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

Кафедра
«Сварочное, литейное производствои материаловедение»
(наименование)

Направление подготовки — 15.03.01 «Машиностроение»
(код и наименование)

Профиль — «Оборудование и технологиясварочного производства»
(наименование)

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА
на тему
«Разработка технологии сборки и сварки корпуса вертикального водонагревателя объемом 50 л из стали 12Х18Н9Т»

Студент — 22.06.2026 (подпись, дата) — *Чуенков Валерий Романович* (фио полностью)

Научный руководитель
к.т.н., доцент — 22.06.2026 (подпись, дата) — *Кривенков А.О.* (фамилия, инициалы)

Нормоконтролёр
к.т.н., доцент — 22.06.2026 (подпись, дата) — *Хорин А.В.* (фамилия, инициалы)

Работа допущена к защите (протокол заседания кафедры от 11.06.2026 № 1)

Заведующий кафедрой — 23.06.2026 (подпись, дата) — *Розен А.Е.* (фамилия, инициалы)

Работа защищена с отметкой хорошо (протокол заседания ГЭК от 24.06.2026 № 11)

Секретарь ГЭК
к.т.н., доцент — 24.06.2026 (подпись, дата) — *Гуськов М.С.* (фамилия, инициалы)

Пенза, 2026

ФГБОУ ВО «ПЕНЗЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
Кафедра «Сварочное, литейное производство и материаловедение»

«Утверждаю»
Заведующий кафедрой СЛПиМ
д.т.н., профессор А.Е. Розен

_____
подпись
«30» декабря 2025 г.

ЗАДАНИЕ
на выпускную квалификационную работу

Студента гр. 22ЗМОС41 Политехнического института ПГУ, заочной формы обучения по направлению подготовки 15.03.01 «Машиностроение»

Чуенков Валерий Романович

Научный руководитель работы: *к.т.н., доцент Кривенков А.О.*
Время выполнения ВКР: *с 30.12.25 г. по 04.07.2026 г.*
Место преддипломной практики: *ООО „НТЦ„Сура“*
Тема работы: Разработка технологии сборки и сварки корпуса вертикального водонагревателя объемом 50 литров из стали 12Х18Н9Т
Тема утверждена приказом ректора ПГУ *№1581/о от 30.12.25 г.*

Техническое задание на работу (назначение изделия, технология сборки и сварки): разработать технологию сборки и сварки корпуса вертикального водонагревателя из стали 12Х18Н9Т:
– спроектировать сварную конструкцию корпуса водонагревателя и средства технологического оснащения для выполнения операций сборки и сварки;
– разработать технологию сборки и сварки корпуса водонагревателя;

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;

– 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 вертикального водонагревателя 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)

- *расчет на прочность цилиндрической обечайки в программном обеспечении «ПАССАТ»* *1л А1;*
- *общий вид вертикального водонагревателя* *1л А1;*
- *технологические параметры режимов сварки* *1л А1;*
- *средства технологического оснащения* *2л А1;*
- *схема сборки и сварки корпуса вертикального водонагревателя* *1л А1;*
- *методы контроля сварных соединений и КСС* *1л А1.*

Рекомендуемая литература:

1. **Маслов, Б. Г. Производство сварных конструкций** [Текст]: учебник для студ. учреждений сред.проф. образования / Б. Г. Маслов, А. П. Выборнов. – М.: Издательский центр Академия, 2012. – 256 с.: ил.

2. **Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность** [Текст]: ГОСТ 14249 – 89. – Введ. 25 – 11 – 1989. – М: Издательство стандартов, 1989 – 33 с.: ил.

Руководитель ВКР:

к.т.н., доцент _____ А.О. Кривенков

Задание к исполнению принял студент

гр. 223МОс41 _____ В.Р. Чуенков

«30» декабря 2025 г.

Выпускную квалификационную работу к защите допустить

Директор Политехнического института ПГУ _____ Г.В. Козлов

ФГБОУ ВО «ПЕНЗЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
кафедра «Сварочное, литейное производство и материаловедение»

«Утверждаю»
Руководитель ВКР
к.т.н., доцент Кривенков А.О.
_____
подпись
«30» декабря 2025 г.

КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН
на выпускную квалификационную работу

Студенту гр. 22ЗМОС41 Политехнического института ПГУ, заочной формы обучения по направлению подготовки 15.03.01 «Машиностроение»

Чуенкову Валерию Романовичу

Тема работы: *Разработка технологии сборки и сварки корпуса вертикального водонагревателя объемом 50 литров из стали 12Х18Н9Т*

Наименование этапа работы	Срок исполнения		Отметка о выполнении
	начало	окончание	
1.Получение задания, его уяснение, беседа с руководителем. Подготовка к выполнению ВКР.	30.12.25	15.02.26	Выполнено
2. Подбор и изучение рекомендованной литературы.	16.02.26	28.02.26	Выполнено
3.Изучение объекта исследования, постановка цели и задачи работы. Написание введения.	01.03.26	12.02.26	Выполнено
4.Проведение литературно-патентного обзора. Выбор основных нормативно-технических документов.	13.02.26	19.02.26	Выполнено
5. Проектирование и расчет элементов конструкции изделия. Оформление соответствующего раздела.	20.02.26	31.03.26	Выполнено
6. Разработка технологии сборки и сварки изделия. Контроль качества сварных соединений. Оформление соответствующих разделов.	01.04.26	21.04.26	Выполнено
7. Завершение оформления пояснительной записки, схем и рисунков.	22.04.26	01.06.26	Выполнено
8. Предварительная защита ВКР	02.06.26	05.06.26	Выполнено

9. Представление завершенной ВКР нормоконтролеру	06.06.26	10.06.26	Выполнено
10. Представление ВКР руководителю на просмотр и проверку на плагиат.	11.06.26	17.06.26	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)	18.06.26	19.06.26	Выполнено
12. Защита выпускной квалификационной работы	20.06.26	04.07.26	Выполнено

Прохождение каждого этапа подготовки ВКР подтверждается подписью руководителя.

Студент учебной группы 223МОС41_____Чуенков В.Р.

"30" декабря 2025 г.

И.О. ректору Пензенского государственного университета
С.М. Васину
от студента 4 курса Политехнического института заочной формы обучения

Чуенкова Валерия Романовича
(фамилия, имя, отчество)

ЗАЯВЛЕНИЕ

Я, Чуенков Валерий Романович, студент 4 курса заочной 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 вертикального водонагревателя объемом 50 литров из стали 12Х18Н9Т»*, 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)
15.06.2026
(дата)

ВКР представлена на проверку 15.06.2026год
(дата)

Руководитель ВКР _____ А.О. Кривенков
(подпись)

АНТИПЛАГИАТ
ОБНАРУЖЕНИЕ ЗАИМСТВОВАНИЙ

СПРАВКА

о результатах проверки текстового документа
на наличие заимствований

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Пензенский государственный университет"

ПРОВЕРКА ВЫПОЛНЕНА В СИСТЕМЕ АНТИПЛАГИАТ.ВУЗ

Автор работы: Чуенков Валерий Романович
Самоцитирование рассчитано для: Чуенков Валерий Романович
Название работы: ВКР_ПЗ_Чуенков_В_22ЗМО41
Тип работы: Выпускная квалификационная работа
Подразделение: ПГУ, каф. СЛПиМ

РЕЗУЛЬТАТЫ

■ **ОТЧЕТ О ПРОВЕРКЕ КОРРЕКТИРОВАЛСЯ:** НИЖЕ ПРЕДСТАВЛЕНЫ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОВЕРКИ ДО КОРРЕКТИРОВКИ

СОВПАДЕНИЯ	47.13%
ОРИГИНАЛЬНОСТЬ	50.35%
ЦИТИРОВАНИЯ	2.52%
САМОЦИТИРОВАНИЯ	0%
ИИ-КОНТЕНТ	0%

СОВПАДЕНИЯ	47.13%
ОРИГИНАЛЬНОСТЬ	50.35%
ЦИТИРОВАНИЯ	2.52%
САМОЦИТИРОВАНИЯ	0%

ДАТА ПОСЛЕДНЕЙ ПРОВЕРКИ: 15.06.2026

ДАТА И ВРЕМЯ КОРРЕКТИРОВКИ: 15.06.2026 12:26

Структура документа: Проверенные разделы: основная часть с.3-65

Модули поиска: Профессиональная лексика. Медицина; СМИ России и СНГ; Перефразирования по коллекции IEEE; Рувики; Коллекция открытых публикаций международных издательств; IEEE; Цитирование; Перефразирования по базе публикаций открытого доступа PubMed; Сводная коллекция научных работ Беларуси; Перефразирования по Коллекции открытых публикаций международных издательств; Коллекция НБУ; СПС ГАРАНТ: аналитика; ИПС Адилет; Публикации РГБ; Кольцо вузов; Переводные заимствования по коллекции Гарант: аналитика; Переводные заимствования; Профессиональная лексика. АПК и биотех; Профессиональная лексика. Юриспруденция; Перефразированные заимствования по коллекции Интернет в английском сегменте; Шаблонные фразы; Патенты СССР, РФ, СНГ; Публикации eLIBRARY; СПС ГАРАНТ: нормативно-право...

Работу проверил: Кривенков А. О.

ФИО проверяющего

Дата подписи: 15.06.2026г.

Подпись проверяющего

Чтобы убедиться в подлинности справки, используйте QR-код, который содержит ссылку на отчет.

Ответ на вопрос, является ли обнаруженное заимствование корректным, система оставляет на усмотрение проверяющего. Предоставленная информация не подлежит использованию в коммерческих целях.

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ
ФГБОУ ВО «ПЕНЗЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
Кафедра «Сварочное, литейное производство и материаловедение»

ОТЗЫВ
РУКОВОДИТЕЛЯ О ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ БАКАЛАВРА

Студента: Чуенкова Валерия Романовича.

Тема: «Разработка технологии сборки и сварки корпуса вертикального водонагревателя объемом 50 литров из стали 12Х18Н9Т».

Направление подготовки – 15.03.01 «Машиностроение», группа 223МОС41. Профиль подготовки – «Оборудование и технология сварочного производства».

Выпускная квалификационная работа содержит 98 с., 22 рис., 21 табл., 3 прил., 35 использованных источников. Графическая часть из 7 листов формата А1.

Предметом работы является: разработка технологии сборки и сварки корпуса вертикального водонагревателя в соответствии с нормативно-технической документацией.

К задачам выпускной квалификационной работы относятся:

– проведение анализа объекта производства;

– выбор основных материалов конструкции;

– расчет и проектирование элементов конструкции;

– разработка технологического процесса сборки и сварки изделия с выбором сварочного оборудования и средств технологического оснащения;

– назначение методов контроля качества сварных соединений.

В выпускной квалификационной работе, в соответствии с исходными требованиями к сварной конструкции, выполнено проектирование элементов конструкции корпуса водонагревателя и средств технологического оснащения, разработана технология сборки и сварки вертикального водонагревателя.

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

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

Предлагаемая технология сборки и сварки корпуса вертикального водонагревателя обеспечивает стабильность производства; повышение производительности; простоты, надежности; уменьшение энерго- и металлоемкости.

За время выполнения выпускной квалификационной работы Чуенков В.Р. показал себя технически грамотным студентом, обладающим современными методами решения профессиональных задач. Выполненная работа соответствует требованиям, предъявляемым к выпускным квалификационным работам.

Считаю, что выпускная квалификационная работа заслуживает оценки «отлично» и может быть допущена к защите в ГЭК, а ее автор Чуенков В.Р. заслуживает присвоения квалификации бакалавра по направлению подготовки 15.03.01 «Машиностроение» и профилю подготовки «Оборудование и технология сварочного производства».

Отзыв составил доцент каф. «СЛПиМ»
ФГБОУ ВО «ПГУ» к.т.н., доцент _____ Кривенков А.О.

Аннотация

Выпускная квалификационная работа состоит из пояснительной записки и 7 листов графического материала формата А1. Пояснительная записка содержит 98 страниц, 22 рисунка, 21 таблицу, 3 приложения.

ОБЕЧАЙКА, ДНИЩЕ, СТАЛЬ, СВАРКА, ЭЛЕКТРОД, ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ, ШОВ, КАТЕТ, ПРОВОЛОКА, СОЕДИНЕНИЕ, ПРИХВАТКА.

Объектом разработки: сварная конструкция корпуса водонагревателя 3*W*50*V*1.

Предметом исследования: технология сборки и сварки корпуса водонагревателя.

Область применения: бытовые условия.

В работе был проанализирован базовый вариант и разработана усовершенствованная технология сборки и сварки корпуса водонагревателя путем замены механизированной и ручной дуговой сварки на автоматическую сварку.

Эффективность спроектированной сварной конструкции и разработанной технологии определяется высокой производительностью на основе механизации операций сборки и сварки корпуса водонагревателя. 3*W*50*V*1.

Целью работы: разработать технологию сборки и сварки корпуса водонагревателя, обеспечивающую повышение производительности, простоты, надежности и безопасности в работе, уменьшение энерго- и металлоемкости.

Задачами являются**:**

а) спроектировать сварную конструкцию корпуса водонагревателя и средства технологического оснащения для выполнения операций сборки и сварки;

б) разработать технологию сборки и сварки корпуса водонагревателя.

Содержание

Введение…… 5
1 Литературно-патентный обзор……..……..……..……..... 8
2 Анализ объекта производства……..... 12
2.1 Общие требования……..…… 12
2.2 Назначение конструкции и технические требования…… …... 13
3 Расчет и проектирование элементов конструкции изделия…… 17
3.1 Выбор основных материалов конструкции……..….. …... 17
3.2 Расчет и проектирование сварной конструкции…… 24
3.3 Расчет на прочность в программе «ПАССАТ»……..…… 33
4 Разработка технологии сборки и сварки изделия……... …… 36
4.1 Разработка схемы технологического процесса изготовления изделия……..... 36
4.2 Оценка свариваемости основных материалов……..…… 37
4.3 Выбор способов сварки изделия……..…… 42
4.4 Выбор сварочных материалов……..……..... 51
4.5 Расчет параметров режимов сварки……..……..….. …… 55
4.6 Оборудование для выполнения заготовительных, сборочных, сварочных операций…….……..... 75
4.7 Техника и технология сборки и сварки конструкции……... 83
5 Контроль качества сварных соединений……..……... 85
5.1 Выбор методов контроля……..... 85
6 Проектирование средств технологического оснащения……..…..... 94
Заключение…….……..... 96
Список использованных источников…….…….. 97
Приложение А……...……..... 101
Приложение Б…… 114

Введение

В настоящее время сварка во всех промышленно развитых странах мира является одним из основных технологических процессов, широко используемых при изготовлении конструкций из металлических и неметаллических материалов.

Создание многих конструкций, например сосудов и аппаратов для ТЭС и АЭС, оборудования химической и перерабатывающей промышленности, резервуаров, цистерн автомобильного и железнодорожного транспорта без использования сварки практически невозможно. Кроме того, применение сварки позволяет создавать сложные и крупногабаритные конструкции при значительном сокращении цикла их производства и стоимости.

Широкое распространение сварных металлических конструкций обусловлено их важными преимуществами по сравнению с конструкциями других видов: высокой надежностью, легкостью, непроницаемостью, индустриальностью, простотой технического перевооружения, ремонта и реконструкции, уменьшением расходов на технологическое оборудование, улучшением условий труда.

Указанные преимущества сварных конструкций не зависят только лишь от факта использования для соединения элементов конструкций и деталей технологических процессов сварки. Они являются результатом комплексного решения ряда важных инженерных и технологических задач, к числу которых относятся вопросы, связанные с расчетом и проектированием сварных конструкций [1].

При проектировании сварных конструкций необходимо учитывать некоторые специфические особенности, к основным из которых относятся:

а) органическая связь отдельных элементов друг с другом, создаваемая сварными швами. При этом конструкция, составленная из нескольких отдельных заготовок и деталей, превращается в монолитную конструкцию, совмеща-

ющую в себе преимущества составных конструкций с достоинствами монолитных;

б) легкость придания изделию разнообразных конструктивных форм, так как при сварке в отличие от клепки и других способов соединения деталей не требуются какие-либо промежуточные соединительные элементы для их сопряжения под любыми углами, и они могут быть соединены друг с другом непосредственно;

в) возможность использования заготовок, выполненных с применением любых технологических процессов, в наибольшей степени соответствующих их назначению и экономичных при заданных размерах, форме и числе одинаковых элементов;

г) возможность применения в одной конструкции различных материалов, наиболее соответствующих тем требованиям, которые обусловливаются условиями работы различных элементов и деталей конструкций;

д) взаимное влияние элементов конструкции друг на друга и технологии ее изготовления. Выбранные конструктивные формы в известной мере ограничивают выбор технологических приемов и методов сварки, а принятая технология изготовления сварных конструкций в определенной степени влияет на изменение исходных свойств материала, на точность сохранения проектных размеров и формы конструкции и на возникновение в конструкции того или иного напряженного состояния;

е) возникновение в сварных соединениях различной неоднородности вследствие доведения свариваемых кромок до состояния плавления (при сварке плавлением) или до пластического состояния (при сварке давлением);

ж) появление остаточных деформаций и напряжений в сварных конструкциях как следствие возникновения при сварке пластических деформаций. Остаточные напряжения большой величины и нередко значительные пластические деформации способны снижать работоспособность сварных конструкций.

Изготовление конструкций сварных сложно, имеет свои особенности, включает ряд работ: получение деталей и заготовок, отвечающих необходимым

требованиям. Сварка не может производиться без этих операций. Такие операции тесно связаны со сваркой и определяют изготовление конструкций с заданными свойствами.

Усложнение конструкций, сопровождается возрастанием трудоемкости в их себестоимости и изготовлении. Именно поэтому автоматизация и механизация производства являются характерной особенностью современного производства сварочного.

В этой связи, при проектировании заданной конструкции в первую очередь рассматриваются высокопроизводительные способы сварки, которые берутся в качестве основы при разработке элементов технологического процесса.

Целью работы: разработать технологию сборки и сварки корпуса водонагревателя, обеспечивающую повышение производительности, простоты, надежности и безопасности в работе, уменьшение энерго- и металлоемкости.

Задачами являются**:**

а) спроектировать сварную конструкцию корпуса водонагревателя и средства технологического оснащения для выполнения операций сборки и сварки;

б) разработать технологию сборки и сварки корпуса водонагревателя.

Исходные данные: диаметр обечайки 330 мм. Основные конструктивные размеры водонагревателя принять в соответствии с ТР ТС 032/2013 [2]. Рабочая среда вода. Рабочее давление от 0,05 до 0,6 МПа. Внешняя среда воздух. Температура внешней среды положительная.

1 Литературно-патентный поиск

Патентные исследования это исследования технического уровня и тенденций развития объектов техники, их патентоспособности и патентной чистоты, а также уровня компетентности фирмы или частного лица в данной области.

Цель исследований – определение технического уровня и тенденций развития в области технологии сварки корпуса водонагревателя, поиск патентной и научно-технической информации.

Регламент патентного поиска это план поиска. Он состоит из определения вида исследований, вида поиска, его глубины или ретроспективности (количества лет) и его широты: перечня стран, которыми ограничивают объём поиска. В регламент входит выбор источников информации, по которым будет вестись поиск аналогов объекта, а также индекс МПК. Источники информации выбирают исходя из установленных глубины и широты поиска, учитывая при этом реальную доступность этих источников.

Выбранные элементы регламента приведены в таблице 1.1. В ней записаны также индексы МПК. В заголовке таблицы регламента указано общее название исследуемого объекта.

Регламент поиска.

Исследуемый объект: корпус водонагревателя.

Предмет поиска: технология сварки корпуса водонагревателя.

Вид исследований и вид поиска: патентные исследования, тематический поиск.

Наименование информационной базы (фонда): патентные фонды: ФИПС.

Регламент поиска приведен в таблице 1.

Таблица 1 - Регламент поиска

Предмет поиска	Индекс МПК	Широта поиска	Глубина поиска	Источники информации
Проволока для автоматической сварки	*B*23*K*35/30	Россия, Германия	10 лет	Реестр изобретений Российской Федерации ФИПС
Сварка кольцевых швов	*B*23*K*37/04	Россия, США	20 лет	Реестр изобретений Российской Федерации ФИПС
Способ автоматической в защитных газах	*B*23*K*37/00	Россия, Швеция	10 лет	Реестр изобретений Российской Федерации ФИПС
Сварочный трансформатор для дуговой сварки	*B*23*K*9/09	Россия, Германия, США	20 лет	Реестр изобретений Российской Федерации ФИПС

*B*23*K*35/30 - проволока для автоматической сварки, может быть использована для механизированной сварки и наплавки изделий из легированных сталей.

*B*23*K* 9/18 - сварочная головка и способ сварки кольцевых швов изделий сварочной головкой.

*B*23*K* 9/173 - сварка кольцевых швов.

*B*23*K*9/09 - сварочные трансформаторы для дуговой сварки.

Результаты поиска и анализ отобранной информации.

В результате поиска для последующего анализа были отобраны описания изобретений и способов, применимых для технологии сварки емкостного оборудования и резервуаров. Результаты поиска приведены в таблице 2.

Таблица 2 - Результаты поиска

Предмет поиска (объект исследования, его составные части)	Страна выдачи, вид и номер охранного документа. Классификационный индекс МПК	Заявитель (патентообладатель) номер заявки, страна, дата публикации	Название изобретения (полной модели, образца)
1	2	3	4
Проволока для механизированной сварки	Россия, *RU* 2514754 *C*2, *B*23*K*35/30	Карзов В.Н Россия, №2012136317/02, 22.08.2011.	«Порошковая проволока»
	Россия, *RU* 2511382 *C*1, *B*23*K*35/30	Хопаков В. И. Россия, №2013112797/02, 22.03.2011	«Сварочная проволока»
Сварка кольцевых швов	Россия, *RU* 147558 *U*1, *B*23*K*37/04	Захаров И. Г. Россия, №2014127028/02, 02.07.2015	«Устройство для сварки кольцевых швов»
	Россия, *RU* 2355540 *C*2, *B*23*K*37/04	Баранкин В.В. Россия, №2006142988/02, 04.12.2009	«Способ сварки кольцевых шов»
Способ автоматической сварки	Россия, *RU* 2275999 *C*2 *B*23*K* 9/173	Киселев Г. С. Россия №2004116369/02, 01.03.2004	«Способ автоматической сварки»
	Россия *RU* 20131420514 *B*23*K* 37/00	Латин А. О. Россия №2013142051/02, 13.06.2012	«Способ дуговой сварки металлов»

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4
Сварочный трансформатор для ручной дуговой сварки	Россия *RU* 2537683 *C*1 *B*23*K* 9/09	Щадрин В. А. Россия №2013132694/02, 15.04.2013	«Сварочный трансформатор для дуговой сварки»
	Россия *RU* 2449868 *C*2 *B*23*K* 9/09	Паляев А. К. Россия №2010112631/02, 31.03.2010	«Тиристорный источник питания для дуговой сварки»

Проанализировав найденную информацию и сравнив ее, сделаем вывод применительно к технологии сварки корпуса водонагревателя:

а) современный технический уровень в области сварки аналогичных изделий идет в сторону повышения уровня автоматизации сварочных процессов и производительности труда, совершенствования оборудования и сварочных материалов, что способствует увеличению качества сварного шва;

б) автоматическая сварка в среде защитных газов является наиболее эффективной при сварке кольцевых и продольных швов водонагревателей;

в) совершенствуется состав сварочной проволоки в сторону повышения качества сварного шва, придание ему требуемых механических свойств и химического состава, что в свою очередь сказывается на качестве сварного соединения.

После проведения патентных исследований цель достигнута, определен технический уровень в области сварки корпуса водонагревателя, найдена патентная информация.

2. Анализ объекта производства

2.1 Общие требования

Водонагреватель предназначен для нагрева воды до t равной 85 ºС при давлении от 0,05 до 0,6 МПа. Водонагреватель имеет две полусферы, одна из которых предназначена для установки на ней штуцеров и фланца.

Наименование рабочей среды: вода.

Согласно ГОСТ 34347-2017 [3] в зависимости от давления расчетного, рабочей температуры среды и стенки подразделяются сосуды на группы. Группы сосудов и аппаратов в соответствии с ГОСТ 12.1.007 – 76 [4] представлены в таблице 3.

Таблица 3 - Группа сосуда

Группы сосудов	Расчетное давление, МПа	Температура стенки, ºС	Характер рабочей среды
1	2	3	4
1	Выше 0,07	Независимо	Взрывоопасная или пожароопасная или 1, 2-го классов опасности по ГОСТ 12.1.007
2	Выше 0,07 до 2,5	Выше +400	–
	Выше 2,5 до 5	Выше +200	–
	Выше 4 до 5	Ниже –40	Любая, за исключением указанной для 1-й группы сосудов
	Выше 5	Независимо	
3	Выше 0,07 до 1,6	Ниже –20, Выше +200 до+400	
	Выше 1,6 до 2,5	До +400	
	Выше 2,5 до 4	До +200	

Продолжение таблицы 3

1	2	3	4
	Выше 4 до 5	От –40 до +200	
4	Выше 0,07 до 1,6	От –20 до +200	
5а	До 0,07	Независимо	Взрывоопасная или пожароопасная или 1, 2, 3–го классов опасности по ГОСТ 12.1.007
5б	До 0,07	Независимо	Взрывобезопасная, пожаробезопасная, 4–го класса опасности по ГОСТ 12.1.007

2.2 Назначение конструкции и технические требования

Согласно ТР ТС 032/2013 [2] во время проектирования аппаратов и сосудов обеспечивать следует: надежность и технологичность в течение установленного в документации технической срока службы, безопасность при монтаже, изготовлении, ремонте и диагностировании, возможность промывки и очистки, ремонта и продувки , технического контроля состояния сосуда.

Прочностной расчет сосудов и элементов проводить следует в соответствии с нормативно-технической документацией.

В каждом сосуде следует предусматривать штуцера или бобышки для слива и водой наполнения, удаления воздуха при испытаниях. С этой целью использоваться могут бобышки технологические и штуцера [1].

Расположение отверстий в днищах полусферических и эллиптических не регламентируется.

Расположение отверстий допускается на:

а) продольных швах конических и цилиндрических обечаек сосудов, если диаметр отверстий не более 150 мм;

в) кольцевых швах конических и цилиндрических обечаек сосудов без ограничения диаметра отверстий;

г) швах днищ выпуклых без ограничения диаметра отверстий при условии 100% проверки швов сварных днищ ультразвуковым или радиографическим методом;

д) швах днищ плоских [1].

Размеры основные стоек и лап для сосудов вертикальных определяются в соответствии с типовыми конструкциями и государственными стандартами.

Свойства механические наплавленного металла или металла шва должны быть не ниже требований, указанных в таблице 4.

Таблица 4 - Механические свойства металла шва и наплавленного металла

Наименование сталей	Временное сопротивление разрыву	Относительное удлинение, %	Ударная вязкость *KCU*, Дж/см^2
	при температуре 20 °С		
1	2	3	5
Углеродные, марганцовистые и марганцево-кремнистые	Не ниже нижнего значения временного сопротивления разрыву основного материала, указанного в соответствующих стандартах	18	50
Низко-легированные хромистые и хромо-молибденовые		16	
Среднелегированные хромистые, хромо-молибденовые и хромо-ванадиево-вольфрамовые		14	

Продолжение таблицы 4

1	2	3	4
Высоколегированные с особыми свойствами		По стандарту или техническим условиям на сварочный материал, а при отсутствии в них данной характеристики не менее 18	70

На плитах и листах, принятых к изготовлению днищ и обечаек, сохранять следует маркировку металла. Если плиту и лист разрезают на части, то на каждую из них следует перенести маркировку металла плит и листов. Содержать должна маркировка следующие данные:

а) марку стали (для двухслойной стали марки основного и коррозионно-стойкого слоев);

б) номер партии или плавки;

в) номер листа (для листов с полистными испытаниями и двухслойной стали);

г) клеймо технического контроля.

Следует размещать маркировку на стороне плиты и листа, не соприкасающейся с средой рабочей, в углу на расстоянии примерно 300 мм от кромок.

Предельные отклонения размеров указаны в таблице 5.

Таблица 5 – Предельные отклонения размеров поверхностей

Размеры, мм	Предельные отклонения		
	отверстий	валов	остальных
До 500	$H17$	$h17$	$\pm\frac{IT17}{2}$
Свыше 500 до 3150	$H16$	$h16$	$\pm\frac{IT16}{2}$
Свыше 3150	$H15$	$h15$	$\pm\frac{IT15}{2}$

Отклонения предельные размеров, если в документации не указаны более жесткие требования, устанавливаются:

а) для обрабатываемых поверхностей механическими способами: отверстий $H14$, валов $h14$, остальных $\frac{IT15}{2}$;

б) для поверхностей без механической обработки, а также между необработанной и обработанной поверхностями.

3 Расчет и проектирование корпуса водонагревателя

3.1 Обоснование выбора основных материалов корпуса водонагревателя

При выборе для изготовления сосудов (единиц сборочных, деталей) материалов учитывать следует: расчетное давление, температуру стенки (максимальную и минимальную), характер среды и состав химический, технологические свойства и стойкость коррозионную материалов [5].

Согласно ТУ 3615 – 001 – 25491312 – 2006 [6] марки сталей, применяемых при изготовлении корпусов аппаратов, и температурные пределы применения аппаратов в зависимости от материального исполнения корпуса аппарата приведены в таблице 6.

Таблица 6 - Марки сталей, применяемых при изготовлении корпусов аппаратов [5]

Шифр материального исполнения	Марка стали	Рабочая температура стенки аппарата, °С	
		Минимальная	Максимальная
1	Ст3сп5 ГОСТ 380	- 20	300
2	16ГС–6, 16ГС12	- 40	
	09Г2С–8,09Г2С15	- 70	
3	12Х18Н9Т; 10Х17Н13М2Т	- 70	

Так как проектируемый корпус водонагревателя эксплуатируется в агрессивной среде (воде) при высоких температурах, то в качестве основных материалов для его изготовления рекомендуются высоколегированные стали. Выбираем сталь 12Х18Н9Т по ГОСТ 5632 – 2014 [11], относящуюся к группе к группе основных материалов *М*11 (*W*11). Это высоколегированные стали аустенитно-ферритного и аустенитного классов.

Сталь марки 12Х18Н9Т рекомендуется применять в виде сортового металла и горячекатаного листа, не изготовляемого на станах непрерывной прокатки. По ГОСТ 19903 – 74 [8] листовая горячекатаная сталь шириной 500 мм и более, изготовляемая в листах толщиной от 0,40 до 160 мм и рулонах толщиной от 1,2 до 12 мм. Предельные отклонения по ширине горячекатаного листа с кромкой обрезной, в рулонах поставляемой, превышать не должны:

а) 2 мм при ширине от 500 до 1000 мм;

б) 5 мм при ширине свыше 1000 до 1600 мм;

в) 7 мм при ширине свыше 1600 мм;

С обрезной кромкой, поставляемой в листах, не должны превышать:

а) 6 мм при ширине до 800 мм;

б) 10 мм при ширине свыше 800 мм.

в) с необрезной кромкой не должны превышать 20 мм.

Прокат, поставляемый в листах с обрезной кромкой, должен быть обрезан под прямым углом. Косина реза и серповидность не должна выводить листы за номинальный размер.

По требованию потребителя листовой прокат изготовляют со следующими предельными отклонениями по длине [9]:

а) 5 мм - при длине листов до 1500 мм;

б) 6 мм - при длине листов св. 1500 до 2000 мм;

в) 10 мм - при длине листов св. 2000 до 3000 мм;

г) 20 мм - при длине листов св. 3000 мм

Масса квадратного метра стального листа по ГОСТ 19903 – 2015 [8] и по ГОСТ 19904 – 90 [10] при толщине 2,5 мм равна 16,2 кг.

Химический состав стали 12Х18Н9Т по ГОСТ 5632 – 2014 [11] приводится в таблице 7.

Таблица 7 - Массовая доля элементов в стали 12Х18Н9Т

Химический элемент	Углерод (C)	Кремний (Si)	Медь (Cu)	Марганец (Mn)	Никель (Ni)	Титан (Ti)	Хром (Cr)	Сера (S)	Фосфор (P)
Содержание, %	< 0,12	< 0,8	< 0,30	< 2,0	8,0 - 10,0	0,60 - 0,80	17,0 - 19,0	0,020	0,0350

Механические свойства листов из стали 12Х18Н9Т по ГОСТ 5632 – 2014 [11] приведены в таблице 9.

Таблица 8 - Механические свойства стали 12Х18Н9Т

Состояние поставки, режимы термообработки	Сечение, мм	Условный предел текучести $\sigma_{0,2}$, МПа	Предел прочности $\sigma_в$, МПа	Относительное сужение ψ, %
Листы горячекатаные и холоднокатаные: закалка 1000 - 1080 °С, вода или воздух. закалка 1050 - 1080 °С, вода или воздух.	Св. 4 До 3,9	236 205	530 530	55

Исходя из конструкторских соображений выбрали марку стали, определили основные параметры и сортамент стали 12Х18Н9Т.

Изделие представляет собой конструкцию цилиндрической формы с следующими размерами: толщина *S*=2,5 мм, высота *H*= 594 мм. Обечайка изображена на рисунке 1.

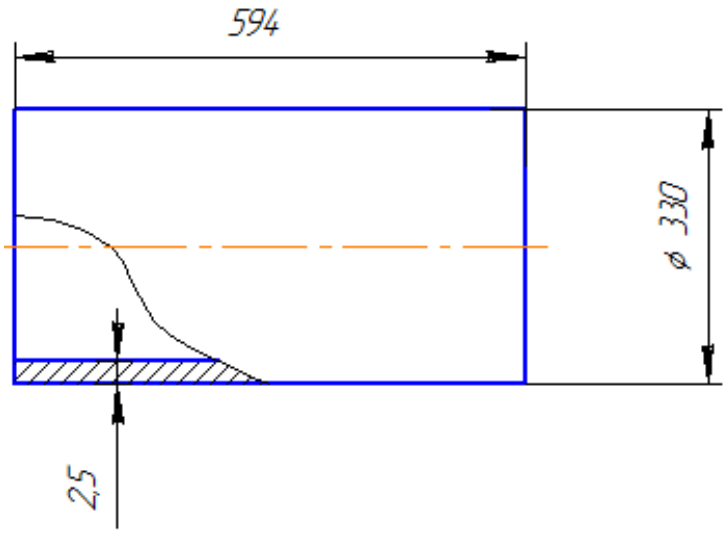


Рисунок 1 - Обечайка

Материал - сталь 12Х18Н9Т по ГОСТ 5632 – 2014 [11], высоколегированные стали, применяемые в сварных конструкциях, относятся к группе основных материалов *M*11 (*W*11).

Рассчитываем размеры заготовки, выбираем лист шириной 600 мм без учета ширины реза [12].

Рассчитываем длину листа заготовки по формуле [12]:

$$L = \pi \cdot d + 1 \cdot S, \quad (1)$$

где d - диаметр обечайки водонагревателя, мм.

S - толщина листа заготовки, мм.

$$L = 3{,}14 \cdot 330 + 2{,}5 = 1040 \text{ мм}$$

По ГОСТ 19903 – 74 [5] выбираем стандартный лист длиной L = 2100 мм, шириной 600 мм толщиной 2,5 мм. Для достижения меньшего количества отходов размещаем на одном стандартном листе 2 заготовки обечайки.

На рисунке 2 изображен лист заготовок, размеченных на стандартном листе.

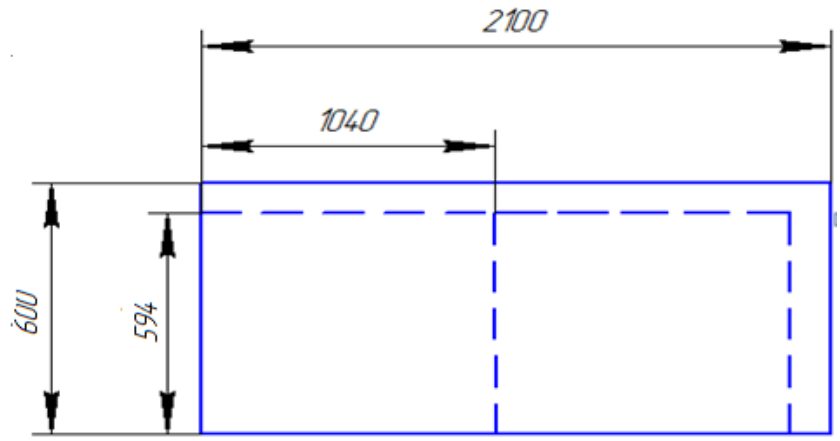


Рисунок 2 - Лист заготовки, размеченный на стандартном листе

Выбор размеров листа произведен с учетом минимизации отходов.

Рассчитываем коэффициент использования материала по формуле [12]:

$$K_{им} = \frac{F_з}{F_и}, \quad (2)$$

где $K_{им}$ - коэффициент использования материала;

$F_з$ - площадь заготовки, мм^2;

$F_и$ - площадь листа, мм^2.

$$K_{им} = \frac{1235520}{1260000} = 0{,}98$$

Изделие представляет собой эллиптическое днище со следующими размерами: толщина S=2,5 мм, диаметр d=330 мм. Обечайка изображена на рисунке 3.

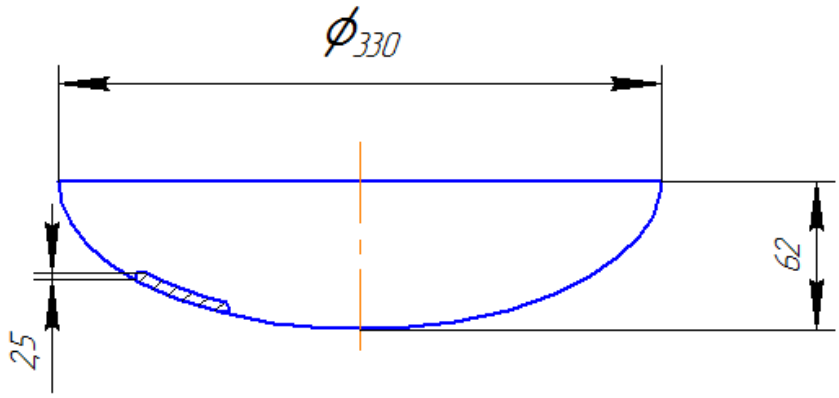


Рисунок 3 - Эллиптическое днище

Материал - сталь 12Х18Н9Т по ГОСТ 5632 – 2014 [11] «Прокат листовой из углеродистой низколегированной и легированной стали для котлов и сосудов, работающих под давлением», высоколегированные стали, применяемые в сварных конструкциях, относятся к группе основных материалов *М*11 (*W*11).

Рассчитываем размеры заготовки, выбираем лист шириной 600 мм без учета ширины реза [12].

Рассчитываем длину листа заготовки по формуле (1):

$$L = 3{,}14 \cdot 330 + 2{,}5 = 1835 \text{ мм}.$$

По ГОСТ 19903 – 74 [7] выбираем стандартный лист длиной *L*=2000 мм, шириной 670 мм толщиной 2,5 мм. Для достижения меньшего количества отходов размещаем на одном стандартном листе 6 заготовки днища.

На рисунке 4 изображен лист заготовок, размеченных на стандартном листе.

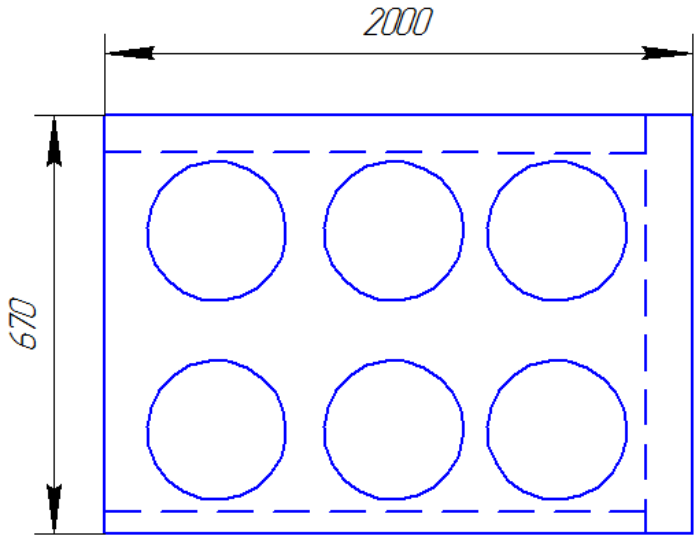


Рисунок 4 - Лист заготовок, размеченных на стандартном листе

Выбор размеров листа произведен с учетом минимизации отходов.

Рассчитываем коэффициент использования материала по формуле (2) [12]:

$$K_{им} = \frac{8983000}{9575000} = 0{,}94$$

Так как рассчитанные коэффициенты использования материала получился близким к единице, следовательно, технологические потери материала очень малы.

3.2 Расчет и проектирование сварной конструкции

Корпус водонагревателя, представленный на рисунке 5, состоит из следующих основных частей: цилиндрической обечайки *1* из стали 12Х18Н9Т ГОСТ 19281 – 2014 [7], двух эллиптических днищ *2*, двух штуцеров *3* и одного фланца *4*.

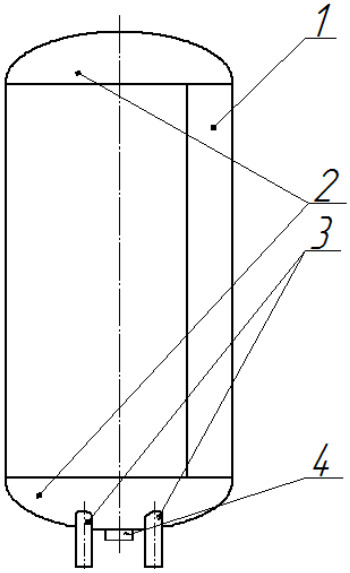


Рисунок 5 - Проектируемый корпус водонагревателя: 1 - обечайка, 2 - эллиптические днища, 3 - штуцера, 4 - фланец

Диаметр обечайки D и длина L в соответствии с исходными данными на проектирование составляет 330 мм и 594 мм соответственно.

Согласно ГОСТ 14249 – 89 [13] рассчитаем толщину стенки цилиндрической части аппарата по формуле [12]:

$$\delta = \frac{PD}{2[\sigma]\cdot\varphi - P} + c, \qquad (3)$$

где P - расчетное (избыточное) внутреннее давление, принимаемое с учетом последующих испытаний равным $P_{пр}$,, МПа;

D - диаметр рассчитываемого элемента, мм;

$[\sigma]$ - допускаемое напряжение при растяжении, МПа;

φ - коэффициент прочности сварных швов;

c - прибавка к расчетной толщине стенки, мм.

Для пластичных материалов с вязким механизмом разрушения, к которым относится большинство конструкционных сталей, расчет допускаемого напряжения проводится по формуле [12]:

$$[\sigma] = \frac{\sigma_T}{n}, \quad (4)$$

где n - коэффициент запаса прочности;

σ_T - физический или условный ($\sigma_{0,2}$) предел текучести материала.

Принимая в расчетах значения коэффициентов n=1,6; c=1 и φ=1, а также $\sigma_{0,2}$=236 МПа для стали 12Х18Н9Т получим:

$$[\sigma] = \frac{236}{1,6} = 147,5 \text{ МПа}$$

Подставляя в формулу (3), найденное значение $[\sigma]$ получим:

$$\delta = \frac{0,9 \cdot 330}{2 \cdot 147,5 \cdot 1 - 1} + 1 = 2,45 \text{ мм}$$

Согласно ГОСТ 19903 – 74 [7] принимаем стандартную толщину стенки обечайки водонагревателя δ равно 2,5 мм.

Толщина эллиптических днищ бака определяется по формуле [12]:

$$\delta = \frac{PD}{4[\sigma] \cdot \varphi} \cdot \frac{D}{2b} + C \quad (5)$$

где b - высота выпуклой части днища, мм.

Принимая $\sigma_{0,2}$=236 МПа для стали 12Х18Н9Т и подставляя числовые значения в выражение 4, получим:

$$\delta = \frac{0,9 \cdot 330}{4 \cdot 147,5 \cdot 1} \cdot \frac{330}{2 \cdot 62} + 1 = 2,3 \text{ мм}$$

Согласно ГОСТ 19903 – 74 [7] принимаем стандартную толщину эллиптического днища аппарата δ равно 2,5 мм.

Исходя из конструкции корпуса водонагревателя выделяем в нём четыре сварных соединения - стыковое (продольный шов обечайки), два угловых (соединение штуцеров с днищем), два нахлесточных (соединение обечайки с днищами) и одно тавровое (соединение фланца с днищем) [14].

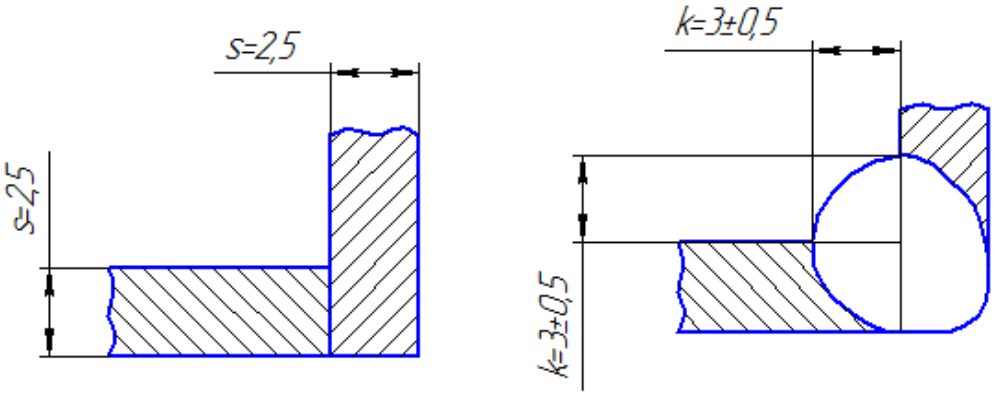
По конструктивным соображениям и последовательности выполнения технологического процесса вначале спроектируем сварной узел, состоящий из днища, штуцера и фланца.

Толщину стенки штуцеров принимаем 2,5 мм, а его диаметр 20 мм в соответствии с АТК 24.218.06 – 90 [15], выбираем фланец в соответствии с ГОСТ 12820 – 80 [16] из стали 12Х18Н9Т.

Согласно ГОСТ 14771 – 76 [17] для сварки штуцеров принимаем тавровое соединение типа Т1. Конструктивные элементы подготовленных кромок свариваемых деталей и шва сварного соединения представлены на рисунке 6.

Согласно выполненному ранее расчету и нормативным документам ГОСТ 14771 – 76 [17], кромки деталей и сварной шов имеют следующие конструктивные параметры: толщина *S*=2,5 мм.

Для сварки сварных соединений №4, №5, №6 принимаем автоматическую сварку в среде аргона.



а) б)

Рисунок 6 - Конструктивные элементы подготовленных кромок свариваемых деталей и сварного шва: а) - эскиз соединения; б) - эскиз шва сварного днища и штуцера типа Т1 по ГОСТ 14771 – 76 [17]

Для углового шва определяем площадь поперечного сечения шва по формуле [12]:

$$F = \beta \cdot h_{ш} \cdot L_{ш}, \quad (12)$$

где β - коэффициент определения расчетной толщины углового шва;

$h_ш$ - толщина углового шва, мм.

В случае аргоно-дуговой сварки в среде инертных газов β =0,7.

Для рассматриваемого углового сварного соединения №2, №3 величина $h_ш$ будет определяться по формуле [12]:

$$h_{ш} = \sqrt{e^2}, \quad (13)$$

где e – принятое среднее арифметическое от предельных значений.

$$h_{ш} = \sqrt{10^2} = 10 \text{ мм}$$

Для проектируемого штуцера корпуса водонагревателя длина сварного шва определяется по формуле (11) [12]:

$$L_{ш} = 3{,}14 \cdot 20 - 10 = 52{,}8 \text{ мм}$$

Допускаемое напряжение при срезе $[\tau]$ определяется по формуле [12]:

$$[\tau] = (0{,}5 \dots 0{,}65) \cdot [\sigma], \quad (14)$$

где σ - напряжение в сварном соединении, МПа.

$$[\tau] = (0{,}5 \dots 0{,}65) \cdot 147{,}5 = 107{,}8 \dots .140{,}14 \text{ МПа}$$

При это растягивающее напряжение *N* определяется по формуле (7):

$$N = 0{,}9 \cdot 314 = 282{,}6 \text{ Н}$$

Площадь поперечного сечения *F* определяется по формуле (8):

$$F = 0{,}7 \cdot 10 \cdot 52{,}8 = 369{,}6 \text{ мм}^2$$

Значение П для штуцера будет определяться по формуле [12]:

$$П = \pi \cdot \frac{d_{ш}^2}{4}, \quad (15)$$

где $d_ш$ - диаметр штуцера, мм.

$$П = 3{,}14 \cdot \frac{20^2}{4} = 314 \text{ мм}^2,$$

$$\tau = \frac{0{,}28 \cdot 1000}{0{,}7 \cdot 10 \cdot 52{,}8} = 0{,}75 \ \leq [\tau] = 107{,}8 \text{ Н/ мм}^2.$$

Так как вычисленное значение напряжения на срез в угловом сварном шве, равное 0,75 МПа меньше нормативного значения 107,8 МПа, то сварные швы №4, №5 и №6 работоспособны.

Конструкция корпуса водонагревателя позволяет выполнять одностороннюю сварку сварного соединения №1. В этой связи можно принять односторонние соединения, выполняемые без остающейся подкладки (на весу). Способ будет более технологичным, так как в этом случае отпадает необходимость в изготовлении подкладок. Исходя из этого назначаем одностороннее сварное соединение без подкладки.

Анализ типов односторонних соединений в ГОСТ 14771 – 76 [15] при известной толщине стенки обечайки и днищ показывает, что лучшее проплавление корня шва обеспечит стыковое соединение без скоса кромок. Этому условию отвечает тип соединения С2, для которого конструктивные элементы подготовленных кромок свариваемых деталей и шва представлены на рисунке 8.

Проектируемое сварное соединение №1 рисунок 7 должно быть проверено на прочность. Проверка прочности сварного шва производится по формуле [12]:

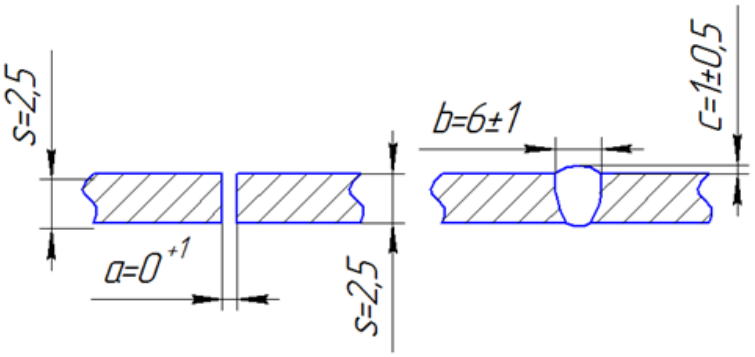
$$\sigma = \frac{N}{F} \leq [\sigma], \qquad (6)$$

где σ - напряжение в сварном соединении, МПа

N - продольная нагрузка, растягивающая шов, Н;

F - площадь поперечного сечения шва, мм^2;

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



а) б)

Рисунок 7 - Конструктивные элементы подготовленных кромок свариваемых деталей и сварного шва: а) - эскиз соединения; б) - эскиз шва

Расчетная толщина стенок $S=S_1=2{,}5$ мм; $b=7$мм; $c=1$мм.

К данному моменту неизвестными величинами в формуле (6) являются параметры N и F, которые при известной геометрии конструкции изделия и сварных соединений и при заданном давлении будут рассчитываться по формуле [12]:

$$N = P_{\text{пр}} \cdot \text{П}, \qquad (7)$$

где $P_{пр}$ - пробное давление, МПа;

П - площадь поверхности рассчитываемого элемента, мм^2.

$$F = \delta \cdot L_{\text{ш}}, \qquad (8)$$

где δ - толщина рассматриваемого элемента, мм;

$L_ш$ - длина шва, мм.

Длина рассчитываемого сварного шва $L_ш$ находится как длина окружности свариваемых деталей по наружной поверхности за вычетом технологической составляющей $\Delta=10$ мм, так как шов выполняется без вводных технологических планок определяется по формуле [12]:

$$L_{ш} = \pi \cdot D - 10 \quad (10)$$

$$L_{ш} = 3{,}14 \cdot 330 - 10 = 1026{,}2 \text{ мм}$$

Так как в конструкции водонагревателя применяется обечайка, площадь ее внутренней (расчетной) поверхности, на которую действует избыточное давление, определяется по формуле [12]:

$$П = \pi \cdot D \cdot l, \quad (11)$$

где l – длина обечайки, мм.

$$П = 3{,}14 \cdot 33 \cdot 59{,}4 = 6155{,}028 \text{ мм}$$

Исходя из равномерного распределения давления по всей площади поверхности обечайки водонагревателя растягивающее усилие по формуле (7) определится:

$$N = 0{,}9 \cdot 6155{,}028 = 5539{,}52 \text{ Н}$$

Подставляя полученные значения в выражение (5) получим:

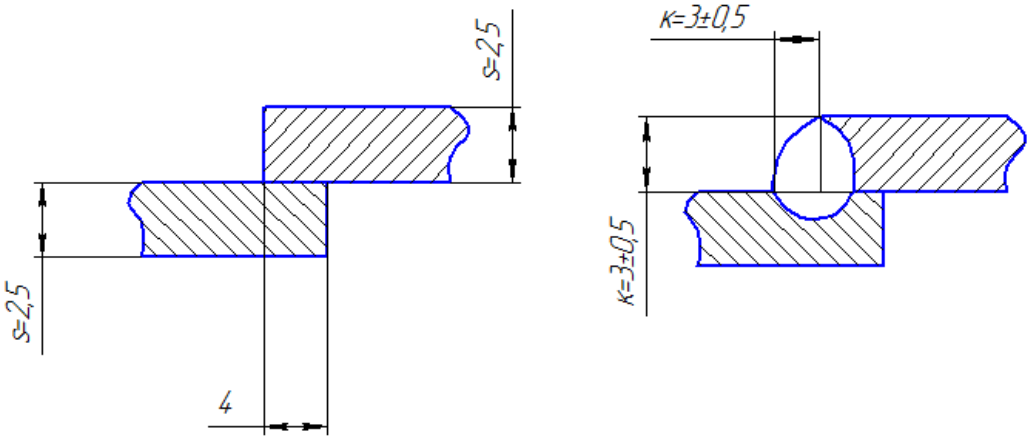
$$\sigma = \frac{5{,}53 \cdot 1000}{2{,}5 \cdot 1026{,}2} = 2{,}15 < 147{,}5 \text{ МПа}$$

Так как вычисленное значение напряжения в сварном шве, равное 2,15 МПа меньше нормативного значения 147,5 МПа сварное соединение №1 работоспособно.

Выполненный сварной узел приваривается к обечайке. Для приварки днищ к обечайке также принимаем способ автоматическая сварка в среде аргона. Геометрические параметры сварных соединений при приварке днищ к обе-

чайке в этом случае будут регламентироваться ГОСТ 14771 – 76 [17] принимаем нахлесточное соединение типа Н1. Конструктивные элементы подготовленных кромок свариваемых деталей и шва сварного соединения представлены на рисунке 7.

Нахлесточное соединение №2 и №3 днища с обечайками представленно на рисунке 8.



а) б)

Рисунок 8 - Конструктивные элементы подготовленных кромок свариваемых деталей и сварного шва: а) - эскиз соединения; б) - эскиз шва

Так как в конструкции водонагревателя применяются эллиптические днища, площадь их внутренней (расчетной) поверхности, на которую действует избыточное давление, определяется по формуле [12]:

$$П = \frac{1}{2} \cdot \pi \cdot \frac{D \cdot H}{4}, \quad (9)$$

где H - высота днища, мм.

При известном диаметре днища равном 330 мм и высоты днища равной 62 мм расчетная площадь поверхности П составит:

$$П = \frac{1}{2} \cdot 3{,}14 \cdot \frac{330 \cdot 62}{4} = 8030{,}5 \text{ мм}^2$$

Расчет нахлесточного соединения №2, №3, рисунок 6 проводится по формуле [12]:

$$\tau = \frac{N}{F} \leq [\tau] , \qquad (11)$$

где τ - напряжение среза в угловом сварном соединении, МПа;

N - продольная нагрузка, растягивающая шов, кН;

F - площадь поперечного сечения шва, мм^2;

$[\tau]$ - допускаемое напряжение при срезе, МПа.

3.3 Расчет на обечайки прочность в программе «ПАССАТ»

На рисунке 9 приведена схема обечайки.

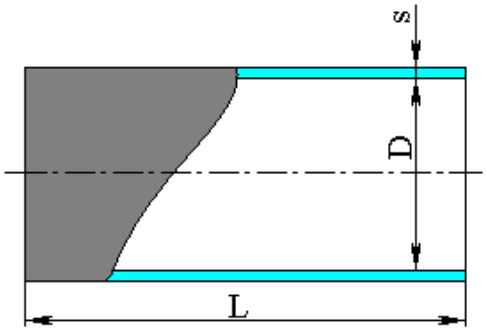


Рисунок 9 - Схема обечайки: D – диаметр обечайки; S – толщина; L – длина обечайки

В таблице 9 приведены исходные данные для стали 12Х18Н9Т.

Коэффициенты прочности сварных швов равны:

а) для продольного шва: $\varphi_р$=0,9;

б) для окружного шва: $\varphi_г$=0,9.

Расчёт в рабочих условиях.

Таблица 9 - Исходные данные

Параметры	Значения
Внутр. диаметр *D*, мм	330
Толщина стенки *s*, мм	2,5
Прибавка для компенсации коррозии и эрозии c_1, мм	0,5
Прибавка для компенсации минусового допуска c_2, мм	0,8
Прибавка технологическая c_3, мм	0
Сумма прибавок к расчётной толщине стенки *c*, мм	1,3
Длина обечайки *L*, мм	594

Условия нагружения представлены в таблице 10.

Таблица 10 - Условия нагружения

Параметры	Значения
Расчётная температура T, ºC	20
Расчётное внутреннее избыточное давление p, Мпа	0,2041
Расчётный изгибающий момент, *M*, Н·м	0
Расчётное поперечное усилие *Q*, Н	0
Расчётное осевое растягивающее усилие *F*, Н	0

Расчёт на прочность и устойчивость по ГОСТ 34233.3-2017 [18].

Допускаемые напряжения для материала 12Х18Н9Т при температуре T = 20 °C (рабочие условия) равны: $[\sigma]^{20}$=184 МПа.

Модуль продольной упругости для материала 12Х18Н9Т при температуре T = 20 C: $E^{20}=2\cdot 10^5$ МПа.

Гладкая обечайка, нагруженная внутренним избыточным давлением.

Расчётная толщина стенки с учётом прибавок определяется по формуле:

$$s_p + c = \frac{p \cdot D}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p - p}$$

$$s_p + c = \frac{0{,}2041 \cdot 330}{(2 \cdot 184 \cdot 0{,}9 - 0{,}2041) - 1{,}3} = 1{,}501 \text{ мм}$$

Заключение: Условие работоспособности 1,501 мм ≤ 2,5 мм выполнено.

Допускаемое давление определяется по формуле:

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

$$[p] = \frac{2 \cdot 184 \cdot 0{,}9 \cdot (2{,}5 - 1{,}в)}{330 + 2{,}5 - 1{,}3} = 0{,}913 \text{ МПа}$$

Заключение: Условие прочности 0,913 МПа ≥ 0,2041 МПа выполнено.

4 Разработка технологии сборки и сварки изделия

4.1 Разработка схемы процесса технологического изготовления изделия

Корпус водонагревателя собирается и сваривается из нескольких деталей: днища, обечайка, фланец, штуцера.

В свою очередь одно из днищ состоит из фланца и двух штуцеров.

а) выбор сортамента листов;

б) разметка листов под обечайку и днища;

в) раскрой листов по размерам производим на станке с ЧПУ ПРМ-1;

г) вальцовку обечайки из заготовки производим на вальцах трёхвалковых электромеханических МГ - 1500 - В - У;

д) производим штамповку днищ из заранее выполненной заготовки с помощью штампа *АЕ* - 255 *NT*;

е) сварку продольного шва обечайки выполняем автоматической сваркой в среде защитного газа (аргона) по ГОСТ 14771 – 76 [17] сварочной проволокой Св – 08Х19Н10Б по ГОСТ 2246 – 70 [19] на оборудовании *Mecome BR*1000;

ж) производим развальцовку днищ на станке *EF*35/2000;

з) выбираем размер штуцера в соответствии с ГОСТ 5890–78 [20] и фланца в соответствии ГОСТ 33259 – 2015 [21];

и) сварка фланца с днищем дуговой сваркой на оборудовании *BTW* 116;

к) сварка штуцеров и днища полуавтоматической сваркой *NB – M* 31;

л) сборку под сварку обечайки и днищ производим на оборудовании *Pro-Arc CW* – 350 *R*;

м) сварку кольцевых швов обечайки выполняем автоматической сваркой в среде защитного газа (аргона) по ГОСТ 14771 – 76 [17] сварочной проволокой Св – 08Х19Н10Б по ГОСТ 2246 – 70 [19] на оборудовании *ProArc CW* - 350*R*.

4.2 Выбор метода получения заготовок в машиностроении

При разработке технологического процесса нужно оценить свариваемость металла изделия и назначить при необходимости определенные операции, уменьшающие или исключающие отрицательное воздействие тех или иных компонентов на качество.

Свариваемость - свойство металлов или металлов сочетания образовывать при установленной технологии сварки соединение, которое отвечает требованиям, которые обусловлены в конструкции и эксплуатации изделия. В практике сварочной существуют следующие понятия, как технологическая и физическая свариваемость [21].

Свариваемость физическая подразумевает возможность получения сварных соединений монолитных со связью химической. Такой свариваемостью преимущественно обладают практически все сплавы технические и металлы чистые [21].

Свариваемость технологическая – характеристика металла, которая определяет реакцию его на способность образовывать соединение сварное с заданными эксплуатационными свойствами воздействие сварки. При этом случае свариваемость рассматривается как степень соответствия свойств сварных соединений свойствам одноименным основного металла или их нормативным значениям [21].

Из перечисленных параметров наиболее существенным при сварке и наплавке углеродистых и легированных сталей является сопротивляемость образованию трещин.

Холодные трещины чаще всего возникают из-за закаливаемости стали при быстром охлаждении и насыщении металла шва и зоны термического влияния водородом. Они, как правило, зарождаются по истечении некоторого времени после сварки и наплавки и развиваются в течение нескольких часов или даже суток.

Горячие трещины чаще всего возникают при ослаблении деформационной способности металла из-за появления в структуре легкоплавких хрупких эвтектик, дефектов кристаллического строения, внутренних и внешних напряжений.

Свариваемость стали обеспечивается технологией ее изготовления и составом химическим.

Стали высоколегированные для изготовления конструкций сварных, к которым относится сталь 12Х18Н9Т, отличаются хорошей свариваемостью. Снижать свариваемость могут примеси вредные, если содержание их превышает норму. Примеси вредные могут ухудшать свариваемость даже и при среднем их содержании, из нормы не выходящей, если они образуют скопления местные, например, вследствие ликвации.

Вредными для сварки элементами в стали высоколегированной являются сера и фосфор, причём последняя особенно склонна к ликвации с образованием скоплений местных.

Отрицательное влияние на свариваемость может оказывать также засорённость неметаллическими включениями и металлогазами.

Простейшая оценка свариваемости аустенитных сталей проводится по хромо-никеевому эквиваленту.

Расчет оценки свариваемости:

$$Cr_{экв} = Cr + Mo + 2Al + 2Ti + Nb + W + 0{,}5Ta + 1{,}5Si$$

$$Cr_{экв} = 18 + 2 \cdot 1 = 20$$

$$Ni_{экв} = Ni + 30C + 0{,}5Mn$$

$$Ni_{экв} = 10 + 30 \cdot 0{,}12 = 13{,}6$$

$$\frac{Cr_{экв}}{Ni_{экв}} = \frac{20}{13{,}6} = 1{,}47$$

Эквивалент хрома и никеля для стали 12Х18Н9Т составляет 1,47 (более 1), что позволяет считать эту сталь свариваемой без ограничений.

При этом при сварке изделий при положительной температуре воздуха предварительный и сопутствующий подогрев не требуется.

Главным при выборе заготовки является обеспечение ее минимальной себестоимости и заданного качества готовой детали. Выбор заготовки связан с технико-экономическим расчетом себестоимости детали готовой, выполняемым для заданного объема годового выпуска с учетом других условий производства.

Процессы технологические получения заготовок определяются, как технологическими свойствами материала, конструктивными формами и размерами детали так и программой выпуска.

При выборе технологических процессов и методов получения заготовок учитываются прогрессивные тенденции развития технологии машиностроения. Решение задачи формообразования деталей целесообразно перенести на заготовительную стадию и тем самым снизить расход материала, уменьшить долю затрат на механическую обработку в себестоимости готовой детали.

Заготовки, поступающие на обработку, соответствовать должны утвержденным условиям техническим. Поэтому подвергают заготовки техническому контролю по инструкции, устанавливающей метод контроля, периодичность, количество проверяемых заготовок в процентах к выпуску. Проверке подвергают механические свойства и состав химический материала, структуру и наличие внутренних дефектов, размеры и массу заготовки.

Основные способы производства заготовок это сварка, обработка давлением, литье. Определяется выбор способов получения заготовки технологическими свойствами металла. Способ получения заготовки определяется назначением и конструкцией деталей машин, требованиями к точности и чистоте поверхности, материалом. При этом учитываются: тип производства и экономическая целесообразность.

Заготовки получают литьем практически любых размеров. В изготавливаемых отливках могут присутствовать сложные полости внутренние с поверхностями криволинейными, пересекающимися под углами различными. Точность и качество размеров поверхностей зависят от способа литья. Некоторыми специ-

альными способами литья можно получать заготовки, требующие минимальной механической обработки.

Можно отливки изготавливать почти из всех металлов и сплавов. Механические свойства отливки в большой степени зависят от условий кристаллизации металла в форме. Внутри стенок возможно образование следующих дефектов: пористость, холодные и горячие, усадочные рыхлоты, трещины, которые обнаруживаются только после механической черновой обработки.

Профили машиностроительные изготавливают прессованием, волочением, прокаткой. Методы эти позволяют получить наиболее близкие к готовой детали по сечению поперечному заготовки. Выпускают прокат калиброванный и горячекатаный. Необходимый для изготовления заготовки профиль, можно прокалибровать волочением.

Для изготовления заготовок в единичном производстве применяется ковка. При производстве уникальных и крупных заготовок (до 300 т) ковка это единственный возможный метод обработки давлением.

Из достаточно пластичных металлов заготовки получают обработкой давлением. Механические свойства таких заготовок всегда выше, чем литых.

Заготовки сварные изготавливают различными способами сварки начиная от электродуговой и заканчивая электрошлаковой. В некоторых случаях сварка значительно упрощает изготовление заготовки, особенно, сложной конфигурации. Наиболее слабым местом заготовки сварной является околошовная зона или сварной шов. Их прочность, как правило, ниже, чем у основного металла. Неправильная технология сварки или конструкция заготовки могут привести к дефектам (пористость, внутренние напряжения, коробление), которые трудно исправить механобработкой.

Комбинированные заготовки сложной конфигурации дают весомый экономический эффект при изготовлении элементов заготовки литьем, штамповкой, прокаткой с последующей сваркой элементов. Заготовки комбинированные применяют при изготовлении станин кузнечно-прессового оборудования,

крупных коленчатых валов, рам строительных машин и многих других изделий [12].

При выборе материалов для изготовления сосудов следует учитывать: температуру стенки, расчетное давление, (максимальную и минимальную), характер среды и химический состав, коррозионную стойкость и технологические свойства материалов.

Для изготовления сосудов и их элементов должны применяться основные материалы, приведенные в ПБ 03.584 – 03 [23].

Раскрой листа производим на установке плазменной резки с ЧПУ ПРМ–1, изображенной на рисунке 11.

Рисунок 10 – Плазменная установка ПРМ - 1

Технические характеристики плазменной установки ПРМ - 1 приведены в таблице 12.

Таблица 12 - Технические характеристики плазменной установки ПРМ - 1

Параметры	Значения
Габариты станка (Д/Ш/В), мм	4000/2300/1700
Рабочей зоны, мм	3730/1680
Вес, кг	1300
Перемещения	
Наибольшие перемещения по осям *X* (продольная) / *Y* (поперечная)/*Z* (вертикальная), мм	3300/1540/200

Точность позиционирования, мм	+/– 0,1
Повторяемость, мм	+/– 0,1
Скорости быстрых (холостых) перемещений по осям (*X*,*Y*,*Z*), м/мин	*X*,*Y* до 20, *Z* до 3
Скорости рабочих перемещений по осям (*X*,*Y*,*Z*), м/мин	в зависимости от толщины и силы тока
Тип передачи по осям	*X*,*Y* - шестерня–рейка *Z* -ШВП
Электрооборудование	
Тип привода	шаговый двигатель с ременным редуктором
Тип инверторного источника питания	*Hypertherm Powermax* или *MAXPRO*200
Тип системы ЧПУ	Mach 3
Напряжение, В	380
Потребляемая мощность, кВт	2

4.3 Выбор и обоснование способов сборки и сварки

Универсальные приспособления для сборки, как правило, просты и выполняются переносными. Они не всегда обеспечивают необходимую точность и рассчитаны на проверку правильности сборки и установочных размеров.

Переносные зажимы предназначены для фиксации взаимного положения свариваемых деталей. Их изготовляют в виде струбцин и болтовых зажимов, представленных на рисунке 11а и 11б, позволяющих собирать детали любого профиля. Для сварки изделий из листового проката применяют клиновые скобы, представленные на рисунке 11в и 11г. Для фиксации двух тонких листов при сварке бортового шва служат пружинные зажимы рисунок 11д.

Магнитные зажимы отличаются быстротой действия, простотой и маневренностью. Они основаны на использовании естественных или искусственных магнитов, питаемых постоянным током от сети или от источника сварочного тока. На рисунке 12 показана типовая конструкция электромагнита и различные

примеры его применения. Он представляет собой магнитопровод, состоящий из внешнего *6* и внутреннего *2* кольцевых полюсов с днищем *3*, внутри которых размещена катушка *5*. Ток включается выключателем, вмонтированным в скобу 4.

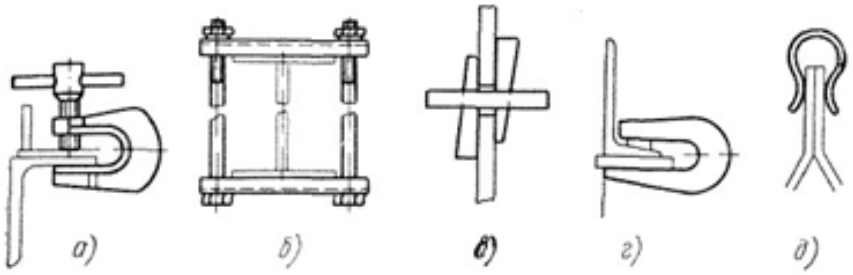


Рисунок 11 - Переносные зажимы для сборки деталей: а) - струбцина, б) - болтовой зажим, в) - клиновая скоба, г) - зажимная скоба, д) - пружинная скоба

Магниты используются для выравнивания кромок, для их прижатия к флюсовой подушке, представленные на рисунке 12б, для создания опоры рычажных рисунок 12в или винтовых рисунок 12г прижимов и т. д. В последнее время все чаще применяют естественные магниты, рассчитанные на сравнительно небольшие усилия прижатия, преимущественно для сборки деталей и прихватки под сварку.

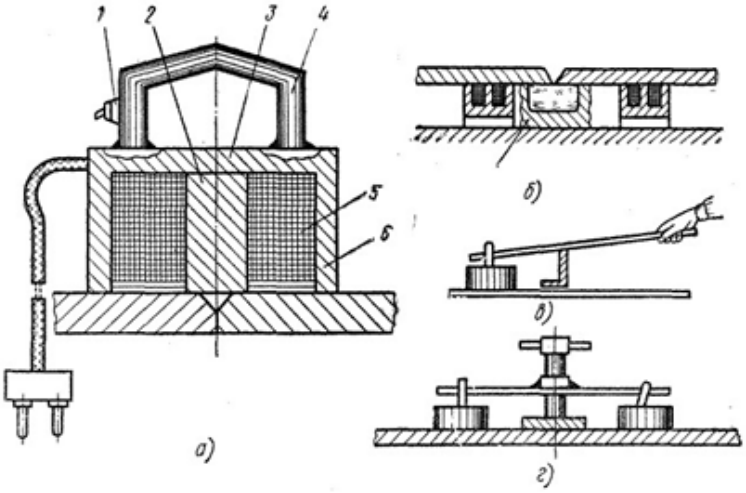


Рисунок 12 - Электромагнитные зажимы: а - схема зажима, б, в, г - примеры применения зажима;1 - выключатель, 2 - внутренний полюс, 3 - днище, 4 - скоба, 5 - катушка, в - внешний полюс, 7 - флюсовая подушка

На рисунке 13а представлен магнит для сборки углового соединения, на рисунке 13б, 13в, 13г универсальное приспособление для сборки соединений с различным сочетанием деталей.

Прихваты используют в основном при монтаже крупных конструкций представленные рисунке 13. Отдельные элементы прихватов временно привариваются к собираемым деталям, а после сварки удаляют. Прихваты бывают жесткие и регулируемые.

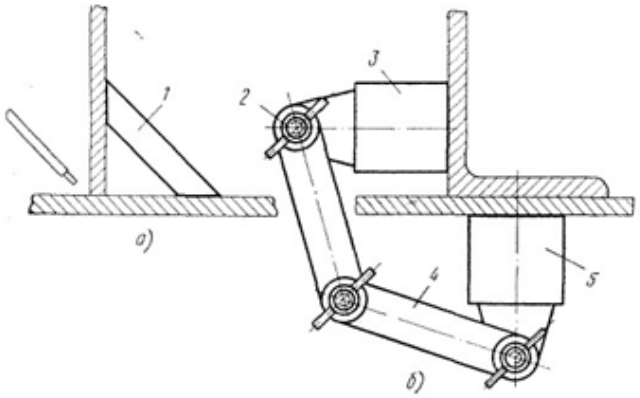


Рисунок 13 - Прижимы с постоянными магнитами: а) - для сборки углового соединения; б) - для сборки соединений с различным сочетанием деталей; 1 - угловой магнит, 2 - зажим, 3, 5 - магнитные элементы, 4 - рычаг

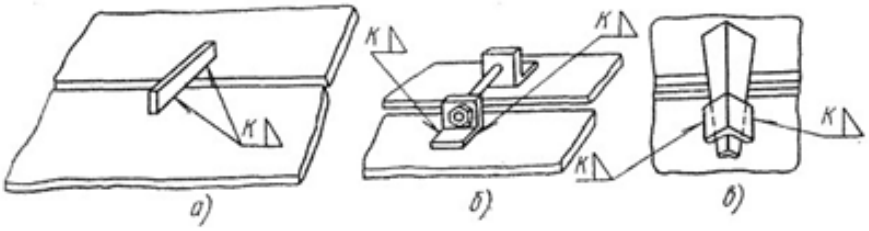


Рисунок 14 - Прихваты: а) - жесткие; б), в) - регулируемые

Стяжки применяют для сближения кромок свариваемых деталей до заданных размеров. Наибольшее распространение при сварке изделий из полосового и листового металла нашли винтовые стяжки, а цилиндрических изделий сравнительно небольшого диаметра – стяжные кольца и гибкие хомуты с зажимами.

Распорки и домкраты служат для фиксации изнутри изделий с замкнутым профилем, для выравнивания кромок цилиндрических изделий, для удаления вмятин и др. При сварке цилиндрических изделий распорки применяют в сочетании со стяжными кольцами. Если диаметр обечаек невелик, применяют распорные кольца, а при больших диаметрах винтовые распоры или домкраты.

Усилия в стяжках, распорках и домкратах создаются механическим, гидравлическим или пневматическим приводами.

В особую группу сборочно-сварочных приспособлений входят позиционеры, манипуляторы, вращатели и кантователи.

Сварочные манипуляторы отличаются от манипуляторов-позиционеров наличием более сложного по конструкции привода вращения планшайбы, обеспечивающего регулирование в необходимых пределах скорости вращения планшайбы [22].

Сварочные манипуляторы рассчитаны на вращение изделий с необходимой скоростью, а также на установку оси вращения изделия под различными углами, обеспечивают перемещения со сварочной скоростью и служат для вращения изделия с заданной скоростью, равной скорости сварки.

Манипулятор состоит из следующих основных узлов: станины, стола с консолью, общего привода поворота планшайбы и поворота консоли, шкафа электроаппаратуры управления, съемной опорной рамы.

По конструктивному исполнению сварочные манипуляторы подразделяются на универсальные с большим числом степеней свободы и специализированные с ограниченным числом степеней свободы. Первые обеспечивают широкие технологические возможности, но имеют сложную конструкцию, что обусловливает их высокую стоимость. Применение универсальных манипуляторов целесообразно при единичном и мелкосерийном производстве с частой сменой типа свариваемых изделий.

Наиболее широко распространены торцовые сварочные манипуляторы, на которых изделие закрепляют на планшайбе с помощью кулачкового устройства [21].

Для сварки блоков используются сварочные манипуляторы, расширяющие возможности получения сварных соединений в поворотном положении при помощи автоматической сварки под слоем флюса.

Совокупность такой колонны и сварочного манипулятора или роликового стенда является эффективной разновидностью сварочной установки; универсальность установки возрастает, если колонна перемещается по рельсовому пути вдоль роликового стенда.

Манипуляторы - универсальные, обычно стационарные, приспособления, предназначенные для поворота изделия в процессе работы вокруг вертикальной и горизонтальной осей, а также для наклона его на разный угол к горизонтальной плоскости. Различают установочные и сварочные манипуляторы.

Основным недостатком универсальных установок является их сравнительно низкая производительность. Применение многопозиционных сварочных манипуляторов не всегда решает проблему ее повышения. Рассматривая вопрос повышения производительности применительно к установкам для сварки малых, средних и крупных изделий, необходимо отметить следующее. Высокая производительность, как правило, достигается только в специализированных

или высокопроизводительных установках с различного типа шлюзовыми системами [21].

Элементы решетчатых трубных конструкций с фланцевыми соединениями собирают в кондукторе, обеспечивающем точную фиксацию положения фланцев и труб. После прихватки собранные элементы подают на сварочный манипулятор, где сваривают фланцы и трубы в углекислом газе.

Состав электромеханического комплекса зависит от класса сварочной установки, ее назначения, габаритных размеров свариваемых изделий, степени механизации, автоматизации и специализации установки. Обычно электромеханический комплекс включает: сварочную камеру, откачную систему, сварочные манипуляторы, механизмы подачи присадочных материалов, системы наблюдения, вспомогательные устройства и механизмы, а также электроприводы с системами их управления.

К вспомогательным относятся устройства и механизмы типа подвижных платформ для выкатывания сварочных манипуляторов из камеры, устройств для предварительного нагрева свариваемых изделий, их сборки в сварочной камере и др. Механизмы типа подвижных платформ представляют собой промежуточные конструкции, на которых монтируются свариваемые изделия и перемещаются в пределах сварочного участка. С них или на них изделие поступает в сварочную камеру. Устройства для предварительного нагрева свариваемых изделий устанавливаются только при технологической необходимости для сварки некоторых материалов. Конструктивно нагреватели разрабатываются с учетом размеров и конфигурации свариваемых изделий.

Электромеханический комплекс обеспечивает управление и контроль всех систем установки для электронно-лучевой сварки, а также формирование необходимых команд при ее работе. В электромеханический комплекс входят: сварочная камера с системой ее вакуумирования; сварочные манипуляторы; система наблюдения за сварочным процессом; устройства подачи присадочных материалов; вспомогательные устройства различного назначения; системы управления комплексом. Все узлы и системы как энергетического, так и элек-

тромеханического комплекса унифицированы и отвечают конструкционному ряду данных изделий [21].

Сварка дуговая в защитных газах имеет производительность высокую, поддается легко автоматизации и позволяет выполнять соединение металлов без применения флюсов и электродных покрытий. Именно этот способ сварки нашел широкое применение при изготовлении конструкций из цветных металлов, сталей и их сплавов.

Сварка дуговая в газах защитных выполняется неплавящимся (вольфрамовым) и плавящимся электродами.

Для защиты зоны сварки используются инертные газы (гелий, аргон), а в некоторых случаях активные газы (водород, азот и углекислый газ). Применяют, в том числе и смеси отдельных газов. Такая защита газовая оттесняет от зоны сварки воздух ее окружающий. При сварке в условиях монтажа или в условиях, где возможно сдувание защиты газовой, используют дополнительные устройства защитные. Эффективность газовой защиты зоны сварки зависит от типа соединения свариваемого и скорости сварки

Преимущества сварки в газах защитных следующие:

а) необходимости нет применять покрытия или флюс, следовательно, не требуется очищать швы от шлака;

б) степень концентрации тепла источника и высокая производительность позволяют сократить зону превращений структурных;

в) незначительное взаимодействие металла шва с азотом и кислородом воздуха;

г) возможность наблюдения за процессом сварки;

д) возможность автоматизации и механизации процессов.

Применяют иногда защиту двойную дуги сварочной (комбинированную). Надежность защиты зоны дуги сварочной зависит от расхода газа и теплофизических свойств, а также от конструктивных особенностей горелки и режима сварки. Подаваемые в зону дуги сварочной газы защитные влияют на устойчивость разряда дугового, расплавление металла электродного и характер его пе-

реноса. Размер капель металла электродного уменьшается с увеличением тока сварочного, а увеличение глубины проплавления с увеличением тока сварочного связано с более интенсивным вытеснением металла жидкого из под электрода вследствие давления дуги сварочной.

При сварке электродом плавящимся дуга горит между расплавляемой сварочной проволокой, подаваемой в зону сварки и изделием. По сварке электродом неплавящимся (прутки вольфрамовые) дуга сварочная может быть косвенного или прямого действия. Разновидностью дуги сварочной косвенного действия может быть дуга, горящая между беспрерывно подаваемой в зону дуги сварочной проволокой и вольфрамом.

Защитное свойство струи газа инертного зависит от чистоты газа, струи параметров и режима сварки. Одним из наглядных способов оценки защитных свойств является определение диаметра зоны катодного распыления при возбуждении дуги тока переменного между свариваемым металлом и вольфрамовым электродом. В период, когда катодом является металл свариваемый, происходит вырывание частиц металла с поверхности ванны сварочной и соседних зон относительно металла холодного.

Степень распыления катодного зависит непосредственно от массы положительных ионов, которые в сварочном процессе бомбардируют катод. Например, в среде аргона наблюдается более интенсивное катодное распыление, чем в среде гелия. По убывающей склонности к катодному распылению металлы располагают в следующем порядке: Mg, Al, Si, Zn, W, Fe, Ni, Pt, Cu, Bi, Sn, Sb, Pb, Ag, Cd.

Дугу сварочную в газах защитных можно классифицировать по следующим основным признакам:

а) применяемому для защиты зоны сварки газу нейтральному или активному;

б) способу защиты зоны сварки смесью газов, одиночным газом или комбинированным;

в) применяемому для сварки электроду неплавящемуся или плавящемуся;

г) применяемому току переменному или постоянному.

При сварке дуговой электродом плавящимся в среде газов защитных геометрическая форма шва сварного и его размеры зависят от мощности дуги сварочной, характера переноса металла через промежуток дуговой, а также от взаимодействия частиц металла и газового потока, пересекающих промежуток дуговой, с ванной металла расплавленного.

В процессе сварки на поверхность ванны сварочной оказывает давление столб дуги за счет газового потока, капель металла и паров, вследствие чего дуги столб погружается в металл основной, увеличивая глубину проплавления, газовый поток и металла паров, направляемый от электрода в ванну сварочную, создается благодаря сжимающему действию электромагнитных сил. Сила воздействия дуги сварочной на ванну металла расплавленного характеризуется ее давлением, которое будет тем больше, чем концентрированнее газовый поток и металл. Концентрация потока металла увеличивается с уменьшением размера капель, который определяется составом металла, газа защитного, а также величиной тока сварочного и направлением.

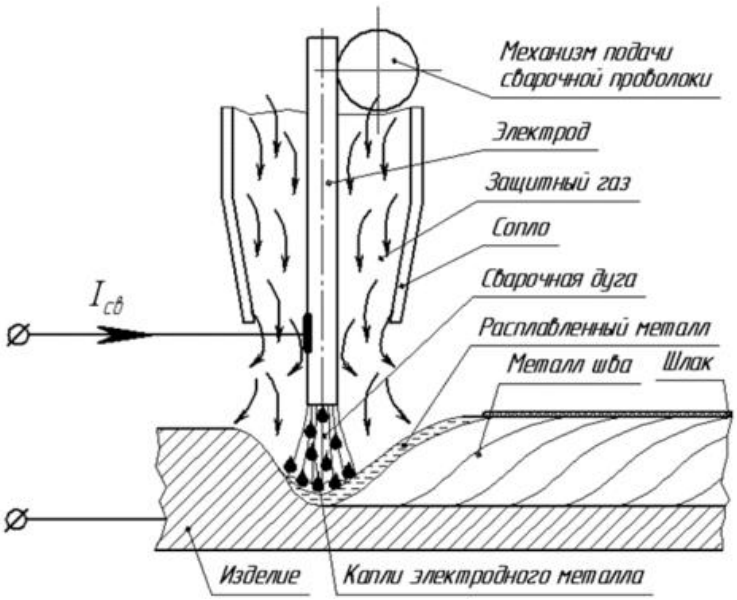


Рисунок 15 - Принцип автоматической аргонодуговой сварки

Дуга сварочная, образованная в результате электродного плавления в среде газов инертных, имеет форму конуса, столб которой состоит из внешней и внутренней зоны. Внутренняя зона имеет большую температуру и яркий свет. Во внутренней зоне происходит металла перенос, и ее атмосфера заполнена святящимися парами металла. Внешняя зона имеет менее яркий свет и представляет собой газ ионизированный.

4.4 Обоснование выбора сварочных материалов

При аргонодуговой сварке используют газы защитные и проволоки электродные. Применяются газы: чистые, активные и инертные, газовые смеси в различных сочетаниях: инертные и инертные, инертные и активные, активные и активные. Водород при сварке электродом плавящимся не применяется из-за высокого разбрызгивания. Аргон по ГОСТ 10157 – 79 [24], а углекислый газ по ГОСТ 8050 – 85 [25].

Аргон – газ инертный с массой атомной 39,9, в обычных условиях без запаха и вкуса, бесцветный, в 1,38 раза тяжелее воздуха. Аргон считается наиболее доступным и сравнительно дешевым среди газов инертных. Аргон занимает третье место по содержанию в воздухе (после кислорода и азота), на него приходятся 1,3 % массы и 0,9 % объема атмосферы Земли.

В промышленности способ основной получения аргона – метод низкотемпературной ректификации воздуха с получением азота и кислорода и попутным извлечением аргона. Также аргон получают в качестве побочного продукта при получении аммиака.

Газообразный аргон хранится и транспортируется в стальных баллонах по ГОСТ 949 – 73 [26]. Баллон с чистым аргоном окрашен в серый цвет, с надписью «Аргон чистый» зеленого цвета.

Согласно ГОСТ 10157 – 79 [24] жидкий и газообразный аргон поставляется двух видов: высшего сорта (с объемной долей аргона не менее 99,993%, объемной долей водяных паров не более 0,0009%) и первого сорта (с объемной

долей аргона не менее 99,987%, объемной долей водяных паров не более 0,001%).

Аргон не токсичен и не взрывоопасен, однако, при высокой концентрации в воздухе может представлять опасность для жизни: при уменьшении доли объемной кислорода ниже 19 % появляется недостаточность кислородная, а при значительном снижении содержания кислорода возникают удушье, потеря сознания и даже смерть.

Аргон используется в качестве инертного газа защитного при сварке дуговой, в том числе в качестве основы газовой защитной смеси (с углекислым газом, кислородом). Является основной средой защитной при сварке титана, алюминия, активных и редких металлов.

Аргон также применяется при сварке плазменной в качестве газа плазмообразующего, при сварке лазерной в качестве защитного и плазмо-подавляющего газа.

Для сварки сталей предназначена проволока по ГОСТ 2246 – 70 [20]. В условные обозначения марок проволоки входит индекс Св (сварочная) и следующие за ним буквы и цифры. Цифры после индекса Св указывают среднее содержание углерода в сотых долях процента. Так же, как и в марках стали, легирующие элементы в марках проволоки обозначаются буквами: А - азот, Ю – алюминий, Р - бор, Ф - ванадий, В –вольфрам, К – кобальт, С – кремний, Г – марганец, Д - медь, М - молибден, Н - никель, Б - ниобий, Е - селен, Т - титан, Х - хром. Цифры, следующие за буквенными обозначениями химических элементов, указывают среднее содержание элемента в процентах. Если содержание легирующего элемента менее 1 %, то ставится только соответствующая буква. Буква А в конце условных обозначений марок низкоуглеродистой и легированной проволок указывает на повышенную чистоту металла по содержанию серы и фосфора. В соответствии с НТД выпускают низкоуглеродистую, легированную и высоколегированную проволоку диаметром 0,3; 0,5; 0,8; 1,0; 1,2; 1,4; 1,6; 2,0; 2,5; 3,0; 4,0; 5,0; 6,0; 8,0; 10,0; 12,0 мм. Если проволока поставляется с омедненной поверхностью, то после марки проволоки ставится буква О. Буква

Э обозначает, что проволока предназначена для изготовления электродов. Буквы Ш, ВД или ВИ обозначают, что проволока изготовлена из стали, выплавленной электрошлаковым или вакуумно-дуговым переплавом, или переплавом в вакуумно-индукционных печах. Проволока поставляется в бухтах массой до 80 кг. На каждой бухте крепят металлическую бирку с указанием завода-изготовителя, условного обозначения проволоки, номера партии и клейма технического контроля. По соглашению сторон проволоку могут поставлять намотанной на катушки или кассеты. Транспортировать и хранить проволоку следует в условиях, исключающих ее ржавление, загрязнение и механическое повреждение. Если же поверхность проволоки загрязнена или покрыта ржавчиной, то перед употреблением ее необходимо очистить. Проволоку очищают при намотке ее на кассеты в специальных станках, используя наждачные круги. Для удаления масел используют керосин, уайт-спирит, бензин и др. Для устранения влаги применяют термическую обработку: прокалку при температуре от 100 до 150 °С. ЦНИИТМАШ рекомендует обрабатывать проволоку в 20%–ном растворе серной кислоты с последующей прокалкой при температуре 250 °С от 2 до 2,5 ч. Необходимость в обработке электродной проволоки перед сваркой отпадает, если использовать омедненную проволоку. Для механизированной сварки под флюсом и по флюсу алюминия и его сплавов используют сварочную проволоку, выпускаемую по ГОСТ 7871 – 75 [24] и по ГОСТ 16130 – 72 [25] предъявляет требования к проволоке для сварки меди и ее сплавов. Подготовка этих проволок к сварке во многом определяет качество сварного соединения. Как правило, подготовка этих проволок к сварке такая же, как и основного металла. Наилучшие результаты обеспечивает химическая обработка или электролитическое полирование.

Высоколегированные аустенитные и ферритные проволоки применяются для сварки нержавеющих, жаростойких и других специальных сталей состава различного. Следует иметь в виду, что проволока аустенитная после волочения сильно нагартовывается и обладает большой жесткостью. Это облегчает подачу проволоки диаметром от 2 до 3 мм по шлангам гибким при сварке полуавтома-

тической, но весьма затрудняет работу с проволокой большого диаметра. При сварке автоматической наклепанной проволокой аустенитной диаметром от 4 до 6 мм ее следует предварительно подвергнуть обработке термической. В зависимости от состава проволоки и степени наклепа термическая обработка может заключаться в закалке или отжиге.

Прекрасные характеристики проволоки сварочной позволяют не только сэкономить рабочее время, но и сократить затраты на оборудование сварочное, замена изнашивающихся деталей требуется гораздо реже, нежели в случае применения проволоки сварочной более низкого качества.

Правильная геометрия и порядная намотка сварочной проволоки позволяет существенно увеличить срок службы дорогостоящих сварочных полуавтоматов.

Материал проволоки выбирается в соответствии с ГОСТ 2246–70 [19]. Для сварки аустенитной стали 12Х18Н9Т, применяемой в конструкции проектируемого изделия, следует использовать сварочную проволоку следующих типов (по ГОСТ 2246–70 [19]): Св–01Х19Н9, Св–04Х19Н9, Св–10Х16Н25АМ6, Св–08Х20Н9Г7Т (если к металлу сварных швов не предъявляются требования стойкости к межкристаллитной коррозии); Св–07Х18Н9ТЮ, Св–05Х20Н9ФБС, Св–06Х19Н9Т, Св–06Х20Н11М3ТБ, Св–08Х19Н10М3Б, Св–08Х25Н13БТЮ (если от швов требуется стойкость против межкристаллитной коррозии). В данном проекте к металлу сварных швов предъявляются требования стойкости против межкристаллитной коррозии, следовательно, в качестве сварочных материалов выбираем вторую группу проволок.

Химический состав сварочной проволоки для сварки корпуса водонагревателя из аустенитной стали 12Х18Н9Т приведен в таблице 13.

Механические свойства сварочной проволоки Св-08Х19Н10Б приведены в таблице 14.

Таблица 13 – Химический состав сварочной проволоки по ГОСТ 2246-70

Марка материала	Содержание элементов, %, не более									
	углерод	марганец	кремний	хром	никель	титан	ванадий	сера	фосфор	прочие элементы
Св-08Х19Н10Б	0,05-0,09	1,50-2,00	0,70	18,5-20,5	9,0-10,5	-	-	0,018	0,025	Ниобий 1,20-1,50
Св-06Х19Н9Т	0,08	1,00-2,00	0,40-1,00	18,0-20,0	8,0-10,0	0,50-1,00	-	0,015	0,030	-
Св-07Х18Н9ТЮ	0,09	2,00	0,80	17,0-19,0	8,0-10,0	1,00-1,40	-	0,015	0,030	Алюминий 0,60-0,95
Св-05Х20Н9ФБС	0,07	1,00-2,00	0,90-1,50	19,0-21,0	8,0-10,0	-	0,90-1,30	0,020	0,030	Ниобий 1,0-1,4

Таблица 14 – Механические свойства сварочной проволоки Св – 08Х19Н10Б

Диаметр проволоки, мм	Временное сопротивление разрыву проволоки, МПа
1,2	686- 980
2	686–980
Свыше 2,0	637–931

Автоматическая сварка электродом плавящимся из высоколегированных коррозионно-стойких аустенитных сталей производится: аргоне (ГОСТ 10157-79) с применением проволоки марки Св – 08Х19Н10Б.

4.5 Расчет параметров режимов сварки

Проводим расчёт для 6 сварных швов.

Расчет режимов сварки шва №1.

Исходные данные:

а) основной металл - сталь 12Х18Н9Т по ГОСТ 5632 – 74 [17];

б) толщина металла - 2,5 мм;

в) сварочная проволока - Св – 08Х19Н10Б по ГОСТ 2246 – 70 [19];

г) способ сварки - автоматическая в среде аргона;

д) защитный газ - аргон по ГОСТ 10157 – 79 [24];

е) тип соединения - стыковое С1 по ГОСТ 14771 – 76 [17];

ж) тип шва - стыковой;

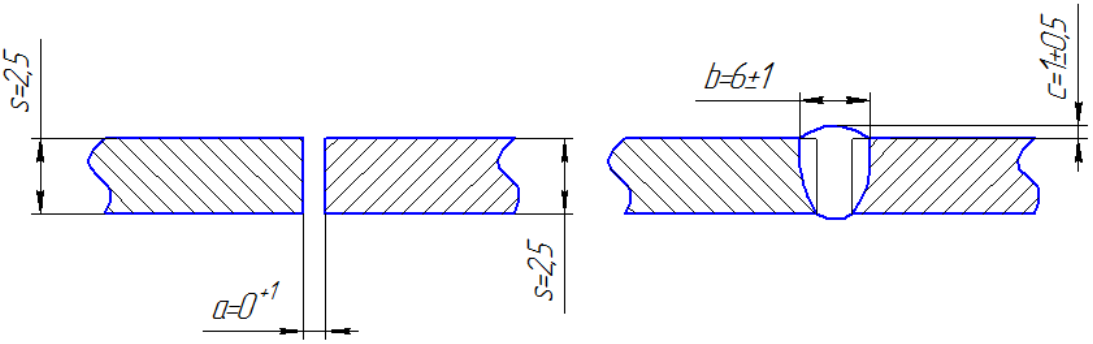
з) положение шва - нижнее;

и) тип шва по количеству проходов - однопроходный;

к) ширина шва - $в$ = 7 мм;

л) высота валика шва - c = 1мм;

м) конструктивные элементы подготовленных кромок свариваемых деталей и сварного шва приведены на рисунке 16.



а) б)

Рисунок 16 - Конструктивные элементы подготовленных кромок свариваемых деталей и сварного шва: а) – эскиз соединения; б) – эскиз шва

Производим выбор диаметра электрода.

Диаметр электрода выбирается в зависимости технической характеристики полуавтомата выбираем $d_{эл}$ = 1,2 мм.

Расчет величины сварочного тока.

Величина сварочного тока определяется в зависимости от диаметра электрода согласно рекомендации таблицы 17.

Таблица 15 - Допускаемая величина сварочного тока при сварке в среде защитного газа в зависимости от диаметра электрода

$d_{эл}$, мм	0,5	0,8	1,0	1,2	1,6	2,0	2,5	3,0
$I_{св}$, А	25,0 - 70,0	50,0 - 130,0	70,0 - 180,0	100,0 - 240,0	150,0 - 400,0	200,0 - 500,0	300,0 - 700,0	400,0 - 850,0
Расстояние от изделия, мм	5,0 - 15,0	5,0 - 15,0	6,0 - 18,0	8,0 - 18,0	15,0 - 25,0	15,0 - 25,0	20,0 - 40,0	20,0 - 40,0

Исходя из данной таблицы принимаем $I_{св}$=190 А

Расчет скорости сварки производим по формуле:

$$V_{св} = \frac{\alpha_н \cdot I_{св}}{F_н \cdot \gamma \cdot 100} \text{ м/ч}, \quad (26)$$

где $F_н$ - площадь сечения наплавленного металла за данный проход, см^2;

γ - плотность наплавленного металла, г/см^3;

$I_{св}$ - величина сварочного тока, А;

$\alpha_н$ - коэффициент наплавки, г/А·ч.

Определяем площадь наплавки по формуле [12]:

$$F_н = 0{,}75 \cdot в \cdot с, \quad (27)$$

где *в, с* даны в исходных данных.

$$F_н = 0{,}75 \cdot 1 \cdot 7 = 5{,}25 мм^2$$

Коэффициент наплавки определяем по формуле [12]:

$$\alpha_н = \alpha_р \cdot \left(1 - \frac{\psi}{100}\right), \quad (28)$$

где $\alpha_р$ - коэффициент расплавления электродной проволоки, г/А·с;

ψ - потери электродного металла вследствие окисления, испарения и разбрызгивания, %.

Обычно ψ равно от 7 до 15%, для расчета, принимается ψ = 10%.

Подставляя значения в формулу получим:

$$\alpha_р = \left(3 + 0{,}08 \cdot \frac{I_{св}}{d_{эл}}\right) \cdot 10^{-4}\ , \qquad (29)$$

где $d_э$ - диаметр электрода, мм;

$I_{св}$ - сила сварочного тока, А.

$$\alpha_р = \left(3 + 0{,}08 \cdot \frac{190}{1{,}2}\right) \cdot 10^{-4} = 11 \cdot 10^{-4}\ \text{г/А·час},$$

$$\alpha_н = 11 \cdot 10^{-4} \cdot \left(1 - \frac{12}{100}\right) = 9{,}68\ \text{г/А·час}.$$

Для расчета принимаем $\alpha_н$ = 9,68 г/А·час.

Тогда

$$V_{св} = \frac{14 \cdot 190}{0{,}0525 \cdot 7{,}9 \cdot 100} = 28\ \text{м/ч}$$

Напряжение дуги определяем по формуле:

$$U_д = 20 + \frac{50 \cdot 10^{-3}}{d_э^{0,5}} \cdot I_{св} \pm 1, \qquad (30)$$

где $d_э$ - диаметр электрода, мм;

$I_{св}$ - сила сварочного тока, А.

Тогда

$$U_д = 20 + \frac{50 \cdot 10^{-3}}{\sqrt{1{,}2}} \cdot 190 \pm 1 = 24...26B$$

Для расчетов принимаем $U_д$ = 24 В.

Определяем коэффициент формы провара определяем по формуле:

$$\psi_{пр} = K' \cdot (19 - 0{,}01 \cdot I_{св}) \cdot \frac{d_{эл} \cdot U_д}{I_{св}}, \quad (31)$$

где K' - коэффициент, величина которого зависит от рода тока и полярности и определяется по таблице 16;

$d_э$ - диаметр электрода, мм;

$I_{св}$ - сила сварочного тока, А;

$U_д$ - напряжение дуги, В.

Таблица 16 - Значение коэффициента К′

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

$$\psi_{пр} = 0{,}92 \cdot (19 - 0{,}01 \cdot 190) \cdot \frac{1{,}2 \cdot 24}{190} = 2{,}38$$

Определяем величину погонной энергии по формуле:

$$q_п = \frac{I_{св} \cdot U_д \cdot \eta}{V_{св}}, \quad (32)$$

где $\eta_д$ - эффективный КПД дуги;

$V_{св}$ - скорость сварки (перемещения дуги), см/с;

$I_{св}$ - сила сварочного тока, А;

$U_д$ - напряжение дуги, В.

Подставляя значения в формулу (32) получим:

$$q_n = \frac{190 \cdot 24 \cdot 0{,}85}{1{,}2} = 3230 \text{ Дж/см}$$

Определяем фактическую глубину провара для стыкового бескосного соединения по формуле:

$$h = 6{,}8 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt{\frac{q_n}{\psi_{пр}}}, \quad (33)$$

где q_n - величина погонной энергии, кДж;

$\psi_{пр}$ - коэффициент формы провара.

Подставляя значения получим:

$$h = 6{,}8 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt{\frac{3230}{2{,}38}} = 0{,}25051 \text{ см.}$$

Определяем ширину шва для стыкового бескосного соединения по формуле [12]:

$$b = \psi_{пр} \cdot h, \quad (34)$$

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

h - фактическая глубина провара, мм.

$$b = 2{,}38 \cdot 2{,}5 = 5{,}95 \text{ мм},$$

Определяем высоту шва для стыкового бескосного соединения по формуле [12]:

$$c = \frac{F_{\acute{i}}}{0{,}73 \cdot b}, \quad (35)$$

где $F_н$ - площадь поперечного сечения металла за данный проход, см^2;

b - ширина шва, мм.

$$c_1 = \frac{5{,}25}{0{,}73 \cdot 5{,}95}$$

Определяем скорость подачи проволоки по формуле [12]:

$$V_{п.п.} = \frac{4 \cdot \alpha_н \cdot I_{св}}{\pi \cdot d^2 \cdot \gamma}, \quad (36)$$

где d - диаметр проволоки, мм.

$$V_{\text{п.п.}} = \frac{4 \cdot 14 \cdot 190}{3{,}14 \cdot 1{,}2^2 \cdot 7{,}9} = 357{,}4 \text{ м/ч}$$

Основное время определяется по формуле [12]:

$$t_{осн} = \frac{3600 \cdot Fн \cdot l \cdot \gamma}{\alpha_Н \cdot I_{СВ}}, \quad (37)$$

где $t_{осн}$ - основное время сварки 1 м шва, с;

$F_н$ - площадь поперечного сечения металла за данный проход, см^2;

γ - удельный вес, г/см^3;

l - длина шва, см;

$\alpha_н$ - коэффициент наплавки, г/А·ч;

$I_{св}$ - сварочный ток, А.

$$t_{осн} = \frac{3600 \cdot 0{,}0525 \cdot 59{,}4 \cdot 7{,}9}{14 \cdot 190} = 76{,}35\ с$$

Расчет режимов сварки шва №2.

Исходные данные:

а) основной металл - сталь 12Х18Н9Т по ГОСТ 5632 – 74[7];

б) толщина металла - 2,5 мм;

в) сварочная проволока - Св – 08Х19Н10Б по ГОСТ 2246 – 70 [20];

г) способ сварки - автоматическая в среде аргона;

д) защитный газ - аргон по ГОСТ 10157 – 79 [25];

е) тип соединения - нахлесточное Н1 по ГОСТ 19281 – 2014;

ж) тип шва - угловой;

з) положение шва - нижнее;

и) тип шва по количеству проходов - однопроходный;

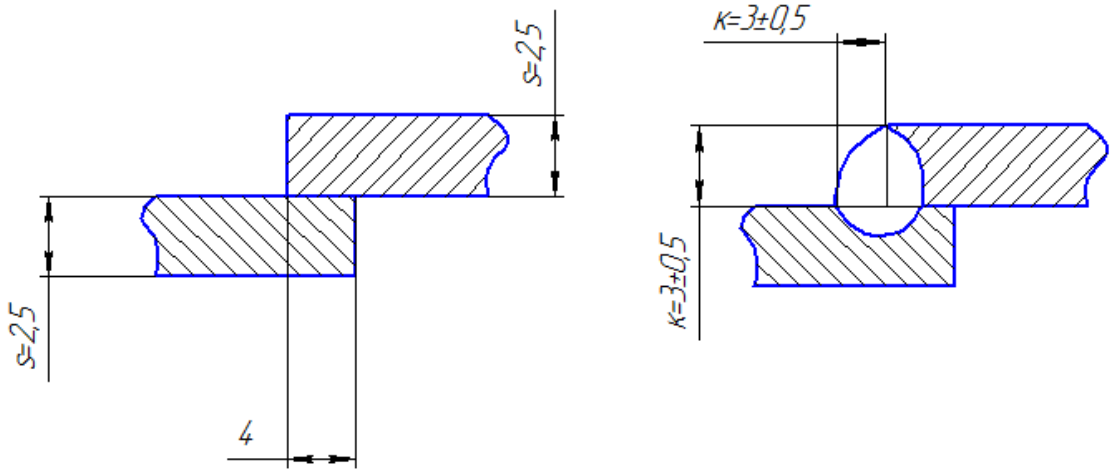
к) ширина шва - $в$ = 7 мм;

л) высота валика шва - $с$ = 1 мм;

м) катет шва - $К$ = 3 мм ;

н) тип шва по количеству проходов - однопроходный;

о) конструктивные элементы подготовленных кромок свариваемых деталей и сварного шва приведены на рисунке 17.



а) б)

Рисунок 17 - Конструктивные элементы подготовленных кромок свариваемых деталей и сварного шва: а) - эскиз соединения; б) - эскиз шва

Производим выбор диаметра электрода.

Диаметр электрода выбирается в зависимости технической характеристики полуавтомата выбираем $d_{эл}$=1,2 мм

Расчет величины сварочного тока.

Величина сварочного тока определяется в зависимости от диаметра электрода согласно рекомендаций таблицы 14.

Исходя из таблицы 15 принимаем $I_{св}$=190 А.

Скорость сварки определяется по формуле (26)

Определяем площадь наплавки по формуле [12]:

$$F_н = \frac{K^2}{2} \cdot K_y \text{ мм}, \quad (38)$$

где K - катет шва, мм;

K_y - коэффициент усиления.

Для стали 12Х18Н9Т принимаем K_y=1,25.

$$F_f = \frac{3^2}{2} \cdot 1{,}25 = 5{,}625$$

Коэффициент наплавки определяем по формуле (28):

$$\alpha_н = 15{,}6 \cdot 10^{-4} \cdot \left(1 - \frac{10}{100}\right) = 14 \text{ г/А·час.}$$

Коэффициент расплавления электродной проволоки определяем по формуле (29):

$$\alpha_р = \left(3 + 0{,}08 \cdot \frac{190}{1{,}2}\right) \cdot 10^{-4} = 15{,}6 \cdot 10^{-4} \text{ г/А·час,}$$

Подставляя полученные значения в формулу (36) получим:

$$V_{св} = \frac{14 \cdot 190}{0{,}05625 \cdot 7{,}9 \cdot 100} = 59{,}8 \text{ м/ч}.$$

Напряжение дуги определяем по формуле (30):

$$U_д = 20 + \frac{50 \cdot 10^{-3}}{\sqrt{1{,}2}} \cdot 120 \pm 1 = 24...26 \text{ В}$$

Для расчетов принимаем $U_д$ = 24 В.

Определяем коэффициент формы провара по формуле (31):

$$\psi_{пр} = 0{,}92 \cdot (19 - 0{,}01 \cdot 190) \cdot \frac{1{,}2 \cdot 24}{190} = 2{,}38$$

Определяем величину погонной энергии по формуле (32):

$$q_n = \frac{190 \cdot 24 \cdot 1{,}2}{1{,}66} = 3296 \text{ Дж/см}$$

Определяем фактическую глубину провара для стыкового бескосного соединения по формуле (33):

$$h = 6{,}8 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt{\frac{3296}{2{,}38}} = 0{,}2505 \text{ см}$$

Определяем ширину шва для стыкового бескосного соединения по формуле (34):

$$b = 2{,}38 \cdot 2{,}505 = 5{,}96 \text{ мм}$$

Определяем высоту шва для стыкового бескосного соединения по формуле (35):

$$c_1 = \frac{5{,}625}{0{,}73 \cdot 5{,}96} = 1{,}29 \text{ мм}$$

Определяем скорость подачи проволоки электродной проволоки по формуле (37):

$$V_{п.п.} = \frac{4 \cdot \alpha_н \cdot I_{св}}{\pi \cdot d^2 \cdot \gamma} = \frac{4 \cdot 14 \cdot 190}{3{,}14 \cdot 1{,}2^2 \cdot 7{,}9} = 397 \text{ м/ч}$$

Согласно рекомендаций таблицы 14 для $d_{эл}$ = 1,2 мм оно составляет от 10 до 25 мм.

Вылет электрода определяем по формуле (37):

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

Расчет режимов сварки шва №3.

Исходные данные:

а) основной металл - сталь 12Х18Н9Т по ГОСТ 5632 – 74[7];

б) толщина металла - 2,5 мм;

в) сварочная проволока - Св – 08Х19Н10Б по ГОСТ 2246 – 70 [20];

г) способ сварки - автоматическая в среде аргона;

д) защитный газ - аргон по ГОСТ 10157 – 79 [25];

е) тип соединения - тавровое Т1 по ГОСТ 19281 – 2014;

ж) тип шва - угловой;

з) положение шва - нижнее;

и) тип шва по количеству проходов - однопроходный;

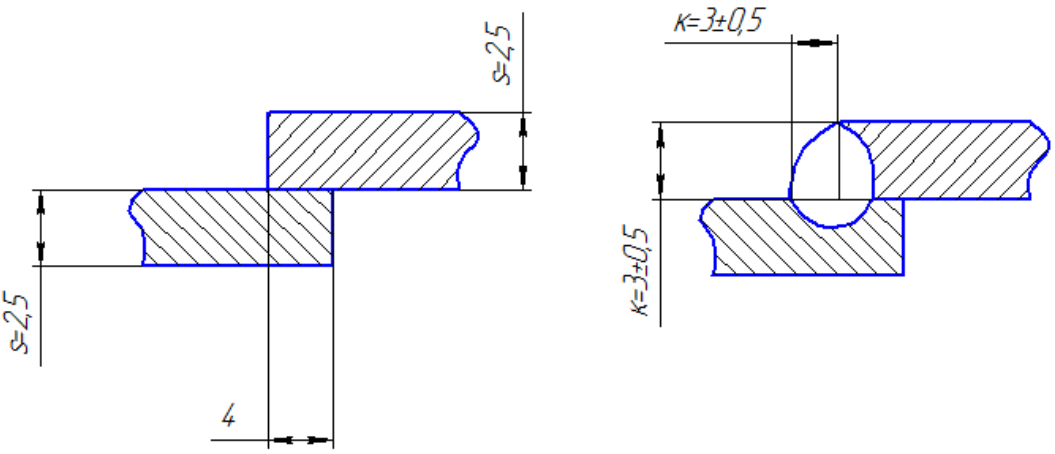
к) ширина шва - $в$ = 7, мм;

л) высота валика шва - c = 1, мм;

м) катет шва - K = 3 мм;

н) тип шва по количеству проходов – однопроходный;

о) конструктивные элементы подготовленных кромок свариваемых деталей и сварного шва приведены на рисунке 18.



а) б)

Рисунок 18 - Конструктивные элементы подготовленных кромок свариваемых деталей и сварного шва: а) - эскиз соединения; б) - эскиз шва.

Так как геометрические параметры и способ сварки шва №3 будут аналогичны геометрическим параметрам и способу сварки №2, следовательно, принимаем следующие параметры режимов сварки:

а) $Iсв$=190А;

б) $U_д$=24В;

в) $V_{св}$=59,8 м/ч;

г) $l_э$=12 мм;

д) $d_э$=1,2 мм.

Расчет режимов сварки шва №4.

Исходные данные:

а) основной металл - сталь 12Х18Н9Т по ГОСТ 5632 – 74[7];

б) толщина металла - 2,5 мм;

в) сварочная проволока - Св – 08Х19Н10Б по ГОСТ 2246 – 70 [19];

г) способ сварки - автоматическая в среде аргона;

д) защитный газ - аргон по ГОСТ 10157 – 79 [25];

е) тип соединения - тавровое Т1 по ГОСТ 19281 – 2014;

ж) тип шва - угловой;

з) положение шва - нижнее;

и) тип шва по количеству проходов - однопроходный;

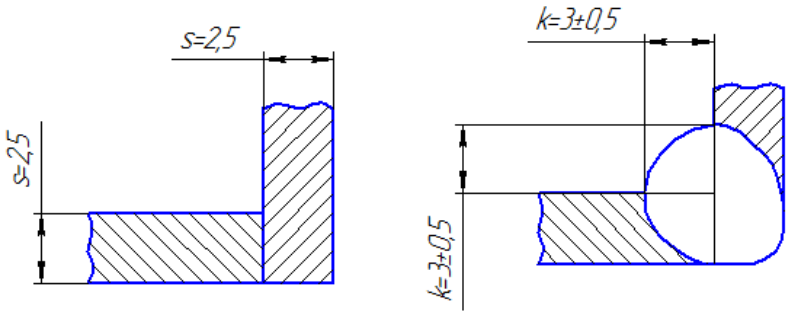
к) ширина шва - $в$=7, мм;

л) высота валика шва - $с$=1, мм;

м) катет шва - К=3 мм;

н) тип шва по количеству проходов - однопроходный;

о) конструктивные элементы подготовленных кромок свариваемых деталей и сварного шва приведены на рисунке 19.



а) б)

Рисунок 19 - конструктивные элементы подготовленных кромок свариваемых деталей и сварного шва: а) - эскиз соединения; б) - эскиз шва

Производим выбор диаметра электрода.

Диаметр электрода выбирается в зависимости технической характеристики полуавтомата выбираем $d_{эл}$=1,2 мм.

Расчет величины сварочного тока.

Величина сварочного тока определяется в зависимости от диаметра электрода согласно рекомендаций таблицы 14.

Исходя из таблицы 15 принимаем $I_{св}$=190 А.

Расчет скорости сварки по формуле (18):

Определяем площадь наплавки по формуле (38):

$$F_{\acute{i}} = \frac{3^2}{2} \cdot 1{,}25 = 5{,}625$$

Коэффициент наплавки определяем по формуле (28):

$$\alpha_{н} = 15{,}6 \cdot 10^{-4} \cdot \left(1 - \frac{10}{100}\right) = 14 \text{ г/А·час.}$$

Коэффициент расплавления электродной проволоки определяем по формуле (29):

$$\alpha_{р} = \left(3 + 0{,}08 \cdot \frac{190}{1{,}2}\right) \cdot 10^{-4} = 15{,}6 \cdot 10^{-4} \text{ г/А·час,}$$

Подставляя полученные значения в формулу (36), получим:

$$V_{св} = \frac{14 \cdot 190}{0{,}05625 \cdot 7{,}9 \cdot 100} = 59{,}8 \text{ м/ч}.$$

Напряжение дуги определяем по формуле (30):

$$U_д = 20 + \frac{50 \cdot 10^{-3}}{\sqrt{1,2}} \cdot 190 \pm 1 = 24...26$$

Для расчетов принимаем $U_д = 24$ В.

Определяем коэффициент формы провара по формуле (31):

$$\psi_{пр} = 0,92 \cdot (19 - 0,01 \cdot 190) \cdot \frac{1,2 \cdot 24}{190} = 2,38$$

Определяем величину погонной энергии по формуле (32):

$$q_n = \frac{190 \cdot 24 \cdot 1,2}{1,66} = 3296 \text{ Дж/см}$$

Определяем фактическую глубину провара для стыкового бескосного соединения по формуле (33):

$$h = 6,8 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt{\frac{3296}{2,38}} = 0,2505 \text{ см}$$

Определяем ширину шва для стыкового бескосного соединения по формуле (34):

$$b = 2,38 \cdot 2,505 = 5,96 \text{ мм}$$

Определяем высоту шва для стыкового бескосного соединения по формуле (35):

$$c_1 = \frac{5,625}{0,73 \cdot 5,96} = 1,29 \text{ мм}$$

Определяем скорость подачи электродной проволоки по формуле (36).

$$V_{п.п.} = \frac{4 \cdot 14 \cdot 190}{3{,}14 \cdot 1{,}2^2 \cdot 7{,}9} = 397_{\text{м/ч}}$$

Определяем расстояние от сопла горелки до изделия.

Согласно рекомендаций таблицы 14 для $d_{эл}$ = 1,2 мм оно составляет от 10 до 25 мм.

Вылет электрода определяется по формуле (37)

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

Расчет режимов сварки шва №5.

Исходные данные:

а) основной металл - сталь 12Х18Н9Т по ГОСТ 5632 – 2014 [7];

б) толщина металла - 2,5 мм;

в) сварочная проволока - Св – 08Х19Н10Б по ГОСТ 2246 – 70 [19];

г) способ сварки - автоматическая в среде аргона;

д) защитный газ - аргон по ГОСТ 10157 – 79 [25];

е) тип соединения - тавровое Т1 по ГОСТ 19281 – 2014;

ж) тип шва - угловой;

з) положение шва - нижнее;

и) тип шва по количеству проходов - однопроходный;

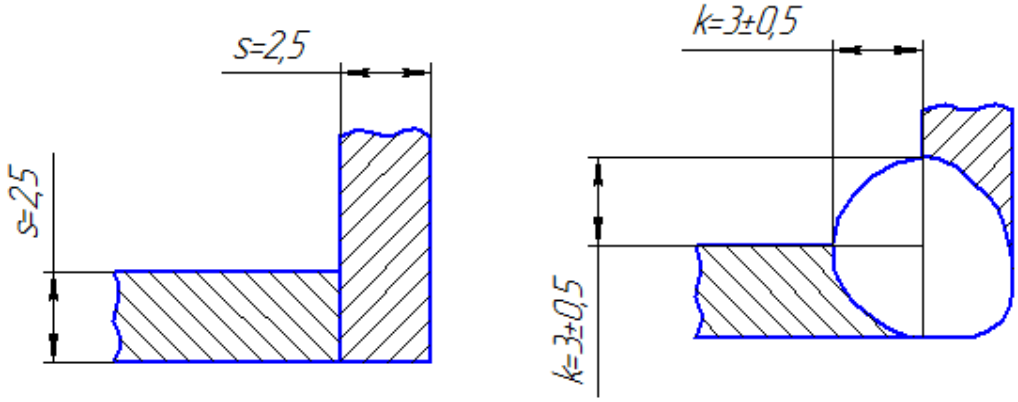
к) ширина шва - $в$=7, мм;

л) высота валика шва - $с$=1, мм;

м) катет шва - К=3 мм;

н) тип шва по количеству проходов - однопроходный;

о) конструктивные элементы подготовленных кромок свариваемых деталей и сварного шва приведены на рисунке 20.



а) б)

Рисунок 20 - конструктивные элементы подготовленных кромок свариваемых деталей и сварного шва: а) - эскиз соединения; б) - эскиз шва

Так как геометрические параметры и способ сварки шва №5 будут аналогичны геометрическим параметрам и способу сварки №4,следовательно ,принимаем следующие параметры режимов сварки:

а) $Iсв$=190А;

б) $U_д$=24 В;

в) $V_{св}$=59,7 м/ч;

г) $l_э$=12 мм;

д) $d_э$=1,2 мм.

Расчет режимов сварки шва №6.

Исходные данные:

а) основной металл - сталь 12Х18Н9Т по ГОСТ 5632 – 2014 [7];

б) толщина металла - 2,5 мм;

в) сварочная проволока- Св – 08Х19Н10Б по ГОСТ 2246 – 70 [19];

г) способ сварки - автоматическая в среде аргона;

д) защитный газ - аргон по ГОСТ 10157 – 79 [25];

е) тип соединения - тавровое Т1 по ГОСТ 19281 – 2014];

ж) тип шва - угловой;

з) положение шва - нижнее;

и) тип шва по количеству проходов - однопроходный;

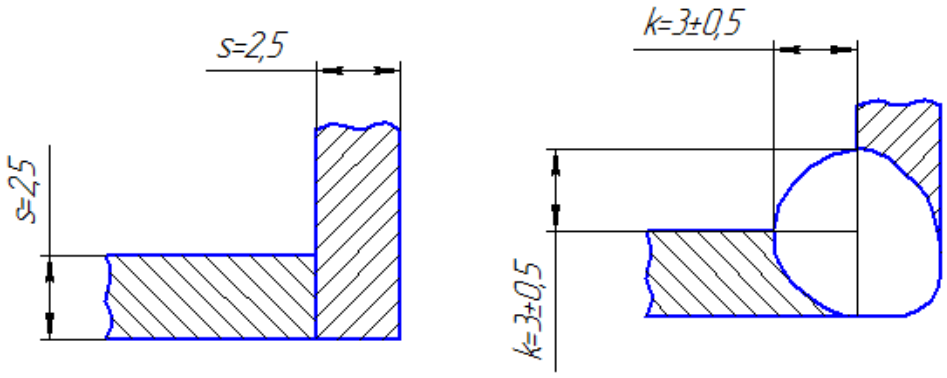
к) ширина шва - $в$=7, мм;

л) высота валика шва - $с$=1, мм;

м) катет шва - К=3 мм;

н) тип шва по количеству проходов - однопроходный;

о) конструктивные элементы подготовленных кромок свариваемых деталей и сварного шва приведены на рисунке 21.



а) б)

Рисунок 21 - конструктивные элементы подготовленных кромок свариваемых деталей и сварного шва: а) - эскиз соединения; б) - эскиз шва

Производим выбор диаметра электрода.

Диаметр электрода выбирается в зависимости технической характеристики автомата выбираем $d_{эл}$=1,2 мм.

Расчет величины сварочного тока.

Величина сварочного тока определяется в зависимости от диаметра электрода согласно рекомендаций таблицы 15.

Исходя из данной таблицы принимаем $I_{св}$=190 А.

Расчет скорости сварки по формуле (18).

Определяем площадь наплавки по формуле (38):

$$F_f = \frac{3^2}{2} \cdot 1{,}25 = 5{,}625$$

Коэффициент наплавки определяем по формуле (28):

$$\alpha_н = 15{,}6 \cdot 10^{-4} \cdot \left(1 - \frac{10}{100}\right) = 14 \text{ г/А·час.}$$

Коэффициент расплавления электродной проволоки определяем по формуле (29):

$$\alpha_р = \left(3 + 0{,}08 \cdot \frac{190}{1{,}2}\right) \cdot 10^{-4} = 15{,}6 \cdot 10^{-4} \text{ г/А·час,}$$

Подставляя в формулу (32) получим:

$$V_{св} = \frac{14 \cdot 190}{0{,}05625 \cdot 7{,}9 \cdot 100} = 59{,}8 \text{ м/ч} = 1 \text{ см/с}.$$

Напряжение дуги по формуле (30):

$$U_д = 20 + \frac{50 \cdot 10^{-3}}{\sqrt{1{,}2}} \cdot 190 \pm 1 = 24...26$$

Для расчетов принимаем $U_д$ = 24 В.

Определяем коэффициент формы провара по формуле (31):

$$\psi_{пр} = 0{,}92 \cdot (19 - 0{,}01 \cdot 190) \cdot \frac{1{,}2 \cdot 24}{190} = 2{,}38$$

Определяем величину погонной энергии по формуле (32):

$$q_n = \frac{190 \cdot 24 \cdot 1{,}2}{1{,}66} = 3296 \text{ Дж/см}$$

Определяем фактическую глубину провара для таврового бескосного соединения по формуле (33):

$$h = 6{,}8 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt{\frac{3296}{2{,}38}} = 0{,}2505 \text{ см.}$$

Определяем ширину шва для стыкового бескосного соединения по формуле (34):

$$b = 2{,}38 \cdot 2{,}53 = 5{,}96 \text{ мм,}$$

Определяем высоту шва для стыкового бескосного соединения по формуле (35):

$$c_1 = \frac{5{,}625}{0{,}73 \cdot 5{,}96} = 1{,}29 \text{ мм}$$

Определяем скорость подачи проволоки по формуле (36):

$$V_{п.п.} = \frac{4 \cdot 14 \cdot 190}{3{,}14 \cdot 1{,}2^2 \cdot 7{,}9} = 397 \text{ м/ч}$$

Определяем расстояние от сопла горелки до изделия.

Согласно рекомендаций таблицы 14 для $d_{эл}$ = 0,8 мм оно составляет 10…25 мм.

Вылет электрода определяем по формуле (37)

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

4.6 Сварочное оборудование

В состав оборудования сварочного входят источник тока сварочного и аппарат сварочный. Составные части оборудования сварочного и их функции определяются уровнем автоматизации и механизации процесса, параметрами режима сварки, необходимостью их установки и регулировки в режиме сварки и наладки.

Основными параметрами автоматизированной сварки дуговой плавящимся электродом в CO_2, Аг, Не и смесях газов (*MAG, MIG*) являются:

а) сварочный ток I_c (от 40 до 600 А);

б) напряжение сварки U_c (от 16 до 40 В);

в) скорость сварки V_c (от 4 до 20 мм/с), (от 14.4 до 72 м/ч);

г) диаметр электродной проволоки d_n (от 0.8 до 2,5 мм);

д) длина вылета электродной проволоки $l_в$ (от 8 до 25 мм);

е) скорость подачи электродной проволоки V_n (от 35 до 250 мм/с), (от 126 до 960 м/ч);

ж) расход защитного газа $q_г$ (от 3 до 60 л/мин).

Принцип дуговой сварки в защитных газах определяет основные функции оборудования:

а) подвод к дуге электрической энергии и её регулирование (l_c, U_c);

б) перемещение горелки со скоростью сварки (V_c) и её регулирование;

в) подача электродной проволоки (V_n) в зону сварки и регулирование её скорости;

г) подача защитного газа ($q_г$) в зону сварки и регулирование его расхода;

д) установка вылета электродной проволоки (Ц) и корректирующие перемещения горелки;

е) возбуждение дуги и заварка кратера;

ж) автоматическое слежение по линии сварки и др.

По назначению сварочное оборудование разделяют на универсальное, специальное и специализированное. Рассмотрим кратко принципы компоновки универсального сварочного оборудования общего назначения, которое выпускается серийно.

Установка для механизированной дуговой сварки плавящимся электродом в защитных газах обычно включает:

а) источник постоянного тока (выпрямитель);

б) механизм подачи электродной проволоки с кассетой для проволоки;

в) комплект специальных гибких шлангов с горелкой;

г) встроенный в источник блок управления или отдельный шкаф управления;

д) систему подачи защитного газа (баллон, подогреватель газа (для CO_2), газовый редуктор, смеситель газов, газовые шланги, электроклапан);

е) кабели цепей управления;

ж) сварочные кабели с зажимами;

з) приспособление для сборки и кантовки сварного узла (механическое оборудование).

Сварочные полуавтоматы находят самое широкое применение, имеют различное на значение и конструктивное исполнение. Основным исполнением полуавтоматов является по способу защиты зоны дуги:

а) для сварки в активных газах (Г);

б) для сварки в инертных газах (И);

в) для сварки в активных и инертных газах (У);

г) для сварки открытой дугой (О);

д) для сварки под флюсом (Ф).

Различают три основные системы подачи проволоки электродной: толкающего, тянуще – толкающего и тянущего типов. Наиболее распространенной является система подачи толкающего типа, которая ограничивает шланга длину (до 3 м), но отличается простотой и небольшой массой горелки. Другие системы позволяют увеличить длину шлангов до 20 м и использовать тонкую прово-

локу диаметром меньше 1 мм, но механизм подачи в горелке увеличивает её массу. Регулировка скорости подачи проволоки чаще применяется плавная, но возможна плавно–ступенчатая и ступенчатая. По радиусу зоны рабочей различают стационарные полуавтоматы (механизм подачи закрепляется на источнике сварочного тока, радиус определяется длиной шланга), передвижные (механизм подачи можно перемещать относительно источника до 10 м) и переносные (ранцевые с длиной кабелей до 50 м).

Токоподвод (наконечник) является сменной быстро изнашиваемой деталью. От надежности контакта в нем зависит стабильность процесса сварки.

К сменным деталям также относится сопло, которое нагревается от излучения дуги и забрызгивается.

Установки для автоматизированной сварки дуговой плавящимся электродом в защитных газах CO_2, Ar, He и смесях (*MAG, MIG*) общего назначения обычно включают:

а) источник постоянного или тока импульсного;

б) аппарат сварочный (трактор, подвесную или самоходную головку) с механизмами подачи проволоки электродной, перемещения аппарата сварочного со скоростью сварки и подъёма – опускания горелки;

в) кассету или катушку со проволокой сварочной;

г) горелку с механизмом наклона и корректирующих перемещения её по высоте и поперек шва;

д) пульт управления на аппарате сварочном;

е) блок управления, встроенный в аппарат сварочный или размещенный отдельно шкаф управления;

ж) систему подачи газа защитного;

з) система охлаждения водой.

Используем следующее оборудование:

Рекомендуемый источник питания – выпрямитель КИУ 1201.

Мощный выпрямитель КИУ 1201 может применяться как многопостовой источник при комплектации балластными реостатами.

Универсальный выпрямитель сварочный предназначен для полуавтоматической и автоматической сварки в среде газов защитных и под флюсом, а также для дуговой ручной сварки штучными электродами всех типов.

Выпрямитель имеет отличные свойства сварочные: горение стабильное дуги, малое разбрызгивание металла, качество высокое шва сварного. А также дополнительные веерные характеристики, предназначенные для расширения технологических возможностей. Может применяться как многопостовой источник при комплектации балластными реостатами.

Технические характеристики выпрямителя КИУ 2101 приведены в таблице 17.

Таблица 17 - Технические характеристики выпрямителя КИУ 2101

Параметра	Значения
Напряжение питающей сети, В	380
Частота питающей сети, Гц	50
Номинальный сварочный ток, А (ПВ, %)	1250
Пределы регулировки сварочного тока, А	80 – 1250
Номинальное рабочее напряжение, В	20–56
Напряжение холостого хода, В, не более	85
Габаритные размеры, мм	960/680/890
Масса, кг, не более	550

Рекомендуемой сварочной головкой является АДФ – 1000.

Головка сварочная для сварки дуговой электродом плавящимся автомата сварочного АДФ - 1000, с естественным охлаждением токопроводящей части головки сварочной и сопла, с плавным регулированием скорости подачи проволоки электродной, предназначена для комплектации оборудования сварочного (порталов, колонн), используемого для автоматической многослойной и однослойной сварки под флюсом на токе постоянном прямолинейных угловых и стыковых швов, швов в «тавр» и стыковых швов с разделкой и без разделки кромок.

Характеристики сварочной головки АДФ - 1000 приведены в таблице 18

Таблица 18 - Характеристики сварочной головки

Напряжение питания блока управления, В	42, переменный
Номинальный сварочный ток (при ПВ=100%), А	определяется источником
Пределы регулирования сварочного тока, А	определяется источником
Диаметр сплошной сварочной проволоки, мм	0,8 – 5,0

Продолжения таблицы 18

Скорость подачи проволоки, м/ч	30–450
Напряжение питания электропривода, В	постоянный
Тормозной момент, Н м	1,5
Вращение сварочной головки поперек продольной оси, град.	+/–45
Вращение сварочной головки вдоль продольной оси, град.	+/–45
Максимальная масса катушки с проволокой, кг	определяется размотчиком
Масса, кг	22

Для исправления брака используем аппарат механизированной сварки *Blueweld Megamig* 500*S.*

Характеристики применяемого аппарата: Сварочный полуавтомат для сварки электродной проволокой в среде защитного газа (*MIG–MAG*) или самозащитной порошковой проволокой (без газа) со съёмным устройством подачи проволоки. Подходит для применения в промышленности с различными типами материалов: сталь, нержавеющая сталь, высокопрочная сталь, алюминий. Особенности:

а) повышенная прочность;

б) большое количество регулировок напряжения дуги;

в) регулирование времени точечной сварки;

г) две позиции реактивного сопротивления;

д) термостатическая защита.

Характеристики установки для исправления брака приведены в таблице 19.

Таблица 19 - Характеристики установки для исправления брака.

Параметры	Значения
1	2
Напряжение питания, В	380
Мощность при нагрузке 60%, кВт	10

Продолжение таблицы 19

1	2
Сварочный ток *min*, А	50,0
Сварочный ток *max*, А	500,0
Максимальная мощность, кВт	25
Сварочный ток при нагрузке в % от максимального, А	500,0
Максимальный ток при нагрузке 60%, А	280,0
Диаметр проволоки, *min*	0,6
Диаметр проволоки, *max*	2,0
Диаметр проволоки, газ , *min*, Al	0,8
Диаметр проволоки, газ , *max*, Al	1,2
Длина, мм	945,0
Ширина, мм	565,0
Высота, мм	830,0
Масса, кг	128,0

Типы переноса электродного металла и их применение.

При сварке электродом плавящимся дугой открытой перенос металла электродного представляет сложный процесс. Много факторов оказывает влияние на перенос: состав и свойства газа защитного, состав и свойства металла электродного, полярность и род тока, параметры режима сварки, вольт-амперная характеристика источника тока и его динамические свойства и др.

Можно выделить следующие виды переноса металла электродного:

а) без коротких замыканий дуги и с короткими замыканиями;

б) крупно-, средне-, мелкокапельный и струйный;

в) без разбрызгивания и с разбрызгиванием.

Наиболее благоприятные условия для переноса металла электродного наблюдаются при сварке в инертных одноатомных газах гелии и аргоне. В аргоне имеет место два вида переноса: крупнокапельный без коротких замыканий с небольшим разбрызгиванием на докритическом токе и струйный на токе больше критического. Вид переноса влияет на форму проплавления: а) меньше критического и б) больше.

Сварка со струйным переносом рекомендуется на металле средней толщины. В гелии наблюдается капельный перенос с короткими замыканиями (к.з.) дуги (малые ток и напряжение) и без к.з. на повышенном токе и напряжении при незначительном мелкокапельном разбрызгивании.

При сварке в CO_2 имеют место перенос мелкокапельный с к.з. и небольшим разбрызгиванием, крупнокапельный с к.з. и без к.з. с большим разбрызгиванием. На больших токах, когда дуга погружается в основной металл, перенос становится мелкокапельным, разбрызгивание уменьшается, однако валик имеет чрезмерную выпуклость.

Выбор режимов сварки в среде аргона.

К параметрам режима сварки в среде аргона относят: род тока и полярность, диаметр электродной проволоки, сила тока сварочного, дуги напряжение, скорость подачи проволоки, вылет электрода, расход газа защитного и скорость сварки.

При сварке в аргоне обычно применяют ток постоянный обратной полярности, так как сварка током полярности прямой приводит к неустойчивому горению дуги. Ток переменный можно применять только с осциллятором, однако в большинстве случаев рекомендуется применять ток постоянный.

Диаметр проволоки электродной следует выбирать в зависимости от толщины металла свариваемого.

Ток сварочный устанавливается в зависимости от выбранного диаметра проволоки электродной.

С увеличением силы тока сварочного увеличивается глубина провара и повышается производительность процесса сварки.

Дуги напряжение зависит от длины дуги. Чем длиннее дуга, тем больше напряжения на ней. С увеличением дуги напряжения увеличивается ширина шва и уменьшается глубина его провара. Устанавливается дуги напряжение в зависимости от выбранной силы тока сварочного.

Скорость подачи проволоки электродной подбирают с таким расчётом, чтобы обеспечивалось устойчивое дуги горение при выбранном напряжении на ней.

Вылетом электрода называется длина отрезка электрода между его концом и выходом его из мундштука. Величина вылета оказывает большое влияние на устойчивость процесса сварки и качества сварного шва. С увеличением вылета ухудшается устойчивость горения дуги и формирования шва, а также увеличивается разбрызгивание. При сварке с очень малым вылетом затрудняется наблюдение за процессом сварки и часто подгорает контактный наконечник. Величину вылета рекомендуется выбирать в зависимости от диаметра электродной проволоки.

Кроме вылета электрода, необходимо выдерживать определённое расстояние от сопла горелки до изделия , так как с увеличением этого расстояния возможно попадание кислорода и азота воздуха в наплавленный металл и образования пор в шве. Величину расстояния от сопла горелки до изделия следует выдерживать в приведенных значениях, приведенных в таблице 20.

Таблица 20 - Рекомендуемые расстояния от сопла горелки до изделия

Диаметр электродной проволоки,мм	0,50; 0,80	1,0; 1,20	1,60; 2,0	2,50; 3,0
Расстояние от сопла горелки до изделия	5,0 – 15,0	8,0 - 18,0	15,0 - 20,0	20,0 - 40,0

Расход газа защитного определяют в зависимости от силы тока, скорости сварки, типа соединения и вылета электрода. В среднем газа расходуется от 5 до 20 л/мин.

Скорость сварки устанавливается в зависимости от толщины металла и необходимой площади поперечного сечения шва.

Перед возбуждением сварочной дуги зону сварки обдувают защитным газом. Расстояние от сопла горелки до поверхности трубы не должно превышать 25 мм. В случае обрыва дуги кратер шва и прилегающий к нему участок шва на расстоянии не менее 15 мм очищают от шлака. Возбуждение дуги после перерыва следует производить на ранее заваренном участке шва на расстоянии от 10 до 15 мм от кратера. По окончании сварки обрывать дугу следует только после заплавления кратера. Кратер необходимо обдувать защитным газом в течение от 1 до 5 с, пока не остынет металл.

4.7 Техника и технология сборки и сварки конструкции

При сварке в среде аргона должно использоваться сварочное оборудование, обеспечивающее получение заданных руководящим документом режимов сварки, надежность в работе, простоту обслуживания и контроль режимов в процессе работы.

Автоматическая сварка в газах защитных выполняется на постоянном токе обратной полярности.

Ориентировочный расход сварочной проволоки при сварке в аргоне Ar составляет от 1,1 до 1,15 кг на 1 кг наплавленного металла, а при сварке в смесях на основе аргона – от 1,05 до 1,06 кг.

Ориентировочный расход защитной газовой среды составляет от 0,5 до 0,7 $м^3$ на 1 кг наплавленного металла. Наименьшее количество газа расходуется при сварке тавровых соединений и угловых с внутренней стороны, средне – стыковых и наибольшее – угловых с наружной стороны.

Для обеспечения качественной защиты необходимо принять меры по исключению сквозняков в зоне сварки. Необходимо следить, чтобы расстояние от сопла горелки до поверхности свариваемой детали не превышало 25 мм.

При сварке в защитных газах положение горелки и ее размещение должны обеспечивать устойчивость процесса, надежность газовой защиты сварочной ванны от воздуха, оптимальную форму шва, возможность наблюдения за процессом сварки.

Количество проходов по ширине шва (в одном слое шва) должно устанавливаться с учетом толщины свариваемого металла.

При сварке жестких конструктивных элементов большой толщины первый валик рекомендуется выполнять выпуклым швом во избежание образования в нём трещин.

По окончании сварки обрывать дугу следует после заплавления кратера шва, кратер первого прохода швов стыковых соединений с разделкой кромок при сварке проволокой диаметром от 1,4 до 2,0 мм следует выводить на кромку основного металла.

При сварке угловых швов сварочная проволока должна быть отклонена от вертикальной стенки на угол от 30 до 45.

Во избежание больших сварочных напряжений в первую очередь рекомендуется выполнять в свободном для деформации состоянии стыковые швы, затем остальные стыковые швы и в последнюю очередь угловые.

При автоматической сварке в среде аргона стыковых, угловых, тавровых и нахлесточных соединений, предусмотренных ГОСТ 14771 – 76 [17], рекомендуется преимущественно швы типов С1, С2, С4, С5, С7, С9, С10, С12, С15, С18, С19 С21, С25, У1, У5, У7, У8, У10, Т1, Т7, Т8, Т9, Н1.

При сварке угловых и нахлесточных соединений труб и деталей трубопроводов (фланцев, штуцеров, тройников, отводов и т. д.) сваривающие узлы располагают так, чтобы сварка производилась в нижнем или вертикальном положении.

5 Выбор методов контроля качества

Согласно ГОСТ Р 5263 – 2012 [3], сосуды (сборочные единицы и детали), материалы и комплектующие изделия должны быть приняты отделом технического контроля предприятия-изготовителя и проверены на соответствие требованиям НД.

Каждое изделие (сосуд) на предприятии-изготовителе следует подвергать приемосдаточному испытанию, которое включает в себя проверку:

а) габаритных и присоединительных размеров;

б) прочности и герметичности;

в) соответствия примененных материалов предусмотренным материалам в спецификации рабочей документации;

г) качества сварных соединений;

д) качества поверхности;

е) качества покрытия;

ж) комплектности изделия (сосуда);

з) комплектности сопроводительной документации;

и) маркировки;

к) консервации;

л) упаковки.

Испытания сосудов следует проводить на испытательном оборудовании, аттестованном в установленном порядке, укомплектованном средствами защиты и приборами, имеющем эксплуатационную документацию и паспорт.

Испытания сосудов должен проводить обученный и аттестованный персонал по утвержденной технологии в соответствии с программами и методиками (технологическим процессом) на испытания.

Геометрические размеры и форму поверхностей следует измерять с помощью средств, обеспечивающих погрешность не более 30 % установленного допуска на изготовление.

Габаритные размеры сосудов следует определять путем суммирования размеров входящих в них сборочных единиц и деталей.

Контроль качества поверхностей на отсутствие плен, закатов, расслоений, грубых рисок, трещин, снижающих качество и ухудшающих товарный вид, следует проводить путем визуального осмотра.

Браковочный признак устанавливают на основании требований соответствующего стандарта или проектной документации.

Обязательная проверка наличия, содержания, мест расположения клейм на сварных швах и маркировки на готовом сосуде (самостоятельно поставляемых сборочных единицах и деталях) должна осуществляться визуальным осмотром.

Контроль качества сварных соединений следует проводить следующими методами:

а) визуальным осмотром и измерительным контролем;

б) механическими испытаниями;

в) испытанием на стойкость против межкристаллитной коррозии;

г) металлографическими исследованиями;

д) стилоскопированием;

е) ультразвуковой дефектоскопией;

ж) радиографией;

з) цветной или магнитопорошковой дефектоскопией;

и) другими методами (акустической эмиссией, люминесцентным контролем, определением содержания ферритной фазы и др.), если необходимо.

Окончательный контроль качества сварных соединений сосудов, подвергаемых термической обработке, следует проводить после термической обработки.

Контроль комплектности, консервации, окраски, упаковки необходимо проводить путем сопоставления объема и качества выполненных работ с требованиями настоящего стандарта и технических условий.

Предприятие-изготовитель негабаритных сосудов, транспортируемых частями, должно провести контрольную сборку.

Допускается вместо сборки проводить контрольную проверку размеров стыкуемых частей при условии, что предприятие–изготовитель гарантирует собираемость сосуда.

В процессе изготовления сборочных единиц и деталей необходимо проверять на соответствие требованиям стандартов (технических условий) и проекта:

а) состояние и качество свариваемых сборочных единиц и деталей и сварочных материалов;

б) качество подготовки кромок и сборки под сварку;

в) соблюдение технологического процесса сварки и термической обработки.

Визуальный контроль и измерение сварных швов необходимо проводить после очистки швов и прилегающих к ним поверхностей основного металла от шлака, брызг и других загрязнений.

Обязательному визуальному контролю и измерению подлежат все сварные швы в соответствии с ГОСТ 3242 – 79 [27] для выявления дефектов, выходящих на поверхность шва и не допустимых в соответствии с требованиями настоящего стандарта.

Визуальный контроль и измерение следует проводить в доступных местах с двух сторон по всей протяженности шва. Механическим испытаниям следует подвергать стыковые сварные соединения, определяющие прочность сосуда. Механические испытания необходимо проводить на контрольных стыковых сварных соединениях на двух, трех образцах в зависимости от типа испытания.

Испытание сварного соединения на стойкость против межкристаллитной коррозии следует проводить для сосудов (сборочных единиц, деталей), изготовленных из сталей аустенитного класса, по требованию технических условий или проекта.

Испытание на стойкость против межкристаллитной коррозии следует проводить по ГОСТ 6032 – 2003 [28] или соответствующему НТД. Метод испытания должен быть указан в проекте.

Металл шва и зона термического влияния должны быть стойкими против межкристаллитной коррозии.

При получении неудовлетворительных результатов допускается проведение повторного испытания на удвоенном количестве образцов, вырезанных из того же контрольного сварного соединения.

Если при повторном испытании получены неудовлетворительные результаты хотя бы на одном образце, сварное соединение считают непригодным.

Допускается не подвергать металлографическим исследованиям стыковые сварные соединения из нержавеющей стали.

Стилоскопирование сварных швов следует проводить для установления марочного соответствия примененных сварочных материалов требованиям проекта и инструкций по сварке или настоящего стандарта.

При стилоскопировании следует руководствоваться РД 26.260.15 – 2001 [29].

Стилоскопированию сосудов группы 4 должны подвергаться 25% от общего количества сварных швов.

При получении неудовлетворительных результатов допускается повторное стилоскопирование того же сварного соединения на удвоенном количестве точек.

При неудовлетворительных результатах повторного контроля следует проводить спектральный или химический анализ сварного соединения, результаты которого считают окончательными.

Дефектные сварные швы, выявленные при контроле, должны быть удалены, швы вновь сварены и подвергнуты стилоскопированию.

Для выявления внутренних дефектов сварных соединений следует применять методы неразрушающего контроля, в которых используют проникающие физические поля: радиографический, ультразвуковой.

Ультразвуковую дефектоскопию сварных соединений следует проводить в соответствии с ГОСТ Р 56542 – 2015 [30] и НТД.

Радиографический контроль сварных соединений следует проводить в соответствии с ГОСТ 7512 – 82 [31] и НТД.

Цветной или магнитопорошковой дефектоскопии следует подвергать сварные швы, не доступные для осуществления контроля радиографическим или ультразвуковым методом, а также сварные швы сталей, склонных к образованию трещин при сварке.

Цветную и магнитопорошковую дефектоскопии сварных соединений следует проводить в соответствии с ГОСТ 18442 – 80 [32], ГОСТ 21105 – 87 [33] и НТД.

Объем контроля и класс чувствительности определяют в соответствии с требованиями НД или требованиями проекта.

Для механических и коррозионных испытаний, а также металлографических исследований вырезают образцы из контрольных сварных соединений.

Если проведена производственная аттестация технологии сварки, то разрешается не выполнять механические испытания контрольных сварных соединений.

Гидравлическому испытанию подлежат все сосуды после их изготовления. Гидравлическое испытание следует проводить на предприятии–изготовителе. Гидравлическое испытание сосудов, транспортируемых частями и собираемых на месте монтажа, допускается проводить после их изготовления на месте установки.

Гидравлическое испытание сосудов следует проводить с крепежом и прокладками, предусмотренными в технической документации.

Необходимость контроля на герметичность, степень герметичности и выбор методов и способов испытаний должны быть оговорены в технической документации на сосуд.

Контроль в процессе сварки осуществляется производственным мастером и специалистом лаборатории неразрушающего контроля и должен обеспечи-

вать выявление и своевременное устранение обнаруженных дефектов, а также принятие профилактических мер с целью исключения условий для возникновения повторных дефектов.

Контроль качества сварных соединений водонагревателя из стали 12Х18Н9Т должен осуществляться следующими методами:

а) операционным контролем;

б) визуальным и измерительным контролем;

в) ультразвуковым или радиографическим контролем (иногда применяются оба метода контроля вместе);

г) механическими испытаниями.

д) испытаниями на склонность к межкристаллитной коррозии (МКК)

Заключение о качестве сварных соединений выдает лаборатория неразрушающего и разрушающего контроля.

Операционный контроль. Контроль должен проводиться в соответствии с РД 3410.126 – 94 [34]. Операционный контроль предусматривает проверку соблюдения требований нормативно-технической, производственно-технологической и рабочей конструкторской документации (конструкторская документация, чертежи, технические требования, технические условия) изделий и узлов при выполнении работ по подготовке деталей (сборочных единиц, оборудования) и их сборке под сварку, подогреву, сварке, термической обработке и исправлению дефектов в сварных соединениях и основном металле.

Результаты операционного контроля должны быть зафиксированы в отчетной документации (карта операционного контроля, журнал сварочных работ, журнал работ по термообработке и исправлению дефектов и др.).

Визуальный и измерительный контроль должен проводиться в соответствии с РД 03–606 – 03 [35]. Визуальному контролю подвергаются все законченные сварные соединения проектируемого корпуса водонагревателя.

Перед визуальным контролем сварные швы и прилегающая к ним поверхность основного металла шириной не менее 20 мм (по обе стороны шва)

должны быть очищены от шлака, брызг расплавленного металла, окалины и других загрязнений.

Шероховатость зачищенных под контроль поверхностей деталей, сварных соединений, а также поверхность разделки кромок деталей (сборочных единиц, изделий), подготовленных под сварку, должна быть не более *Ra* 12,5 (*Rz* 80).

Недопустимыми дефектами, выявленными при визуальном контроле сварных соединений, являются: трещины всех видов и направлений; непровары (несплавления) между основным металлом и швом, а также между валиками шва; наплывы (натеки) и брызги металла; незаваренные кратеры; свищи; прожоги; скопления включений.

Измерительный контроль сварных соединений (определение размеров швов, смещения кромок, переломов осей, углублений между валиками, чешуйчатости поверхности швов и др.) следует выполнять в местах, где допустимость этих показателей вызывает сомнения при визуальном контроле. Размеры и форма шва проверяются с помощью шаблонов, размеры дефекта – с помощью мерительных инструментов.

Выявленные при визуальном и измерительном контроле дефекты, которые могут быть исправлены (удалены) без последующей заварки выборок, должны быть исправлены до проведения контроля другими методами.

Пневмоиспытания (пузырьковый метод контроля).При пневматическом испытании ГОСТ 3242 – 79 [35] сжатый газ (воздух, инертные газы и др.) подают в испытуемый сосуд под давлением, несколько превышающем рабочее. Плотность сварных соединений проверяют мыльным раствором или погружением сосуда в воду. Контроль, осуществляемый после внешнего осмотра**,** основан на способности газов и жидкостей проникать через несплошности. Для проведения испытаний используют керосин, аммиак, воздух, воду, гелий и др.

Сварные соединения считают не прошедшими испытания, если уровень их механических свойств ниже, чем у основного металла.

В соответствии с ГОСТ 6032 – 2003 [36] стали аустенитного класса следует подвергать испытаниям на склонность к межкристаллитной коррозии. Образцы сталей выдерживают в кипящем водном растворе сернокислой меди и серной кислоты в присутствии металлической меди (стружка). Испытания проводят в стеклянной колбе с обратным холодильником. Реакционный сосуд с раствором для испытания нагревают и непрерывно кипятят не допуская нагрева холодильника. По окончании испытаний для обнаружения МКК образцы изгибают на угол 90 ±5 по ГОСТ 14019 – 2003 [37]. Существуют несколько видов изгибания образцов по ГОСТ 6032 – 2003 [36]:

а) тип 1: два образца по сварному шву, два образца – по зоне термического влияния при контроле основного металла или сплава.

б) тип 2: два образца перпендикулярно к сварному шву при контроле металла шва, зоны термического влияния и сварного соединения в целом; в случае необходимости контроля обеих сторон образцы изгибают *Z* - образно.

Осмотр изогнутых образцов проводят с помощью лупы при увеличении в от 7 до 12 раз. Отсутствие трещин на образцах, изогнутых после испытания, за исключением продольных трещин непосредственно на кромках, свидетельствует о стойкости стали или сплава к МКК. Наличие трещин на образцах, изогнутых после испытания, и отсутствие трещин на изогнутых таким же образом контрольных образцах свидетельствует о склонности стали к МКК.

Учитывая всё вышесказанное, назначаем следующие методы контроля:

а) для сварного соединения №1: Визуальный - 100 %, измерительный - 100 %; Рентгенография – 100 %; пневмоиспытания - 100 %, механические испытания; Испытания на склонность к МКК.

б) для сварного соединения №2, №3: Визуальный - 100 %, измерительный - 100 %; Рентгенография - 100 %; пневмоиспытания - 100 %, Испытания на склонность к МКК.

в) для сварного соединения №3: Визуальный - 100 %, измерительный - 100 %; Рентгенография - 100 %; Пневмоиспытания - 100 %, Испытания на склонность к МКК.

г) для сварного соединения №4, №5, №6: Визуальный - 100 %, измерительный - 100 %; Рентгенография - 100 %. Пневмоиспытания - 100 %, Испытания на склонность к МКК.

6 Проектирование средств технологического оснащения

В данной работе предлагается использовать для сборки и сварки продольных швов установку, представленною на рисунке 22 для сварки нахлесточных кольцевых швов *CW–350R.*

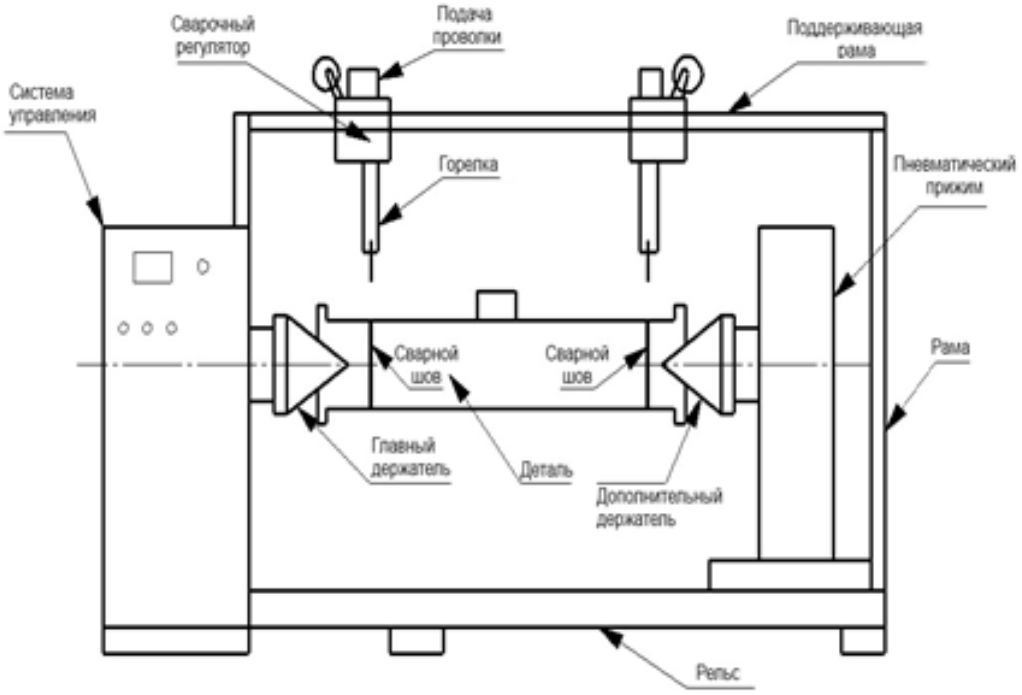


Рисунок 22 - Установка для сварки продольных швов

Характеристики установки для сварки кольцевых швов приведены в таблице 21.

Таблица 21 - Характеристики установки для сварки кольцевых швов

Питание сети при 50/60 Гц, В	1~100–240
Вес детали, кг	130,0
Длина детали, мм	600,0
Диаметр детали, мм	350,0
Максимальный вес закрепляемого сварочного оборудования, кг	10,0
Ход задней бабки, мм	75,0

Продолжение таблицы 21

Диаметр сквозного отверстия в планшайбе, мм	38,5
Диаметр болтов для крепления оснастки к планшайбе	M10
Заземление, А	200А–100%; 300А–40%
Мощность двигателя, *W*	65,0
Длина, мм	850,0
Ширина, мм	810,0
Высота, мм	1450,0
Вес, кг	169,0

Установки серии *CW* для сварки кольцевых швов разработаны для выполнения стыковых, кольцевых швов обечаек круглого и прямоугольного сечения или листов с толщиной от 0,5 мм до 10 мм и длиной от 500 мм до 6000 мм. На данном оборудовании могут быть реализованы следующие способы сварки: *MIG/MAG,TIG*, плазменная и сварка под флюсом.

Заключение

В соответствии с исходными данными, чертежом конструкции, техническими требованиями к сварной конструкции, проведена работа по проектированию корпуса водонагревателя; для обеспечения равнопрочности сварных швов с основным материалом подобраны соответствующие сварочные материалы, выбраны способы получения неразъемного соединения и оборудование, необходимое для сварки конструкции; рассчитаны режимы сварки, приведены сведения о методах контроля сварных соединений.

Разработанная технология сборки и сварки изделия позволяет обеспечить следующие технико-экономические показатели:

а) стабильность производства;

б) высокое качество сварных швов;

в) снижение затрат на материалы;

г) увеличение производительности.

Таким образом, поставленные цели и задачи были выполнены.

Список использованных источников

1. **Маслов, Б. Г. Производство сварных конструкций** [Текст]: учебник для студ. учреждений сред.проф. образования / Б. Г. Маслов, А. П. Выборнов. – М.: Издательский центр Академия, 2012. – 256 с.: ил.

2. **О безопасности оборудования, работающего под избыточным давлением** [Текст]: ТР - ТС 032. Введ. 2 – 06 – 2013.– : Совет Евразийской Экономической Комиссии, 2013. – 52 с.: ил.

3. **Сосуды и аппараты стальные сварные. Общие технические условия** [Текст]: ГОСТ 34347-2017. – Введ. 2018-02-13. – М.: Стандартинформ, 2018. – 110 с.

4. **Система стандартов безопасности труда. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности** [Текст]: ГОСТ 12.1.007 – 76. – Введ. 01 – 01 – 77. – М: Издательство стандартов, 1977 – 26 с.: ил.

5. **Марочник сталей и сплавов. 2 – е изд., доп. и испр. / А. С. Зубченко, М. М. Колосков, Под общей ред. А. С. Зубченко** [Текст]: М.: Машиностроение, 2013 – 784 с: ил.

6. **Аппараты емкостные стальные объемом от 0,2 до 200,0 м^3. Технические условия** [Текст]: ТУ 3615 – 001 – 25491213 – 2006. – Введ. 16 – 02 – 2006. – М: ООО Монтажно–строительное управление №14 Гидромонтаж, 2006 – 39 с.: ил.

7. **Прокат повышенной прочности. Общие технические условия** [Текст]: ГОСТ 19281 – 2014. – Введ. 13 – 07 – 2015. – М.: Стандартинформ, 2015 – 47 с.: ил.

8. **Прокат листовой горячекатаный. Сортамент** [Текст]: ГОСТ 19903 – 2015. – Введ. 16 – 09 – 2015. – М.: Стандартинформ, 2015. – 53 с.: ил.

9. **Горев, В. В. Металлические конструкции В 3 т. Т. 1. Элементы конструкций** [Текст]**:** Учеб.для строит. вузов /, Б. Ю. Уваров, В. В. Филиппов и др. Под ред. В. В. Горева. – 2–е изд., перераб. и доп. М.: Высш. шк., 2011. – 551 с: ил.

10. **Прокат листовой холоднокатаный. Сортамент** [Текст]: ГОСТ 19904 – 90. – Введ. 18 – 07 – 1990. – М: Издательство стандартов, 1990 – 22 с.: ил.

11. **Легированные нержавеющие стали и сплавы коррозионно-стойкие, жаростойкие и жаропрочные. Марки** [Текст]: ГОСТ 5632-2014. – Введ.01 – 01 – 2015. – М: Издательство стандартов, 2015 – 54 с.: ил.

12. **Усатый, С.Г. Проектирование сварных конструкций. Элементы расчета и технологии.** [Текст]: Методические указания к курсовому проекту/ С.Н. Чугунов, - Пенза, 2010 – 78 с.: ил.

13. **Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность** [Текст]: ГОСТ 14249 – 89. – Введ. 25 – 11 – 1989. – М: Издательство стандартов, 1989 – 33 с.: ил.

14. **Нехаев, Г. А. Проектирование и расчет стальных цилиндрических резервуаров и газгольдеров низкого давления** [Текст]: учеб для вузов / Г. А. Нехаев - М. Машиностроение, 2015 – 210 с.: ил.

15. **Штуцера для сосудов и аппаратов стальных сварных. Типы, основные параметры, размеры и общие технические требования** [Текст]: АТК 24.218.06 – 90. – Введ. 30 – 07 – 1990. – М: Издательство стандартов, 1990 – 43 с.: ил.

16. **Фланцы арматуры, соединительных частей и трубопроводов на номинальное давление до *PN* 250. Конструкция, размеры и общие технические требования** [Текст]: ГОСТ 33259 – 2015. – Введ. 21 – 05 – 2015. – М.: Стандартинформ, 2015 – 30 с.: ил.

17. **Дуговая сварка в защитном газе. Соединения сварные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры** [Текст]: ГОСТ 14771 – 76. – Введ. 13 – 03 – 1976. – М: Издательство стандартов, 1976 – 31 с.: ил.

18. **Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Укрепление отверстий в обечайках и днищах при внутреннем и внешнем давлениях. Расчет на прочность обечаек и днищ при внешних статических нагрузках на штуцер** [Текст]: ГОСТ 34233.3-2017. – Введ. 25 – 03 – 2007. – М.: Стандартинформ, 2007 – 37 с.:ил.

19. **Проволока стальная сварочная. Технические условия** [Текст]: ГОСТ 2246 – 70. – Введ. 24 – 02 – 1970.– М: Издательство стандартов, 1970 – 29 с.: ил.

20. **Соединения штуцерно – торцовые. Технические условия** [Текст]: ГОСТ 5890 – 78. – Введ.23 – 07 – 1978. – М: Издательство стандартов, 1978 – 51 с. :ил.

21. **Чугунов, С.Н. Проектирование сварных конструкций** [Текст]: методические указания для вузов / С.Н. Чугунов - Пенза, 2012 – 85 с.

22. **Овчинников, В.В**. **Оборудование, техника и технология сварки и резки металлов** [Текст]: учеб для вузов / В.В Овчинников – М.: Машиностроение, 2013. – 303 с.

23. **Правила проектирования, изготовления и приемки сосудов и аппаратов стальных сварных** [Текст]: ПБ 03 – 584 – 03. – Введ. 12 – 03 – 2003.– М.: Стандартинформ, 2003 – 38 с.

24. **Аргон газообразный и жидкий. Технические условия** [Текст]: ГОСТ 10157 – 79. – Введ.18 – 09 – 1979. – М: Издательство стандартов, 1979 – 34 с.: ил.

25. **Двуокись углерода газообразная и жидкая. Технические условия** [Текст]: ГОСТ 8050 – 85. – Введ. 20 – 12 – 1985.– М: Издательство стандартов, 1985 – 36с.: ил.

26. **Баллоны стальные малого и среднего объема для газов на Рр** [Текст]: ГОСТ 949 – 73. – Введ. 25 – 02 – 1973. – М: Издательство стандартов, 1973 – 43с.: ил.

27. **Соединения сварные. Методы контроля качества** [Текст]: ГОСТ 3242 – 79. – Введ. 03 – 11 – 1979. – М: Издательство стандартов, 1979 – 40 с.: ил.

28. **Контроль неразрушающий. Классификация видов и методов** [Текст]: ГОСТ Р 56542 – 2015. – Введ. 20 – 03 – 2015 – М.: Стандартинформ, 2015 – 35 с.: ил.

29. **Контроль неразрушающий. Соединения сварные. Радиографический метод** [Текст]: ГОСТ 7512 – 82. – Введ. 01 – 03 – 1982. – М.: Стандартинформ, 1982 – 49 с.: ил.

30. **Инструкция по операционному контролю процессов сборки, сварки и термообработки** [Текст]: РД 3420.126 – 94. – Введ. 15.03.1994. – М.: Стандартинформ, 1994 – 59 с.: ил.

31. **Инструкция по визуальному и измерительному контролю** [Текст]: РД 03 – 606 – 03. – Введ. 10 – 12 – 2003. – М.: Стандартинформ, 2003. – 55с.: ил.

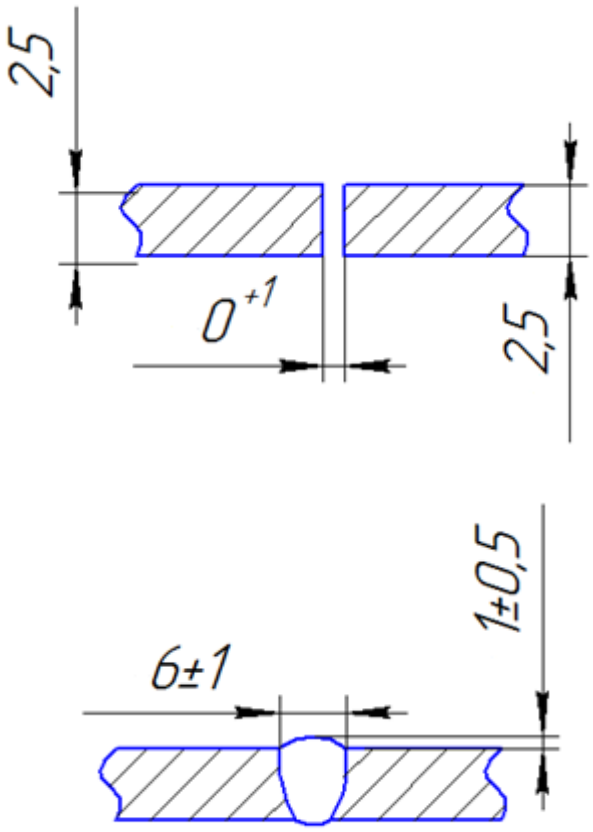
32. **Сварные соединения. Методы определения механических свойств** [Текст]: ГОСТ 6996 – 66. – Введ. 11 – 10 – 1966 – М: Издательство стандартов, 1966 – 31 с.: ил.

33. **Металлы. Методы испытаний на растяжение** [Текст]: ГОСТ 1497 – 84. – Введ. 25 – 08 – 1984. – М.: Стандартинформ, 1984 – 37 с.: ил.

34. **Машины для испытания материалов на растяжение, сжатие и изгиб. Общие технические требования** [Текст]: ГОСТ 28840 – 90 . – Введ. 15 – 03 – 1990. – М.: Стандартинформ, 1990 – 45 с.: ил.

35. **Меньшиков, В.П. Проектирование и расчет в программе Пассат /** [Текст]: метод пособие / В.П.Меньшиков.– М.: Издательский центр "НТП Трубопровод", 2015 – 428 с.: ил.

Карта технологического процесса сварки продольного шва №1

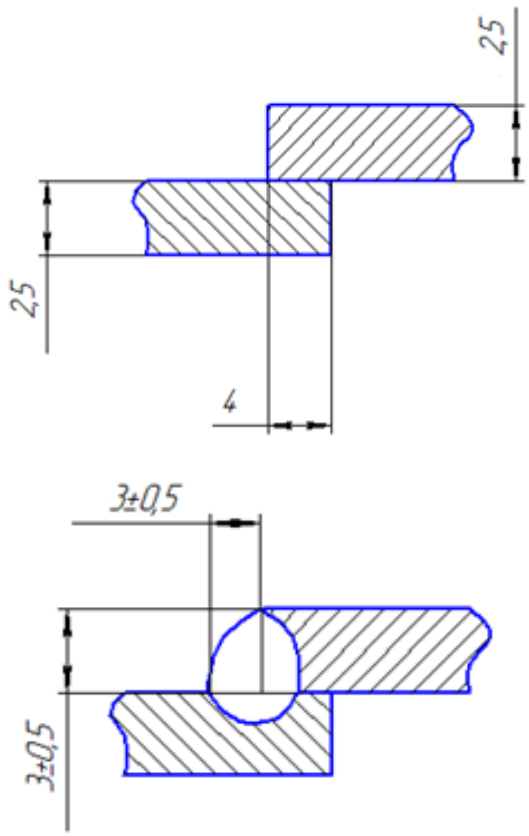
Конструкция соединения, конструктивные элементы шва и порядок сварки	1. Способ сварки: ГОСТ 14771 – 76
	2. НТД по сварке: ГОСТ Р 52630 –2012
	3. Положение шва при сварке: нижнее
	4.Основной материал: Сталь 12Х18Н9Т по ГОСТ 5632 – 70
	5. Соединение: Вид соединения: стыковое
	Вид разделки: без скоса кромок
	Тип соединения: С1
	6. Способ подготовки кромок: без подготовки кромок
	7. Способ сборки: автоматическая сварка плавящимся электродом в среде аргона
	8. Требования к прихватке: без прихваток
	9. Сварочные материалы: Проволока 1,2 Св – 08Х19Н10Б по ГОСТ 2246 – 70; защитный газ: Ar по ГОСТ 10157 – 79
	10. Подогрев: без подогрева

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ПГУ.ВКР.15.03.01.223М0022.ПЗ		
Разраб.		Чуенков В.Р.			Шов №	Лит.	Лист	Листов
Провер.		Кривенков А.О.						
Н. Контр.						Каф. «СЛПиМ» гр.223М041		
Утверд.								

11. Сварочное оборудование: автоматическая установка *Mecome BR 1000*							
12. Технологические параметры сварки							
Способ сварки	Диаметр электрода (присад. проволоки)	Род тока, поляр ность	Сила тока, А	Напряже-ние, В	Скорость сварки, м/ч	Скорость подачи проволоки, м/ч	Расход газа, л/мин
ИП	1,2	Постоянный обратная	180-200	24 - 26	26 - 30	350 - 380	15 - 30
13. Технологические требования к сварке: перед сборкой под сварку кромки и прилегающие к ним зоны основного металла должны быть зачищены на ширину не менее 20 мм от загрязнений до металлического блеска; околошовную зону от брызг металла							
14. Вид термической обработки: без термической обработки							
15. Методы и объемы контроля качества сварного соединения: визуальный - 100 %, измерительный - 100 %; стилоскопирование; пневмоиспытания 100 %, механические испытания; испытания на склонность к МКК.							

Разработал _____/В.Р. Чуенков/

Карта технологического процесса сварки кольцевого шва №2

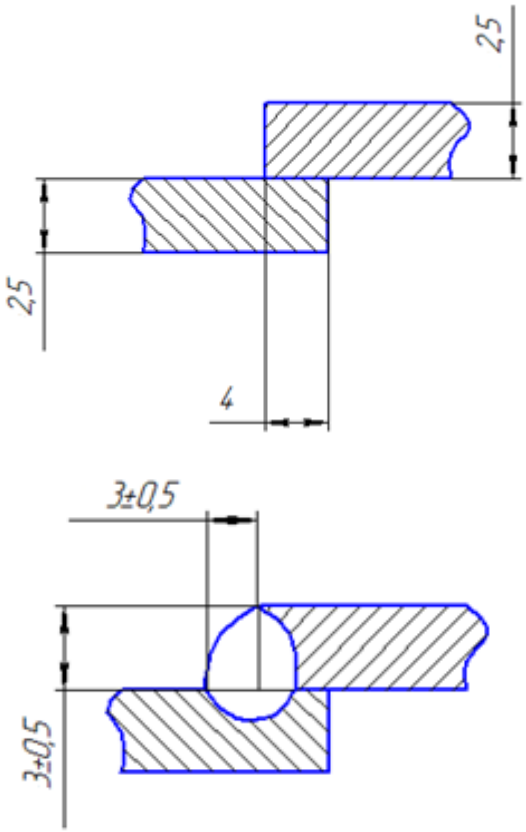
Конструкция соединения, конструктивные элементы шва и порядок сварки	1. Способ сварки: ГОСТ 14771 – 76
	2. НТД по сварке: ГОСТ Р 52630 –2012
	3. Положение шва при сварке: нижнее
	4.Основной материал: Сталь 12Х18Н9Т по ГОСТ 5632 – 70
	5. Соединение: Вид соединения: нахлесточное
	Вид разделки: без скоса кромок
	Тип соединения: Н1
	6. Способ подготовки кромок: Без подготовки кромок
	7. Способ сборки: автоматическая сварка плавящимся электродом в среде аргона
	8. Требования к прихватке: без прихваток
	9. Сварочные материалы: Проволока 1,2 Св – 08Х19Н10Б по ГОСТ 2246 – 70; защитный газ: Ar по ГОСТ 10157 – 79
	10. Подогрев: без подогрева

					ПГУ.ВКР.15.03.01.223М0022.ПЗ	
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		
Разраб.		Чуенков В.Р.			Шов №	Лит. / Лист / Листов
Провер.		Кривенков А.О.				
Н. Контр.						Каф. «СЛПиМ» гр.223М041
Утверд.						

11. Сварочное оборудование: автоматическая установка *Pro Arc CW* 350*R*.								
12. Технологические параметры сварки								
Номер валика (слоя) шва	Способ сварки	Диаметр электрода (присад. проволоки)	Род тока, поляр ность	Сила тока, А	Напряжение, В	Скорость сварки, м/ч	Скорость подачи проволоки, м/ч	Расход газа, л/мин
А	ИП	1,2	Постоянный обратная	200 - 220	24 - 26	58 - 63	390 - 410	12 - 35
13. Технологические требования к сварке: перед сборкой под сварку кромки и прилегающие к ним зоны основного металла должны быть зачищены на ширину не менее 20 мм от загрязнений до металлического блеска; околошовную зону от брызг металла								
14. Вид термической обработки: без термической обработки.								
15. Методы и объемы контроля качества сварного соединения: визуальный - 100%, измерительный - 100 %; стилоскопирование; пневмоиспытания - 100 %, испытания на склонность к МКК.								

Разработал _____/В.Р. Чуенков/

Карта технологического процесса сварки кольцевого шва №3

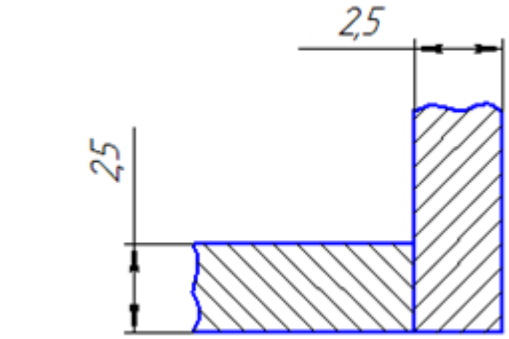
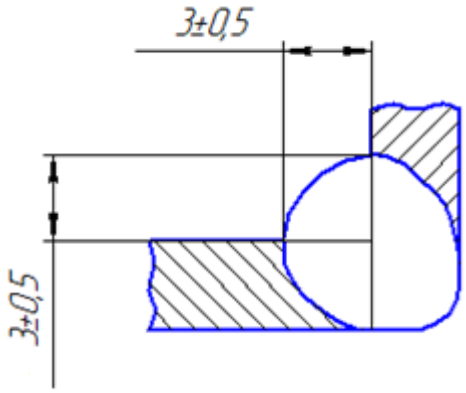
Конструкция соединения, конструктивные элементы шва и порядок сварки	1. Способ сварки: ГОСТ 14771–76
	2. НТД по сварке: ГОСТ Р 52630–2012
	3. Положение шва при сварке: нижнее
	4.Основной материал: Сталь 12Х18Н9Т по ГОСТ 5632 – 70
	5. Соединение: Вид соединения: нахлесточное
	Вид разделки: без скоса кромок
	Тип соединения: Н1
	6. Способ подготовки кромок: Без подготовки кромок
	7. Способ сборки: автоматическая сварка плавящимся электродом в среде аргона
	8. Требования к прихватке: без прихваток
	9. Сварочные материалы: Проволока 1,2 Св – 08Х19Н10Б по ГОСТ 2246 – 70; защитный газ: Ar по ГОСТ 10157 – 79
	10. Подогрев: без подогрева

					ПГУ.ВКР.15.03.01.223М0022.ПЗ	
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		
Разраб.		Чуенков В.Р.			Шов №	Лит. / Лист / Листов
Провер.		Кривенков А.О.				Каф. «СЛПиМ» гр.223М041
Н. Контр.						
Утверд.						

11. Сварочное оборудование: автоматическая установка *Pro Arc CW* 350*R*								
12. Технологические параметры сварки								
Номер валика (слоя) шва	Способ сварки	Диаметр электрода (присад. проволоки)	Род тока, поляр ность	Сила тока, А	Напряжение, В	Скорость сварки, м/ч	Скорость подачи проволоки, м/ч	Расход газа, л/мин
А	ИП	1,2	Постоянный обратная	200 - 220	24 - 26	58 - 63	390 - 410	12 - 35
13. Технологические требования к сварке: перед сборкой под сварку кромки и прилегающие к ним зоны основного металла должны быть зачищены на ширину не менее 20 мм от загрязнений до металлического блеска; околошовную зону от брызг металла								
14. Вид термической обработки: без термической обработки								
15. Методы и объемы контроля качества сварного соединения: визуальный - 100%, измерительный - 100 %; стилоскопирование; пневмоиспытания - 100%, испытания на склонность к МКК								

Разработал _____/В.Р. Чуенков/

Карта технологического процесса сварки кольцевого шва №4

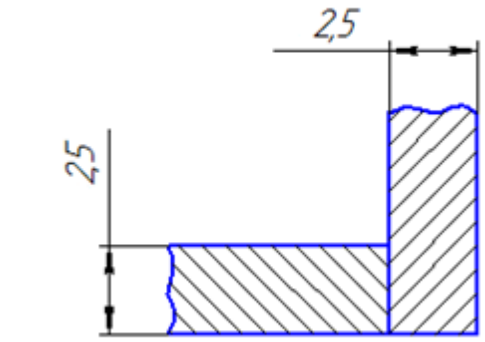
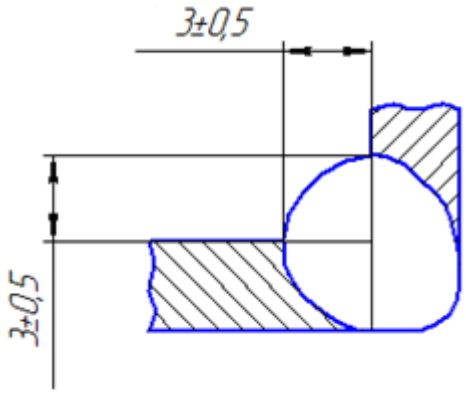
Конструкция соединения, конструктивные элементы шва и порядок сварки	1. Способ сварки: ГОСТ 14771 – 76
 	2. НТД по сварке: ГОСТ Р 52630– 2012
	3. Положение шва при сварке: нижнее
	4.Основной материал: Сталь 12Х18Н9Т по ГОСТ 5632 – 70
	5. Соединение: Вид соединения: тавровое
	Вид разделки: без скоса кромок
	Тип соединения: Т1
	6. Способ подготовки кромок: Без подготовки кромок
	7. Способ сборки: автоматическая сварка плавящимся электродом в среде аргона
	8. Требования к прихватке: без прихваток
	9. Сварочные материалы: Проволока 1,2 Св – 08Х19Н10Б по ГОСТ 2246 – 70;защитный газ: Ar по ГОСТ 10157 – 79
	10. Подогрев: без подогрева

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ПГУ.ВКР.15.03.01.223М0022.ПЗ		
Разраб.		Чуенков В.Р.			Шов №	Лит.	Лист	Листов
Провер.		Кривенков А.О.						
Н. Контр.						Каф. «СЛПиМ» гр.223М041		
Утверд.								

11. Сварочное оборудование: автоматическая установка *Noboruder NB – M*31								
12. Технологические параметры сварки								
Номер валика (слоя) шва	Способ сварки	Диаметр электрода (присад. проволоки)	Род тока, полярность	Сила тока, А	Напряжение, В	Скорость сварки, м/ч	Скорость подачи проволоки, м/ч	Расход газа, л/мин
А	ИП	1,2	Постоянный обратная	190 - 210	24 - 26	56 - 60	384 - 405	12 - 35
13. Технологические требования к сварке: перед сборкой под сварку кромки и прилегающие к ним зоны основного металла должны быть зачищены на ширину не менее 20 мм от загрязнений до металлического блеска; околошовную зону от брызг металла								
14. Вид термической обработки: без термической обработки								
15. Методы и объемы контроля качества сварного соединения: визуальный -100 %, измерительный - 100 %; пневмоиспытания - 100 %								

Разработал _____/В.Р. Чуенков/

Карта технологического процесса сварки кольцевого шва №5

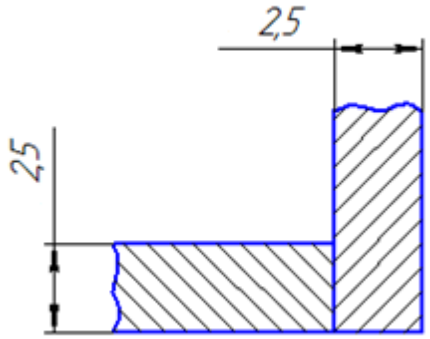
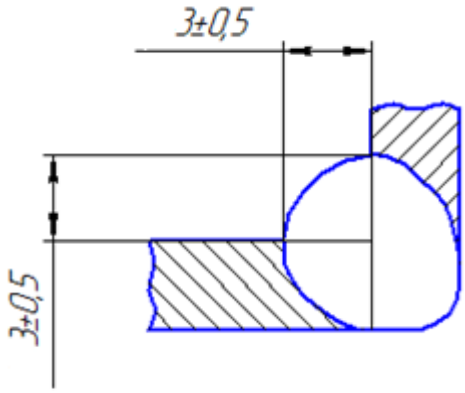
Конструкция соединения, конструктивные элементы шва и порядок сварки	1. Способ сварки: ГОСТ 14771 – 76
 	2. НТД по сварке: ГОСТ Р 52630 –2012
	3. Положение шва при сварке: нижнее
	4.Основной материал: Сталь 12Х18Н9Т по ГОСТ 5632 – 70
	5. Соединение: Вид соединения: тавровое
	Вид разделки: без скоса кромок
	Тип соединения: Т1
	6. Способ подготовки кромок: без подготовки кромок
	7. Способ сборки: автоматическая сварка плавящимся электродом в среде аргона
	8. Требования к прихватке: без прихваток
	9. Сварочные материалы: Проволока 1,2 Св – 08Х19Н10Б по ГОСТ 2246 – 70;защитный газ:Ar по ГОСТ 10157 – 79
	10. Подогрев: без подогрева

					ПГУ.ВКР.15.03.01.223М0022.ПЗ	
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		
Разраб.		Чуенков В.Р.			Шов №	Лит. / Лист / Листов
Провер.		Кривенков А.О.				
Н. Контр.						Каф. «СЛПиМ» гр.223М041
Утверд.						

11. Сварочное оборудование: автоматическая установка *Noboruder NB - M*31								
12. Технологические параметры сварки								
Номер валика (слоя) шва	Способ сварки	Диаметр электрода (присад. проволоки)	Род тока, поляр ность	Сила тока, А	Напряжение, В	Скорость сварки, м/ч	Скорость подачи проволоки, м/ч	Дополн. параметры (диаметр W электрода, расход газа и др.)
А	ИП	1,2	Постоянный обратная	190 - 210	24 - 26	56 - 60	385 - 405	12 - 35
13. Технологические требования к сварке: перед сборкой под сварку кромки и прилегающие к ним зоны основного металла должны быть зачищены на ширину не менее 20 мм от загрязнений до металлического блеска; околошовную зону от брызг металла								
14. Вид термической обработки: без термической обработки								
15. Методы и объемы контроля качества сварного соединения: визуальный - 100 %, измерительный - 100 %; пневмоиспытания - 100 %.								

Разработал _____/В.Р. Чуенков/

Карта технологического процесса сварки кольцевого шва №6

Конструкция соединения, конструктивные элементы шва и порядок сварки	1. Способ сварки: ГОСТ 14771 – 76
 	2. НТД по сварке: ГОСТ Р 52630 –2012
	3. Положение шва при сварке: нижнее
	4.Основной материал: Сталь 12Х18Н9Т по ГОСТ 5632 – 2012
	5. Соединение: Вид соединения: тавровое
	Вид разделки: без скоса кромок
	Тип соединения: Т1
	6. Способ подготовки кромок: без подготовки кромок
	7. Способ сборки: автоматическая сварка плавящимся электродом в среде аргона
	8. Требования к прихватке: без прихваток
	9. Сварочные материалы: Проволока 1,2 Св – 08Х19Н10Б по ГОСТ 2246 – 70; защитный газ:Ar по ГОСТ 10157 – 79
	10. Подогрев: без подогрева

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ПГУ.ВКР.15.03.01.223М0022.ПЗ		
Разраб.		Чуенков В.Р.			Шов №	Лит.	Лист	Листов
Провер.		Кривенков А.О.						
Н. Контр.						Каф. «СЛПиМ» гр.223М041		
Утверд.								

11. Сварочное оборудование: автоматическая установка *Noboruder NB – M*31

12. Технологические параметры сварки

Номер валика (слоя) шва	Способ сварки	Диаметр электрода (присад. проволоки)	Род тока, поляр ность	Сила тока, А	Напряжение, В	Скорость сварки, м/ч	Скорость подачи проволоки, м/ч	Расход газа, л/мин
А	ИП	1,2	Постоянный обратная	190 - 210	24 - 26	56 - 60	385 - 405	12 - 35

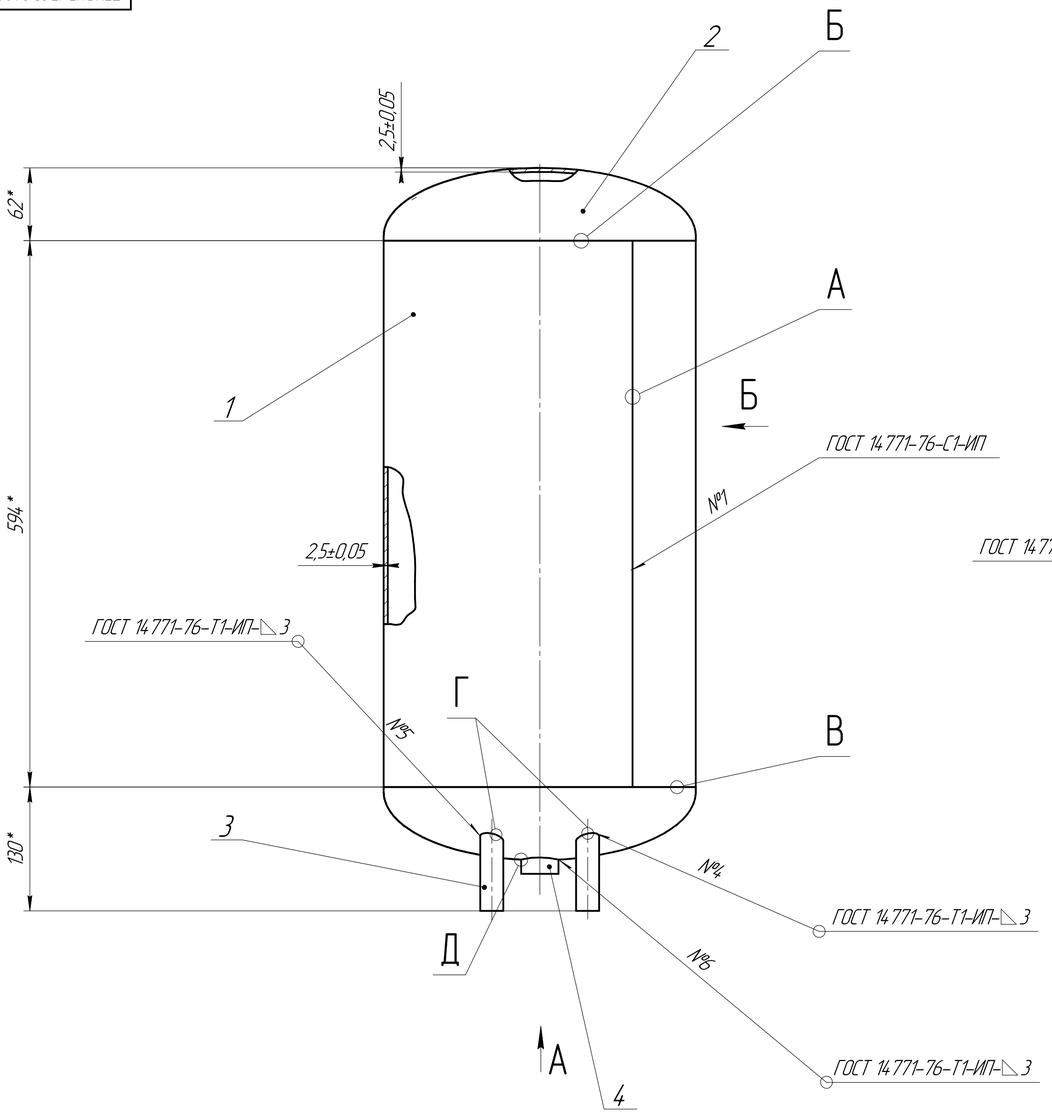
13. Технологические требования к сварке: перед сборкой под сварку кромки и прилегающие к ним зоны основного металла должны быть зачищены на ширину не менее 20 мм от загрязнений до металлического блеска; околошовную зону от брызг металла.

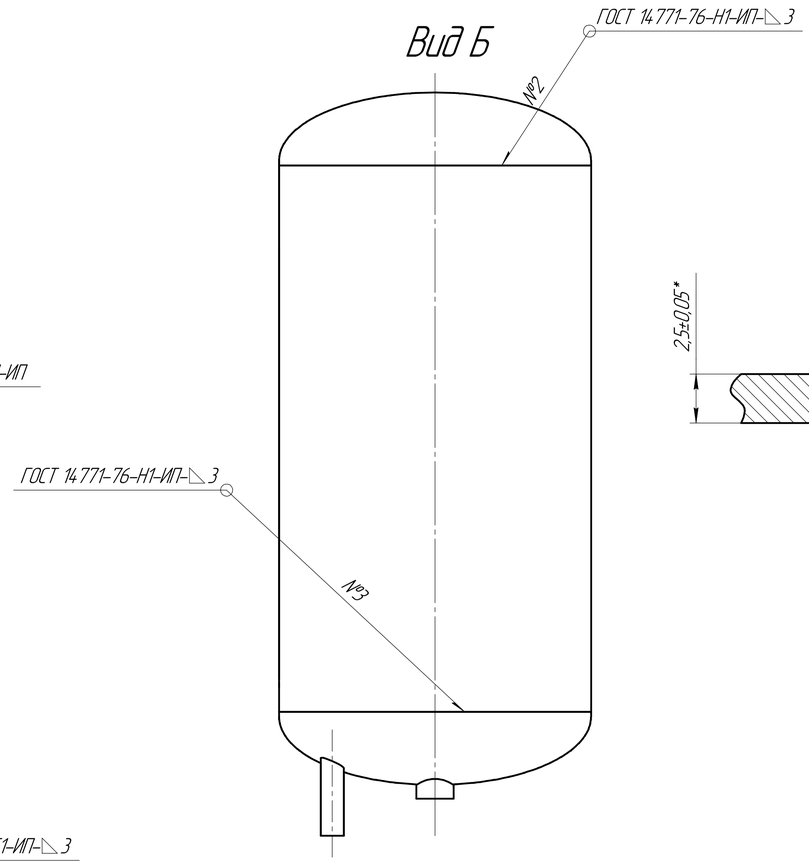
14. Вид термической обработки: без термической обработки

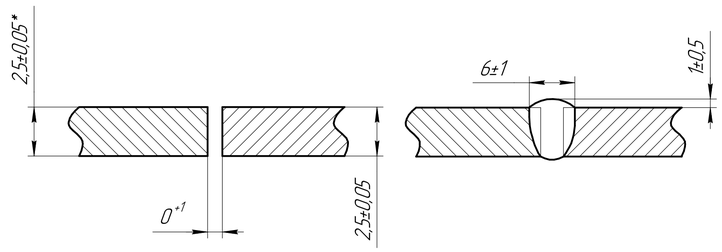
15. Методы и объемы контроля качества сварного соединения: визуальный - 100 %, измерительный - 100%; пневмоиспытания - 100 %.

Разработал _____/В.Р. Чуенков/

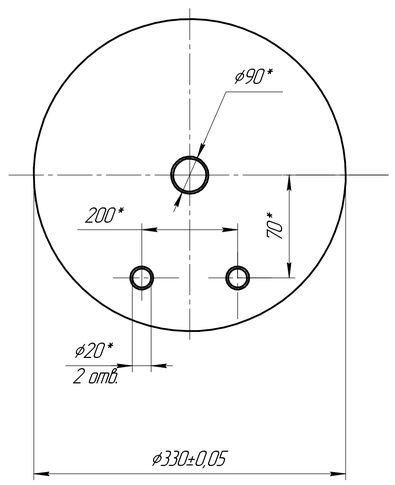
ПГУ.ВКР.15.03.01.223М0022.ВО



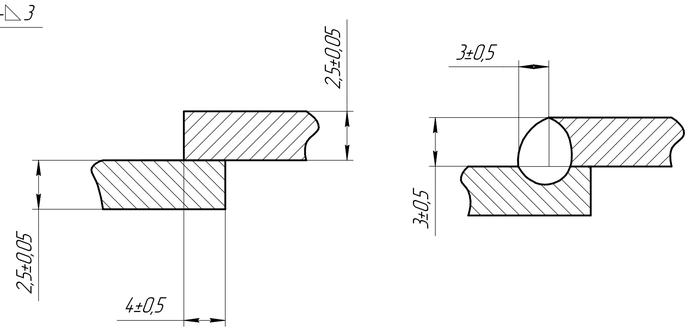




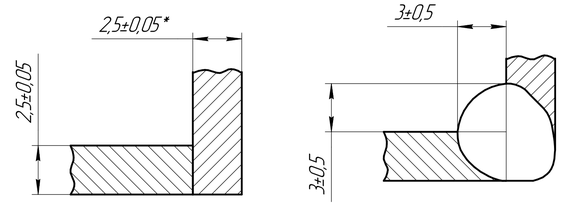
Вид А



Б, В(6:1)



Г, Д(6:1)



Технические характеристики	
Предназначен для нагрева бытовой воды.	
Рабочее положение водонагревателя вертикальное.	
Рабочая среда – вода.	
Наименование	Значение
Температура рабочей среды	до +85 °С.
Рабочее давление	от 0.05 до 0.6 МПа
Срок эксплуатации	10 лет

Технические требования

1. Корпус изготовить по ГОСТ 34.347-2017.
2. Перед сваркой все резьбовые соединения, не соприкасающиеся со средой обработать ЦИАТИМ 201 по ГОСТ 6267-74.
3. Контроль сварных швов №1-№6: визуальный по ГОСТ 3242-79 100%, измерительный по РД 03-606-03 100%, Стилоскопирование по РД 26.260.15-2001 100%, пузырьковый метод контроля (пневмоиспытания) по ГОСТ 3242-79 100%, механические испытания по ГОСТ Р 57180-2016 100%, склонность к МКК по ГОСТ 6032-2017 100%.
4. *Размер для справок.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ПГУ.ВКР.15.03.01.223М0022.ВО			
Разраб.		Чуенков В.Р.			Корпус водонагревателя	Лит.	Масса	Масштаб
Пров.		Кривенков А.О.						1:5
Т.контр.		Казанцев И.А.				Лист	Листов 1	
Н.контр.		Харин А.В.			Сталь 12Х18Н9Т	Каф. "СПиМ" гр. 223М041		
Утв.		Розен А.Е.						

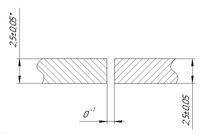
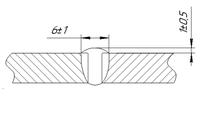
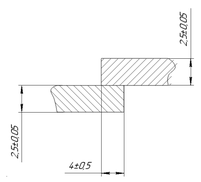
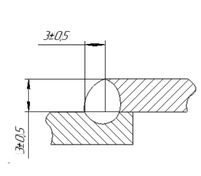
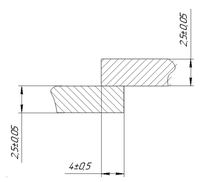
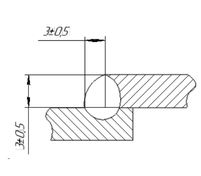
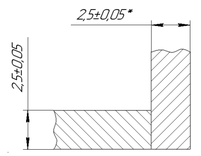
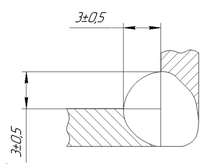
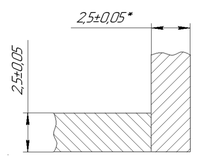
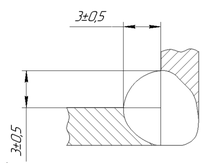
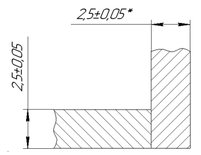
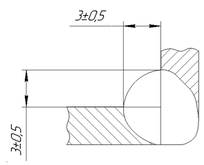
Копировал Формат А1

Перв. примен. | Справ. № | Инв. № подл. | Подп. и дата | Взам. инв. № | Инв. № дубл. | Подп. и дата

КОМПАС-3D v24. Копия © 2025 ООО "АСКОН-Системы проектирования". Россия. Все права защищены.
Не для коммерческого использования

ПГУВКР.15.03.01.223М0022.ТЧ1

Технологические параметры режимов сварки

Обозначение шва	Условное обозначение способа сварки	НТД на сварку	Тип подготовки кромок	Порядок наложения шва	Технологические параметры режима сварки						Марка электродной проволоки	Диаметр электродной проволоки, $d_{эл}$, мм	Защитная среда
					Сварочный ток, $I_{св}$, А	Напряжение дуги $U_д$, В	Скорость сварки $V_{св}$, м/ч	Скорость подачи электродной проволоки $V_{под}$, м/ч	Вылет электродной проволоки, мм	Расход газа, л/мин			
1	ИП	ГОСТ 14771-76			180...200	24...26	26...30	350...380	10...12	15...30	Св-08Х19Н10Б по ГОСТ 2246-70	1,2	Ar 100% по ГОСТ 10157-79
2	ИП	ГОСТ 14771-76			200...220	24...26	58...63	390...410	10...12	12...35	Св-08Х19Н10Б по ГОСТ 2246-70	1,2	Ar 100% по ГОСТ 10157-79
3	ИП	ГОСТ 14771-76			200...220	24...26	58...63	390...410	10...12	12...35	Св-08Х19Н10Б по ГОСТ 2246-70	1,2	Ar 100% по ГОСТ 10157-79
4	ИП	ГОСТ 14771-76			190...210	24...26	56...60	385...405	10...12	12...35	Св-08Х19Н10Б по ГОСТ 2246-70	1,2	Ar 100% по ГОСТ 10157-79
5	ИП	ГОСТ 14771-76			190...210	24...26	56...60	385...405	10...12	12...35	Св-08Х19Н10Б по ГОСТ 2246-70	1,2	Ar 100% по ГОСТ 10157-79
6	ИП	ГОСТ 14771-76			190...210	24...26	56...60	385...405	10...12	12...35	Св-08Х19Н10Б по ГОСТ 2246-70	1,2	Ar 100% по ГОСТ 10157-79

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ПГУ.ВКР.15.03.01.223М0022.ТЧ1
Разраб.		Чуенков В.Р.			Технологические параметры режимов сварки
Пров.		Кривенков А.О.			Лит. / Масса / Масштаб
Т.контр.		Казанцев И.А.			Лист / Листов 1
Н.контр.		Харин А.В.			Каф. "СЛП и М" гр. 223М041
Утв.		Розен А.Е.			

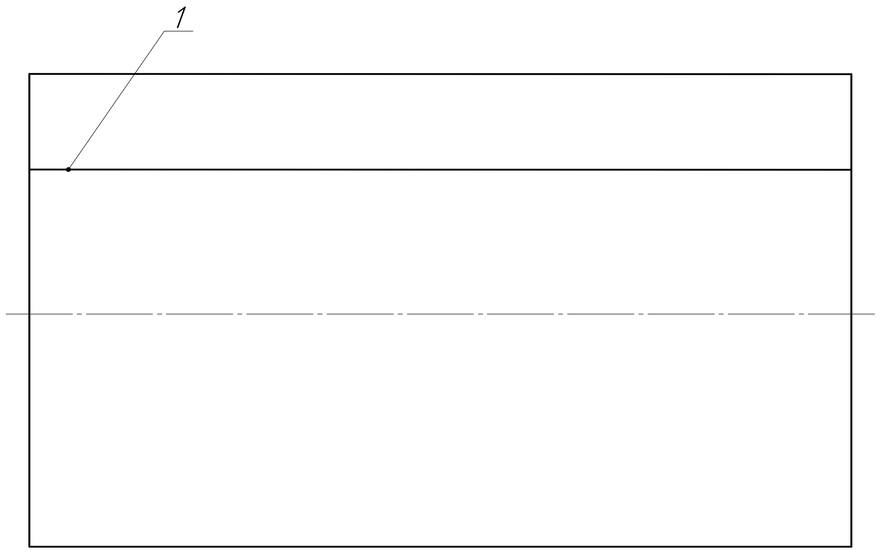
Копировал Формат А1

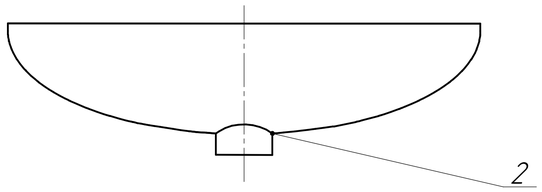
Перв. примен. Справ. № Подп. и дата Взам. инв. № Инв. № дубл. Подп. и дата Инв. № подл.

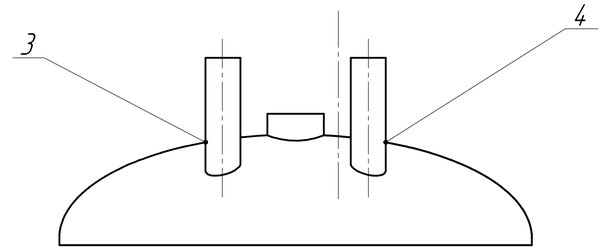
КОМПАС-3D v24 Home © 2025 ООО "АСКОН-Системы проектирования", Россия. Все права защищены
Не для коммерческого использования

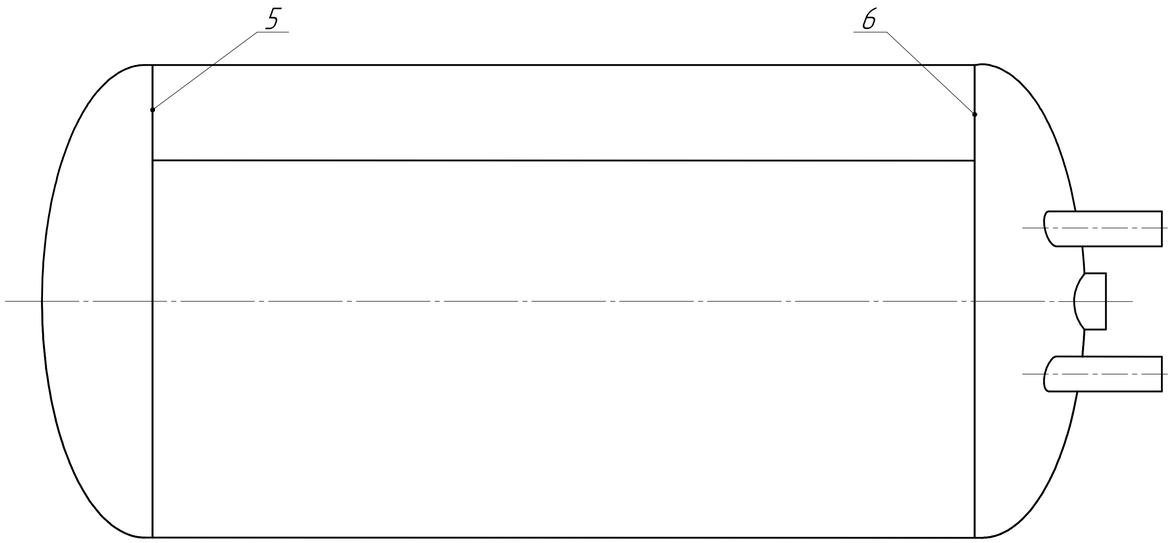
ПГУ.ВКР.15.03.01.223М0022.Т42

Схема сборки и сварки корпуса водонагревателя









1. Сборку и сварку продольного шва обечайки произвести на оборудовании для автоматической сварки продольных швов Mecome BR 1000.
2. Произвести сборку и сварку фланца и днища обечайки на оборудовании для автоматической сварки BTW 116.
3,4. Сборку и сварку штуцеров с днищем обечайки произвести на оборудовании для автоматической сварки NB-M31.
5,6. Производести сборку и сварку кольцевых швов обечайки на оборудовании для автоматической сварки ProArc CW-350R.

					ПГУ.ВКР.15.03.01.223М0022.Т42		
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Сборка сварка корпуса водонагревателя	Лит.	Масса	Масштаб
Разраб.		Чуенков В.Р.						1:1
Пров.		Кривенков А.О.				Лист	Листов 1
Т.контр.		Казанцев И.А.					
Нконтр.		Харин А.В.			Каф. "СЛПиМ" гр. 223М041		
Утв.		Розен А.Е.					

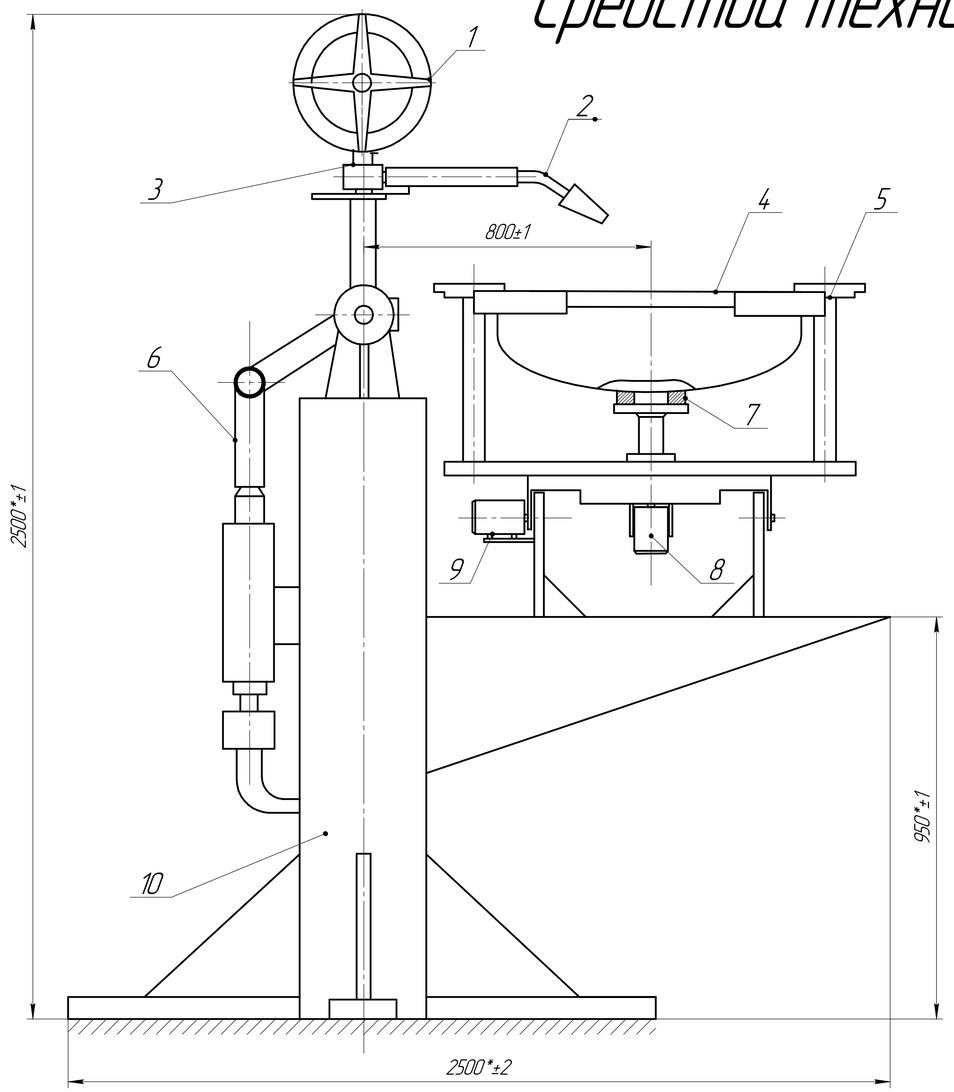
Перв. примен.
Справ. №
Подп. и дата
Инв. № дубл.
Взам. инв. №
Подп. и дата
Инв. № подл.

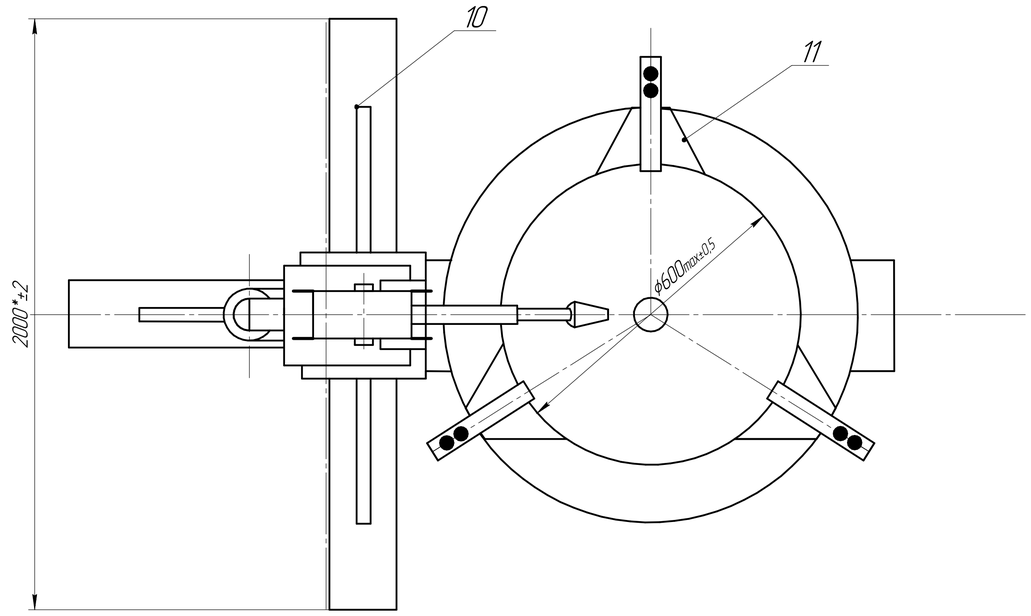
КОМПАС-3D v24 Home © 2025 ООО "АСКОН-Системы проектирования" Россия. Все права защищены.
Не для коммерческого использования

Копировал
Формат А1

ПГУ.ВКР.15.03.01.223М0022.ТЧ3

Средства технологического оснащения





Сборочно-сварочный стенд

Техническая характеристика	
Пределы регулирования скорости вращения планшайбы, об/мин	0,2...2
Грузоподъемность вращателя, кг	35
Привод механизма подъема сварочной головки, ориентации и фиксации изделия	пневматический
Привод поворота планшайбы	электрический
Привод наклона планшайбы	электрический
Максимальный угол наклона планшайбы, °	45
Габариты стенда, мм	2000x2500x2500

1. Катушка со сварочной проволокой
2. Сварочная головка
3. Редуктор
4. Свариваемое изделие
5. Прижимное устройство
6. Механизм подъема сварочной головки
7. Фиксатор изделия
8. Привод поворота планшайбы
9. Привод угла наклона планшайбы
10. Станина
11. Планшайба

*Размеры для справок.

					ПГУ.ВКР.15.03.01.223М0022.ТЧ3		
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Средства технологического оснащения	Лит.	Масса	Масштаб
Разраб.		Ченков В.Р.						1:8
Пров.		Кривенков А.О.				Лист	Листов 1	
Т.контр.		Казанцев И.А.						
Н.контр.		Хорин А.В.			Каф. "СПиМ" гр. 223М041			
Утв.		Розен А.Е.						

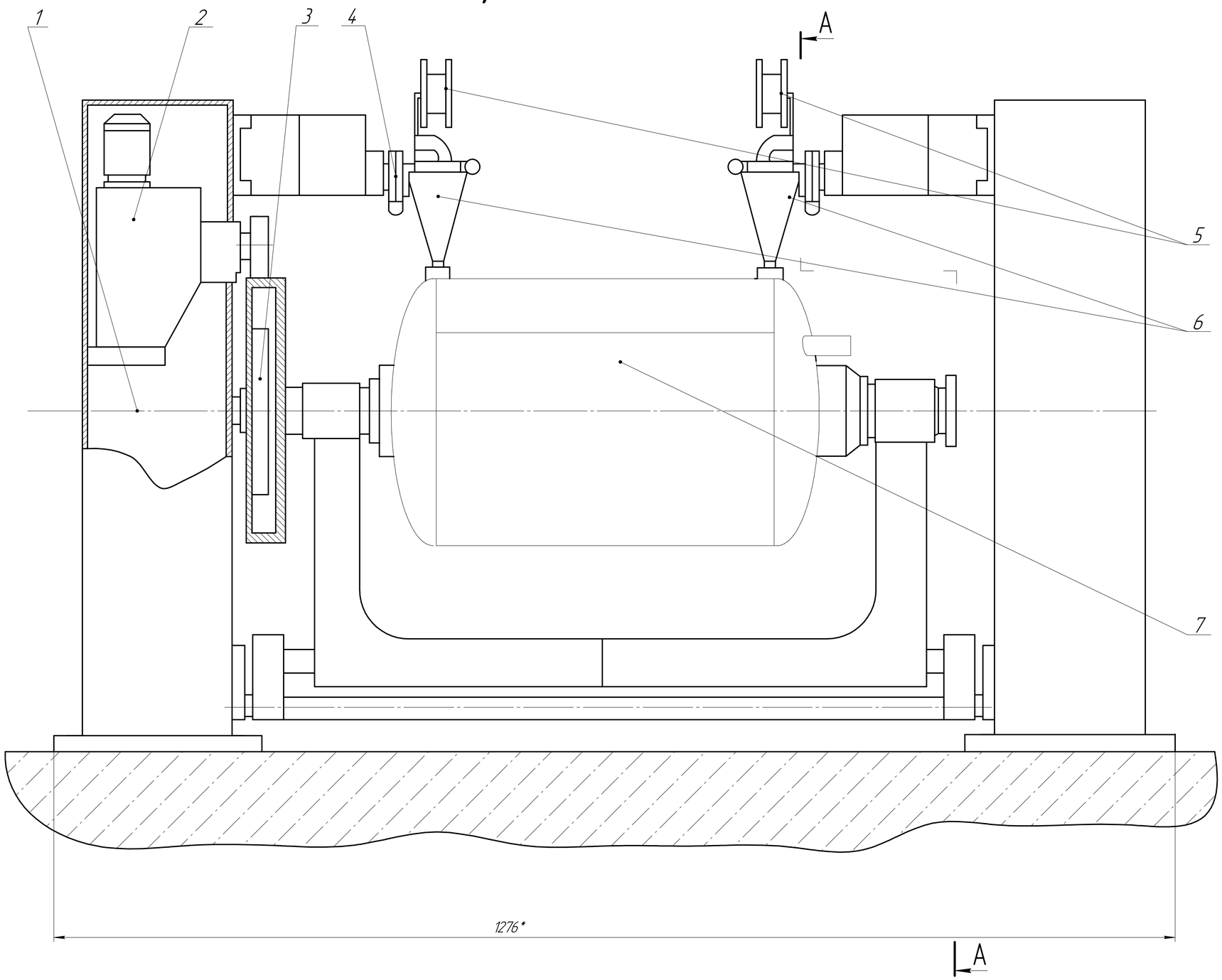
Копировал Формат А1

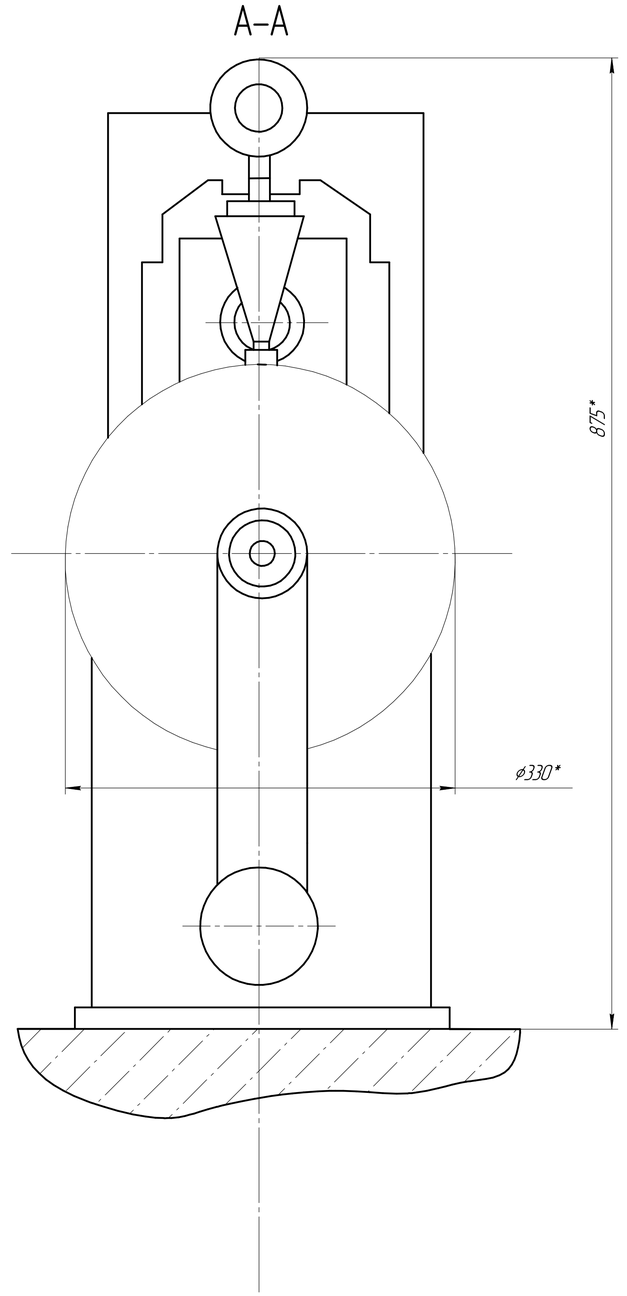
Перв. примен.
Справ. №
Взам. инв. № | Инв. № дубл. | Подп. и дата
Подп. и дата | Инв. № подл.

КОМПАС-3D v24. Копия © 2025 ООО "АСКОН-Системы проектирования". Россия. Все права защищены.
Не для коммерческого использования

ПГУ.ВКР.15.03.01.223М0022.Т44

Средства технологического оснащения





Установка для сварки кольцевых швов ProArc CW-350R

1. Рама
2. Двигатель
3. Супорт
4. Система подачи защитного газа
5. Катушка с электродной проволокой
6. Сварочные головки
7. Заготовка

Скорость вращений обечайки w=0.46 об/мин

*Размер для справок.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ПГУ.ВКР.15.03.01.223М0022.Т44		
Разраб.		Ченков В.Р.			Средства технологического оснащения	Лит.	Масса	Масштаб
Пров.		Кривенков А.О.						1:2,5
Т.контр.		Казанцев И.А.				Лист	Листов 1	
Н.контр.		Харин А.В.				Каф. "СЛП и М" гр. 223М041		
Утв.		Розен А.Е.						

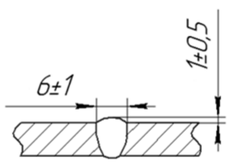
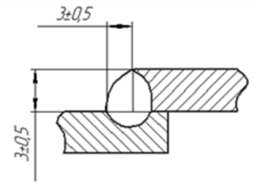
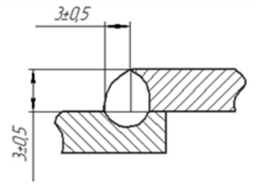
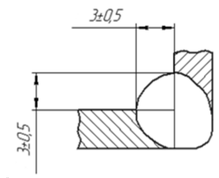
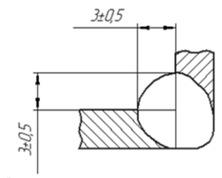
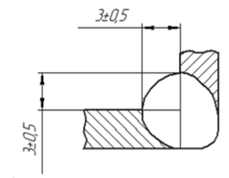
Перв. примен. | Справ. № | Инв. № подл. | Подп. и дата | Взам. инв. № | Инв. № дубл. | Подп. и дата

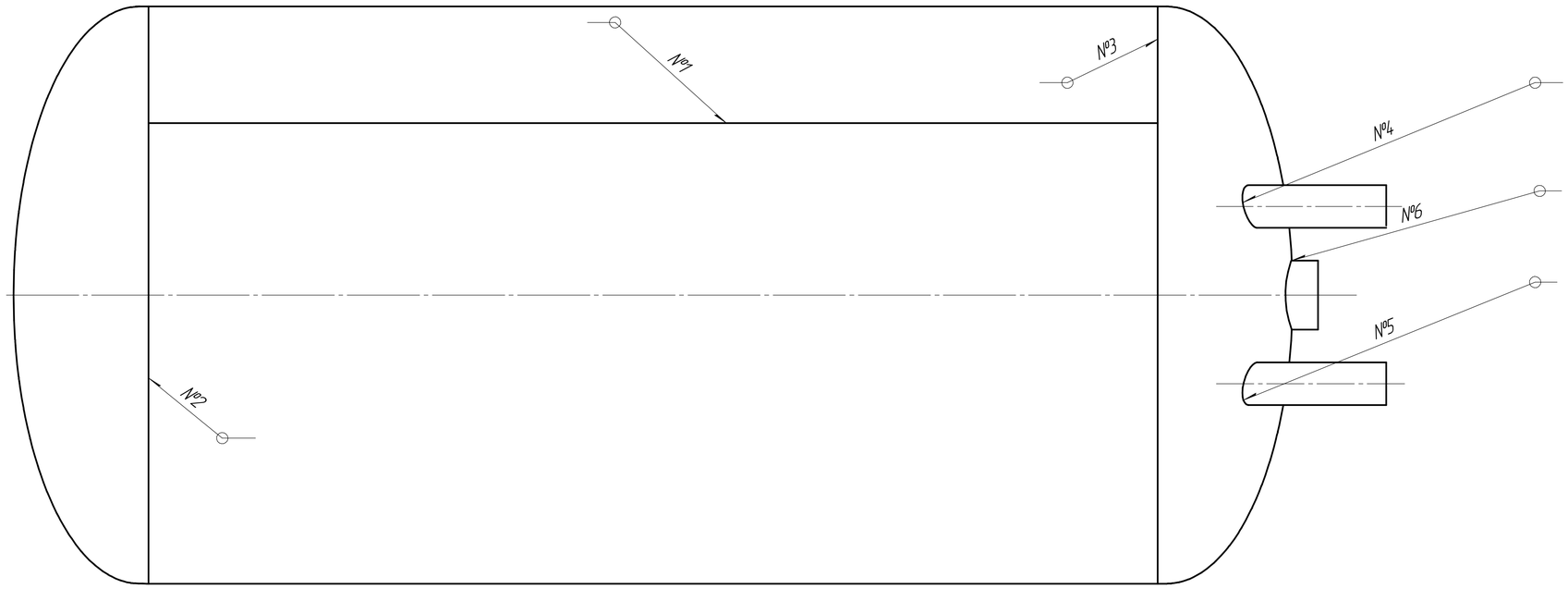
КОМПАС-3D v24. Копия © 2025 000 "АСКОН-Системы проектирования". Россия. Все права защищены
Не для коммерческого использования

Копировал Формат А1

ПГУ.ВКР.15.03.01.223М0022.ТЧ5

Методы контроля сварных швов и КСС

№ Сварного шва		1	2	3	4	5	6
Эскиз сварного шва							
Обозначение сварного шва		ИП по ГОСТ 14771-76	ИП по ГОСТ 14771-76	ИП по ГОСТ 14771-76	ИП по ГОСТ 14771-76	ИП по ГОСТ 14771-76	ИП по ГОСТ 14771-76
Методы контроля	Визуальный и змерительный контроль	+	+	+	+	+	+
	Пузырьковый (пневмоиспытания)	+	+	+	+	+	+
	Стилоскопирование	+	+	+	—	—	—
	Механические испытния:	+	—	—	—	—	—
	Склонность к МКК	+	+	+	—	—	—



Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ПГУ.ВКР.15.03.01.223М0022.ТЧ5		
Разраб.		Ченков В.Р.			Карта контроля сварных швов и КСС	Лит.	Масса	Масштаб
Пров.		Кривенков А.О.						
Т.контр.		Казанцев И.А.				Лист	Листов 1	
Н.контр.		Хорин А.В.				Каф. "СПиМ" гр. 223М041		
Утв.		Розен А.Е.						

Копировал

Формат А1

Перв. примен.

Справ. №

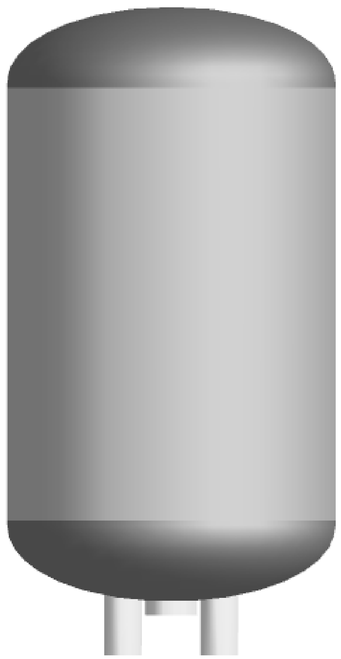
Инв. № подл. | Подп. и дата | Взам. инв. № | Инв. № дубл. | Подп. и дата

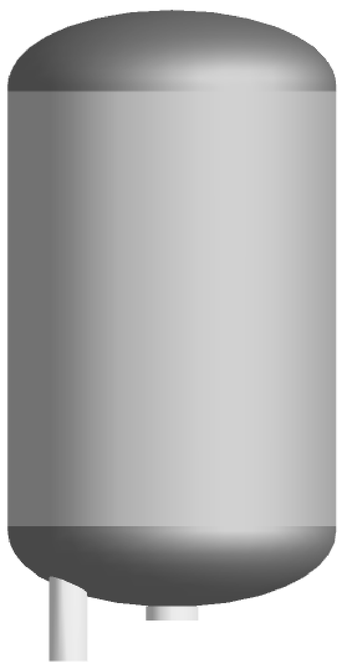
КОМПАС-3D v24. Копия © 2025 ООО "АСКОН-Системы проектирования". Россия. Все права защищены.

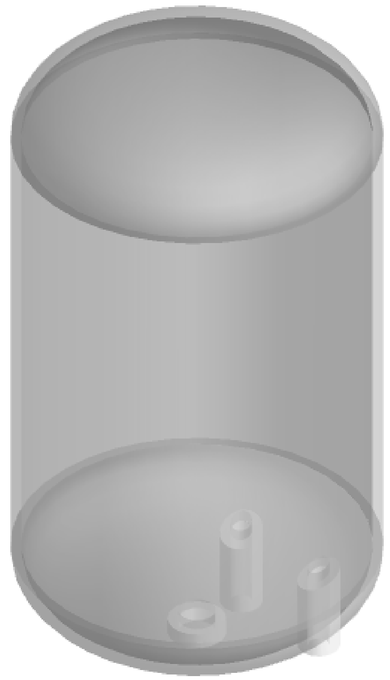
Не для коммерческого использования

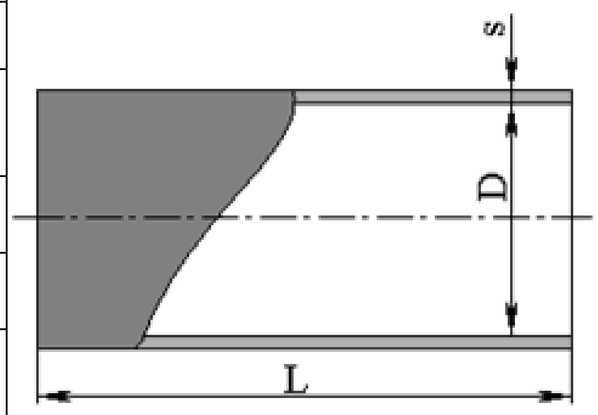
ПГУ.ВКР.15.03.01.223М0022.ТЧ6

Расчет на прочность и работоспособность элемента конструкции аппарата в программе "ПАССАТ"









Рассчет обечайки на прочность ГОСТ 34.233.3–2017

Расчётная толщина стенки с учётом прибавок

$$s_p + c = \frac{p \cdot D}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p - p} = \frac{0{,}2041 \cdot 330}{(2 \cdot 184 \cdot 0{,}9 - 0{,}2041) - 1{,}3} = 1{,}501 \text{ мм}$$

1,501 мм ≤ 2,5мм

Заключение: Условие работоспособности выполнено

Допускаемое давление:

$$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p \cdot (s - c)}{D + (s - c)} = \frac{2 \cdot 184 \cdot 0{,}9 \cdot (2{,}5 - 1{,}3)}{330 + 2{,}5 - 1{,}3} = 0{,}913 \text{ МПа}$$

0,913МПа ≥ 0,2041МПа

Заключение: Условие работоспособности выполнено

						ПГУ.ВКР.15.03.01.223М0022.ТЧ6	
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Расчет элементов конструкции	Лит.	Масса	Масштаб
Разраб.		Чуенков В.Р.						
Пров.		Кривенков А.О.				Лист	Листов 1	
Т.контр.		Казанцев И.А.				Каф. "СЛПиМ" гр. 223М041		
Н.контр.		Харин А.В.						
Утв.		Розен А.Е.						

Копировал Формат А1

КОМПАС-3D v24 Home © 2025 000 "АСКОН-Системы проектирования". Россия. Все права защищены.
Не для коммерческого использования