие, F	0,91387 кН
Расчётный крутящий момент, M_t	0 кН·м

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ПГУ.ВКР.15.03.01.21М0109 000 ПЗ

Лист

106

Расчёт на прочность и устойчивость по ГОСТ 34233.2-2017

Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Прокат при температуре 100 °С (рабочие условия):

$$[\sigma] = 177 \text{ МПа}$$

Модуль продольной упругости для материала 09Г2С Прокат при температуре T = 100 °С :

$$E = 1,91 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

- **Гладкая обечайка, нагруженная внутренним избыточным давлением**

Расчётная толщина стенки с учётом прибавок:

$$s_p + c = \frac{p \cdot D}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p - p} + c = (4 * 500) / (2 * 177 * 1 - 4) + 7,6 = 13,314 \text{ мм}$$

$$13,314 \text{ мм} \leq 16 \text{ мм}$$

Заключение: **Условие работоспособности выполнено.**

Допускаемое давление:

$$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p \cdot (s - c)}{D + (s - c)} = 2 * 177 * 1 * (16 - 7,6) / (500 + 16 - 7,6) = 5,8489 \text{ МПа}$$

$$5,8489 \text{ МПа} \geq 4 \text{ МПа}$$

Заключение: **Условие прочности выполнено.**

Минимальное расстояние между “одиночными” штуцерами:

$$b_0 = 2 \cdot \sqrt{D \cdot (s - c)} = 2 * (500 * (16 - 7,6))^{1/2} = 129,61 \text{ мм}$$

- **Обечайка, нагруженная изгибающим моментом**

Допускаемое осевое сжимающее усилие из условия прочности:

$$[F]_{\pi} = \pi \cdot (D + s - c) \cdot (s - c) \cdot [\sigma] = 3,1416 * (500 + 16 - 7,6) * (16 - 7,6) * 177 = 2374,7 \text{ кН}$$

Допускаемый изгибающий момент из условия прочности со стороны сжатия:

$$[M]_{\pi} = \frac{D}{4} \cdot [F]_{\pi} = 500 / 4 * 2374,7 = 296,84 \text{ кН·м}$$

Допускаемое осевое сжимающее усилие из условия местной устойчивости:

$$[F]_{\text{ел}} = \frac{31,0 \cdot 10^{-5} \cdot E}{n_y} \cdot D^2 \cdot \left[\frac{100 \cdot (s - c)}{D} \right]^{2,5} = \frac{310 * 10^{-6} * 1,91 \cdot 10^5 * 500^2 / (2,4) *}{(100 * (16 - 7,6) / 500)^{2,5}} = 22563 \text{ кН}$$

Допускаемый изгибающий момент из условия устойчивости в пределах упругости:

$$[M]_{\text{е}} = \frac{D}{3,5} \cdot [F]_{\text{ел}} = 500 / 3,5 * 22563 = 3223,3 \text{ кН·м}$$

Допускаемый изгибающий момент:

$$[M] = \frac{[M]_{\pi}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[M]_{\pi}}{[M]_{\text{е}}} \right)^2}} = 296,84 / (1 + (296,84 / 3223,3)^2)^{1/2} = 295,59 \text{ кН·м}$$

$$295,59 \text{ кН·м} \geq 0,16212 \text{ кН·м}$$

Заключение: **Условие прочности и устойчивости выполнено.**

- **Обечайка, нагруженная поперечным усилием**

Допускаемое поперечное усилие из условия прочности:

					ПГУ.ВКР.15.03.01.21М0109 000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		107

$$[Q]_{\pi} = 0.25 \cdot \pi \cdot D \cdot (s - c) \cdot [\sigma] = 0.25 \cdot 3,1416 \cdot 500 \cdot (16 - 7,6) \cdot 177 = 583,86 \text{ кН}$$

Расчётная длина для расчёта от действия давления:

$$l_p = 1764 \text{ мм}$$

Расчётная длина для расчёта от действия поперечной силы:

$$l_Q = 1764 \text{ мм}$$

Допускаемое поперечное усилие из условия устойчивости:

$$[Q]_E = \frac{2.4 \cdot E \cdot (s - c)^2}{n_y} \cdot \left[0.18 + 3.3 \cdot \frac{D(s - c)}{l^2} \right] = \frac{2.4 \cdot 1,91 \cdot 10^5 \cdot (16 - 7,6)^2 / 2,4}{(0.18 + 3.3 \cdot 500 \cdot (16 - 7,6) / 1764^2)} = 2485,9 \text{ кН}$$

Допускаемое поперечное усилие:

$$[Q] = \frac{[Q]_{\pi}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[Q]_{\pi}}{[Q]_E} \right)^2}} = 583,86 / (1 + (583,86 / 2485,9)^2)^{1/2} = 568,4 \text{ кН}$$

$$568,4 \text{ кН} \geq 0,87842 \text{ кН}$$

Заключение: **Условие прочности и устойчивости выполнено.**

- **Обечайка, работающая под совместным действием нагрузок**

Обечайка, работающая под совместным действием наружного давления, осевого сжимающего усилия, изгибающего момента и поперечного усилия.

$$\text{Проверка условия устойчивости: } \left(\frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} + \frac{M}{[M]} + \left(\frac{Q}{[Q]} \right)^2 \leq 1 \right)$$

$$\frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} + \frac{M}{[M]} + \left(\frac{Q}{[Q]} \right)^2 = 0 / 0 + 0 / 0 + 0,16212 / 295,59 + (0,87842 / 568,4)^2 = 0,55086 \cdot 10^{-3} \leq 1$$

Заключение: **Условие устойчивости выполнено.**

- **Обечайка, нагруженная осевым растягивающим усилием**

Допускаемое осевое растягивающее усилие:

$$[F] = \pi \cdot (D + s - c) \cdot (s - c) \cdot [\sigma] \cdot \varphi_T = \frac{3,1416 \cdot (500 + 16 - 7,6) \cdot (16 - 7,6) \cdot 177}{1} = 2374,7 \text{ кН}$$

Допускаемый изгибающий момент из условия прочности со стороны растяжения:

$$[M]_{\pi p} = \frac{D}{4} \cdot [F] = 500 / 4 \cdot 2374,7 = 296,84 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

Обечайка, работающая под совместным действием внутреннего давления, осевого растягивающего усилия и изгибающего момента.

$$\text{Проверка условия прочности: } \frac{F + p \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4}}{[F]} + \frac{M}{[M]_{\pi p}} \leq 1.0$$

$$\frac{F + p \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4}}{[F]} + \frac{M}{[M]_{\pi p}} = (0 + 4 \cdot 3,1416 \cdot 500^2 / 4) / 2374,7 + 0,16212 / 296,84 = 0,33128 \leq 1$$

Заключение: **Условие прочности выполнено.**

Для расчёта обечайки от действия седловых опор:

					ПГУ.ВКР.15.03.01.21М0109 000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		108

$$B_1 = \min \left\{ 1.0; 9.45 \cdot \frac{D}{1} \cdot \sqrt{\frac{D}{100 \cdot (s-c)}} \right\} = \min \{ 1.0; 9.45 \cdot 500 / 1764 \cdot (500 / (100 \cdot (16 - 7,6)))^{1/2} \} = 1$$

Допускаемое наружное давление из условия устойчивости:

$$[p]_E = \frac{2.08 \cdot 10^{-5} E}{n_y \cdot B_1} \cdot \frac{D}{1} \cdot \left[\frac{100 \cdot (s-c)}{D} \right]^{2.5} = \frac{20.8 \cdot 10^{-6} \cdot 1,91 \cdot 10^5 \cdot 500 / (2,4 \cdot 1 \cdot 1764) \cdot (100 \cdot (16 - 7,6) / 500)^{2.5}}{1} = 1,7164 \text{ МПа}$$

Допускаемое наружное давление из условия прочности:

$$[p]_{\pi} = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot (s-c)}{D + (s-c)} = \frac{2 \cdot 177 \cdot (16 - 7,6)}{500 + 16 - 7,6} = 5,8489 \text{ МПа}$$

$$[p] = \frac{[p]_{\pi}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[p]_{\pi}}{[p]_E} \right)^2}} = \frac{5,8489}{(1 + (5,8489 / 1,7164)^2)^{1/2}} = 1,647 \text{ МПа}$$

Допускаемое наружное давление: $[p] = 1,647 \text{ МПа}$

- **Обечайка, нагруженная осевым сжимающим усилием**

Допускаемое осевое сжимающее усилие:

$$[F] = \frac{[F]_{\pi}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[F]_{\pi}}{[F]_{E1}} \right)^2}} = \frac{2374,7}{(1 + (2374,7 / 22563)^2)^{1/2}} = 2361,7 \text{ кН}$$

Допускаемый изгибающий момент из условия устойчивости:

$$[M]_{уст} = \frac{[M]_{\pi}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[M]_{\pi}}{[M]_E} \right)^2}} = \frac{296,84}{(1 + (296,84 / 3223,3)^2)^{1/2}} = 295,59 \text{ кН·м}$$

Допускаемый изгибающий момент:

$$[M] = \min \{ M_{гр}, M_{уст} \} = \min \{ 296,84, 295,59 \} = 295,59 \text{ кН·м}$$

Расчётная длина для расчёта седловых опор:

$$l_s = 700 \text{ мм}$$

Допускаемое поперечное усилие из условия устойчивости:

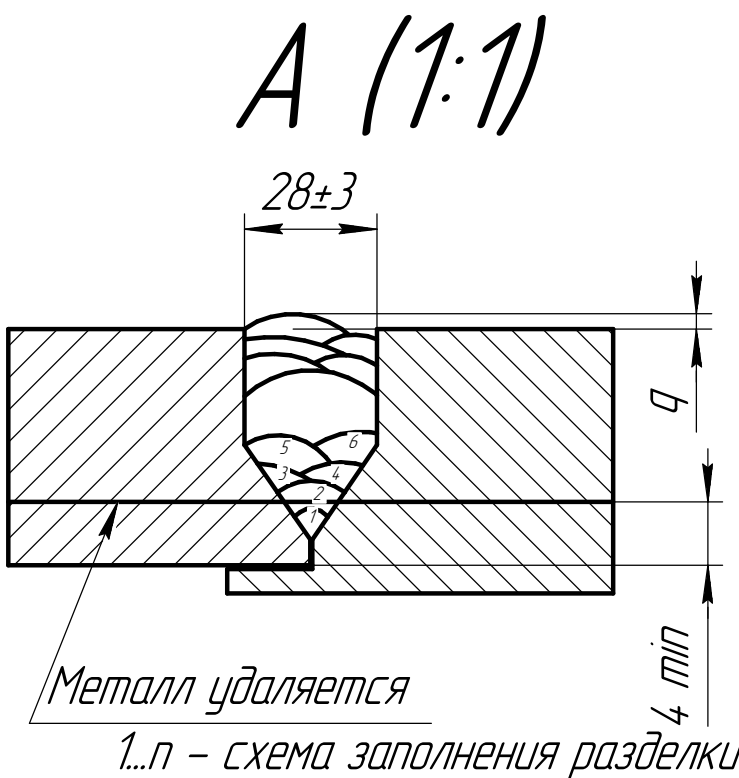
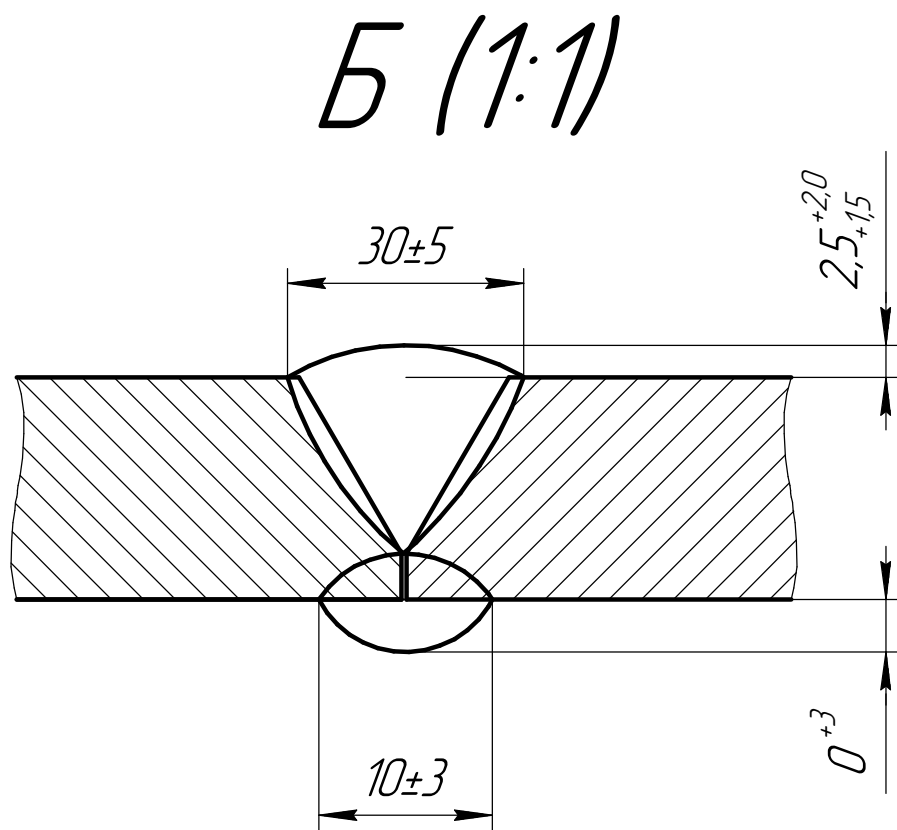
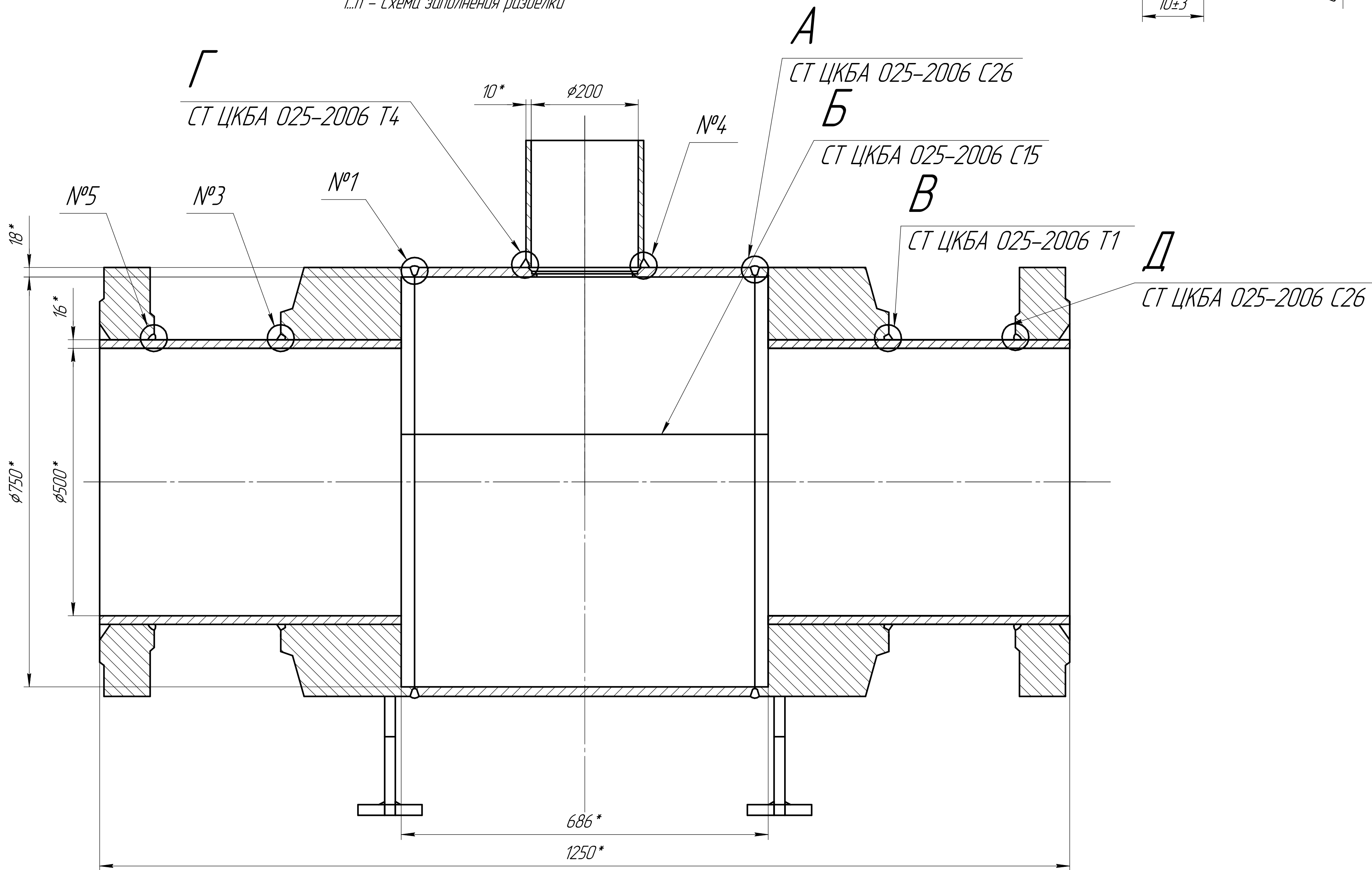
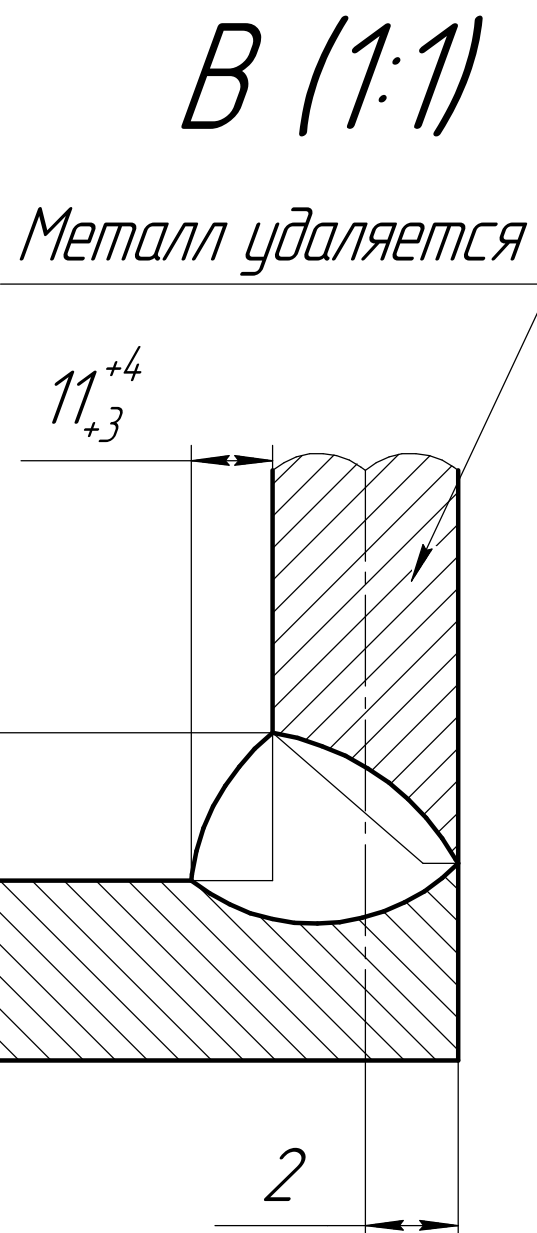
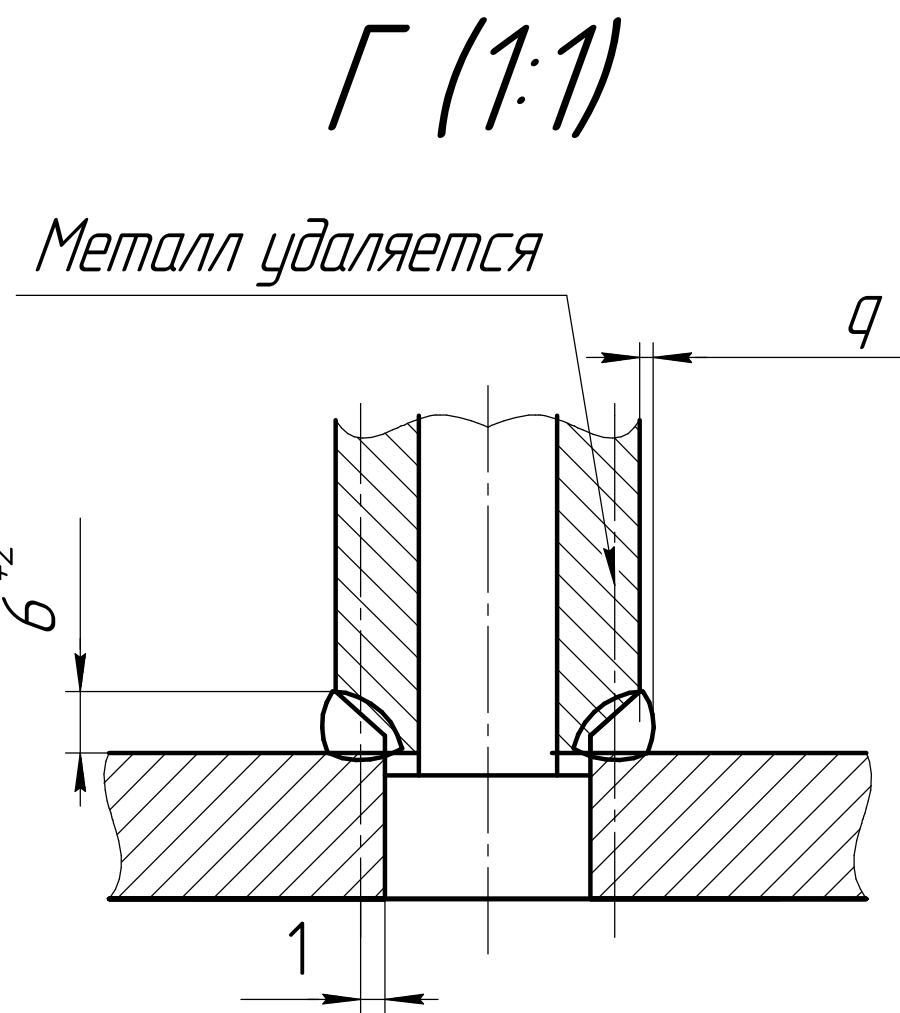
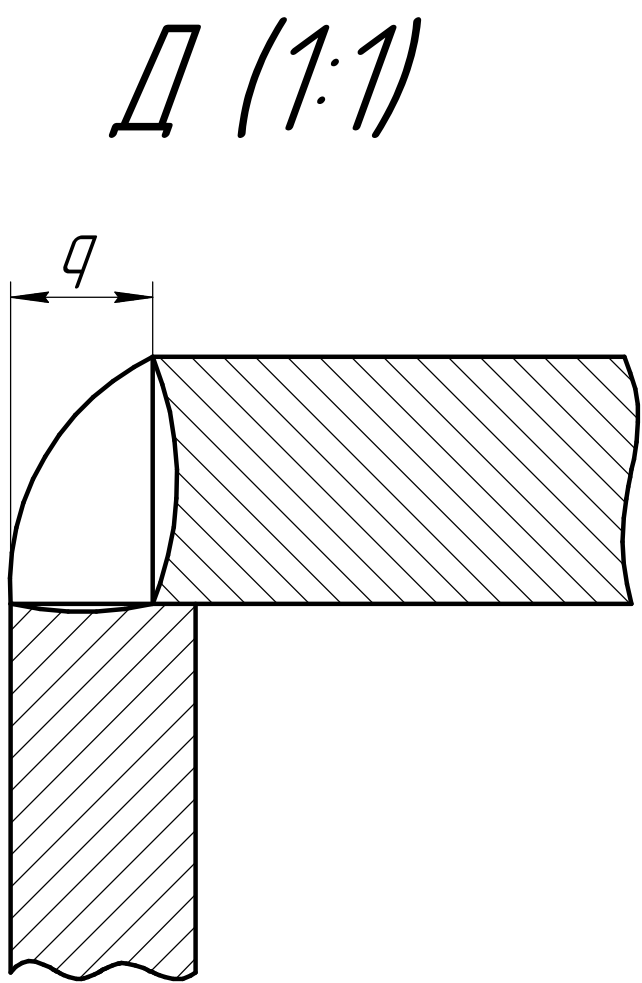
$$[Q]_E = \frac{2.4 \cdot E \cdot (s-c)^2}{n_y} \cdot \left[0.18 + 3.3 \frac{D(s-c)}{l_s^2} \right] = \frac{2.4 \cdot 1,91 \cdot 10^5 \cdot (16 - 7,6)^2 / 2,4 \cdot (0.18 + 3.3 \cdot 500 \cdot (16 - 7,6) / 700^2)}{1} = 2807,1 \text{ кН}$$

Допускаемое поперечное усилие:

$$[Q] = \frac{[Q]_{\pi}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[Q]_{\pi}}{[Q]_E} \right)^2}} = \frac{583,86}{(1 + (583,86 / 2807,1)^2)^{1/2}} = 571,63 \text{ кН}$$

ПРИЛОЖЕНИЕ В
(Графическая часть)

					<i>ПГУ.ВКР.15.03.01.21М0109 000 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		<i>110</i>



Технические характеристики		
Транспортируемая среда		Природный газ
Класс герметичности по ГОСТ 54808-2011		A
Давление (МПа)	Рабочее	4
	Расчетное	4,15
Температура транспортируемой среды		от -60 до +100°С
Климатическое исполнение по ГОСТ 15150-69		У1
Диаметр прохода, мм		500
Присоединение к трубопроводу		Под приварку
Срок службы		30 лет

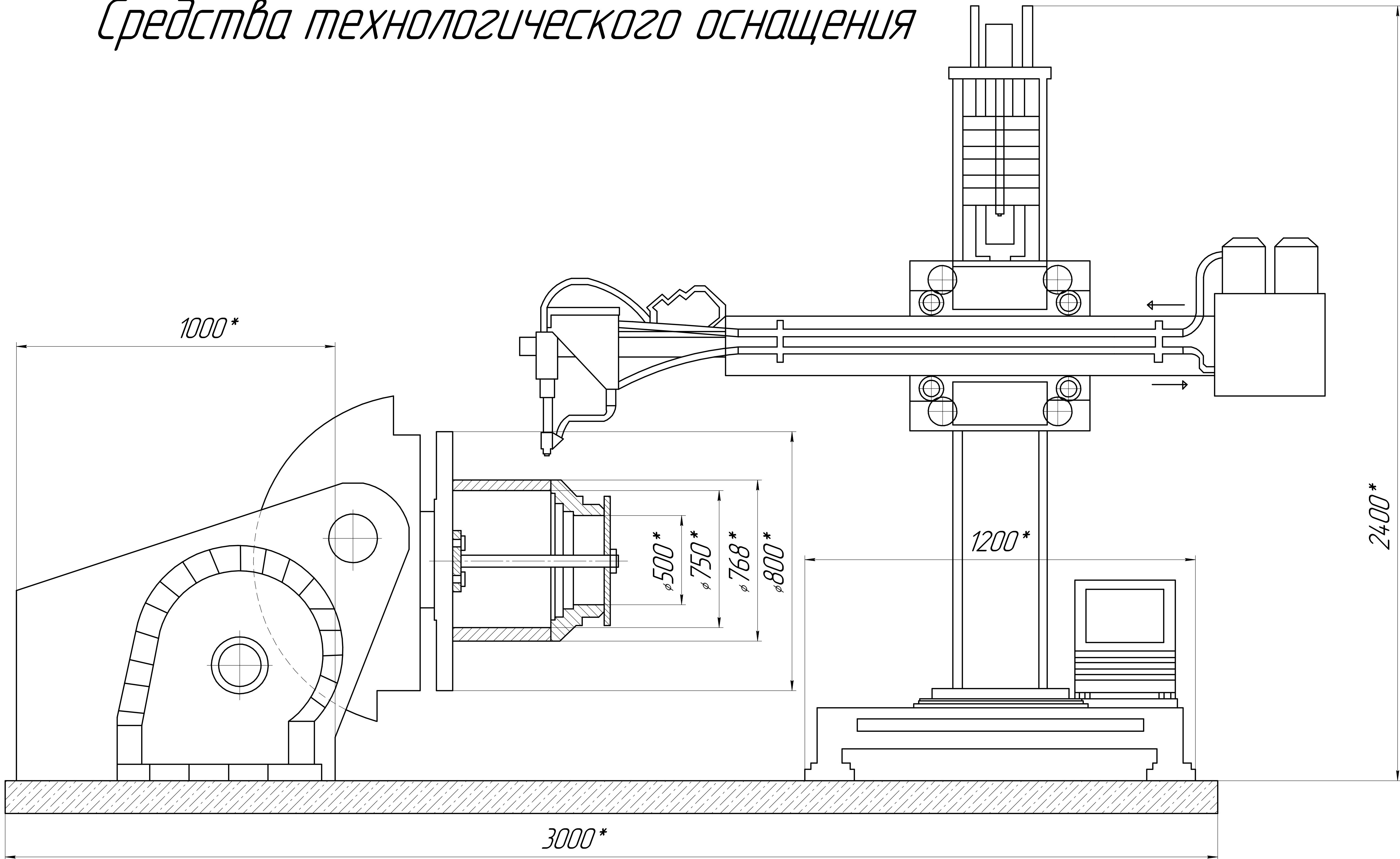
- Технические требования
1. Пробное давление $P_{пр} = 1,5PN$ в зависимости от исполнения крана шарового.
 2. Клеймо сварщика.
 3. При осуществлении отдельной поставки крана шарового без установки привода поверхность присоединения с приводом защитить технологической заглушкой.
 4. Транспортирование и хранение арматуры, ее узлов и деталей необходимо проводить с учетом всех требований безопасности.
 5. Транспортировку крана производить в положении затвора "открыто".
 6. * - размер для справок.
 7. H14, h14; $\pm IT/2$.
 8. Сварные швы №1, 2 по ГОСТ 8713-79.

ПГУ.ВКР.15.03.01.21М0109.Т41				Лист		
Корпус шарового крана				Масса		
DN 500 PN 4,0 МПа				15		
Сталь 09Г2С				Листов 1		
каф. С/П/М				группа 21М0С1		
Формат А1						

Технологические параметры режимов сварки

Номер шва	Условное обозначение способа сварки	Обозначение шва	НТД на сварку	Тип подготовки кромки	Порядок наложения шва	Обозначение прохода	Технологические режимы сварки						Марка проволоки	Диаметр проволоки	Защитная среда
							Сварочный ток $I_{св}, A$	Напряжение дуги U_B, B	Скорость сварки $V_{св}, м/ч$	Скорость подачи проволоки $V_{пп}, м/ч$	Вылет электрода $l, мм$	Расход газа $л/мин$			
1	АФ	С26	ГОСТ 8713-79			А	500...800	33...35	15...20	62...69	25...30	-	Св-08Г2С по ГОСТ 2246-70	4	Флюс АН348А по ГОСТ 9087-81
						Б	600...900	33...35		90...98	35...50			5	
2	АФ	С15	ГОСТ 8713-79			А	450...760	31...33	15...20	60...68	23...28	-	Св-08Г2С по ГОСТ 2246-70	4	Флюс АН348А по ГОСТ 9087-81
							550...880	31...33		85...90	32...37			5	
3	МП	Т1	ГОСТ 14771-76			А	400...600	30...32	9...22	80...90	17,6...39,6	10...25	Св-08Г2С по ГОСТ 2246-70	2,2	Аргон, двукись углерода по ГОСТ 10157-2016
4	МП	Т4	ГОСТ 14771-76			А	200...400	20...24	6...16	60...70	14,4...32,4	15...20	Св-08Г2С по ГОСТ 2246-70	1,8	Аргон, двукись углерода по ГОСТ 10157-2016
5	МП	У1	ГОСТ 14771-76			А	200...400	22...25	7...18	60...70	16...36	15...20	Св-08Г2С по ГОСТ 2246-70	2,0	Аргон, двукись углерода по ГОСТ 10157-2016

Средства технологического оснащения



Технические характеристики сварочного робота манипулятора GSX серии RH06A2:

- 1. Степень свободы – 7;
- 2. Вид привода – Сервопривод переменного тока;
- 3. Эффективная нагрузка, кг – 6;
- 4. Точность повторного позиционирования, мм – ± 0.05 ;
- 5. Диапазон действия, ° – ± 360 ;
- 6. Максимальная скорость, °/сек – 630;
- 7. Максимально допустимый крутящий момент, Нм – 6;
- 8. Радиус действия, мм – 1605;
- 9. Масса робота, кг – 215.

Технические характеристики универсального вращателя Pro Arc PT-1500

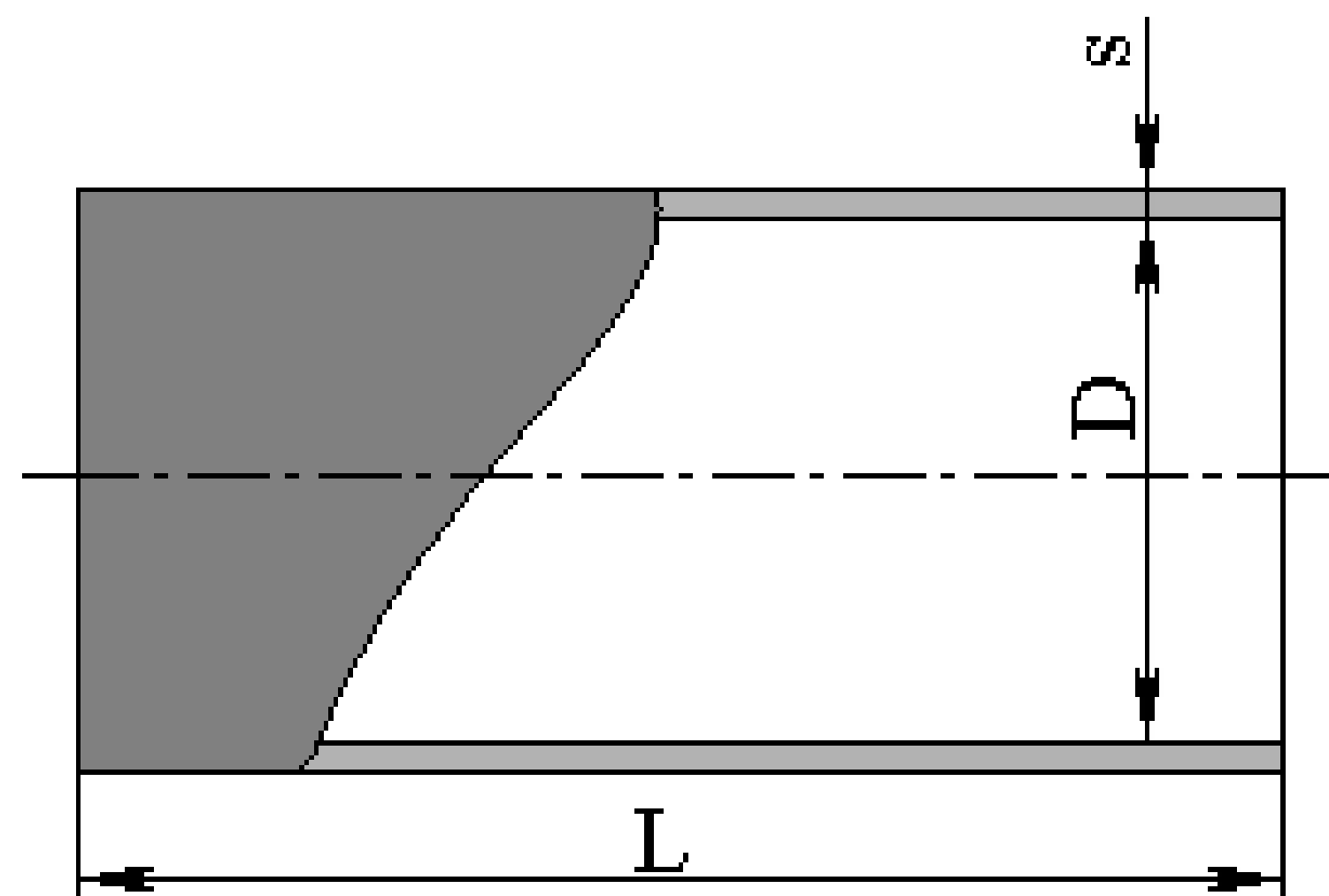
- 1. Грузоподъемность – 6000 кг;
- 2. Мощность электродвигателя привода вращения – 0,75 кВт;
- 3. Мощность электродвигателя привода наклона – 0,37 кВт;
- 4. Диаметр планшайбы – 800 мм;
- 5. Угол наклона – 0...135°;
- 6. Частота вращения планшайбы – 0,05...1 об/мин;
- 7. Сварочный ток – 800 А;
- 8. Длина – 1400 мм;
- 9. Ширина – 1000 мм;
- 10. Высота – 990 мм;
- 11. Масса – 750 кг.

ПГУВКР.15.03.01.21М0109.Т43				Средства			Лист			Масса			Масштаб		
Средства				технологического оснащения			1:10			1			1		
Зр. 21М0С1				каф. СЛПМ			Формат А1			Копировал					
Изм. Лист				№ док. Подп. Дата			Лист			Масса			Масштаб		
Разраб. Мещеряков И.А.				Лист			Лист			Масса			Масштаб		
Проб. Козанцев И.А.				Лист			Лист			Масса			Масштаб		
Т.контр.				Лист			Лист			Масса			Масштаб		
Исполн. Харин А.В.				Лист			Лист			Масса			Масштаб		
Утв. Розен А.Е.				Лист			Лист			Масса			Масштаб		

Расчет на прочность корпуса шарового крана в программе ПАССА Т

Исходные данные для расчета

Материал	09Г2С
Внутр. диаметр, D	500 мм
Толщина стенки, S	18 мм
Прибавка для компенсации коррозии и эррозии, с1	6 мм
Прибавка для клмпенсации минусового допуска, с2	1,6 мм
Прибавка технологическая, с3	0,3 мм
Сумма прибавок к расчетной толщине стенки, с4	7,6 мм
Длина обечайки, L	686 мм



Расчет в рабочих условиях

Условия нагружения:

Расчетная температура, T:	100 °C
Расчетное внутреннее избыточное давление, p:	4 МПа
Расчетный изгибающий момент, M	4,1634 кН·м
Расчетное поперечное усилие, Q	13,024 кН
Расчетное осевое растягивающее усилие, F	0,91387 кН
расчетный крутящий момент, M _t	0 кН·м

Расчёт на прочность по ГОСТ 34233.5-2017

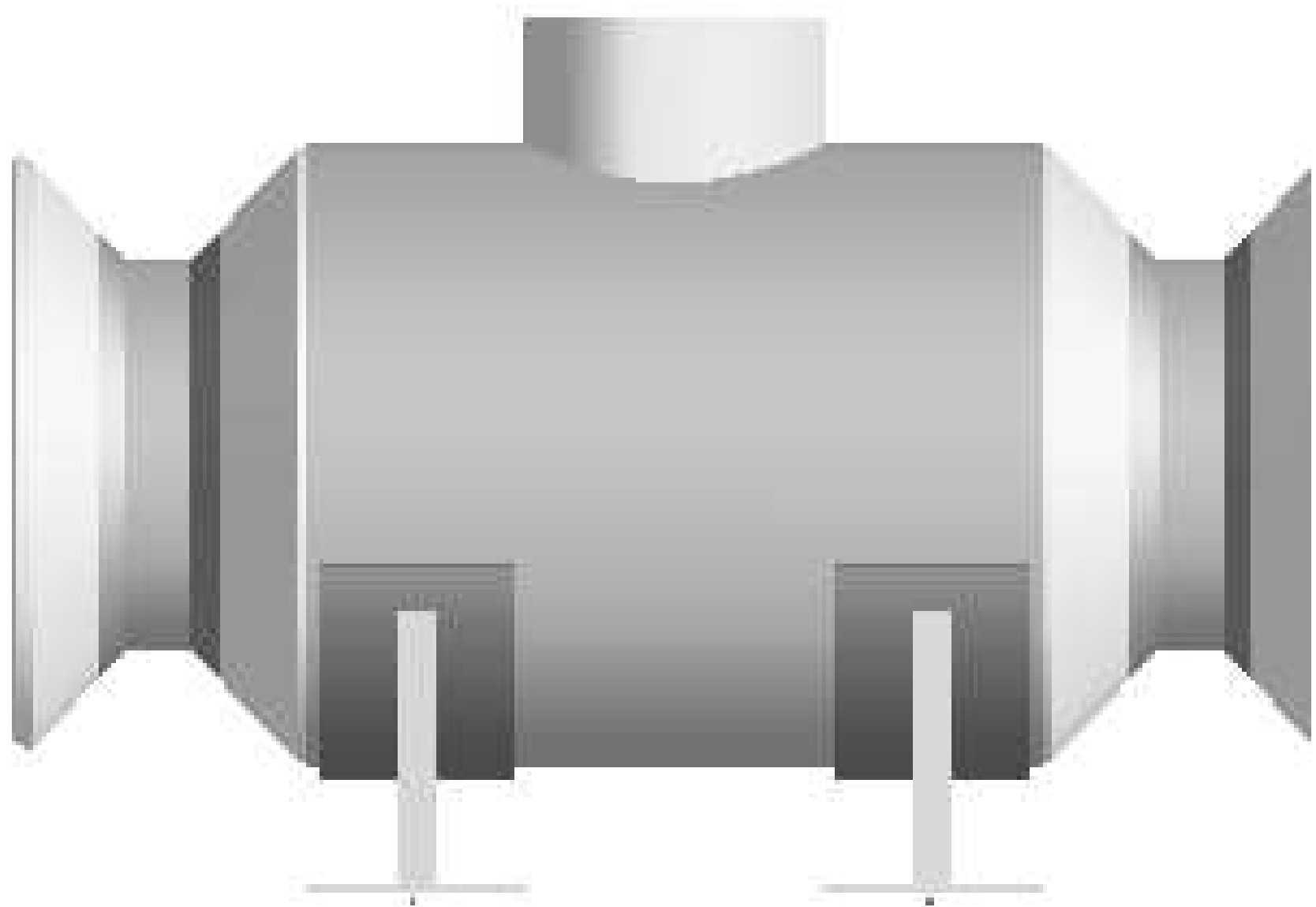
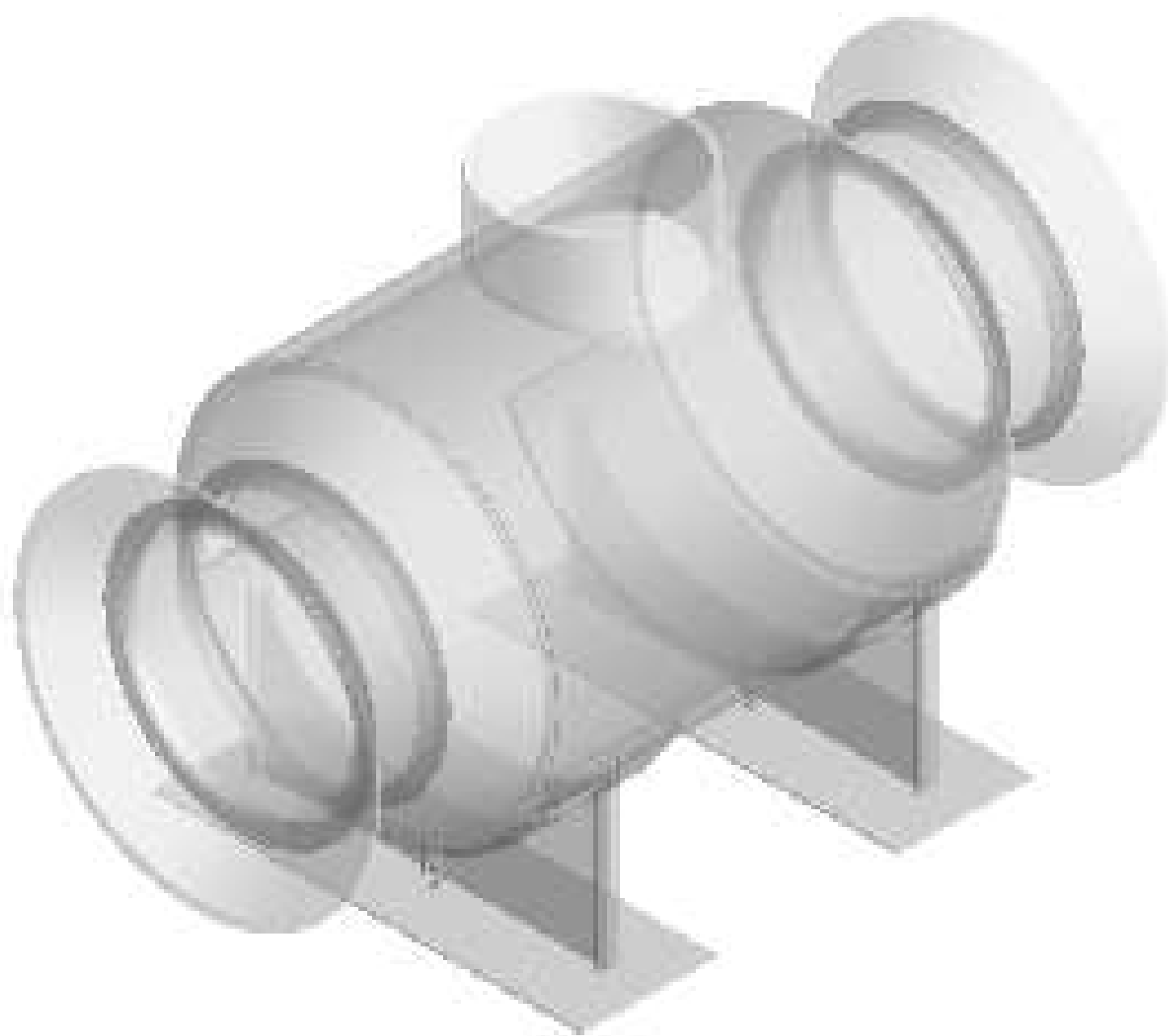
Допускаемое давление для элемента Обечайка цилиндрическая:
[p] = 5,8489 МПа > 4,0 МПа

Условие выполняется

Обечайка, работающая под совместным действием внутреннего давления, осевого растягивающего усилия и изгибающего момента:

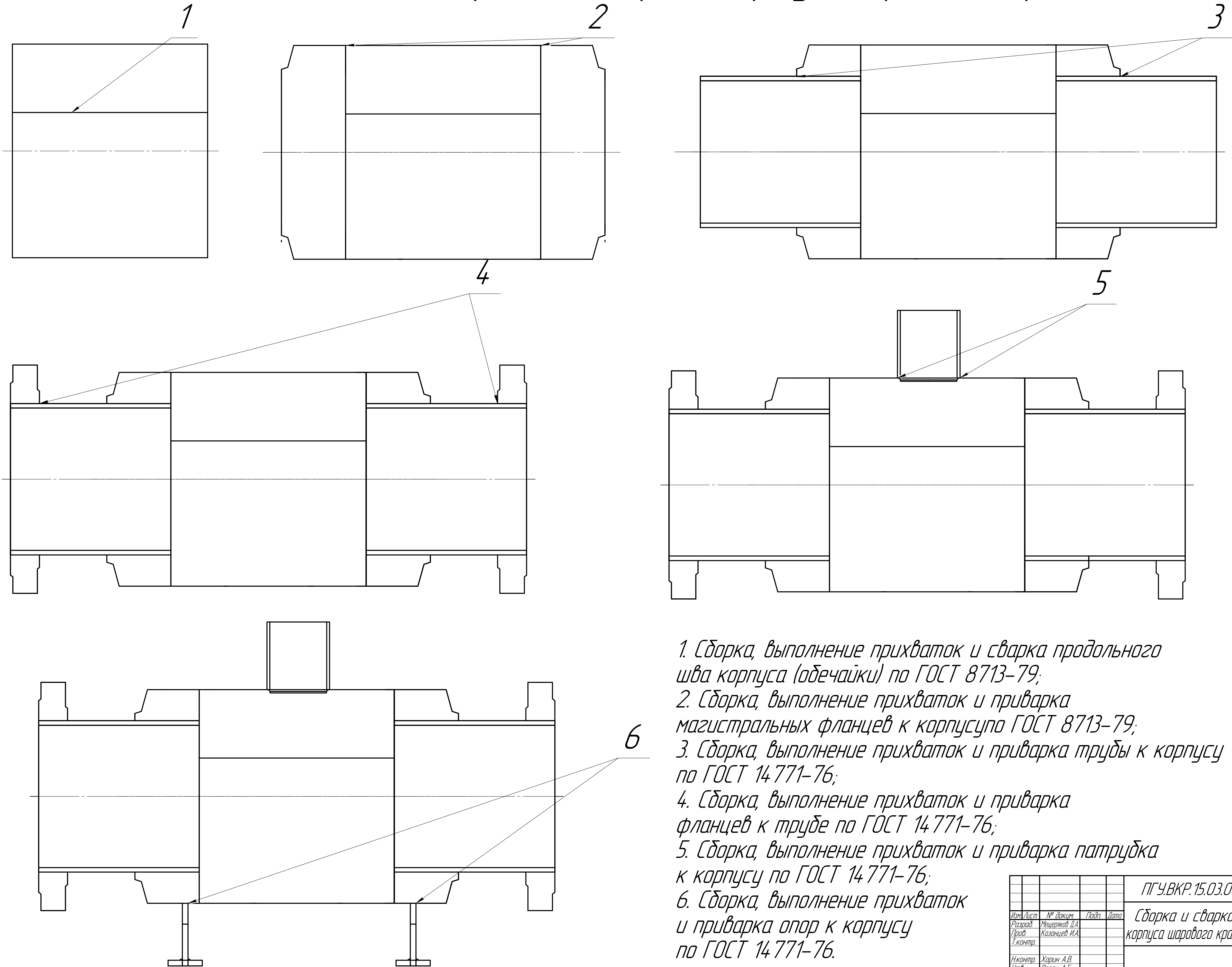
$$\frac{F+p+\frac{\pi D^2}{4}}{[F]} + \frac{M}{[M]_{пр}} \leq 1$$
$$\frac{F+p+\frac{\pi D^2}{4}}{[F]} + \frac{M}{[M]_{пр}} = (0+4 \cdot 500^2 \cdot 3,1416/4)/2374,7+0,16212/296,84=0,33128 \leq 1$$

Заключение: Условие прочности выполнено.



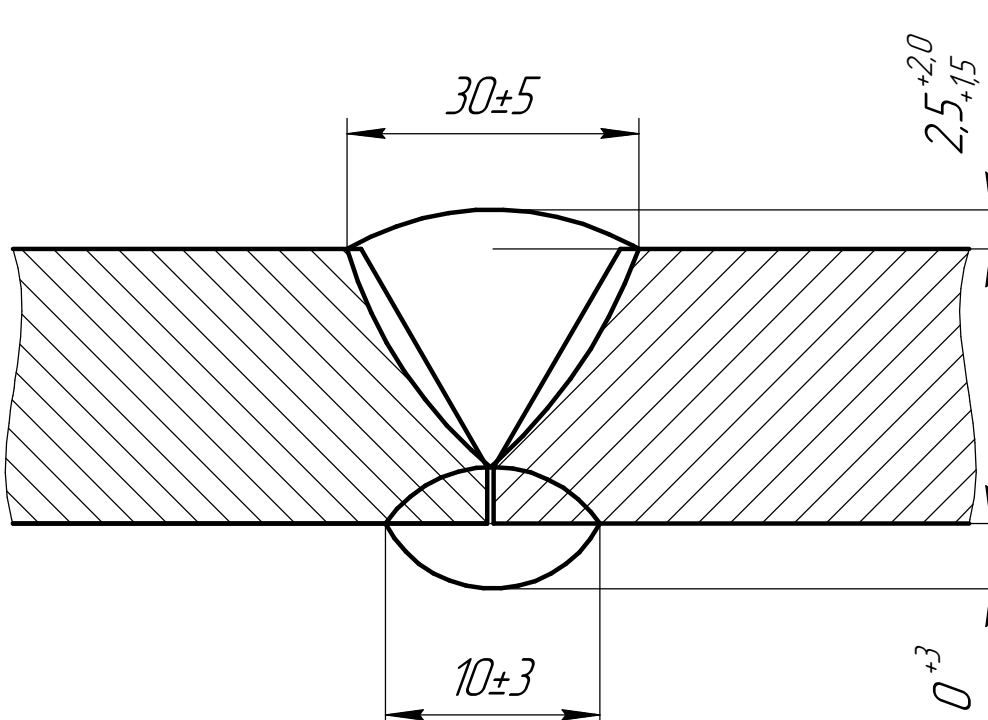
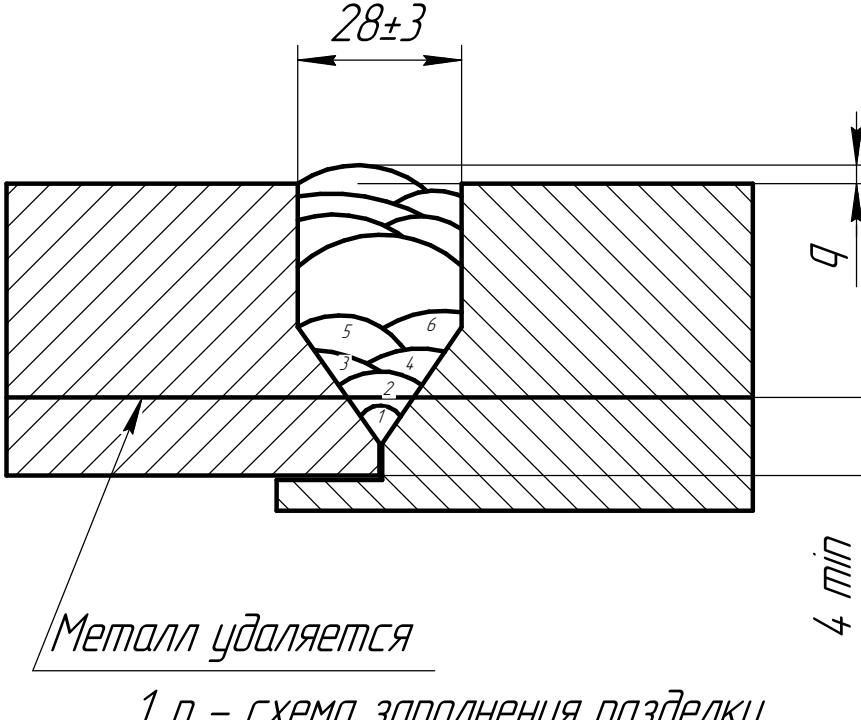
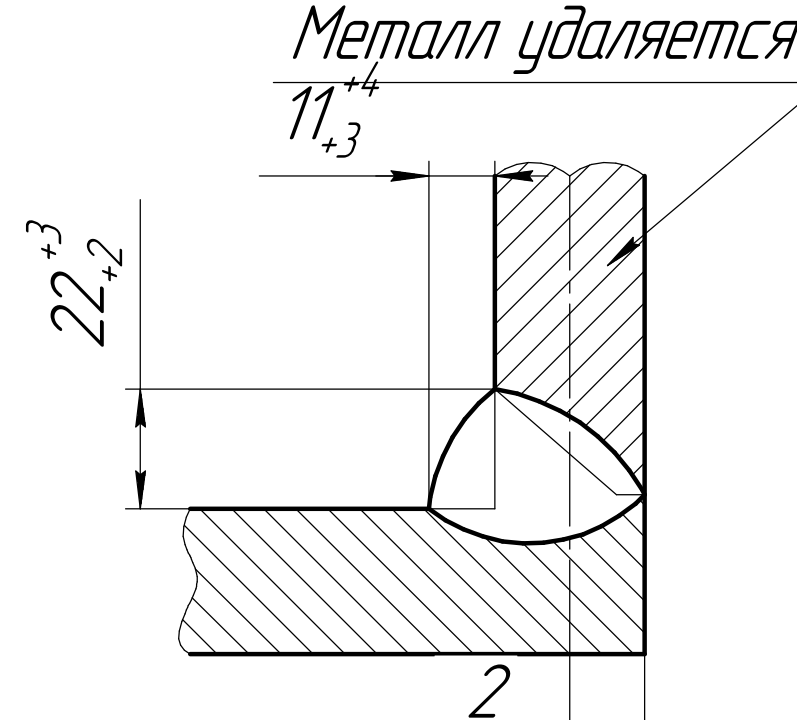
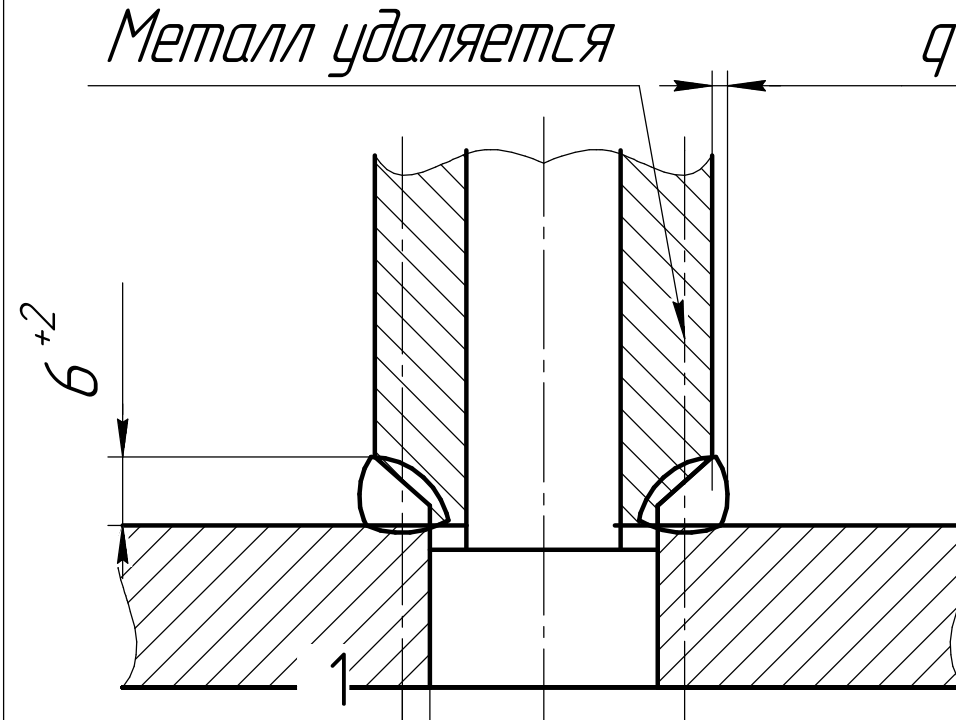
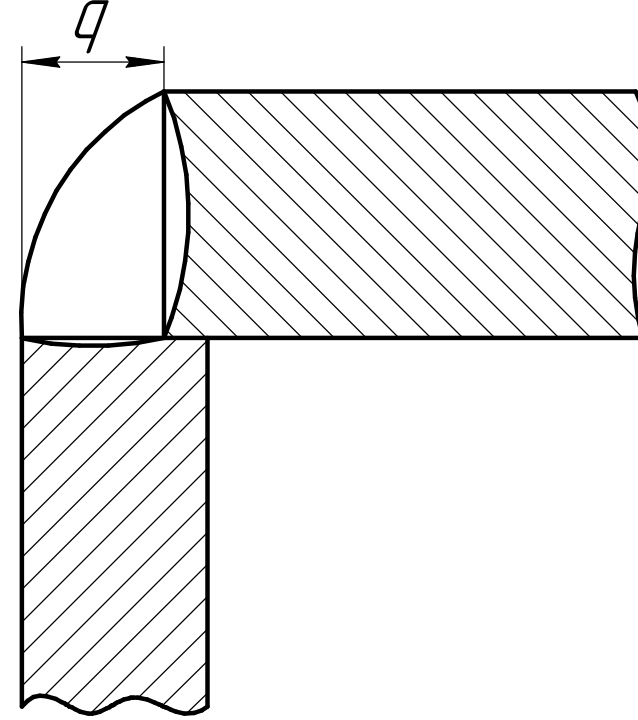
ПГУ.ВКР.15.03.01.21М0109.Т44				Расчет на прочность корпуса шарового крана в программе ПАССА Т			Лист	Масса	Масштаб
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата					1:1
Разраб.	Мещеряков И.А.								
Проб.	Козанцев И.А.								
Т.контр.									
Н.контр.	Харин А.В.								
Утв.	Розен А.Е.								
							Лист	Листов	1
							гр. 21М0С1		
							каф. СЛПМ		
							Формат А1		

Последовательность сборки и сварки корпуса крана шарового DN 500



ПГУВКР.15.03.01.21М0109.Т45				Лист			Масса	Масштаб
Сборка и сварка корпуса шарового крана				1	1	1	1:1	1
каф С/П/М группа 21М0С1				Формат А1				

Методы контроля сварных швов и КСС

Номер сварного шва		1	2	3	4	5
Эскиз сварного шва						
Обозначение сварного шва		С15 по СТ ЦКБА 025-2006	С26 по СТ ЦКБА 025-2006	Т1 по СТ ЦКБА 025-2006	Т4 по СТ ЦКБА 025-2006	У1 по СТ ЦКБА 025-2006
Методы контроля	Визуальный контроль 100 %	+	+	+	+	+
	Измерительный контроль 100 %	+	+	+	+	+
	Капиллярный контроль 100 %	+	+	+	+	+
	Ультразвуковой контроль 100 %	+	+	+	+	+
	Гидравлические испытания 100 %	+	+	—	—	—
	Испытание на статическое растяжение	+	+	—	—	—
	Испытание на статический изгиб	+	+	—	—	—
	Испытание на ударный изгиб	+	+	—	—	—

Оценка качества проводится по СТ ЦКБА 025-2006