

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования

«ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»

ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ Факультет

«Заочный»

Кафедра «Оборудование и технология сварочного производства»

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

Заведующий кафедрой

_____ М.А. Иванов

« ____ » _____ 2020 г.

- *Совершенствование технологии сборки и сварки бака конденсата объемом 1.5 куб.м.*

**ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ
ЮУрГУ-15.03.01.2020. __ ПЗ ВКР**

Руководитель работы

_____ Должность

_____ Подпись

И.О., Фамилия

« ____ » _____ 2020 г.

Автор работы

студент группы ПЗ-540:

_____ Е.Ю. Кочев

« 16 » _____ июня _____ 2020 г.

Нормоконтролёр

старший преподаватель

_____ Ю.В. Безганс

« ____ » _____ 2020 г.

Челябинск, 2020

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	7
1 КОНСТРУКТОРСКИЙ РАЗДЕЛ	8
1.1 Анализ конструкции изделия.....	8
1.2 Материал бака и его свариваемость.....	25
1.3 Условия эксплуатации бака	27
2 ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ	28
2.1 Базовый вариант технологии изготовления	28
2.2 Выбор способа сварки	48
2.3 Проектируемый вариант технологического процесса	50
2.4 Выбор сварочных материалов	53
2.5 Расчет режимов сварки.....	55
2.5.1 Расчет режимов сварки шва №1	55
2.5.2 Расчет режимов сварки шва №2	69
2.5.3 Расчет режимов сварки шва №3	72
2.5.4 Расчет режимов сварки шва №4	77
2.5.5 Расчет режимов сварки шва №5	80
2.5.6 Определение содержания ферритной фазы	85
2.6 Выбор сборочного и сварочного оборудования	89
2.6.1 Описание конструкции сборочной установки	89
2.6.2 Описание конструкции сварочной установки	90
3 КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА	97
3.1 Способы и средства контроля качества	97
3.2 Допустимые и недопустимые дефекты.....	99
3.3 Оборудование для контроля качества.....	100
3.4 Методика контроля	102
3.4.1 Визуальный и измерительный контроль	102
3.4.2 Радиографический контроль.....	103

					ЮУрГУ-15.03.01.2020.475.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		5

3.4.3 Капиллярный контроль	103
4 БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ	105
4.1 Анализ вредных и опасных производственных факторов	105
4.2 Техника безопасности при производстве сварочных работ	106
4.2.1 Обеспечение санитарно-гигиенических условий труда	106
4.2.2 Обеспечение электрической безопасности.....	107
4.2.3 Обеспечение пожарной безопасности	108
4.3 Безопасность при работе с подъемными устройствами.....	109
4.4 Планировка оборудования и рабочих мест участка.....	109
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	114
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	115
ПРИЛОЖЕНИЕ	118

ВВЕДЕНИЕ

В условиях современного рынка, когда экономика Российской Федерации находится под давлением, требуется расширение собственных производств, а также использование отечественных материалов.

Для обеспечения электроэнергией крупные города и предприятия на их территории активно вводятся в эксплуатацию различные электростанции. Они могут вырабатывать электроэнергию при сжигании мазута, а также при использовании атомной и ядерной энергии.

При строительстве электростанций особое внимание уделяется отводу отработанного пара в блоках. Если этого не делать, то блок будет работать при повышенных температурах и выйдет из строя раньше нормативного срока эксплуатации.

Основным оборудованием для отвода отработанных паров является бак конденсата, который задерживает внутри себя влагу и по патрубкам повторно пускает ее для охлаждения. Бак работает в тяжелых условиях под воздействием агрессивной коррозионной среды, высокой температуры, нагрузок от внутреннего давления, а также напряжения растяжения и сжатия.

В выпускной квалификационной работе предлагается рассмотреть существующую технологию изготовления бака конденсата объемом 1,5 м³. Целью работы является совершенствование технологии сварки бака путем повышения производительности, а также улучшения качества за счет автоматизации процесса сварки.

Задачами работы является анализ существующего варианта технологии изготовления, выявление «слабых» мест и предложение путей по совершенствованию технологии с соответствующим подбором сварочных материалов и расчетом режимов сварки.

					ЮУрГУ-15.03.01.2020.475.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		7

1 КОНСТРУКТОРСКИЙ РАЗДЕЛ

1.1 Анализ конструкции изделия

В выпускной квалификационной работе рассматривается совершенствование технологии сборки и сварки бака конденсата объемом 1,5 м³. Он применяется в качестве устройства для сбора поступающего из системы парового нагрева конденсата для последующей его перекачки конденсатным насосом в паровые котлы. Бак является неотъемлемой частью оборудования, предназначенного для непрерывной работы электростанции.

Бак представляет собой цельносварную конструкцию. В конструкции бака применяются как крупногабаритные, так и мелкие детали и узлы.

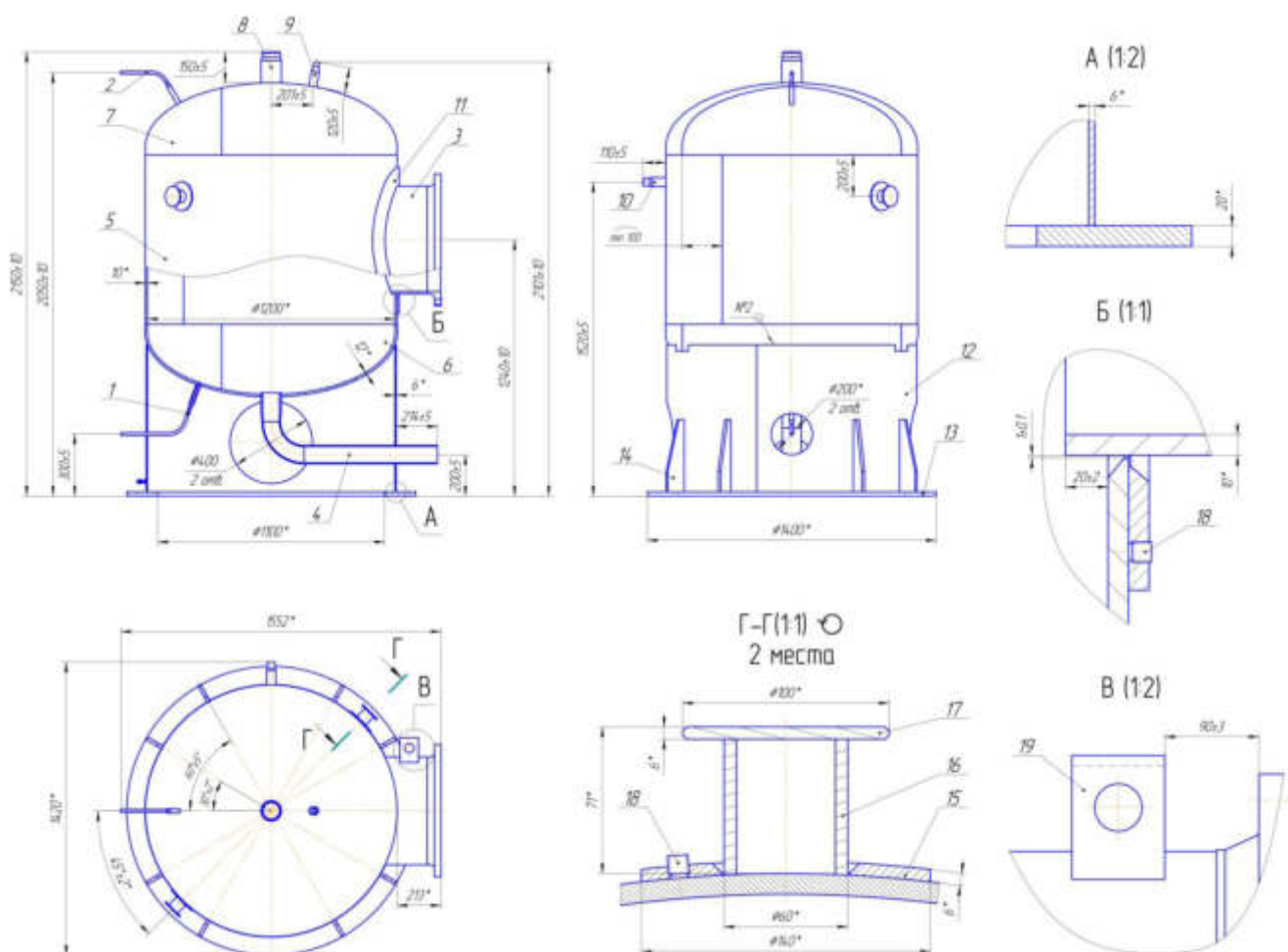
Бак конденсата работает в условиях прохождения нагретого пара и предназначается для сбора и отвода конденсата, что является средой для проявления коррозии (коррозионная среда). При прохождении пара в корпусе бака происходит его расширение в ограниченном объеме, что является фактором наличия внутреннего давления. Из-за этого в соединениях патрубков возникают напряжения растяжения и сжатия, влияющие на конструкцию. Также, на бак при работе в условиях замкнутой системы действует изгибающий момент в местах соединения патрубков с днищами.

При наличии указанных нагрузок и при влиянии коррозионной среды требуется высокое качество выполнения подготовительных работ и работ по изготовлению.

Исполнение бака конденсата по [1] – УХЛ, тип атмосферы – I, категория размещения – 4.

Конструкция бака показана на рисунке 1.1.

					ЮУрГУ-15.03.01.2020.475.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		8



- 1 – Отвод нижний; 2 – Отвод верхний; 3 – Горловина; 4 – Отвод;
 5 – Обечайка; 6 – Днище нижнее; 7 – Днище верхнее; 8 – Патрубок;
 9 – Патрубок; 10 – Патрубок; 11 – Кольцо укрепляющее; 12 – Обечайка опорная;
 13 – Кольцо опорное; 14 – Ребро; 15 – Кольцо; 16 – Втулка;
 17 – Заглушка; 18 – Пробка; 19 – Скоба

Рисунок 1.1 – Конструкция бака

При изготовлении бака применяются как детали однокомпонентные, так и сборочные, то есть изготовленные из двух и более составных элементов.

На рисунке 1.2 показан отвод нижний.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

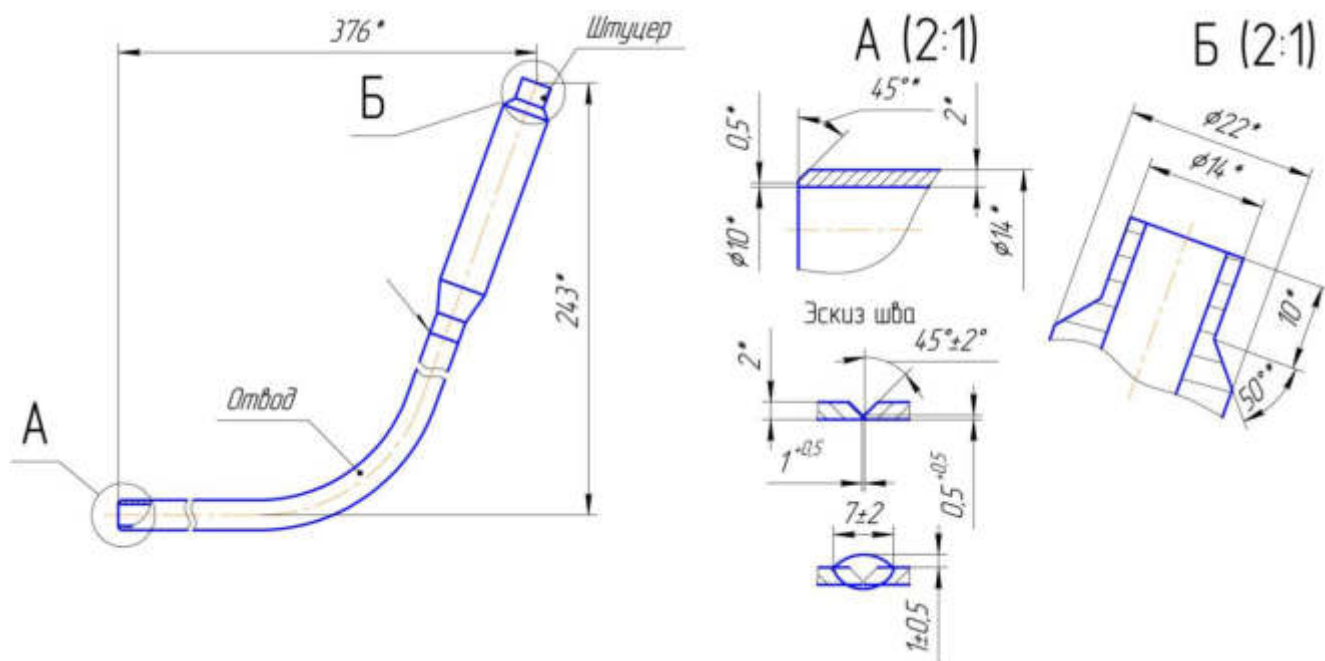


Рисунок 1.2 – Отвод нижний

Отвод нижний изготавливается из двух элементов: штуцер и отвод. Изготовление производится ручной аргонодуговой сваркой неплавящимся электродом (далее по тексту РАД).

Штуцер показан на рисунке 1.3.

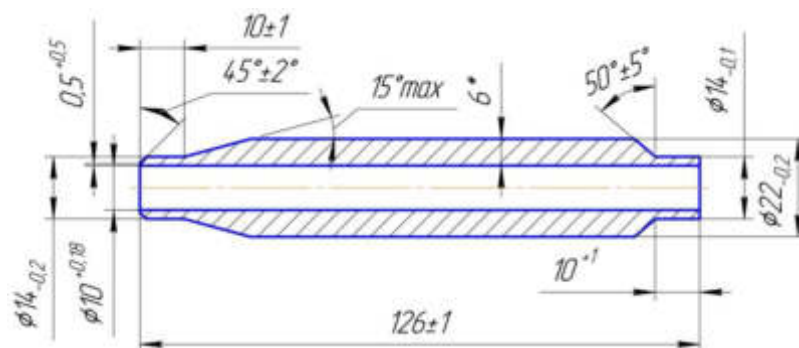


Рисунок 1.3 – Штуцер

Штуцер изготавливается из круглого проката, который производится в соответствии с требованиями [2].

Отвод показан на рисунке 1.4.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

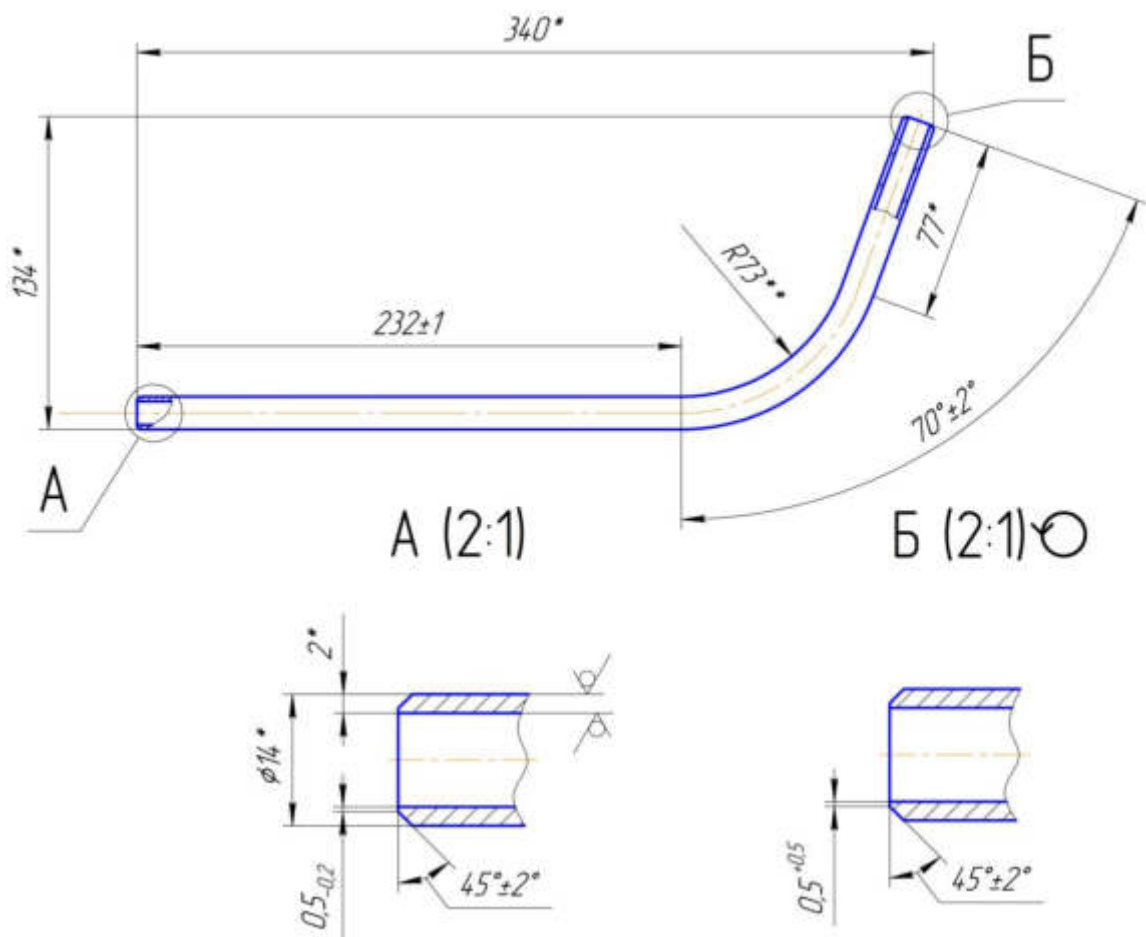


Рисунок 1.4 – Отвод

Отвод изготавливается из трубы $\phi 14 \times 2$ мм, которая производится в соответствии с требованиями [3].

Отвод верхний показан на рисунке 1.5.

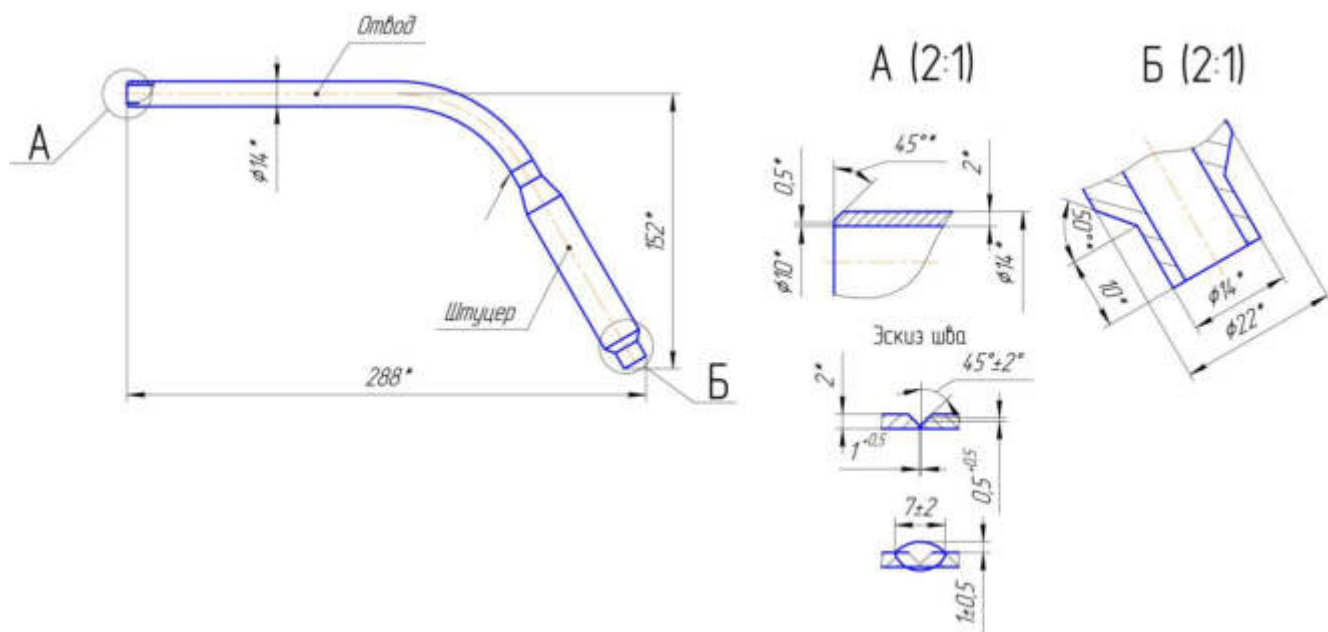


Рисунок 1.5 – Отвод верхний

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Отвод нижний изготавливается из двух элементов: штуцер (показан на рисунке 1.3) и отвод. Изготовление производится РАД.

Отвод показан на рисунке 1.6.

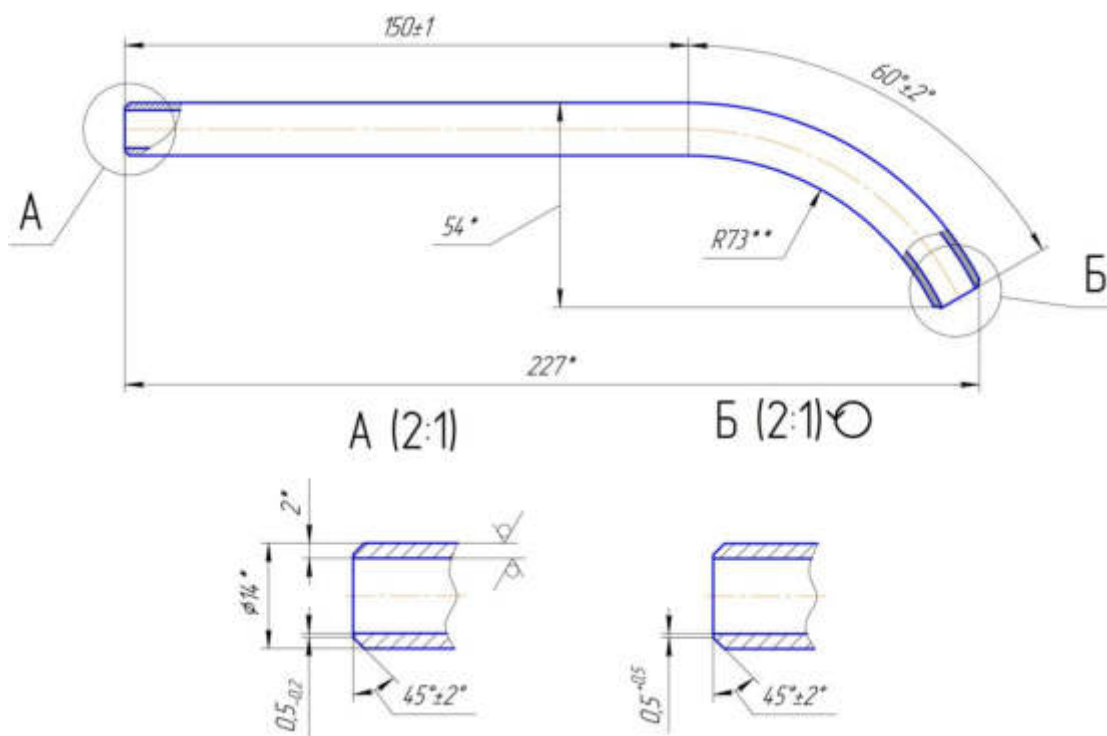


Рисунок 1.6 – Отвод

Отвод изготавливается из трубы $\text{Ø}14 \times 2$ мм, которая производится в соответствии с требованиями [3].

Горловина показана на рисунке 1.7.

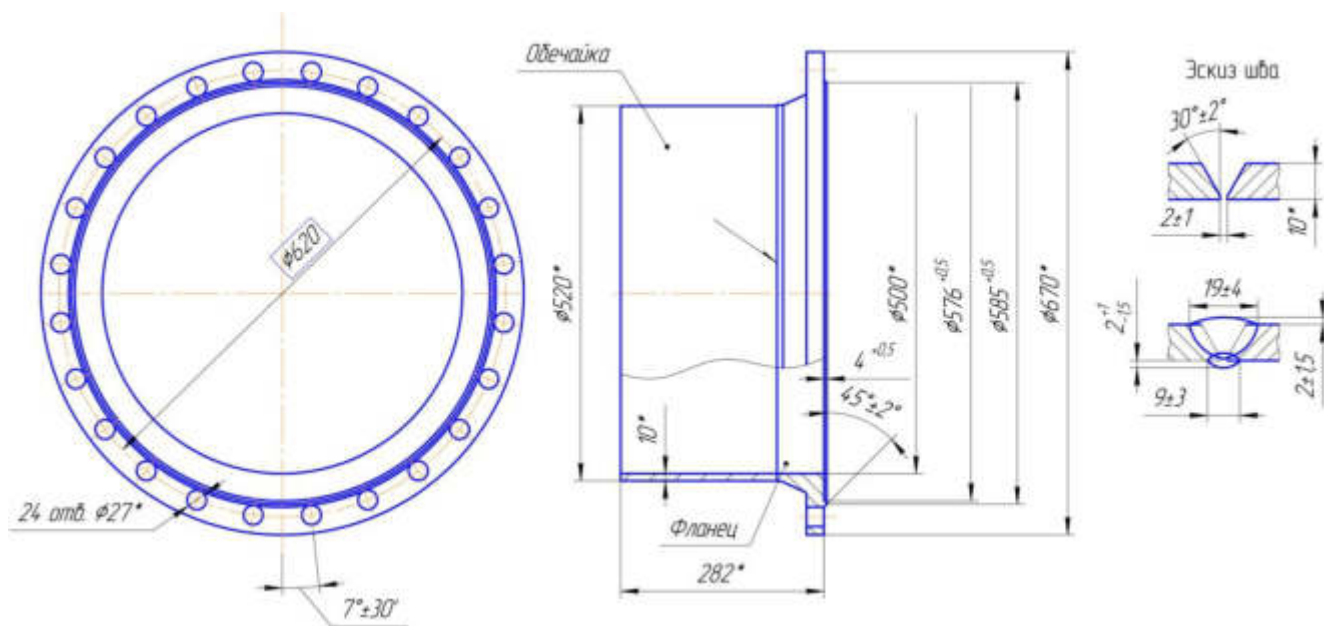


Рисунок 1.7 – Горловина

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Горловина изготавливается из двух элементов: обечайка и фланец. Изготовление производится РАД.

Обечайка показана на рисунке 1.8.

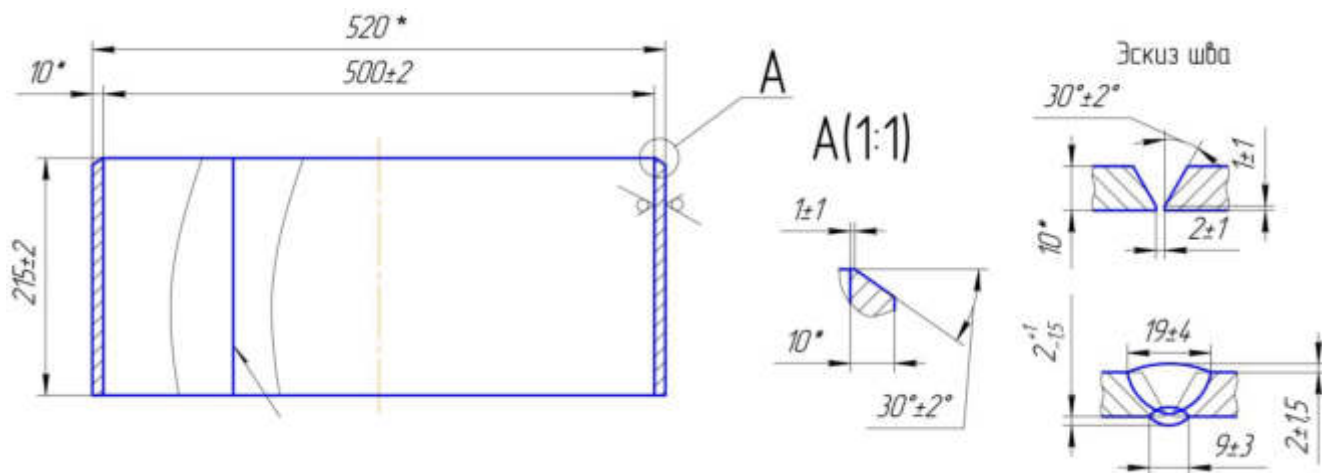


Рисунок 1.8 – Обечайка

Обечайка изготавливается из листа толщиной 10 мм, который производится по требованиям [4] методом вальцевания и сварки (РАД).

Фланец показан на рисунке 1.9.

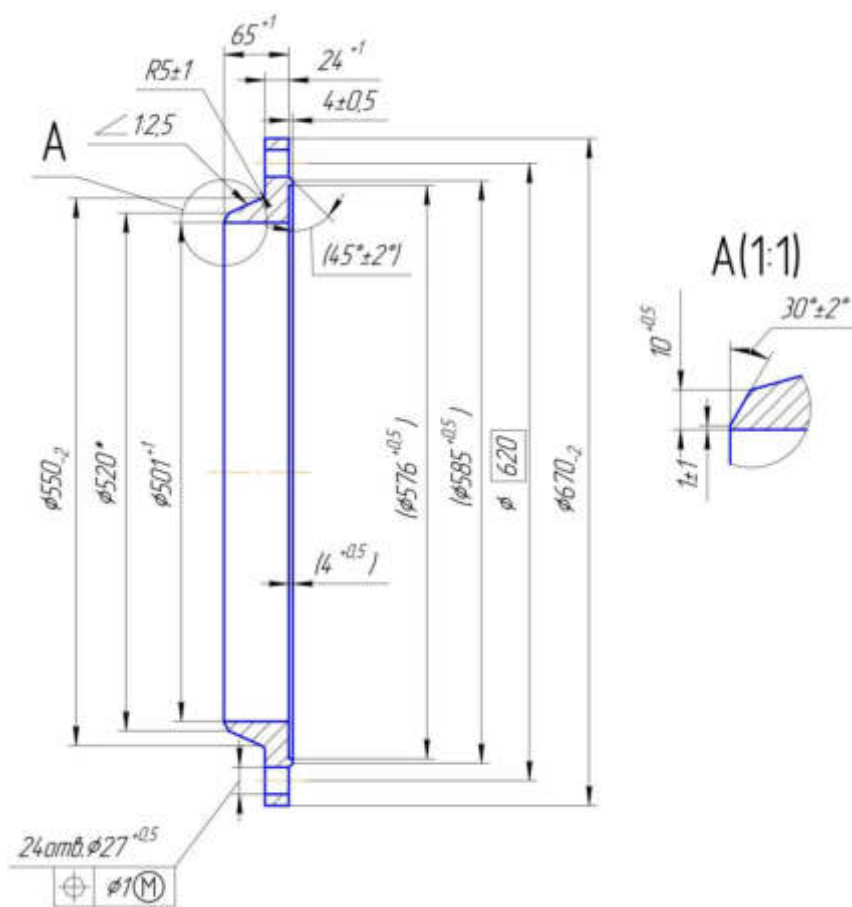


Рисунок 1.9 – Фланец

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Фланец изготавливается из поковки группы Пб, которая производится в соответствии с требованиями [5].

Отвод показан на рисунке 1.10.

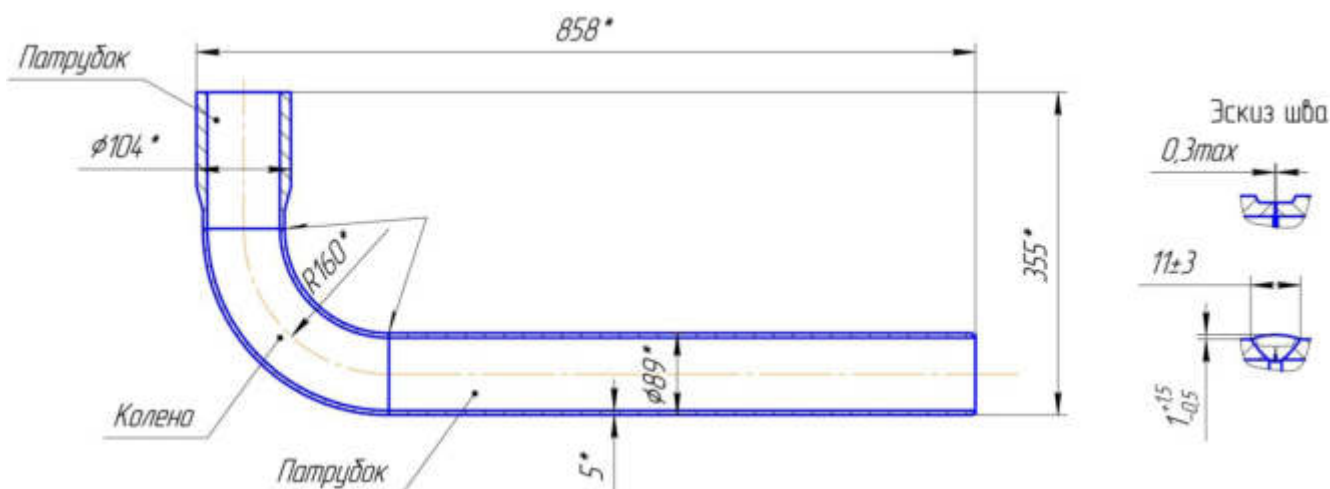


Рисунок 1.10 – Отвод

Отвод изготавливается из трех элементов: патрубок (2 шт) и колена. Изготовление производится РАД.

Патрубок показан на рисунке 1.11.

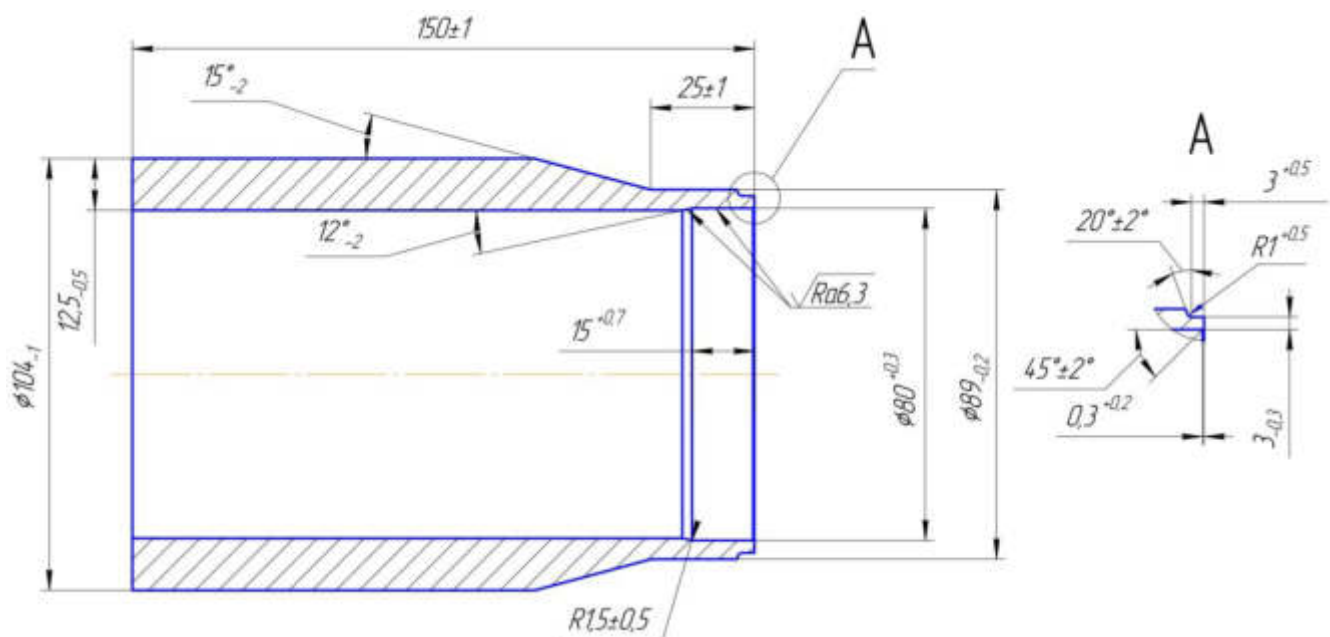


Рисунок 1.11 – Патрубок

Патрубок изготавливается круглого проката, который производится в соответствии с требованиями [2].

Патрубок показан на рисунке 1.12.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

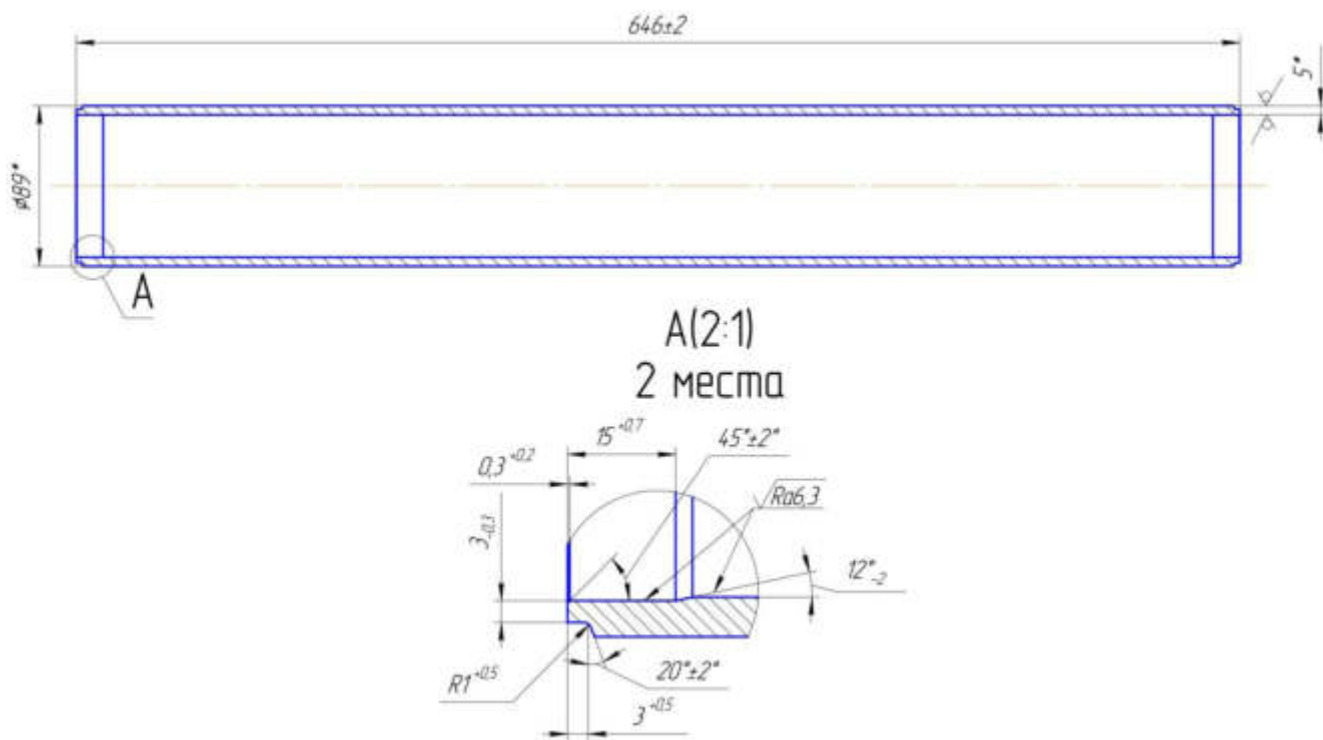


Рисунок 1.12 – Патрубок

Патрубок изготавливается из трубы $\text{Ø}89 \times 5$ мм, которая производится в соответствии с требованиями [6].

Колено показано на рисунке 1.13.

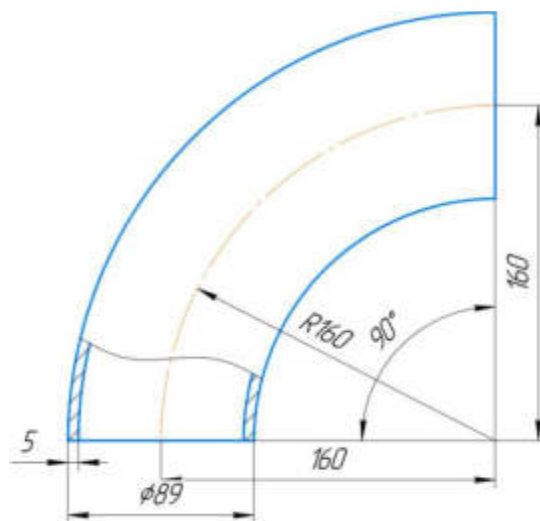


Рисунок 1.13 – Колено

Колено (обозначение С 90°-89×5-РН 25 03) изготавливается в соответствии с требованиями [7].

Обечайка показана на рисунке 1.14.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

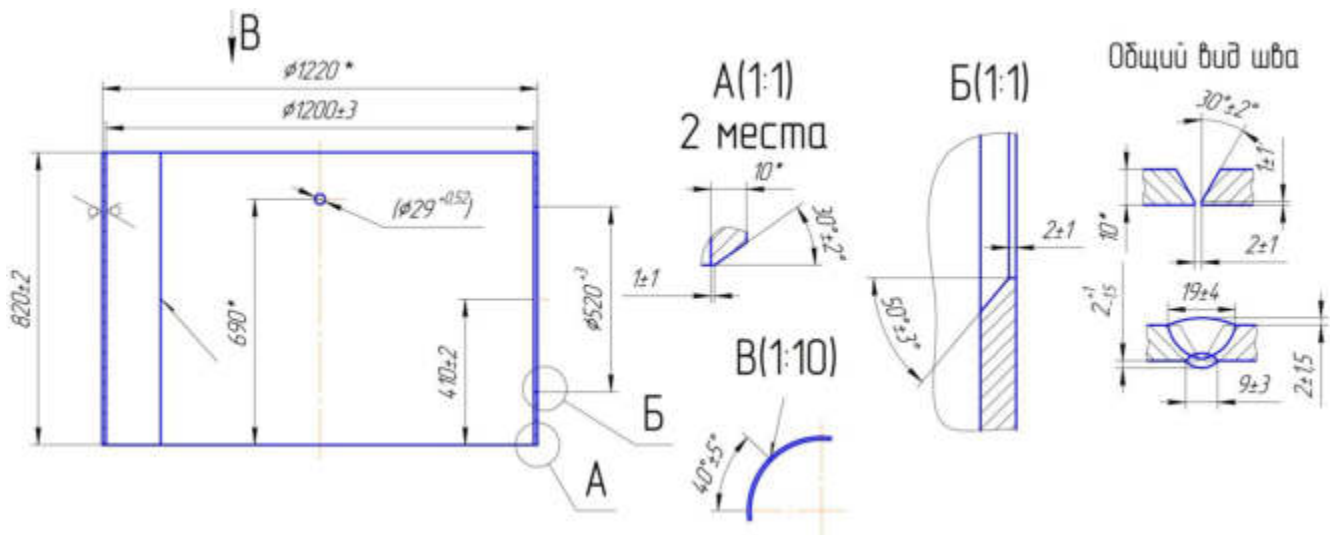


Рисунок 1.14 – Обечайка

Обечайка изготавливается из листа толщиной 10 мм, который производится по требованиям [4], методом вальцевания и сварки (РАД).

Днище нижнее показано на рисунке 1.15.

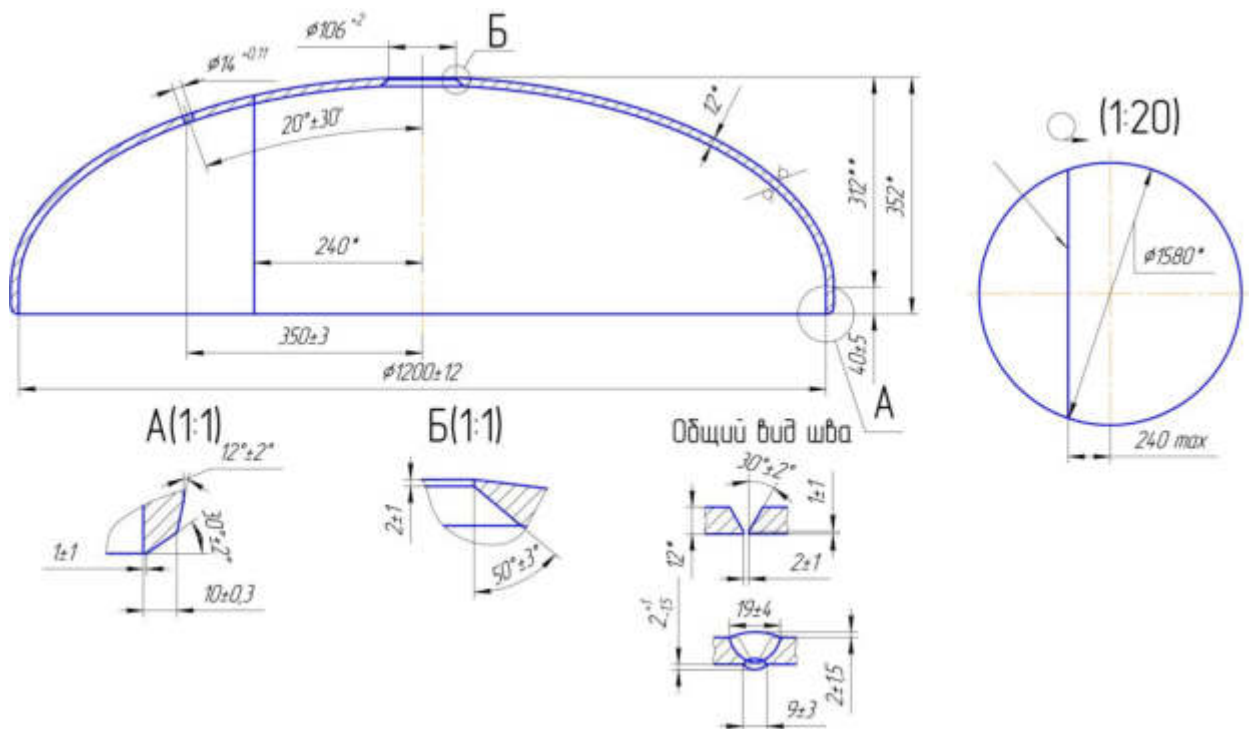


Рисунок 1.15 – Днище нижнее

Днище нижнее изготавливается из листа толщиной 12 мм, который производится по требованиям [4] методом вальцевания и сварки (РАД).

Днище верхнее показано на рисунке 1.16.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

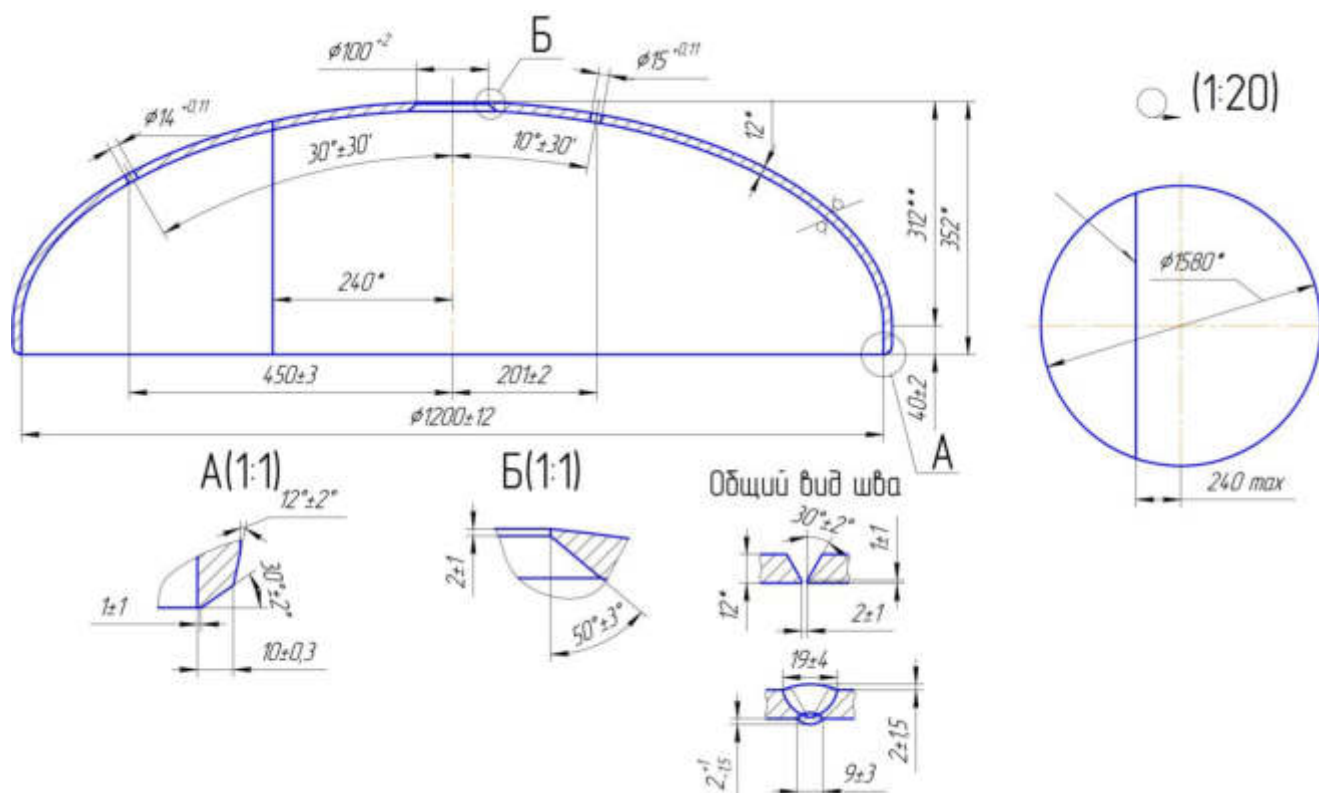


Рисунок 1.16 – Днище верхнее

Днище верхнее изготавливается из листа толщиной 10 мм, который производится по требованиям [4], методом вальцевания и сварки (РАД).

Патрубок показан на рисунке 1.17.

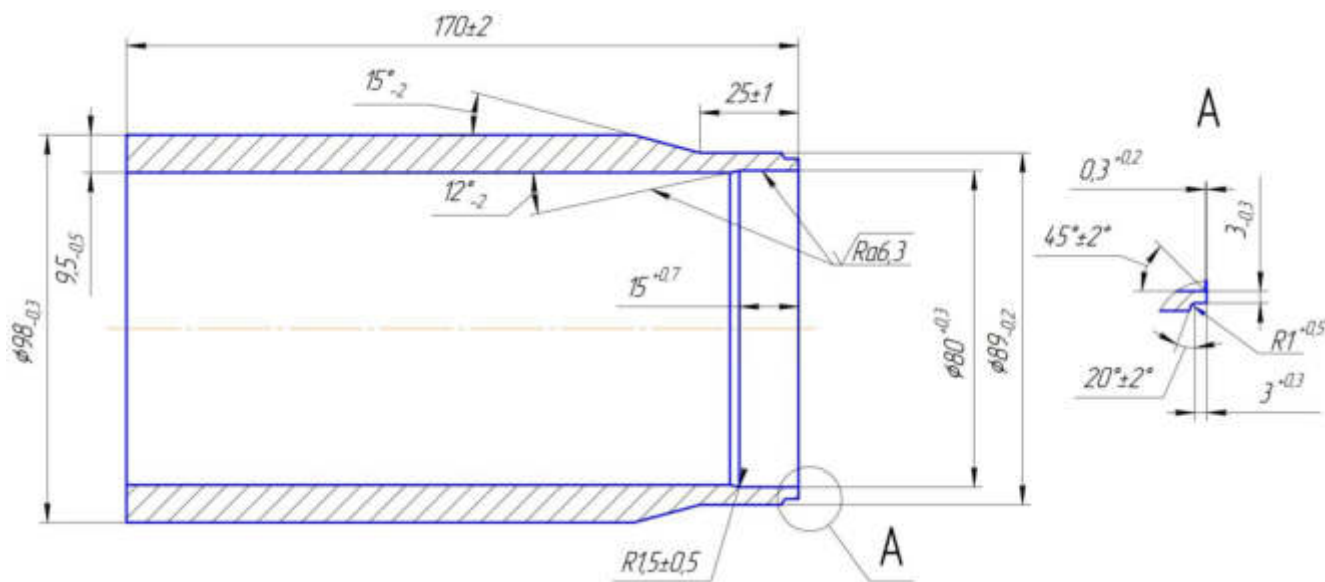


Рисунок 1.17 – Патрубок

Патрубок изготавливается круглого проката, который производится в соответствии с требованиями [2].

Патрубок показан на рисунке 1.18.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

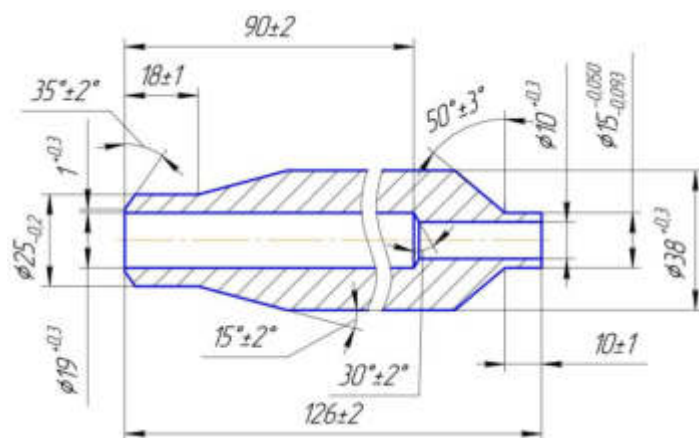


Рисунок 1.18 – Патрубок

Патрубок изготавливается круглого проката, который производится в соответствии с требованиями [2].

Патрубок показан на рисунке 1.19.

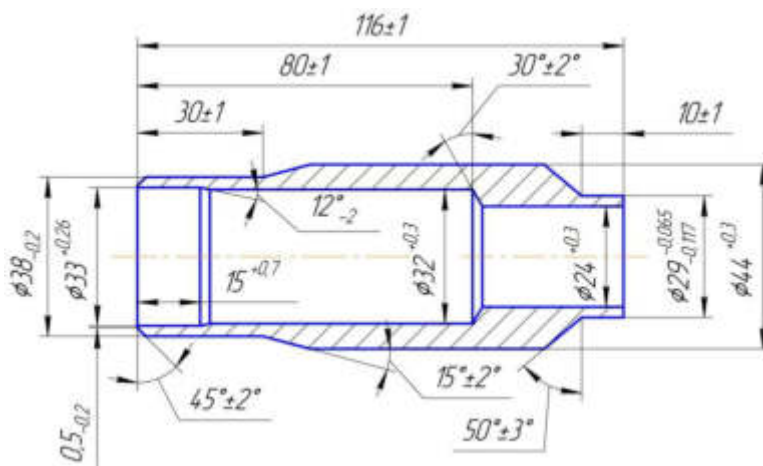


Рисунок 1.19 – Патрубок

Патрубок изготавливается круглого проката, который производится в соответствии с требованиями [2].

Кольцо укрепляющее показано на рисунке 1.20.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

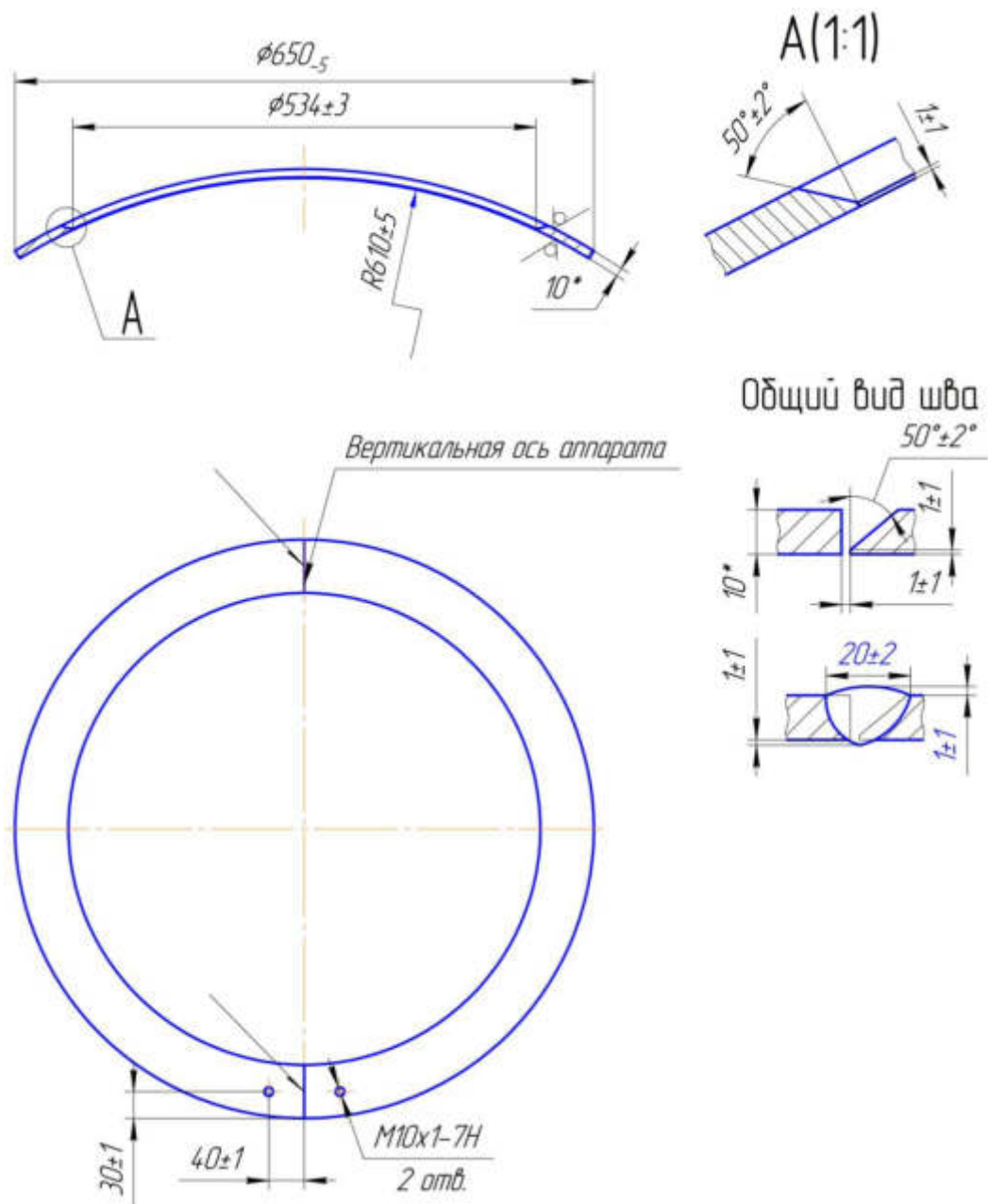
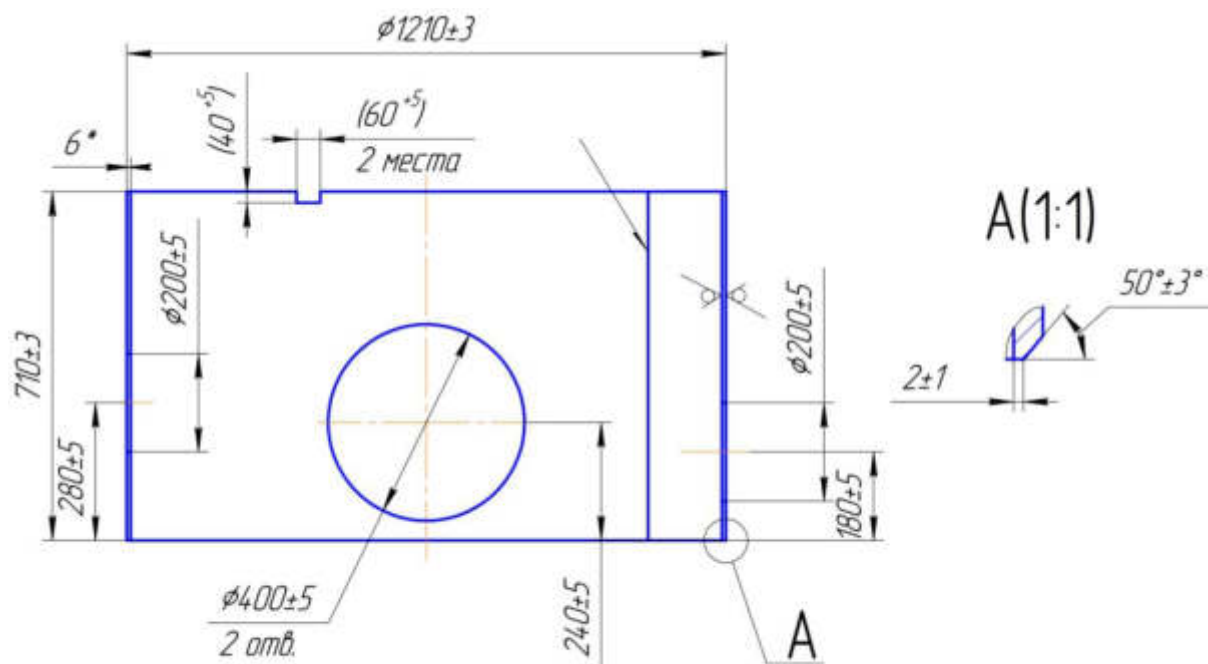


Рисунок 1.20 – Кольцо укрепляющее

Кольцо укрепляющее изготавливается из листа толщиной 10 мм, который производится по требованиям [4], методом вальцевания и сварки (РАД).

Обечайка опорная показана на рисунке 1.21.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата



Общий вид шва

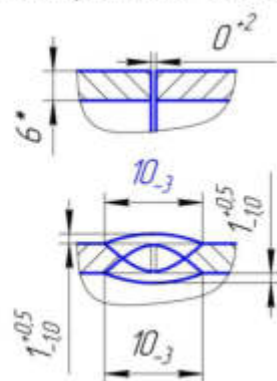


Рисунок 1.21 – Обечайка опорная

Обечайка опорная изготавливается из листа толщиной 6 мм, который производится по требованиям [4], методом вальцевания и сварки (РАД).

Кольцо опорное показано на рисунке 1.22.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

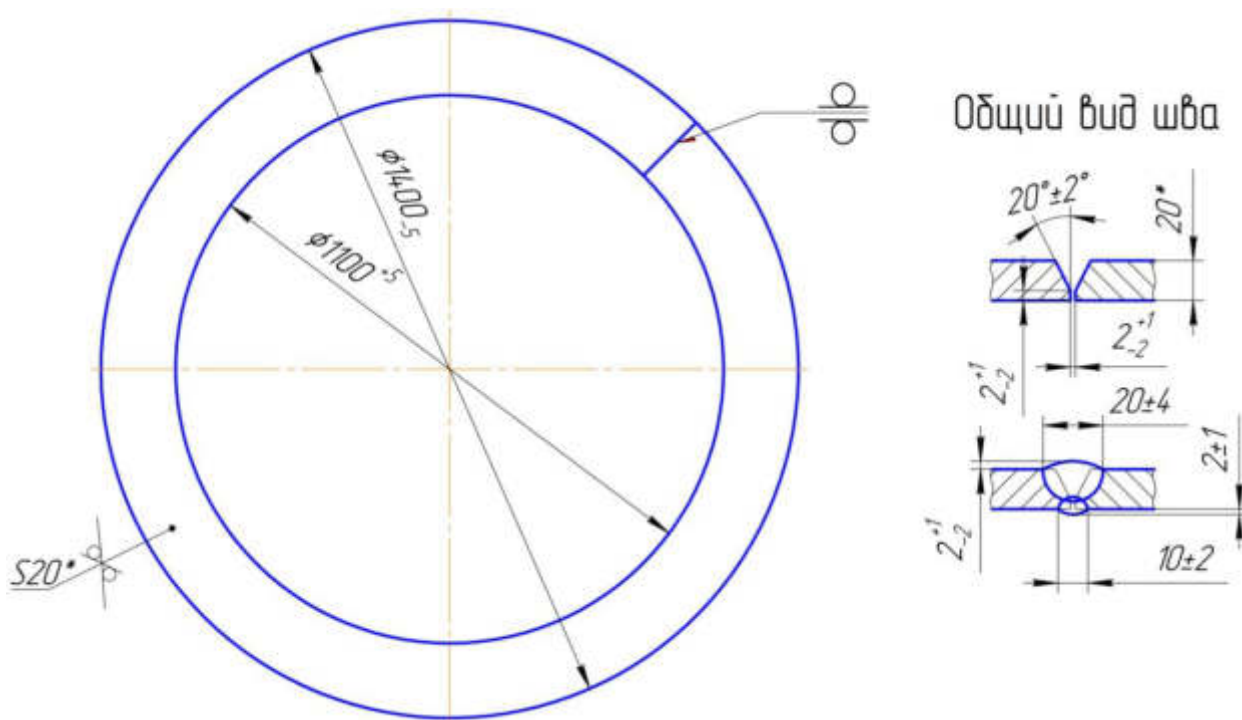


Рисунок 1.22 – Кольцо опорное

Кольцо опорное изготавливается из листа толщиной 20 мм, который производится по требованиям [4], методом вальцевания и сварки (РАД).

Ребро показано на рисунке 1.23.

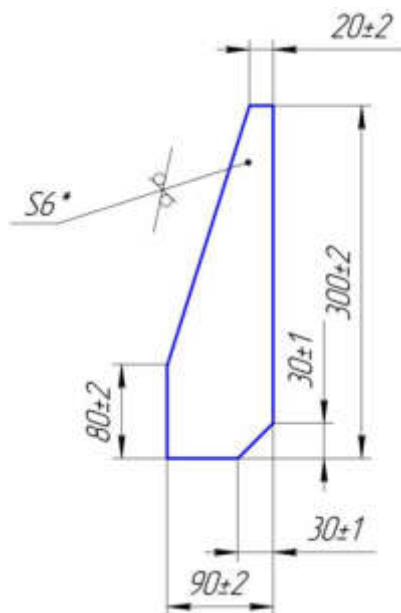


Рисунок 1.23 – Ребро

Ребро изготавливается из листа толщиной 6 мм, , который производится по требованиям [4].

Кольцо показано на рисунке 1.24.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

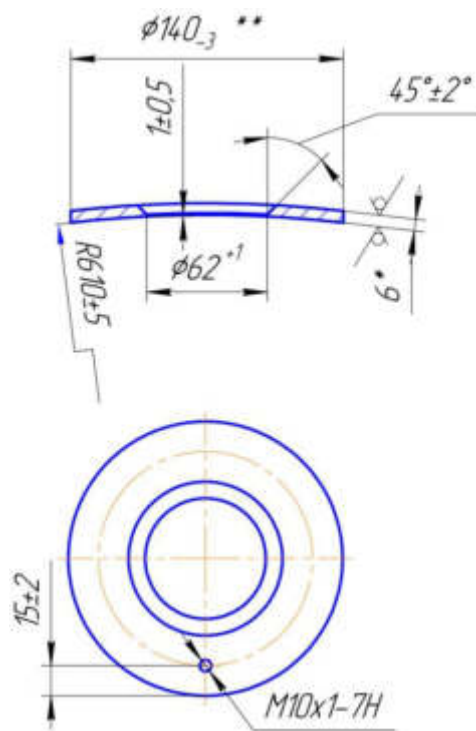


Рисунок 1.24 – Кольцо

Кольцо изготавливается из листа толщиной 6 мм, который производится по требованиям [4].

Втулка показана на рисунке 1.25.

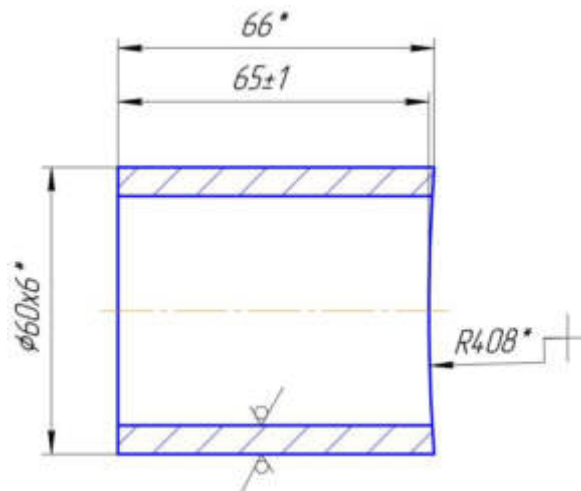


Рисунок 1.25 – Втулка

Втулка изготавливается из трубы $\phi 60 \times 6$ мм, которая производится в соответствии с требованиями [3].

Заглушка показана на рисунке 1.26.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

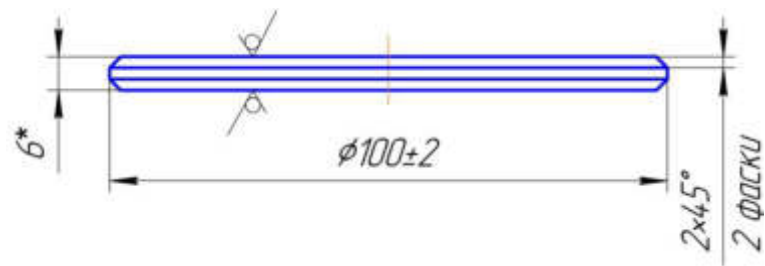


Рисунок 1.26 – Заглушка

Заглушка изготавливается из листа толщиной 6 мм, который производится по требованиям [4].

Пробка показана на рисунке 1.27.

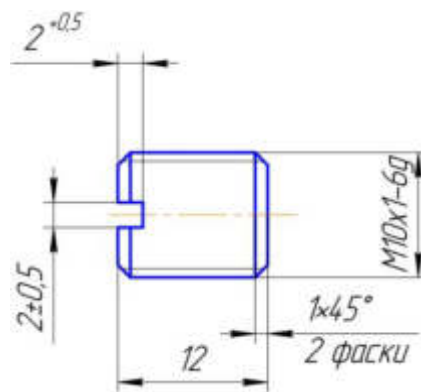


Рисунок 1.27 – Пробка

Пробка изготавливается из круглого проката, который производится в соответствии с требованиями [2].

Скоба показана на рисунке 1.28.

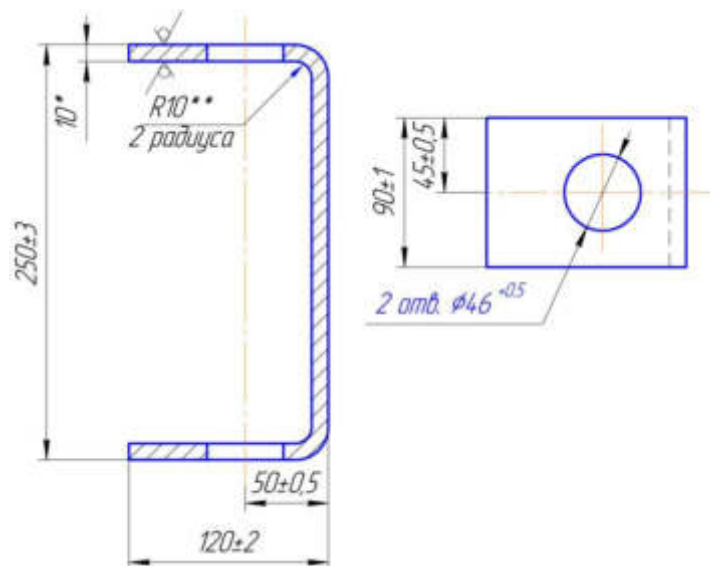


Рисунок 1.28 – Скоба

Скоба изготавливается из листа толщиной 10 мм, который производится по

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

требованиям [4].

При изготовлении в конструкции бака применяются сварные швы различной конфигурации. Основные корпусные швы показаны на рисунке 1.29.

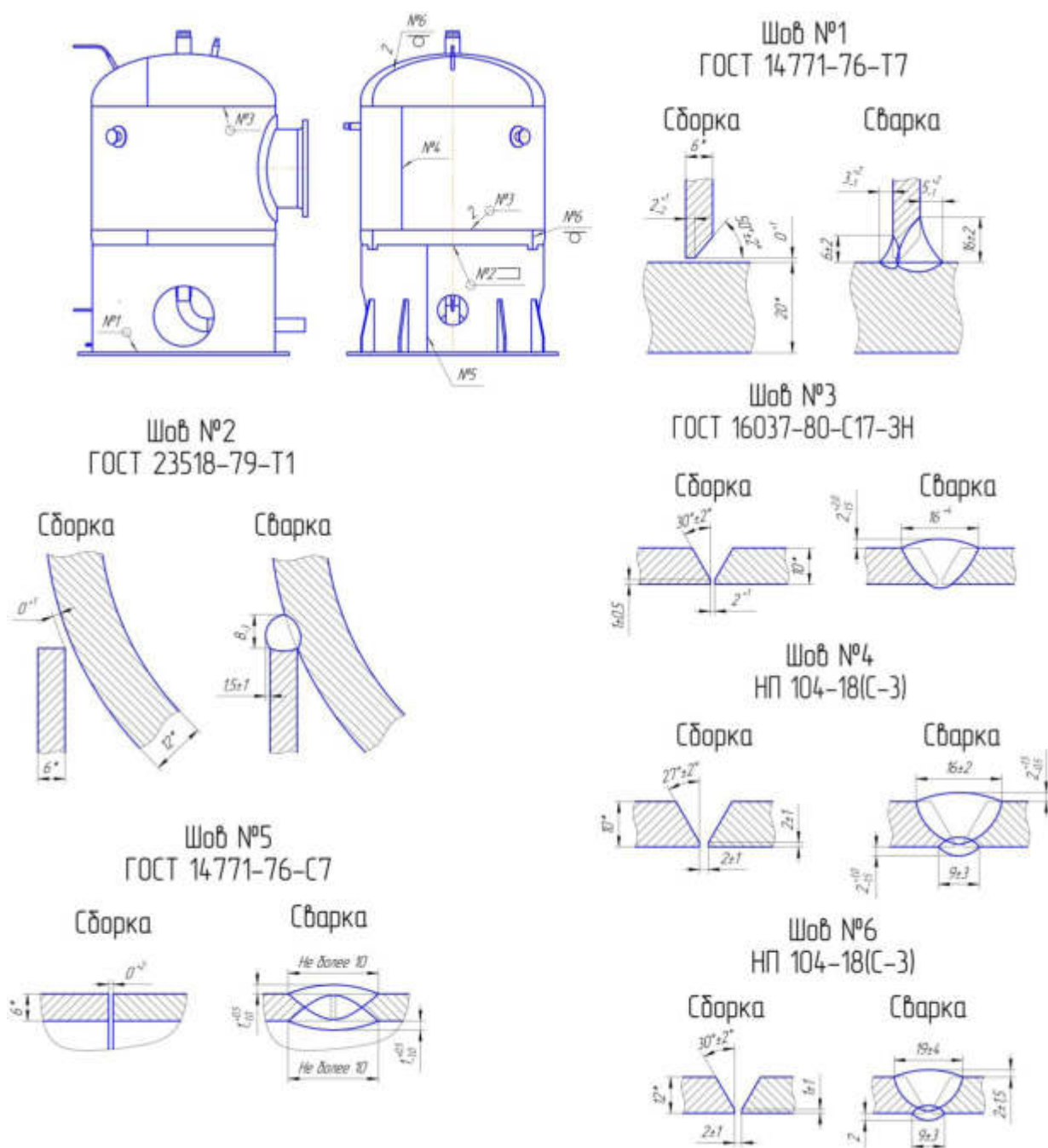


Рисунок 1.29 – Сварные швы

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

1.2 Материал бака и его свариваемость

При изготовлении бака конденсата для всех деталей применяется высоколегированная коррозионно-стойкая сталь аустенитного класса марки 12X18H10T.

Данная сталь используется в тяжелой и легкой промышленности для изготовления деталей, работающих при температурах, не превышающих 600 °С. Также, она используется при изготовлении сварных аппаратов и сосудов, которые работают в различных растворах азотной, уксусной, фосфорной кислот, а также в растворах щелочей и солей. Она может применять и для иных изделий, работающих под давлением при температуре от -196 до +600 °С. В агрессивных же средах рабочая температура не должна превышать значения +350 °С.

Химический состав стали 12X18H10T регламентируется требованиями [8].

Массовая доля химических элементов в стали 12X18H10T показана в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Массовая доля химических элементов в стали 12X18H10T [8]

В процентах

C	Si	Mn	Ti	S	P	Cr	Ni
Не более							
0,12	0,8	2,0	0,6	0,02	0,04	17,0...19,0	9,0...11,0

Механические свойства стали 12X18H10T представлены в таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Механические свойства стали 12X18H10T

Вид проката	Нормативный документ	σ_T , МПа	σ_B , МПа
Труба	ГОСТ 9940-81, ГОСТ 9941-81	190	429
Лист	ГОСТ 7350-77	167	400
Круг	ГОСТ 5949-2014	183	424
Поковка	ГОСТ 25054-81	166	403

Нержавеющие стали имеют высокий коэффициент теплового расширения, что

затрудняет сварку таких изделий. При нагреве сталь быстро расширяется, а при охлаждении межатомные расстояния приводятся к прежнему значению. Если нагрев будет слишком резким либо будет слишком быстрое охлаждение, то в сварном соединении появятся горячие трещины, а после остывания также и холодные. Поэтому, при разработке технологии сварки конструкций из аустенитных марок сталей должны применяться такие режимы и техника, которые обеспечивают малое тепловложение и компенсацию остаточных деформаций.

В настоящее время при изготовлении конструкций из нержавеющей сталей отсутствует методика определения эквивалента углерода, поэтому, склонность сталей аустенитного класса к образованию трещин определяется по методике, основанной на определении эквивалентного содержания хрома ($Cr_{ЭКВ}$) и никеля ($Ni_{ЭКВ}$).

Определение значений $Cr_{ЭКВ}$ и $Ni_{ЭКВ}$ производится по формулам, указанным ниже. При этом склонность стали к образованию трещин определяется исходя из отношения $Cr_{ЭКВ}/Ni_{ЭКВ}$. Если отношение $Cr_{ЭКВ}/Ni_{ЭКВ} > 1,5$, то сталь не склонна к образованию трещин [12].

Определим $Cr_{ЭКВ}$ по формуле (1.1) из [9]:

$$Cr_{ЭКВ} = Cr + 1,37Mo + 1,5Si + 2Nb + 3Ti, \quad (1.1)$$

где Cr, Mo, Si, Nb, Ti – массовые доли хрома, молибдена, кремния, ниобия и титана по результатам контроля химического состава методом ковшовой пробы, %. Их значения выбираются по максимальным значениям из таблицы 1.1.

Рассчитаем $Cr_{ЭКВ}$ по формуле (1.1):

$$Cr_{ЭКВ} = 19 + 1,5 \cdot 0,8 + 3 \cdot 0,6 = 22 \%$$

Определим $Ni_{ЭКВ}$ по формуле (1.2) из [9]:

					ЮУрГУ-15.03.01.2020.475.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		26

$$Ni_{ЭКВ} = Ni + 0,31Mn + 22C + 14,2N + Cu, \quad (1.2)$$

где Ni, Mn, C, N, Cu – массовые доли никеля, марганца, углерода, азота и меди по результатам контроля химического состава методом ковшовой пробы, %. Их значения выбираются по максимальным значениям из таблицы 1.1.

Рассчитаем $Ni_{ЭКВ}$ по формуле (1.2):

$$Ni_{ЭКВ} = 11 + 0,31 \cdot 2 + 22 \cdot 0,12 = 14,26 \%$$

Вероятность образования горячих трещин определяется из условия (1.3) из [9]:

$$\frac{Cr_{ЭКВ}}{Ni_{ЭКВ}} = \frac{22}{14,26} = 1,54. \quad (1.3)$$

Полученное значение отношения $Cr_{ЭКВ}/Ni_{ЭКВ} > 1,5$, следовательно, сталь марки 12X18H10T не склонна к образованию горячих трещин и применять предварительный подогрев перед сваркой бака не требуется.

1.3 Условия эксплуатации бака

Бак конденсата работает в условиях воздействия агрессивной коррозионной среды. При этом, конструкция присоединяется в систему отвода конденсата жестко, что приводит к дополнительным нагрузкам в местах соединений. При прохождении горячего пара через бак образуется внутреннее давление.

Совокупность нагрузок, действующих на бак, требует высокого качества изготовления. Применяемые материалы должны проходить строгий входной контроль.

Выводы по разделу 1:

В разделе 1 рассматривается конструкция бака конденсата, применяемого в качестве устройства для сбора поступающего из системы парового нагрева

					ЮУрГУ-15.03.01.2020.475.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		27

конденсата для последующей его перекачки конденсатным насосом в паровые котлы. Рассмотрены требования к конструированию, требования по изготовлению в соответствии с климатическими условиями, требования по сейсмостойкости. Рассмотрены детали, составляющие конструкцию бака, описаны требования по их проектированию. Рассмотрена марка основного материала бака, определена необходимость предварительного подогрева перед сваркой. Описаны условия эксплуатации бака.

2 ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

2.1 Базовый вариант технологического процесса

Первичной операцией при изготовлении бака конденсата является входной контроль материалов.

При входном контроле проводится проверка следующих данных:

- проверка металлопроката по сертификатным данным;
- проверка геометрических размеров проката;
- отбор проб для контроля механических свойств и подтверждения химического состава;
- контроль сертификатных данных и геометрических параметров деталей, поставляемых на участок изготовления бака конденсата готовыми. К таким деталям относятся:
 - штуцеры для изготовления отвода нижнего и верхнего;
 - отводы для изготовления отвода нижнего и верхнего;
 - фланец для горловины;
 - патрубки и колена для отвода;
 - патрубки (детали 8, 9, 10);
 - втулки (детали 16);
 - пробки (детали 18);
 - скоба (деталь 19).

					ЮУрГУ-15.03.01.2020.475.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		28

Входной контроль проводится на складе металлопроката. При выявлении каких-либо несоответствий продукция отправляется в изолятор брака для принятия комиссионного решения по возможности ее использования в производстве.

Листовой прокат, признанный соответствующим требованиям нормативных документов, при помощи крана отправляют на участок заготовительного производства для термической резки и механической заготовки фасок.

Резка производится термическим способом. Данным способом получают следующие заготовки:

- обечайку (в составе горловины);
- обечайку (деталь 5);
- днище нижнее (деталь 6);
- днище верхнее (деталь 7);
- кольцо укрепляющее (деталь 11);
- обечайку опорную (деталь 12);
- кольцо опорное (деталь 13);
- ребро (деталь 14);
- кольцо (деталь 15);
- заглушку (деталь 17).

Для термической резки листов используется машина плазменной резки марки Сибирь АРМ (с применением числового программного управления), показанная на рисунке 2.1.



Рисунок 2.1 – Машина плазменной резки Сибирь АРМ (с ЧПУ) [10]

					ЮУрГУ-15.03.01.2020.475.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		29

Технические характеристики машины плазменной резки Сибирь АРМ (с ЧПУ) представлены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Технические характеристики машины плазменной резки Сибирь АРМ [10]

Характеристика	Значение
Ширина рабочей зоны, мм	2000
Характеристика	Значение
Длина рабочей зоны, мм	3000
Максимальная толщина разрезаемого металла, мм:	
– плазменной дугой	35
– газовой струей	100
Точность позиционирования резака, мм	±0,35
Максимальная скорость резки, мм/мин	6000
Габаритные размеры установки, мм	3050×4000×1115

Для изготовления обечаек используется станок Imcar S1HRV, показанный на рисунке 2.2.



Рисунок 2.2 – Станок Imcar S1HRV [11]

Технические характеристики станка Imcar S1HRV приведены в таблице 2.2.

					ЮУрГУ-15.03.01.2020.475.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		30

Таблица 2.2 – Технические характеристики станка Imcar S1HRV [11]

Характеристика	Значение
Рабочая длина, мм	3050
Наибольшая толщина листа, мм	10
Наименьший радиус гибки, мм	270
Мощность двигателя, кВт	7,5
Габаритные размеры, мм	4300×1800×2050
Масса, кг	7440

После резки заготовки для обечаек, днища верхнего, днища нижнего, кольца опорного, кольца укрепляющего отправляются на участок заготовки фасок. Фаски изготавливаются при помощи кромкофрезерной машины АВМ-28, показанной на рисунке 2.3.



Рисунок 2.3 – Машина АВМ-28 [12]

Характеристики машины АВМ-28 показаны в таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Характеристики машины АВМ-28 [12]

Характеристика	Значение
Напряжение сети, В	230
Частота сети, Гц	50...60
Мощность, Вт	1600
Угол фаски, град	60...-60
Скорость подачи, мм/мин	250...500
Максимальная толщина листа, мм	35
Масса, кг	78,5

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

После получения заготовок, производится их зачистка. На данной операции шлифовальными машинками удаляются шлак и грат, а также производится притупление острых кромок и заусенцев. После зачистки детали контролируются визуально, а также производится замер геометрических параметров.

Детали, признанные годными по результатам контроля, поставляются на участок сборки и сварки. Складирование деталей осуществляется на специальных ложементах.

Сборка и сварка бака конденсата проводится на нескольких сварочных постах.

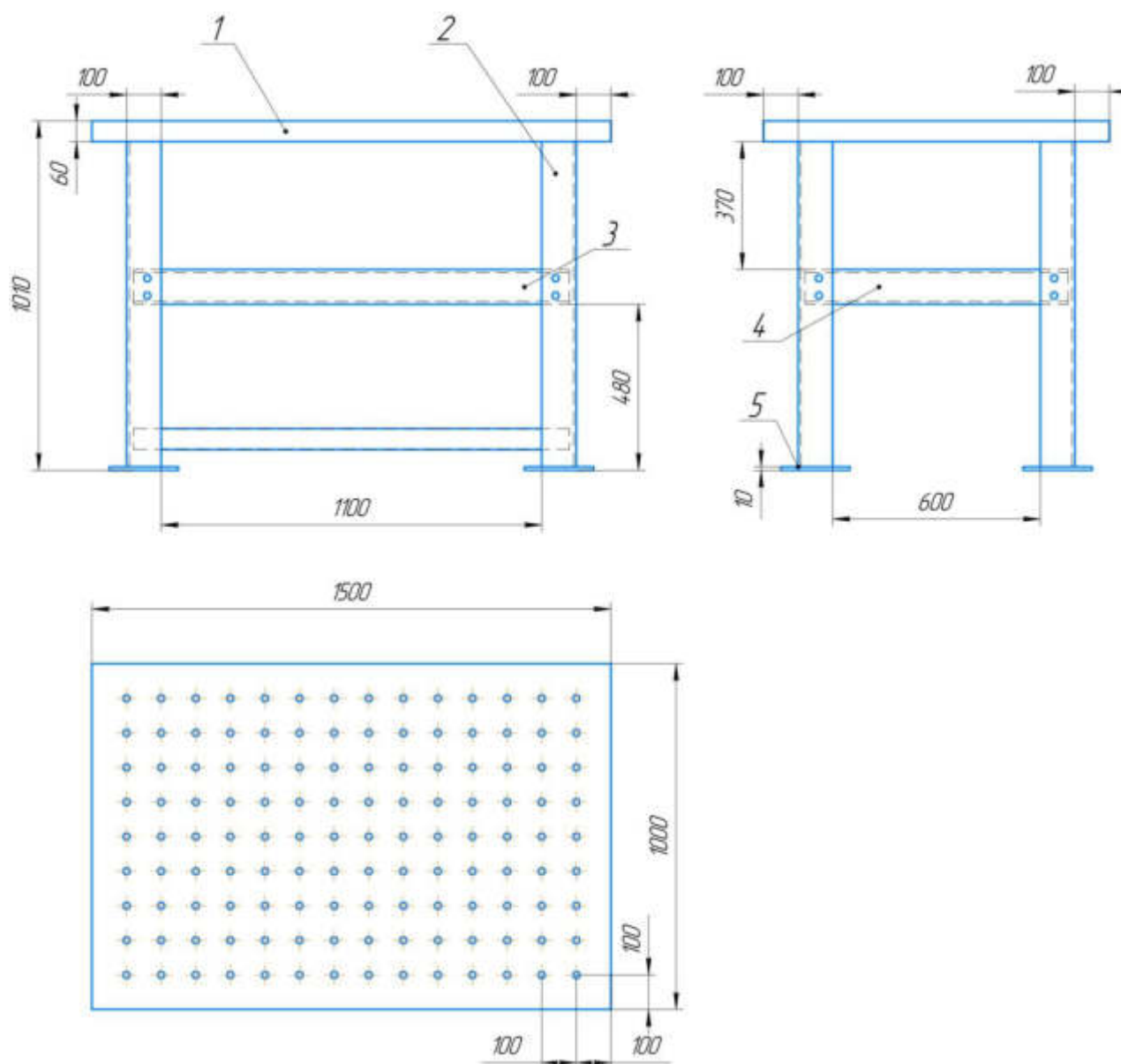
На первом сварочном посту проводится сборка и сварка следующих деталей:

- отвод нижний (узел 1);
- отвод верхний (узел 2);
- отвод (узел 3).

Сборка отвода нижнего, отвода верхнего и отвода проводится на столе сварщика в призмах (для установки соосности).

Стол сварщика показан на рисунке 2.4.

					ЮУрГУ-15.03.01.2020.475.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		32



1 – Столешница; 2 – Упор; 3 – Распорка; 4 – Распорка; 5 – Подставка

Рисунок 2.4 – Стол сварщика

Монтаж призм на стол сварщика, показанный на рисунке 2.4, производится при помощи болтов М18-6g×100.58, изготавливаемых по [13], гаек М18-6G.5, изготавливаемых по [14].

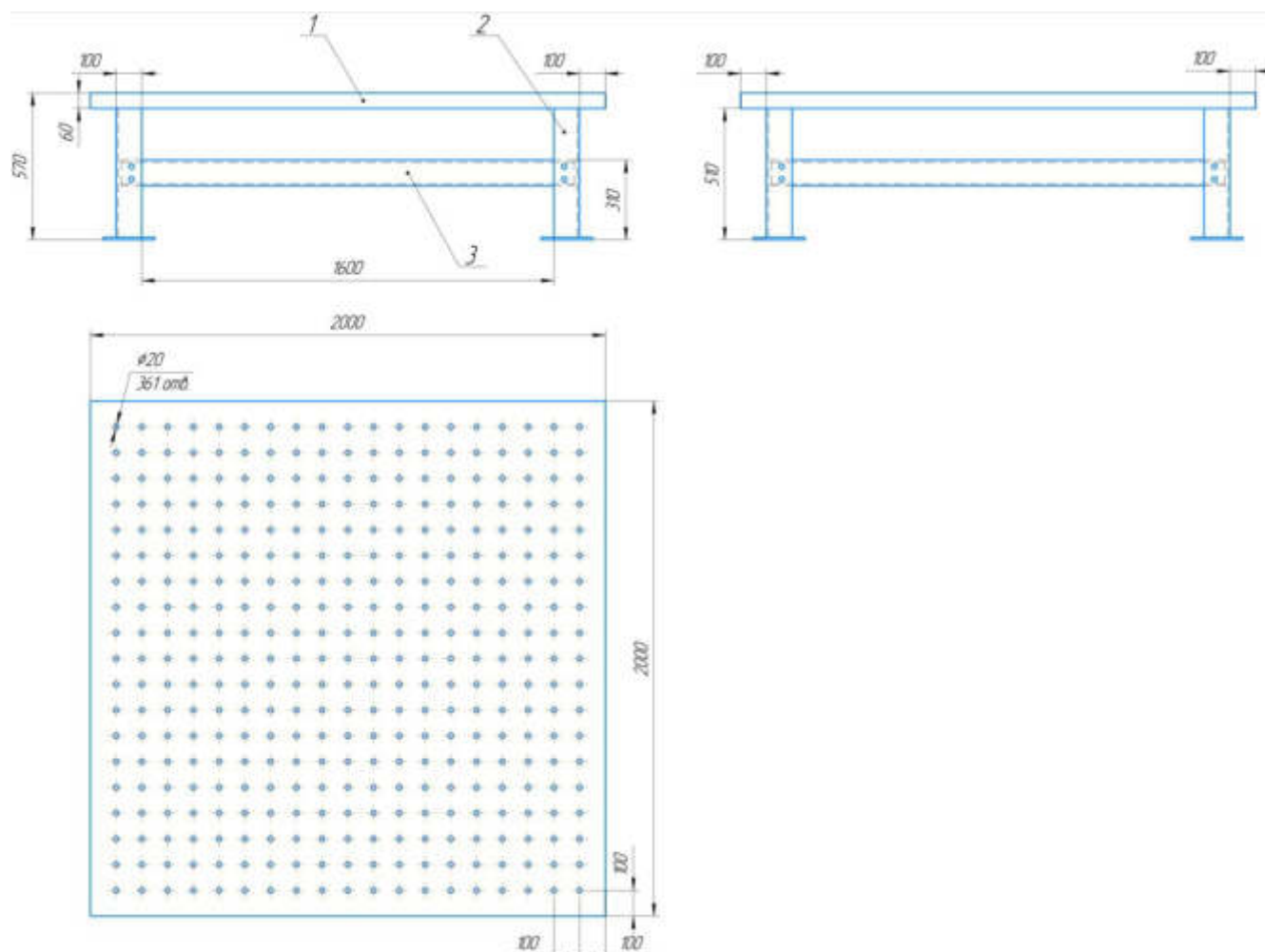
На втором сварочном посту проводится сборка и сварка обечаек, горловины, а также сборка и сварка листов, которые далее будут обработаны для изготовления следующих деталей:

- днище нижнее (деталь 6);
- днище верхнее (деталь 7);
- кольцо укрепляющее (деталь 11);

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

– кольцо опорное (деталь 13).

Сборка и сварка осуществляются на ложементе, показанном на рисунке 2.5.



1 – Плита; 2 – Опора; 3 – Распорка

Рисунок 2.5 – Ложемент

Для фиксации листов при сборке и сварке развертки днища верхнего и днища нижнего применяются механические упоры.

Схема сборки развертки днища верхнего и днища нижнего показана на рисунке 2.6.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

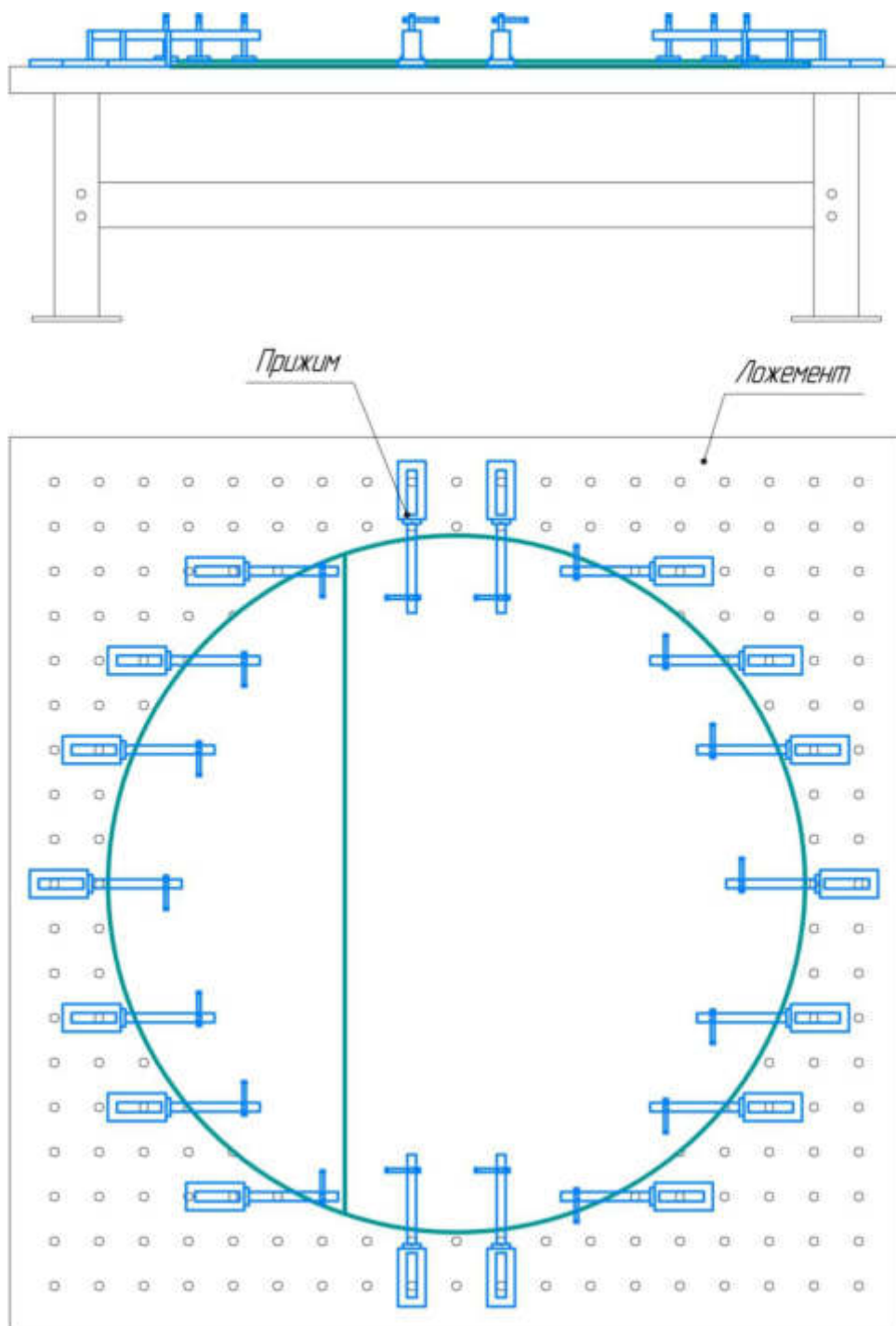


Рисунок 2.6 – Схема сборки развертки днища верхнего и днища нижнего
Для жесткой фиксации кромок проводится сварка прихваток.

После сборки проводится сварка продольного шва днища (№6 рисунок 1.29),
показанного на рисунке 2.7.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

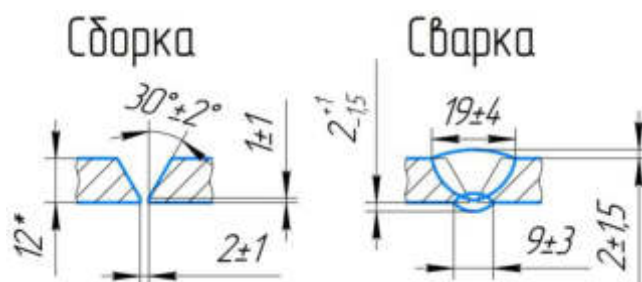


Рисунок 2.7 – Шов №6

Шов №6 выполняется в соответствии с требованиями [15] и имеет тип С-3.

Режимы сварки шва №6 показаны в таблице 2.4.

Таблица 2.4 – Режимы сварки швов

И _{СВ} , А	U _д , В	V _{СВ} , см/с	Вылет электрода, мм
150...200	15...17	0,2...0,5	3...8

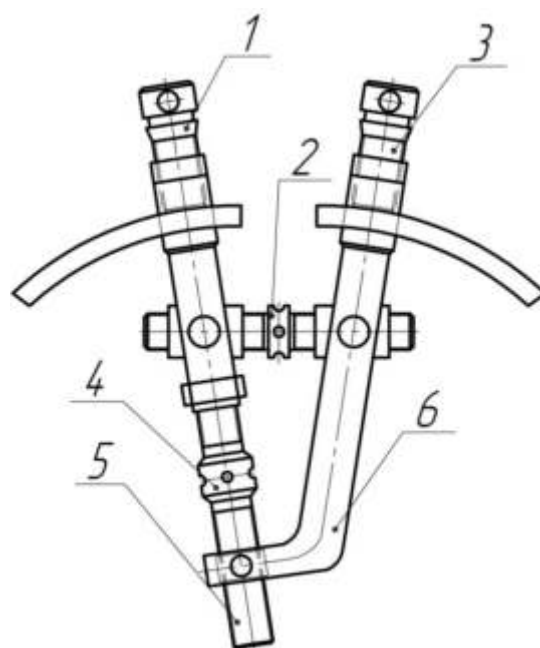
Сварные швы №6 выполняются РАД не менее, чем за 5 проходов участками длиной не более 100 мм обратноступенчатым способом от середины стыка к концам.

Сварной шов №6 контролируется визуальным и измерительным контролем в объеме 100%, а также радиографическим контролем в объеме не менее 25% от всей длины шва.

Далее сваренный узел отправляется на участок механической обработки для фрезерования усиления с внутренней стороны заподлицо с основным, а также для изготовления днища методом объемной штамповки. Фаска на днище изготавливается после того, как получена заготовка днища.

Сборка продольных стыков обечаек осуществляется с помощью винтовых струбцин. Сборка обечаек по продольному стыку осуществляется с целью обеспечения требуемого смещения кромок и необходимого зазора в стыке.

Струбцина для сборки обечаек показана на рисунке 2.8.



- 1 – Винтовой зажим левого плеча; 2 – Механизм сближения плеч;
 3 – Винтовой зажим правого плеча; 4 – Механизм изменения длины левого
 плеча; 5 – Левое плечо; 6 – Правое плечо

Рисунок 2.8 – Струбцина

Перед сборкой обечаяек, к торцевым поверхностям заготовки в месте стыка при развертке привариваются технологические пластины для удаления из зоны основного шва неблагоприятных участков в начале и в конце сварки. Длина пластин 30 мм, ширина не менее 30 мм.

Порядок сборки с применением струбцины:

- обечайка устанавливается на ложемент (показанный на рисунке 2.8). Закрепление обечайки на ложементе производится при помощи упоров;
- установить требуемый зазор в стыке при помощи двух струбцин. Для этого механизмом сближения 2 левого и правого плеч, предназначенного для установки зазора в стыке производится стяжка кромок. Величина зазора в стыке контролируется с помощью щупов или шаблонов;
- выставить минимальное превышение кромок в стыке, не превышающее допустимое, при помощи винтовых стяжек. Это производится при помощи механизма изменения длины левого плеча.

После сборки обечайки производится сварка:

- продольного шва обечайки в составе горловины;

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

- шва №4 (обечайка деталь 5);
- шва №5 (обечайка опорная деталь 12).

Виды швов при сборке и при сварке обечаек показаны на рисунке 2.9.

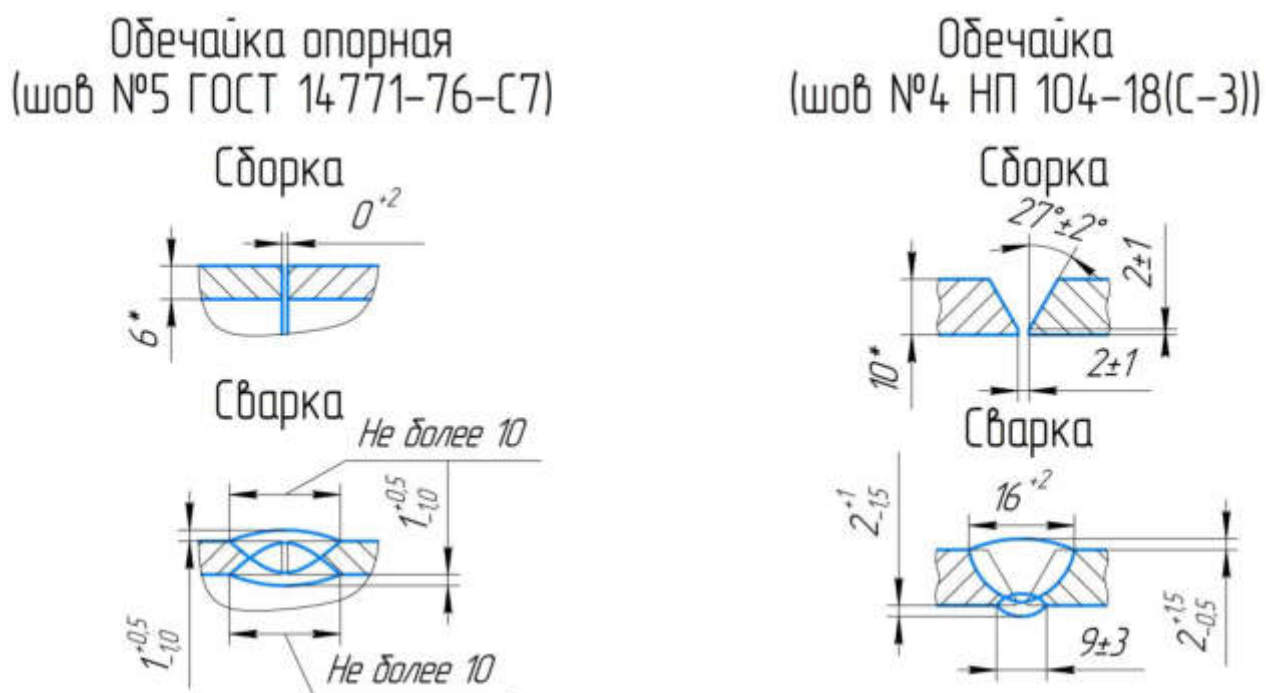


Рисунок 2.9 – Виды швов при сборке и при сварке обечаек

Шов №4 выполняется в соответствии с требованиями [15] и имеет тип С-3.

Шов №5 выполняется в соответствии с требованиями [16] и имеет тип С7.

Режимы сварки швов показаны в таблице 2.5.

Таблица 2.5 – Режимы сварки швов

Номер шва	I_{CB}, A	U_d, B	$V_{CB}, cm/c$	Вылет электрода, мм
4	150...200	15...17	0,2...0,5	3...8
5	130...180			

Сварные швы №5 обечайки опорной выполняются за 1 проход участками длиной не более 100 мм обратноступенчатым способом от середины стыка к концам.

Сварные швы №4 обечаек выполняются не менее, чем за 4 прохода участками длиной не более 100 мм обратноступенчатым способом от середины стыка к концам.

Сборка горловины производится на ложементе, показанном на рисунке 2.5.
Для выставления соосности горловины и фланца применяется кондуктор.

На третьем сварочном посту проводится укрупнительная сборка и сварка бака.

В процессе укрупнительной сборки производится изготовление следующих узлов:

- днище нижнее (деталь 6) + отвод (деталь 4) + отвод нижний (деталь 1);
- днище верхнее (деталь 7) + отвод верхний (деталь 2) + патрубок (деталь 8) + патрубок (деталь 9);
- обечайка опорная (деталь 12) + кольцо опорное (деталь 13) + ребра (деталь 14);
- обечайка (деталь 5) + горловина (деталь 3);
- днище нижнее (деталь 6) + обечайка опорная (деталь 12);
- обечайка (деталь 5) + днище нижнее (деталь 6) + днище верхнее (деталь 7);
- обечайка (деталь 5) + кольцо укрепляющее (деталь 11) + горловина (деталь 3);
- втулка (деталь 16) + заглушка (деталь 17);
- обечайка (деталь 5) + втулка (деталь 16) + кольцо (деталь 15);
- кольцо укрепляющее (деталь 11) + пробка (деталь 18);
- кольцо (деталь 15) + пробка (деталь 18);
- горловина (деталь 3) + скоба (деталь 19).

Сборка узлов осуществляется на ложементе, показанном на рисунке 2.5.

Схема сборки обечайки опорной и кольца опорного показана на рисунке 2.10.

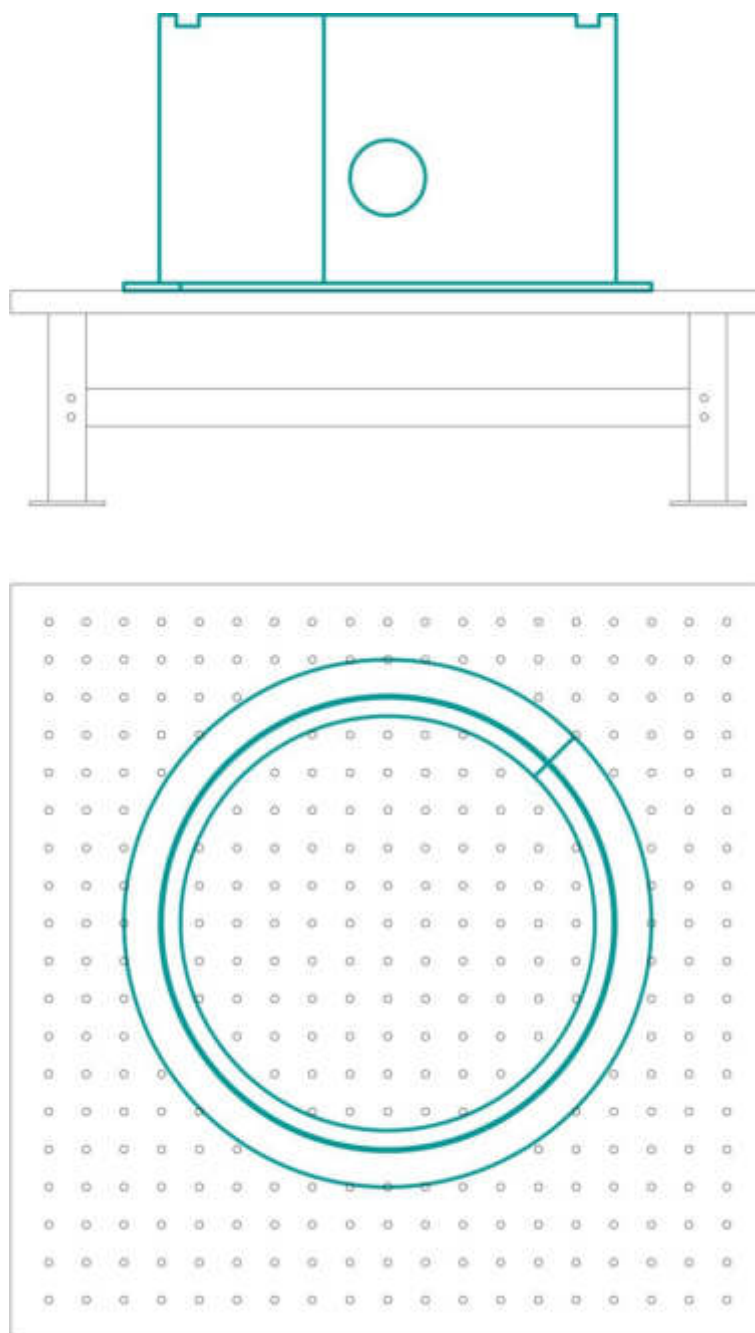


Рисунок 2.10 – Схема сборки обечайки опорной и кольца опорного

Для фиксации сборки проводится сварка прихваток.

После сборки проводится сварка кольцевого шва №1 приварки обечайки опорной к кольцу опорному. Сварной шов №1 показан на рисунке 2.11.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

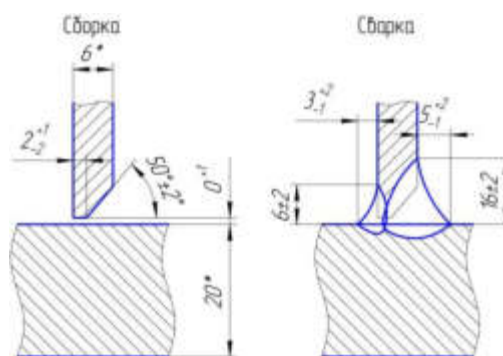


Рисунок 2.11 – Сварной шов №1

Шов №4 выполняется в соответствии с требованиями [16] и имеет тип Т7.

Режимы сварки шва №1 показаны в таблице 2.6.

Таблица 2.6 – Режимы сварки швов

И _{СВ} , А	U _д , В	V _{СВ} , см/с	Вылет электрода, мм
150...200	15...17	0,2...0,5	3...8

Сварной шов №1 приварки обечайки опорной к кольцу опорному выполняется с внутренней стороны за 1 проход, а с наружной стороны не менее, чем за 4 прохода.

Сварной шов контролируется визуальным и измерительным контролем в объеме 100%.

После сварки шва №1 проводится сборка кольца опорного и обечайки опорной с ребрами. После сборки проводится сварка швов приварки ребер к обечайке опорной и кольцу опорному.

Сборка обечайки с горловиной производится на ложементе, показанном на рисунке 2.5. Для выставления монтажных размеров при сборке применяются призмы. Они закрепляются на ложементе при помощи болтов и гаек.

Схема сборки днища нижнего и обечайки опорной показана на рисунке 2.12.

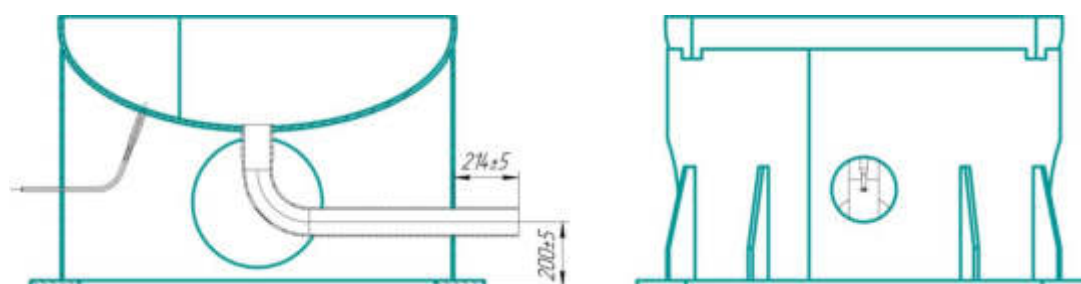


Рисунок 2.12 – Схема сборки днища нижнего и обечайки опорной

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Сборка производится на ложементе, показанном на рисунке 2.5. Для выставления монтажных размеров при сборке применяются уровни монтажные (для выставления параллельности торцевой поверхности днища).

Фиксация сборки проводится с применением прихваток.

После сборки проводится сварка шва №2 приварки днища нижнего к обечайке опорной, а также внутренней части шва приварки отвода к днищу нижнему. Сварной шов №2 показан на рисунке 2.13.

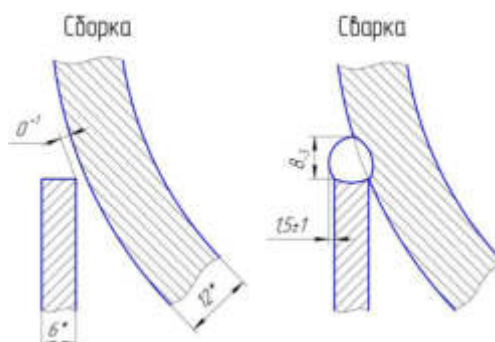


Рисунок 2.13 – Сварной шов №2 приварки днища нижнего к обечайке опорной
Шов №2 выполняется в соответствии с требованиями [17] и имеет тип Т1.

Режимы сварки шва №2 показаны в таблице 2.7.

Таблица 2.7 – Режимы сварки швов

И _{СВ} , А	U _д , В	V _{СВ} , см/с	Вылет электрода, мм
130...180	15...17	0,2...0,5	3...8

Сварной шов №2 приварки днища нижнего к обечайке опорной выполняется не менее, чем за 2 прохода.

Сварной шов контролируется визуальным и измерительным контролем в объеме 100%, а также капиллярным контролем в объеме не менее 10% от длины шва.

Схема сборки обечайки, днища нижнего и днища верхнего показана на рисунке 2.14.

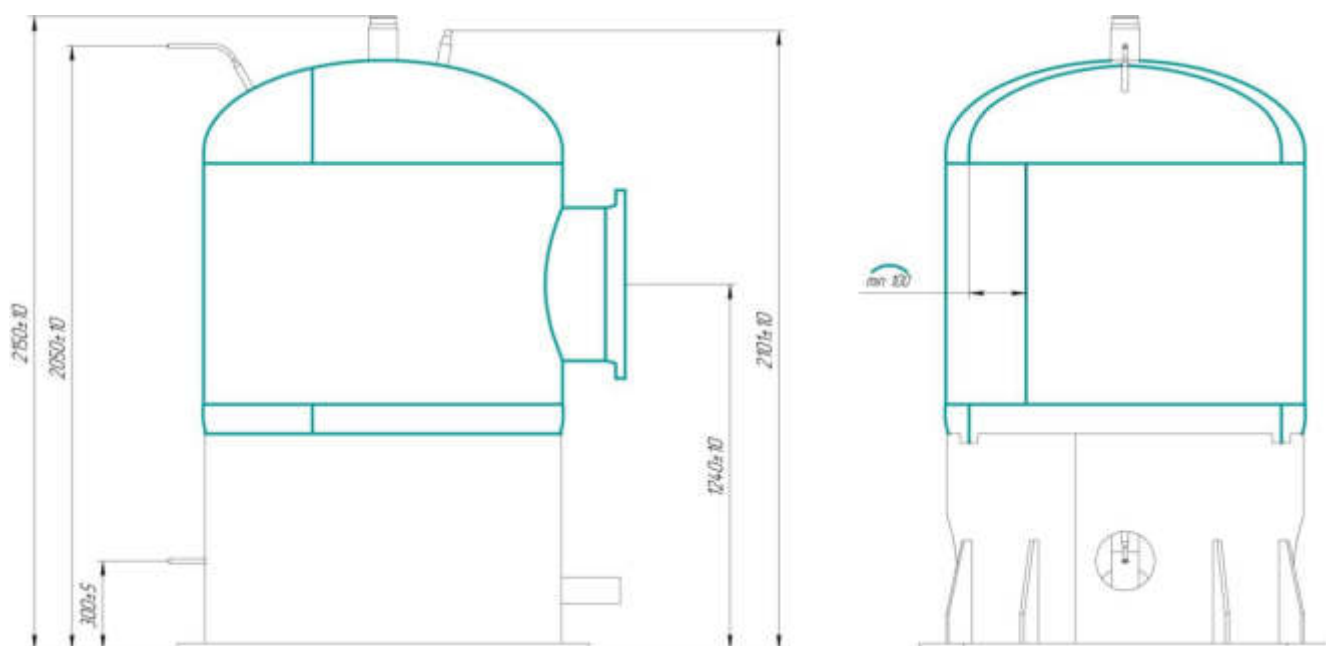


Рисунок 2.14 – Схема сборки обечайки, днища нижнего и днища верхнего
Сборка производится на роликовой самоцентрирующейся опоре HGZ-5, показанной на рисунке 2.15.



Рисунок 2.15 – Самоцентрирующаяся роликовая опора HGZ-5 [18]

В первую очередь, на опору укладывается обечайка. Далее, к ней стыкуется днище верхнее. Проводится проверка зазоров и смещения кромок. Сборка фиксируется прихватками.

Далее, с другой стороны, к обечайке стыкуется днище нижнее. Проводится проверка зазоров и смещения кромок. Сборка фиксируется прихватками.

Проводится контрольный обмер свариваемого узла, и при соответствии собранных размеров требуемым, проводится сварка швов №3, показанных на рисунке 2.16.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

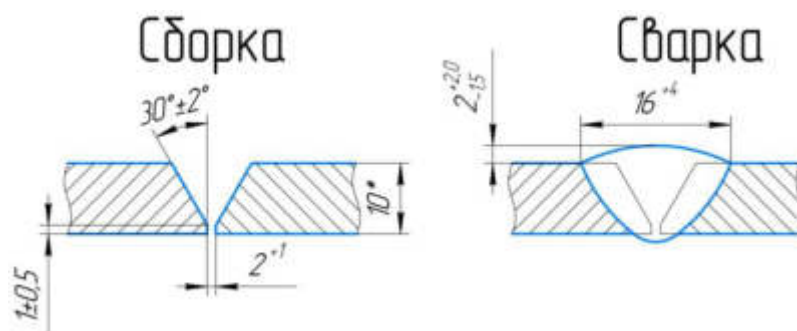


Рисунок 2.16 – Сварной шов №3

Шов №3 выполняется в соответствии с требованиями [19] и имеет тип С17.

Режимы сварки шва №3 показаны в таблице 2.8.

Таблица 2.8 – Режимы сварки шва №3

И _{СВ} , А	U _д , В	V _{СВ} , см/с	Вылет электрода, мм
130...180	15...17	0,2...0,5	3...8

Сварной шов №3 приварки днищ нижнего и верхнего к обечайке выполняется не менее, чем за 3 прохода.

Сварной шов контролируется визуальным и измерительным контролем в объеме 100%, а также радиографическим контролем в объеме не менее 25% от длины шва.

Сборки втулки и заглушки производится на столе сварщика, показанном на рисунке 2.4.

После укрупнительной сборки и сварки бака производится сборка следующих элементов на роликовой опоре:

- кольцо укрепляющее с обечайкой и горловиной;
- обечайка с втулкой и кольцом;
- пробка с кольцом укрепляющим, с кольцом;
- горловина со скобой.

В первую очередь, выполняется сварка шва приварки кольца укрепляющего к горловине и к обечайке.

Далее производится сварка втулки, кольца и обечайки.

Заключительным этапом изготовления бака является сварка швов приварки пробок к кольцам, а также скобы к горловине.

Общие требования к выполнению швов:

- перед сваркой кромки деталей зачищаются проволочным кругом и обезжириваются ацетоном или уайт-спиритом;
- дефектные прихватки должны быть удалены механической обработкой;
- места начала и окончания сварки для многопроходных швов зачищаются абразивным кругом и осматриваются на наличие трещин, пор, подрезов и других дефектов.

При изготовлении бака конденсата применяется ручная аргодуговая сварка неплавящимся вольфрамовым электродом с присадочной проволокой в среде аргона высшего сорта, изготавливаемого по требованиям [20].

В качестве неплавящегося электрода применяется вольфрамовый электрод WT-20 (красного цвета) диаметром 3 мм. Данный тип электрода легирован помимо чистого вольфрама оксидом тория. Данные электроды широко применяются при сварке постоянным током прямой полярности. При аргодуговой сварке наконечник вольфрамового электрода затачивается таким образом, чтобы основной формой заточки был конус, но при этом, конец должен быть закруглен. Длина заточки должна быть не менее 7,5 мм. Угол конуса должен составлять 28...30°.

Изготовление бака конденсата выполняется с применением присадочной проволоки марки Св-04Х19Н11М3 диаметром 3 мм, которая производится по требованиям [21].

Химический состав сварочной проволоки марки Св-04Х19Н11М3 показан в таблице 2.9.

Таблица 2.9 – Химический состав проволоки Св-04Х19Н11М3 [21]

В процентах

Cr	Mn	Ni	Mo	Si	P	S	C
				Не более			
18...20	1...2	10...12	2...3	0,06	0,018	0,025	0,06

Механические свойства металла, наплавленного проволокой Св-04Х19Н11М3,

представлены в таблице 2.10.

Таблица 2.10 – Механические свойства металла, наплавленного проволокой СВ-04Х19Н11МЗ [21]

σ_B , МПа	σ_T , МПа	δ_5 , %
610	430	35

В качестве источника питания сварочной дуги используется инверторный источник питания марки AuroraPRO IRONMAN 200 AC/DC, показанный на рисунке 2.17.



Рисунок 2.17 – Источник питания AuroraPRO IRONMAN 200 AC/DC [22]

Технические характеристики источника питания AuroraPRO IRONMAN 200 AC/DC показаны в таблице 2.11.

Таблица 2.11 – Технические характеристики источника питания AuroraPRO IRONMAN 200 AC/DC [22]

Характеристика	Значение
Напряжение питающей сети, В	220
Потребляемая мощность, кВт	4,5
Напряжение холостого хода, В	56
Диапазон сварочного тока, А	10...200
Режим работы при 40°C, %	60
Габаритные размеры, мм	455×204×368
Масса, кг	14,7

Для сварки применяется сварочная горелка марки PRO TS 18 (250/315 AC/DC), показанная на рисунке 2.18.



Рисунок 2.18 – Сварочная горелка марки PRO TS 18 (250/315 AC/DC) [23]

Технические характеристики горелки PRO TS 18 (250/315 AC/DC) представлены в таблице 2.12.

Таблица 2.12 – Технические характеристики горелки PRO TS 18 (250/315 AC/DC) [23]

Характеристика	Значение
Максимальный сварочный ток, А:	
– постоянный	320
– переменный	240
Диаметр используемых электродов, мм	1,0...4,0
Продолжительность нагрузки, %	100
Расход газа, л/мин	7...20
Тип охлаждения	Водяное
Длина шланга, м	8

Основными недостатками применяемого технологического процесса изготовления бака конденсата являются:

- низкая степень автоматизации сварочного процесса;
- высокие временные затраты на сборку и сварку;
- высокая зависимость качества сварных швов от квалификации персонала;
- неудобство сварки продольных кольцевых и прямолинейных швов.

Для устранения указанных недостатков предлагается применить следующий комплекс мероприятий:

- при сварке швов №1...№6 (рисунок 1.29) предлагается автоматизировать технологию. Это позволит повысить качество сварных швов, снизить усталость исполнителей работ, ускорить процесс изготовления;
- применить при сварке шва №1 вращатель. Это позволит унифицировать сварку кольцевых швов №1 и №2;
- при автоматизации технологии провести расчеты параметров режима сварки, которые обеспечат требуемое качество сварного шва, а также низкую величину погонной энергии;
- подобрать сварочные материалы для автоматизации процесса сварки.

2.2 Выбор способа сварки

Выбор способа сварки производится исходя из условия, которое обеспечивает качество изделия (точность, герметичность и т.д.). Способ сварки зависит от марки применяемого материала, от его толщины, а также от протяженности и расположения сварного шва в пространстве.

Для сварки швов №1...№6 предлагается рассмотреть два способа сварки:

- автоматическую в среде защитных газов;
- автоматическую под слоем флюса.

Сравнительная характеристика сварки под слоем флюса и в среде защитных газов по показателям технологичности представлена в таблице 2.13.

Таблица 2.13 – Сравнительная характеристика сварки под слоем флюса и в среде защитных газов по показателям технологичности [24]

Показатель технологичности	Сварка под флюсом	Сварка в среде защитных газов
Наблюдение за сварочной дугой, ванной и направлением по стыку	Не выполняется	Выполняется

Продолжение таблицы 2.13.

Легирование металла шва	Через флюс и присадочную проволоку	Через присадочную проволоку
Производительность расплавления электродного металла	Высокая	Низкая
Внешний вид шва	Шов ровный, с минимальной чешуйчатостью, с плавным переходом от шва к основному металлу	Поверхность шва чешуйчатая (крупночешуйчатая), с более резким переходом от шва к основному металлу
Сварка в разных пространственных положениях	Наиболее оптимальным положением является нижнее. Сварка в вертикальном и горизонтальном положениях возможна с применением флюсоподдерживающих устройств. Сварка в потолочном положении трудноосуществима.	Любое пространственное положение
Зачистка швов	Необходимо полное удаление шлаковой корки перед каждым проходом	Требуется после сварки каждого прохода
Проплавающая способность дуги	При одинаковом режиме глубина проплавления ниже на 5...8%	Соответственно больше на 5...8%

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Окончание таблицы 2.13.

Выгорание легирующих элементов	Минимальное	Повышенное
Санитарно-гигиенические требования	Выделение токсических веществ, необходима вентиляция	Повышенная загазованность, излучение, необходима вентиляция и защита от излучения
Степень защиты дуги и сварочной ванны	Высокая	Средняя

При сравнении двух способов автоматической сварки, несмотря на указанные недостатки, наиболее оптимальным является способ автоматической сварки под слоем флюса. Выбор данного способа основан на следующем:

- лучшая защита сварочной дуги и сварочной ванны;
- более плавный переход от шва к основному металлу;
- высокая производительность при расплавлении присадочной проволоки.

2.3 Проектируемый вариант технологического процесса

При внедрении комплекса мероприятий по изменению технологии сварки потребуется изменить геометрические параметры разделки кромок для обеспечения равнопрочности соединения и оптимального количества наплавленного металла.

Бак конденсата применяется при работе на производственных объектах электростанции и требования к технологии сварки оговариваются в [15]. Таким образом, для обеспечения требуемой работоспособности, должны соблюдаться требования документа.

Применение автоматической сварки под слоем флюса допускается [15]. Но параметры разделки под аргонодуговую сварку не подходят для данного

процесса. Согласно [п. 81, 15], допускается применение иных типов разделки, если соблюдаются условия равнопрочности и выполнения требований безопасности. Такие типы разделки указываются как в ГОСТ на требуемый тип сварки.

В предлагаемом варианте технологии изготовления бака конденсата предлагается применить автоматическую сварку под флюсом при выполнении швов №1...№6. Для этого, требуется изменить параметры разделки.

В существующем варианте технологии изготовления шов №1 (сварка обечайки опорной (деталь 12) и кольца опорного (деталь 13)) выполняется по [16] и имеет тип шва Т7. В предлагаемом варианте при сварке под флюсом предлагается использовать шов Т1 по [15]. Вид шва показан на рисунке 2.19.

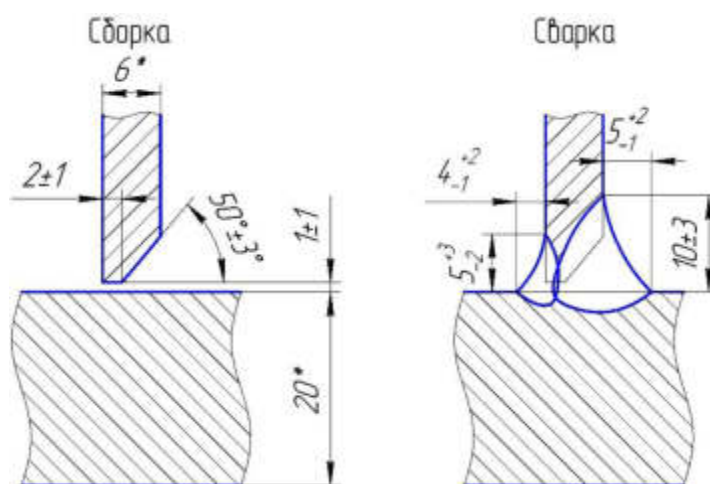


Рисунок 2.19 – Шов Т1 [15]

Согласно [15], шов Т1 выполняется автоматической сваркой под флюсом с предварительной подваркой корня ручной дуговой сваркой покрытыми электродами.

При выполнении шва №2 (сварка обечайки опорной (деталь 12) с днищем нижним (деталь 2)) применяется шов Т1 по [17]. В предлагаемом варианте при сварке под флюсом предлагается применить шов Т1 по [25].

Вид шва показан на рисунке 2.20.

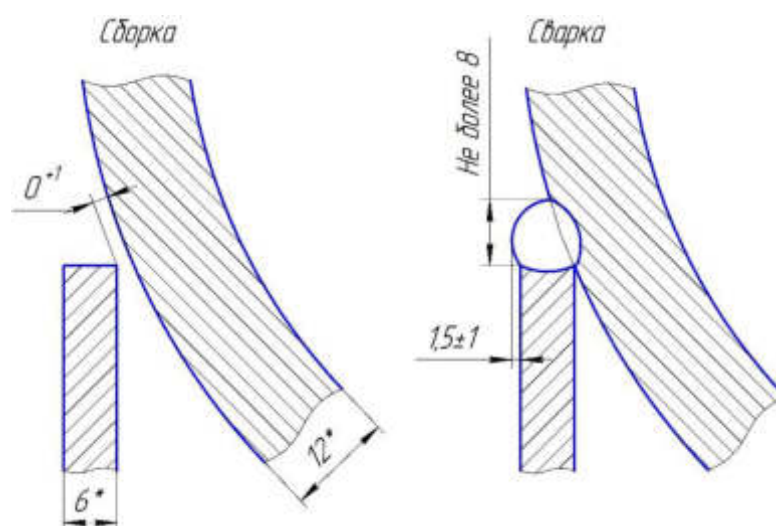


Рисунок 2.20 – Шов Т1 [28]

При выполнении шва №3 (сварка обечайки (деталь 1) с днищем нижним (деталь 2) и днищем верхним (деталь 3)) применяется шов С17 по [19]. В предлагаемом варианте при сварке под флюсом предлагается использовать шов С-27-2 по [15]. Вид шва показан на рисунке 2.21.

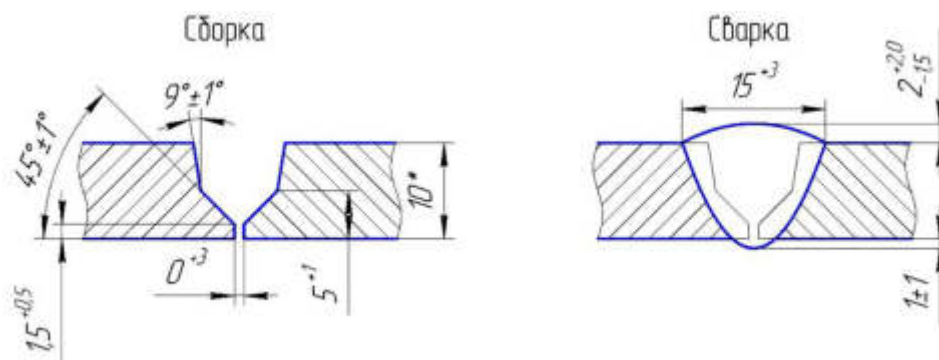


Рисунок 2.21 – Шов С-27-2 [15]

Согласно [15] шов С-27-2 выполняется автоматической сваркой под флюсом с предварительной подваркой корня ручной дуговой сваркой покрытыми электродами.

При выполнении шва №4 (сварка обечайки (деталь 1)) применяется шов С21 по [16]. В предлагаемом варианте при сварке под флюсом предлагается использовать шов С-27-2 по [15]. Вид шва показан на рисунке 2.21.

При выполнении шва №5 (сварка обечайки опорной (деталь 12)) применяется шов С7 по [16]. В предлагаемом варианте при сварке под флюсом предлагается использовать шов С-1 по [15]. Вид шва показан на рисунке 2.22.

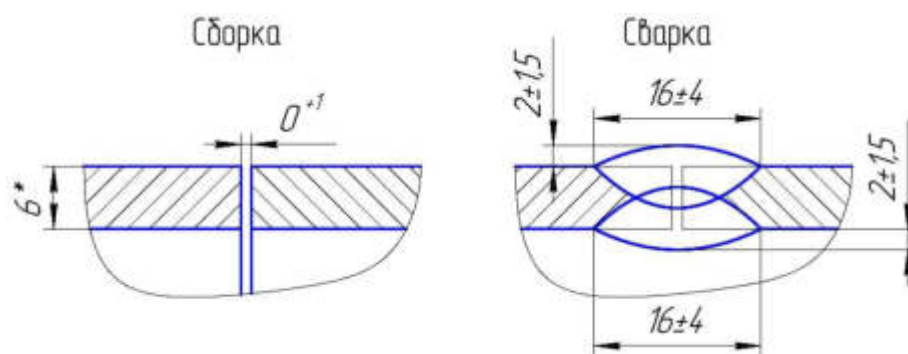


Рисунок 2.22 – Шов С-1 [18]

Согласно [15] шов С-1 выполняется автоматической сваркой под флюсом без предварительной подварки корня.

При выполнении шва №6 (сварка днища нижнего (деталь 2), днища верхнего (деталь 3)) применяется шов С21 по [16]. В предлагаемом варианте при сварке под флюсом предлагается использовать шов С-27-2 по [15]. Вид шва показан на рисунке 2.21. Таким образом, при изготовлении бака будет применяться пять типов швов.

2.4 Выбор сварочных материалов

В существующем варианте технологии изготовления бака при выполнении швов в качестве присадки используется сварочная проволока марки Св-04Х19Н11М3, химический состав которой показан в таблице 2.9. Сварка ручная аргонодуговая.

В предлагаемом варианте технологии изготовления при выполнении сварки под флюсом швов №1...№6 предлагается использовать проволоку Св-04Х19Н11М3 диаметром 2 мм под флюсом марки ФЦ-17, который изготавливается по [26].

Химический состав флюса ФЦ-17 показан в таблице 2.14.

Таблица 2.14 – Химический состав флюса ФЦ-17 [26]

В процентах

SiO ₂	MgO	CaF ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	K ₂ O+Na	CaO	Fe ₂ O ₃	S	P
					Не более				
24...28	23...27	11...18	18...22	0,5...2	0,3	6	1	0,03	0,025

Насыпная плотность флюса ФЦ-17 составляет 0,7...1,1 г/см³.

Для проведения сварки корневой части швов (ручная дуговая сварка покрытыми электродами) предлагается применить электроды марки ЦТ-26 диаметром 2 мм. Химический состав электродов ЦТ-26 представлен в таблице 2.15.

Таблица 2.15 – Химический состав электродов ЦТ-26 [27]

В процентах

Ni	Cr	Mn	Si	Mo	C	S	P
					Не более		
7,9...9	16,5...18,5	1,2...2,3	0,3...0,75	1,5...2	0,12	0,02	0,025

2.5 Расчет режимов сварки

2.5.1 Расчет режимов сварки шва №1

Тип шва Т1 по [15]. Сварной шов №1 показан на рисунке 2.23.

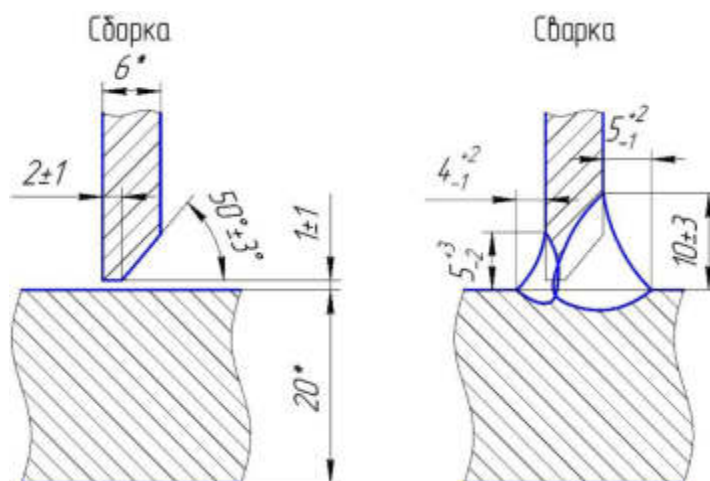


Рисунок 2.23 – Сварной шов №1

Сварку будем производить комбинированным способом:

- корневой проход ручной дуговой сваркой покрытыми электродами ЦТ-26 диаметром 2 мм. Коэффициент наплавки у этих электродов $\alpha_H = 10,5$ г/Ач;
- остальные проходы автоматической сваркой под флюсом проволокой Св-04Х19Н11М3 диаметром 2 мм.

Произведем расчет режимов сварки корневого прохода ручной дуговой сваркой покрытыми электродами.

Определим площадь наплавленного металла со стороны разделки по формуле (2.1) из [28]:

$$F_H = Sb + \frac{(S-c)^2}{2} \operatorname{tg}\alpha + 0,73gB, \text{ мм}^2, \quad (2.1)$$

где $S = 6$ – толщина обечайки, мм;

$b = 1$ – величина зазора, мм;

$c = 2$ – величина притупления, мм;

$\alpha = 50$ – угол скоса кромки, мм;

$g = 5$ – требуемая высота валика сварного шва, мм;

$B = 10$ – требуемая ширина сварного шва, мм.

Тогда, по формуле (2.1) получим, что

$$F_H = 6 \cdot 1 + \frac{(6-2)^2}{2} \operatorname{tg} 50 + 0,73 \cdot 5 \cdot 10 = 52,1 \text{ мм}^2,$$

Практически установлено, что при механизированных способах сварки наиболее оптимальной площадью металла, наплавленного за один проход является 100 мм^2 [28, 29]. Полученное значение не превышает 100 мм^2 , поэтому сварка наружной части шва №1 теоретически должна проводиться за один проход.

Площадь поперечного сечения корневого прохода определяется из условия (2.2) из [29]:

$$F_1 = (6 \dots 8) d_{\text{Э}} = (6 \dots 8) \cdot 2 = 16 \text{ мм}^2. \quad (2.2)$$

Рассчитаем режимы сварки при корневом проходе. Примем, что для диаметра электрода $d_{\text{Э}} = 2$ мм плотность тока $j = 20 \text{ А/мм}^2$.

Определим силу сварочного тока по формуле (2.3) из [29]:

$$I_{\text{СВ}} = \frac{\pi d_{\text{Э}}^2}{4} j = \frac{3,14 \cdot 2^2}{4} \cdot 20 = 65 \text{ А}. \quad (2.3)$$

Определим напряжение на дуге по формуле (2.4) из [29]:

$$U_{\text{Д}} = 20 + 0,02 I_{\text{СВ}} = 20 + 0,02 \cdot 65 = 21,3 \text{ В}. \quad (2.4)$$

Определим скорость сварки по формуле (2.5) из [29]:

$$V_{CB} = \frac{\alpha_H I_{CB}}{3600 \gamma F_H} = \frac{10,5 \cdot 65}{3600 \cdot 7,8 \cdot 0,16} = 0,15 \frac{\text{см}}{\text{с}}. \quad (2.5)$$

Рассчитаем погонную энергию по формуле (2.6) из [29]:

$$q_{II} = \frac{0,24 U_D I_{CB} \eta_{II}}{V_{CB}}, \quad (2.6)$$

где $\eta_{II} = 0,7$ – эффективный КПД нагрева изделия дугой.

Определим погонную энергию по формуле (2.6)

$$q_{II} = \frac{0,24 \cdot 21,3 \cdot 65 \cdot 0,7}{0,15} = 1550,6 \frac{\text{кал}}{\text{см}}.$$

Мгновенная скорость охлаждения металла для первого прохода определяется по формуле (2.7) из [29]:

$$\omega = \bar{\omega} 2\pi\lambda \frac{(T_M - T_O)^2}{k_1 q_{II}}, \quad (2.7)$$

где $\bar{\omega}$ – безразмерный критерий процесса, ед;

$\lambda = 0,129$ – коэффициент теплопроводности, кал/см с °С;

$T_M = 500$ – температура наименьшей устойчивости аустенита, °С;

$T_O = 20$ – начальная температура изделия, °С;

$k_1 = 2/3$ – коэффициент приведения для углового шва, ед.

Безразмерный критерий процесса $\bar{\omega}$ зависит от другого безразмерного критерия $1/\theta$, который определяется по формуле (2.8) из [29]:

$$\frac{1}{\theta} = \frac{2k_1 q_{II}}{\pi(\delta k_2)^2 c \gamma (T_M - T_O)}, \quad (2.8)$$

где k_1 – коэффициент приведения, ед;

$q_{\Pi} = 1550,6$ – погонная энергия при сварке, кал/см;

$\delta = 6$ – толщина пластин, см;

$k_2 = 1$ – коэффициент приведения, ед;

$c\gamma = 0,96$ – объемная теплоемкость, кал/см³°С;

$T_M = 500$ – температура наименьшей устойчивости аустенита, °С;

$T_0 = 20$ – начальная температура изделия, °С.

Рассчитаем значение безразмерного критерия $1/\theta$ по формуле (2.8):

$$\frac{1}{\theta} = \frac{2k_1 q_{\Pi\text{ОГ}}}{\pi(\delta k_2)^2 c\gamma(T_M - T_0)} = \frac{2 \cdot 2 \cdot 1550,6}{3 \cdot 3,14 \cdot (0,6 \cdot 1)^2 \cdot 0,96 \cdot (500 - 20)} = 4.$$

При значении безразмерного критерия $1/\theta = 3,3$ величина $\bar{\omega}$ определяется по формуле (2.9) из [29]:

$$\bar{\omega} = \frac{2}{\pi \cdot 1/\theta} = \frac{2}{3,14 \cdot 4} = 0,16. \quad (2.9)$$

Рассчитаем мгновенную скорость охлаждения металла при первом проходе по формуле (2.7):

$$\omega = \bar{\omega} 2\pi\lambda \frac{(T_M - T_0)^2}{k_1 q_{\Pi}} = 0,16 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 0,129 \cdot \frac{3 \cdot (500 - 20)^2}{2 \cdot 1550,6} = 28,9 \frac{^\circ\text{C}}{\text{с}}.$$

Интервал мгновенных скоростей охлаждения для стали 12Х18Н10Т составляет 6...50 °С/с. Полученное значение входит в указанный интервал.

Рассчитаем режимы сварки шва №1 при втором проходе. Сварка автоматическая под флюсом. Так как сварка автоматическая, то сила сварочного тока задается в зависимости от диаметра проволоки и плотности сварочного тока.

Ток постоянный обратной полярности. Для получения шва требуемых

					ЮУрГУ-15.03.01.2020.475.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		58

размеров, необходимо выполнить сварку прохода площадью 36 мм².

Рассчитаем режимы сварки под флюсом. Примем, что сила сварочного тока составляет 250 А.

Плотность принятого сварочного тока при диаметре электродной проволоки 2 мм рассчитывается по формуле (2.10) из [29]:

$$j = \frac{4I_{CB}}{\pi d_{\text{Э}}^2} = \frac{4 \cdot 250}{3,14 \cdot 2^2} = 79,6 \frac{\text{А}}{\text{мм}^2}. \quad (2.10)$$

где $I_{CB} = 250$ – сила тока, А;

$d_{\text{Э}} = 2$ – диаметр электродной проволоки, мм.

При диаметре электрода 2 мм и для углового типа шва плотность сварочного тока находится в интервале 60...150 А/мм² [29]. Полученное значение входит в указанный интервал.

Рассчитаем напряжение на дуге по формуле (2.11) из [29]:

$$U_{\text{Д}} = 20 + \frac{0,05}{\sqrt{d_{\text{Э}}}} I_{CB} \pm 1, \text{ В}, \quad (2.11)$$

где $d_{\text{Э}} = 2$ – диаметр электродной проволоки, мм;

$I_{CB} = 250$ – сила сварочного тока, А.

Тогда, по формуле (2.11) получим, что

$$U_{\text{Д}} = 20 + \frac{0,05}{\sqrt{2}} \cdot 250 \pm 1 \approx 28,8 \pm 1 \text{ В}.$$

Рассчитаем скорость сварки по формуле (2.12) из [29]:

$$V_{CB} = \frac{V_{\text{ПОД}}}{F_{\text{Н}}} \cdot F_{\text{ЭЛ}}, \frac{\text{см}}{\text{с}}, \quad (2.12)$$

					ЮУрГУ-15.03.01.2020.475.00 ПЗ	Лист
						59
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

где $V_{\text{под}}$ – скорость подачи электродной проволоки, см/с;

$F_{\text{н}} = 0,36$ – требуемая площадь поперечного сечения наплавленного металла, см²;

$F_{\text{э}} = 0,0314$ – площадь сечения электродной проволоки, см²;

$\psi_{\text{п}}$ – коэффициент потерь металла на разбрызгивание и угар, ед.

Рассчитаем скорость подачи электродной проволоки по формуле (2.13) из [29]:

$$V_{\text{под}} = \frac{\alpha_{\text{р}} I_{\text{СВ}}}{3600 F_{\text{эл}} \gamma}, \frac{\text{см}}{\text{с}}, \quad (2.13)$$

где $\alpha_{\text{р}}$ – коэффициент расплавления, г/Ач;

$F_{\text{эл}} = 0,0314$ – площадь сечения электродной проволоки, см²;

$\gamma = 7,9$ – плотность стали 12Х18Н10Т, г/см³.

Рассчитаем коэффициент расплавления по формуле (2.14) из [29]:

$$\alpha_{\text{р}} = \alpha'_{\text{р}} + \Delta\alpha_{\text{р}}, \quad (2.14)$$

где $\alpha'_{\text{р}}$ – составляющая, обусловленная тепловложением дуги, г/Ач;

$\Delta\alpha_{\text{р}}$ – составляющая, зависящая от тепловложения вследствие предварительного нагрева вылета электрода протекающим током, г/Ач.

Составляющая, обусловленная тепловложением дуги $\alpha'_{\text{р}}$ при постоянном токе обратной полярности $\alpha'_{\text{р}} = 11,6 \pm 0,4$ г/Ач.

Рассчитаем составляющую, зависящую от тепловложения вследствие предварительного нагрева вылета электрода протекающим током по формуле (2.15) из [29]:

$$\Delta\alpha_{\text{р}} = \frac{3600 Q_{\text{III}}}{q_{\text{э}} I_{\text{СВ}}}, \quad (2.15)$$

где Q_{III} – количество теплоты, расходуемое на предварительный подогрев вылета

					ЮУрГУ-15.03.01.2020.475.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		60

электродной проволоки протекающим по нему током, кал;

$q_{\text{Э}} = 325$ – количество теплоты, необходимое для расплавления 1 г электродной проволоки, кал/г.

Рассчитаем значение количества теплоты по формуле (2.16) из [29]:

$$Q_{\text{III}} = 0,1884j^2 \rho_0 d_{\text{Э}}^2 \left(\frac{V_{\text{Э}}}{\alpha\beta} (e^{-p_2 l} - 1) - \frac{\alpha(T_{\text{пл}} - T_0)}{p_1} \right), \quad (2.16)$$

где $j = 7960$ – плотность тока в электроде, А/см²;

$\rho_0 = 0,0000075$ – удельное электрическое сопротивление электродной проволоки Св-04Х19Н11М3 при нуле градусов, Ом·см;

$d_{\text{Э}} = 0,2$ – диаметр электродной проволоки, см;

$V_{\text{Э}}$ – условная скорость подачи электрода, см/с;

$\alpha = 0,0376$ – коэффициент температуропроводности для сварочной проволоки Св-04Х19Н11М3, см²/с;

$\alpha = 0,0083$ – коэффициент изменения электрического сопротивления с изменением температуры, °С⁻¹;

β – коэффициент, ед;

$l = 2$ – вылет электродной проволоки, см;

$T_{\text{пл}} = 1500$ – температура плавления проволоки, °С;

$T_0 = 20$ – начальная температура проволоки, °С;

p_1 и p_2 – коэффициенты, ед.

Рассчитаем коэффициент β по формуле (2.17) из [29]:

$$\beta = \frac{0,24j^2 \rho_0}{\alpha \gamma} = \frac{0,24 \cdot 7960^2 \cdot 0,0000075}{0,0376 \cdot 0,96} = 3159,7 \text{ ед.} \quad (2.17)$$

где $\gamma = 0,96$ – объемная теплоемкость для сварочной проволоки Св-04Х19Н11М3, кал/см³°С.

Рассчитаем условную скорость подачи проволоки по формуле (2.18) из [30]:

					ЮУрГУ-15.03.01.2020.475.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		61

$$V_{\text{Э}} = \frac{4\alpha_p I_{\text{СВ}}}{3600\pi\gamma d_{\text{Э}}^2} = \frac{4 \cdot 11,6 \cdot 250}{3600 \cdot 3,14 \cdot 7,9 \cdot 0,2^2} = 3,3 \text{ см/с.} \quad (2.18)$$

Рассчитаем коэффициенты p_1 и p_2 по формуле (2.19) из [29]:

$$\begin{cases} p_1 = -\frac{V_{\text{Э}}}{2a} - \sqrt{\frac{V_{\text{Э}}^2}{4a^2} - \alpha\beta} = -\frac{3,3}{2 \cdot 0,0376} - \sqrt{\frac{3,3^2}{4 \cdot 0,0376^2} - 0,0083 \cdot 3159,7} = -87,5 \text{ ед;} \\ p_2 = -\frac{V_{\text{Э}}}{2a} + \sqrt{\frac{V_{\text{Э}}^2}{4a^2} - \alpha\beta} = -\frac{3,3}{2 \cdot 0,0376} + \sqrt{\frac{3,3^2}{4 \cdot 0,0376^2} - 0,0083 \cdot 3159,7} = -0,3 \text{ ед.} \end{cases} \quad (2.19)$$

Тогда, по формуле (2.16) получим, что

$$Q_{\text{III}} = 0,1884 \cdot 7960^2 \cdot 0,0000075 \cdot 0,2^2 \cdot \left(\frac{3,3}{0,0376 \cdot 0,0083 \cdot 3159,7} (e^{-0,3 \cdot 2} - 1) - \frac{0,0083 \cdot (1500 - 20)}{-87,5} \right) = 10 \text{ кал.}$$

Следовательно, по формуле (2.15)

$$\Delta\alpha_p = \frac{3600 \cdot 12}{325 \cdot 250} = 0,4 \frac{\text{Г}}{\text{Ач}}.$$

Тогда, по формуле (2.14) коэффициент расплавления

$$\alpha_p = 11,6 + 0,4 = 12 \frac{\text{Г}}{\text{Ач}}.$$

Следовательно, по формуле (2.5) получим, что

$$V_{\text{ПОД}} = \frac{12 \cdot 250}{3600 \cdot 0,0314 \cdot 7,9} = 3,4 \frac{\text{см}}{\text{с}}.$$

Тогда, по формуле (2.12) получим, что

$$V_{CB} = \frac{2}{0,36} \cdot 0,0314 = 0,3 \frac{\text{см}}{\text{с}}.$$

Рассчитаем погонную энергию при сварке по формуле (2.6):

$$q_{\text{ПОГ}} = \frac{0,24 U_{\text{Д}} I_{\text{СВ}} \eta}{V_{\text{СВ}}} = \frac{0,24 \cdot 28,8 \cdot 250 \cdot 0,9}{0,3} = 5184 \frac{\text{кал}}{\text{см}},$$

где $\eta=0,9$ – эффективный КПД нагрева изделия дугой.

Рассчитаем глубину провара по формуле (2.20) из [29]:

$$h = 0,0156 \sqrt{\frac{q_{\text{П}}}{\psi_{\text{ПР}}}}, \quad (2.20)$$

где $q_{\text{П}}$ – величина погонной энергии, кал/см;

$\psi_{\text{ПР}}$ – коэффициент формы провара, ед.

Рассчитаем коэффициент формы провара по формуле (2.21) из [29]:

$$\psi_{\text{ПР}} = \frac{k'(19 - 0,01 I_{\text{СВ}}) d_{\text{Э}} U_{\text{Д}}}{I_{\text{СВ}}}, \quad (2.21)$$

где k' – коэффициент, зависящий от плотности и полярности тока при плотности тока $j < 120 \text{ А/мм}^2$, ед.

Определим коэффициент k' по формуле (2.22) из [29]:

$$k' = 0,367 j^{0,1925}, \quad (2.22)$$

где $j = 45,3$ – плотность тока, А/мм^2 .

					ЮУрГУ-15.03.01.2020.475.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		63

Тогда, по формуле (2.22) получим, что

$$k'=0,367 \cdot 79,6^{0,1925} = 0,85 \frac{\text{А}}{\text{мм}^2}.$$

Тогда, по формуле (2.21) получим, что

$$\psi_{\text{ПР}} = \frac{0,85 \cdot (19 - 0,01 \cdot 250) \cdot 3 \cdot 28,8}{250} = 3,2 \text{ ед.}$$

Тогда, по формуле (2.20) получим, что

$$h = 0,0156 \cdot \sqrt{\frac{5184}{3,2}} = 0,63 \text{ см.}$$

Рассчитаем ширину шва по формуле (2.23) из [29]:

$$B = \psi_{\text{ПР}} h = 3,2 \cdot 0,63 = 2,02 \text{ см.} \quad (2.23)$$

Рассчитаем высоту валика по формуле (2.24) из [29]:

$$C = \frac{F_{\text{Н}}}{0,73B} = \frac{0,3}{0,73 \cdot 2,02} = 0,24 \text{ см.} \quad (2.24)$$

Рассчитаем общую высоту шва по формуле (2.25) из [29]:

$$D = h + C = 0,63 + 0,24 = 0,87 \text{ см.} \quad (2.25)$$

Полученные значения ширины шва и высоты валика не соответствуют требованиям, поэтому, требуется изменить режимы сварки. Примем, что, скорость

подачи проволоки $V_{\text{ПОД}} = 12 \text{ см/с}$, скорость сварки $V_{\text{СВ}} = 1,05 \text{ см/с}$. Тогда:

– погонная энергия при сварке по формуле (2.6):

$$q_{\text{ПОГ}} = \frac{0,24 U_{\text{Д}} I_{\text{СВ}} \eta}{V_{\text{СВ}}} = \frac{0,24 \cdot 28,8 \cdot 250 \cdot 0,9}{1,05} = 1481,1 \frac{\text{кал}}{\text{см}},$$

– коэффициент формы провара по формуле (2.21):

$$\psi_{\text{ПР}} = \frac{k'(19 - 0,01 I_{\text{СВ}}) d_{\text{Э}} U_{\text{Д}}}{I_{\text{СВ}}} = \frac{0,85 \cdot (19 - 0,01 \cdot 250) \cdot 3 \cdot 28,8}{250} = 3,2 \text{ ед.}$$

– глубина провара по формуле (2.20):

$$h = 0,0156 \sqrt{\frac{q_{\text{П}}}{\psi_{\text{ПР}}}} = 0,0156 \cdot \sqrt{\frac{1481,1}{3,2}} = 0,34 \text{ см.}$$

– ширина шва по формуле (2.23):

$$B = \psi_{\text{ПР}} h = 3,2 \cdot 0,34 = 1,09 \text{ см.}$$

– высота валика по формуле (2.24):

$$C = \frac{F_{\text{Н}}}{0,73 B} = \frac{1,05}{0,73 \cdot 1,09} = 0,45 \text{ см.}$$

Полученные значения геометрических параметров шва соответствуют требуемым.

Рассчитаем мгновенную скорость охлаждения металла по формуле (2.26) из [29]:

					ЮУрГУ-15.03.01.2020.475.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		65

$$\omega = \bar{\omega} 2\pi\lambda \frac{(T_M - T_0)^2}{q_{\text{ПОГ}}}, \frac{^\circ\text{C}}{\text{с}}, \quad (2.26)$$

где $\bar{\omega}$ – безразмерный критерий процесса, ед;

$\lambda = 0,129$ – коэффициент теплопроводности, кал/см с $^\circ\text{C}$;

$T_M = 500$ – температура наименьшей устойчивости аустенита, $^\circ\text{C}$;

$T_0 = 20$ – начальная температура изделия, $^\circ\text{C}$.

Безразмерный критерий процесса $\bar{\omega}$ зависит от другого безразмерного критерия, который определяется по формуле (2.27) из [29]:

$$\frac{1}{\theta} = \frac{2q_{\text{ПОГ}}}{\pi(\delta)^2 c\gamma(T_M - T_0)} = \frac{2 \cdot 1481,1}{3,14 \cdot (0,6)^2 \cdot 0,96 \cdot (500 - 20)} = 5,7. \quad (2.27)$$

где $c\gamma = 0,96$ – объемная теплоемкость, кал/см³ $^\circ\text{C}$.

При значении безразмерного критерия 5,7 величина $\bar{\omega}$ рассчитывается по формуле (2.9):

$$\bar{\omega} = \frac{2}{\pi \cdot 1/\theta} = \frac{2}{3,14 \cdot 5,7} = 0,11.$$

Тогда, по формуле (2.27) получим, что

$$\omega = 0,11 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 0,129 \cdot \frac{(500 - 20)^2}{1481,1} = 13,9 \frac{^\circ\text{C}}{\text{с}}.$$

Интервал мгновенных скоростей охлаждения для стали 12Х18Н10Т составляет 6...50 $^\circ\text{C}/\text{с}$. Полученное значение входит в указанный интервал.

Рассчитаем режимы сварки подварочного прохода шва №1. Примем, что при сварке подварочного прохода шва №1 требуется получить равнокатетный шов с катетом 5 мм.

Рассчитаем площадь наплавленного металла по формуле (2.28) из [28]:

					ЮУрГУ-15.03.01.2020.475.00 ПЗ	Лист
						66
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$F_H = \frac{K^2}{2} = \frac{5^2}{2} = 12,5 \text{ мм}^2 = 0,125 \text{ см}^2, \quad (2.28)$$

где $K = 5$ – катет сварного шва, мм.

Так как площадь наплавленного металла не превышает 100 мм^2 , то сварку будем производить за один проход.

Примем, что сила сварочного тока составляет 190 А . Сварка внутренней части шва №1 будем производить постоянным током обратной полярности.

Плотность принятого сварочного тока при диаметре электродной проволоки 2 мм рассчитывается по формуле (2.10)

$$j = \frac{4I_{CB}}{\pi d_{\text{Э}}^2} = \frac{4 \cdot 190}{3,14 \cdot 2^2} = 60,5 \frac{\text{А}}{\text{мм}^2}.$$

При диаметре электрода 2 мм и при сварке швов углового типа плотность сварочного тока находится в интервале $60 \dots 150 \text{ А/мм}^2$. Полученное значение входит в указанный интервал.

Рассчитаем напряжение на дуге по формуле (2.3)

$$U_D = 20 + \frac{0,05}{\sqrt{2}} \cdot 190 \pm 1 \approx 26,7 \pm 1 \text{ В}.$$

Рассчитаем скорость сварки при выбранных параметрах режима по формуле (2.12) с учетом формул (2.13) ... (2.19). Тогда получим, что:

- коэффициент $\beta = 1825,3 \text{ ед}$;
- условная скорость подачи проволоки $V_{\text{Э}} = 2,5 \text{ см/с}$;
- коэффициенты $p_1 = -66,3$, $p_2 = -0,2$;
- количество теплоты $Q_{\text{ПП}} = 4,7 \text{ кал}$;
- коэффициент $\Delta\alpha_p = 0,3 \text{ г/Ач}$;
- коэффициент расплавления $\alpha_p = 11,9 \text{ г/Ач}$;

					ЮУрГУ-15.03.01.2020.475.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		67

– скорость подачи проволоки $V_{\text{под}} = 2,6$ см/с.

Тогда, по формуле (2.12) получим, что

$$V_{\text{СВ}} = \frac{2,6}{0,125} \cdot 0,0314 = 0,65 \frac{\text{см}}{\text{с}}.$$

Рассчитаем погонную энергию по формуле (2.13)

$$q_{\text{ПОГ}} = \frac{0,24 \cdot 26,7 \cdot 190 \cdot 0,9}{0,65} = 1685,8 \frac{\text{кал}}{\text{см}}.$$

Рассчитаем мгновенную скорость охлаждения металла по формуле (2.7) с учетом формулы (2.8).

Рассчитаем безразмерный критерий процесса по формуле (2.8)

$$\frac{1}{\theta} = \frac{2k_1 q_{\text{ПОГ}}}{\pi(\delta k_2)^2 c \gamma (T_M - T_0)} = \frac{2 \cdot 2 \cdot 1685,8}{3 \cdot 3,14 \cdot (0,6 \cdot 1)^2 \cdot 0,96 \cdot (500 - 20)} = 4,32.$$

При значении безразмерного критерия 4,7 величина $\bar{\omega}$ рассчитывается по формуле (2.9)

$$\bar{\omega} = \frac{2}{\pi \cdot 1/\theta} = \frac{2}{3,14 \cdot 4,32} = 0,15.$$

Тогда, по формуле (2.7) получим, что

$$\omega = \bar{\omega} 2\pi\lambda \frac{(T_M - T_0)^2}{k_1 q_{\text{П}}} = 0,15 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 0,129 \cdot \frac{3 \cdot (500 - 20)^2}{2 \cdot 1685,8} = 24,9 \frac{^\circ\text{C}}{\text{с}}.$$

Интервал мгновенных скоростей охлаждения для стали 12Х18Н10Т составляет 6...50 °С/с. Полученное значение входит в указанный интервал.

					ЮУрГУ-15.03.01.2020.475.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		68

2.5.2 Расчет режимов сварки шва №2

Тип шва Т1 по [25]. Сварной шов №2 показан на рисунке 2.24.

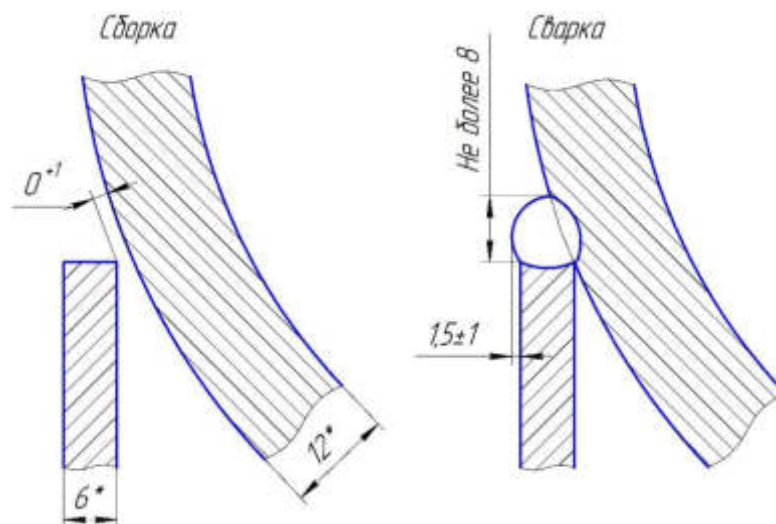


Рисунок 2.24 – Сварной шов №2

Сварка шва автоматическая под флюсом проволокой диаметром 2 мм.

Площадь поперечного сечения наплавленного металла составляет $60 \text{ мм}^2 = 0,6 \text{ см}^2$. Сварку шва №2 будем производить за два прохода. Первый проход с площадью сечения $25 \text{ мм}^2 = 0,25 \text{ см}^2$, площадь сечения второго прохода $35 \text{ мм}^2 = 0,35 \text{ см}^2$.

Рассчитаем режимы сварки при первом проходе. Примем, что сила сварочного тока составляет 190 А. Плотность принятого сварочного тока при диаметре электродной проволоки 2 мм рассчитывается по формуле (2.10) и составляет

$$j = \frac{4I_{\text{СВ}}}{\pi d_{\text{э}}^2} = \frac{4 \cdot 190}{3,14 \cdot 2^2} = 60,5 \frac{\text{А}}{\text{мм}^2}.$$

При диаметре электрода 2 мм и угловом типе шва плотность сварочного тока находится в интервале $60 \dots 150 \text{ А/мм}^2$. Полученное значение входит в указанный интервал.

Произведем расчет режимов сварки по формулам (2.11)...(2.19):

– напряжение на дуге $U_{\text{д}} = 26,7 \text{ В}$;

					ЮУрГУ-15.03.01.2020.475.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		69

- коэффициент $\beta = 1825,3$ ед;
- условная скорость подачи проволоки $V_{\text{Э}} = 2,5$ см/с;
- коэффициенты $p_1 = -66,3$, $p_2 = -0,2$;
- количество теплоты $Q_{\text{ПП}} = 4,7$ кал;
- коэффициент $\alpha'_p = 11,6$ г/Ач;
- коэффициент $\Delta\alpha_p = 0,3$ г/Ач;
- коэффициент расплавления $\alpha_p = 11,9$ г/Ач;
- скорость подачи проволоки $V_{\text{ПОД}} = 2,6$ см/с;
- скорость сварки $V_{\text{СВ}} = 0,31$ см/с;
- погонная энергия $q_{\text{ПОГ}} = 3534,7$ кал/см.

Для уменьшения величины погонной энергии примем, что скорость подачи проволоки $V_{\text{ПОД}} = 6$ см/с. Тогда:

- скорость сварки $V_{\text{СВ}} = 0,75$ см/с
- погонная энергия $q_{\text{ПОГ}} = 1461$ кал/см.

Рассчитаем мгновенную скорость охлаждения металла по формуле (2.7) с учетом формулы (2.8). Рассчитаем безразмерный критерий процесса по формуле (2.8).

Коэффициенты приведения при указанном типе шва рассчитываются по формуле (2.29) из [29]:

$$k_1=k_2=\frac{180^\circ}{180^\circ-\alpha}=\frac{180}{180-68}=1,6 \text{ ед.} \quad (2.29)$$

Безразмерный критерий процесса по формуле (2.8):

$$\frac{1}{\bar{\theta}}=\frac{2k_1q_{\text{ПОГ}}}{\pi(\delta k_2)^2c\gamma(T_M-T_0)}=\frac{2\cdot 1,6\cdot 1461}{3,14\cdot(0,6\cdot 1,6)^2\cdot 0,96\cdot(500-20)}=3,5.$$

При значении безразмерного критерия 3,5 величина $\bar{\omega}$ рассчитывается по формуле (2.9)

					ЮУрГУ-15.03.01.2020.475.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		70

$$\bar{\omega} = \frac{2}{\pi \cdot 1/\theta} = \frac{2}{3,14 \cdot 3,5} = 0,18.$$

Тогда, по формуле (2.7) получим, что

$$\omega = 0,18 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 0,129 \cdot \frac{(500-20)^2}{1,6 \cdot 1461} = 14,4 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{с}}.$$

Интервал мгновенных скоростей охлаждения для стали 12Х18Н10Т составляет 6...50 °С/с. Полученное значение входит в указанный интервал.

Произведем расчет параметров режима сварки при втором проходе. Примем, что площадь поперечного сечения наплавленного металла должна быть 0,35 см². Зададим значение силы сварочного тока 220 А. Сварка производится на постоянном токе обратной полярности.

Тогда:

- сила сварочного тока $I_{\text{СВ}} = 220$ А;
- напряжение на дуге $U_{\text{Д}} = 27,8$ В;
- коэффициент $\beta = 2450,5$ ед;
- условная скорость подачи проволоки $V_{\text{Э}} = 1,6$ см/с;
- коэффициенты $p_1 = -19,8$, $p_2 = -0,2$;
- количество теплоты $Q_{\text{ПП}} = 58,6$ кал;
- коэффициент $\alpha'_{\text{р}} = 11,6$ г/Ач;
- коэффициент $\Delta\alpha_{\text{р}} = 0,9$ г/Ач;
- коэффициент расплавления $\alpha_{\text{р}} = 12,5$ г/Ач;
- скорость подачи проволоки $V_{\text{ПОД}} = 7$ см/с;
- скорость сварки $V_{\text{СВ}} = 0,62$ см/с;
- коэффициент $k' = 0,83$;
- погонная энергия $q_{\text{ПОГ}} = 2130,7$ кал/см.

Безразмерный критерий процесса по формуле (2.27)

					ЮУрГУ-15.03.01.2020.475.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		71

$$\frac{1}{\theta} = \frac{2q_{\text{ПОГ}}}{\pi(\delta)^2 c \gamma (T_M - T_0)} = \frac{2 \cdot 2130,7}{3,14 \cdot (0,6)^2 \cdot 0,96 \cdot (500 - 20)} = 8,18.$$

При значении безразмерного критерия 8,18 величина $\bar{\omega}$ рассчитывается по формуле (2.9)

$$\bar{\omega} = \frac{2}{\pi \cdot 1/\theta} = \frac{2}{3,14 \cdot 8,18} = 0,08.$$

Тогда, по формуле (2.26) получим, что

$$\omega = 0,08 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 0,1 \cdot \frac{(500 - 20)^2}{2130,7} = 7 \frac{^\circ\text{C}}{\text{с}}.$$

Интервал мгновенных скоростей охлаждения для стали 12Х18Н10Т составляет 6...50 °С/с. Полученное значение входит в указанный интервал.

2.5.3 Расчет режимов сварки шва №3

Шов №3 показан на рисунке 2.25.

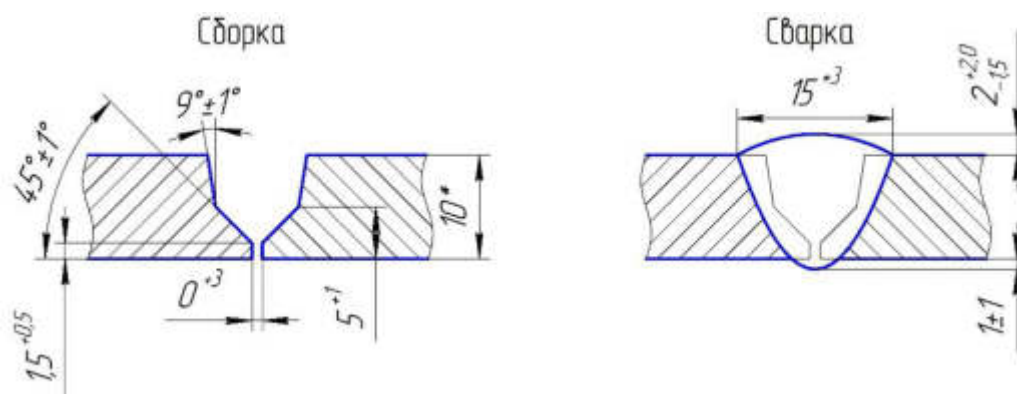


Рисунок 2.25 – Шов №3

Шов №3 С-27-2 по [15]. Площадь сечения наплавленного металла составляет $96 \text{ мм}^2 = 0,96 \text{ см}^2$.

Сварку будем производить комбинированным способом:

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

– корневой проход ручной дуговой сваркой покрытыми электродами ЦТ-26 диаметром 2 мм. Коэффициент наплавки у этих электродов $\alpha_H = 10,5$ г/Ач;

– остальные проходы автоматической сваркой под флюсом проволокой Св-04Х19Н11М3 диаметром 2 мм.

Произведем расчет режимов сварки корневого прохода ручной дуговой сваркой покрытыми электродами.

Площадь поперечного сечения корневого прохода определяется из условия (2.2)

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

Рассчитаем режимы сварки при корневом проходе. Примем, что для диаметра электрода $d_{\text{Э}} = 2$ мм плотность тока $j = 20$ А/мм².

Определим силу сварочного тока по формуле (2.3):

$$I_{\text{СВ}} = \frac{\pi d_{\text{Э}}^2}{4} j = \frac{3,14 \cdot 2^2}{4} \cdot 20 = 65 \text{ А}.$$

Определим напряжение на дуге по формуле (2.4):

$$U_{\text{Д}} = 20 + 0,02 I_{\text{СВ}} = 20 + 0,02 \cdot 65 = 21,3 \text{ В}.$$

Определим скорость сварки по формуле (2.5):

$$V_{\text{СВ}} = \frac{\alpha_H I_{\text{СВ}}}{3600 \gamma F_H} = \frac{10,5 \cdot 65}{3600 \cdot 7,8 \cdot 0,16} = 0,15 \frac{\text{см}}{\text{с}}.$$

Рассчитаем погонную энергию по формуле (2.6):

$$q_{\text{П}} = \frac{0,24 U_{\text{Д}} I_{\text{СВ}} \eta_{\text{И}}}{V_{\text{СВ}}} = \frac{0,24 \cdot 21,3 \cdot 65 \cdot 0,7}{0,15} = 1550,6 \frac{\text{кал}}{\text{см}}.$$

					ЮУрГУ-15.03.01.2020.475.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		73

Коэффициенты приведения при указанном типе шва рассчитываются по формуле (2.29):

$$k_1=k_2=\frac{180^\circ}{180^\circ-\alpha}=\frac{180}{180-90}=2 \text{ ед.}$$

Мгновенная скорость охлаждения металла для первого прохода определяется по формуле (2.7) с учетом формулы (2.8).

Определим безразмерный критерий процесса $1/\theta$ по формуле (2.8):

$$\frac{1}{\theta}=\frac{2k_1q_{\text{ППОГ}}}{\pi(\delta k_2)^2 c \gamma (T_M-T_O)}=\frac{2 \cdot 2 \cdot 1550,6}{3,14 \cdot (2 \cdot 1)^2 \cdot 0,96 \cdot (500-20)}=1,1.$$

При значении безразмерного критерия $1/\theta = 3,3$ величина $\bar{\omega}=0,72$.

Рассчитаем мгновенную скорость охлаждения металла при первом проходе по формуле (2.7):

$$\omega=\bar{\omega}2\pi\lambda\frac{(T_M-T_O)^2}{k_1q_{\text{П}}}=0,72 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 0,129 \cdot \frac{(500-20)^2}{2 \cdot 1550,6}=43,3 \frac{^\circ\text{C}}{\text{с}}.$$

Интервал мгновенных скоростей охлаждения для стали 12Х18Н10Т составляет 6...50 °С/с. Полученное значение входит в указанный интервал.

Рассчитаем режимы сварки под флюсом при заполнении. Площадь сечения заполняющих проходов составляет $25 \text{ мм}^2 = 0,25 \text{ см}^2$.

Сварочный ток постоянный обратной полярности. Диаметр электродной проволоки равен $d_3 = 2 \text{ мм}$.

Рассчитаем параметры режима сварки:

- сила тока $I_{\text{СВ}} = 320 \text{ А}$;
- напряжение на дуге $U_{\text{д}} = 31,3 \text{ В}$;
- коэффициент $\beta = 5178 \text{ ед}$;
- условная скорость подачи проволоки $V_3 = 4,2 \text{ см/с}$;

					ЮУрГУ-15.03.01.2020.475.00 ПЗ	Лист
						74
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

- коэффициенты $p_1 = -111,3$, $p_2 = -0,4$;
- количество теплоты $Q_{ПП} = 35,5$ кал;
- коэффициент $\alpha'_p = 11,6$ г/Ач;
- коэффициент $\Delta\alpha_p = 1,2$ г/Ач;
- коэффициент расплавления $\alpha_p = 12,8$ г/Ач;
- скорость подачи проволоки $V_{ПОД} = 8$ см/с;
- скорость сварки $V_{СВ} = 1$ см/с;
- погонная энергия $q_{ПОГ} = 2164,1$ кал/см.

Рассчитаем параметры режимов сварки облицовочного прохода. Сварочный ток постоянный обратной полярности. Диаметр электродной проволоки равен $d_Э = 2$ мм. Площадь поперечного сечения прохода $55 \text{ мм}^2 = 0,55 \text{ см}^2$.

Сварочный ток постоянный обратной полярности. Диаметр электродной проволоки равен $d_Э = 2$ мм.

Рассчитаем параметры режима сварки:

- сила тока $I_{СВ} = 320$ А;
- напряжение на дуге $U_Д = 31,3$ В;
- коэффициент $\beta = 5178$ ед;
- условная скорость подачи проволоки $V_Э = 4,2$ см/с;
- коэффициенты $p_1 = -111,3$, $p_2 = -0,4$;
- количество теплоты $Q_{ПП} = 35,5$ кал;
- коэффициент $\alpha'_p = 11,6$ г/Ач;
- коэффициент $\Delta\alpha_p = 1,2$ г/Ач;
- коэффициент расплавления $\alpha_p = 12,8$ г/Ач;
- скорость подачи проволоки $V_{ПОД} = 6$ см/с;
- скорость сварки $V_{СВ} = 0,63$ см/с;
- погонная энергия $q_{ПОГ} = 3435,2$ кал/см;
- коэффициент $k' = 0,9$ ед;
- коэффициент формы провара $\psi_{ПР} = 2,8$ ед;
- глубина проплавления $h = 5,5$ мм;
- ширина шва $B = 15,4$ мм;

					ЮУрГУ-15.03.01.2020.475.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		75

– высота валика $C = 0,27$ см.

Рассчитаем мгновенную скорость охлаждения металла по формуле (2.26) с учетом формулы (2.27).

Рассчитаем безразмерный критерий процесса $1/\theta$ по формуле (2.27):

$$\frac{1}{\theta} = \frac{2q_{\text{ПОГ}}}{\pi(\delta)^2 c \gamma (T_M - T_O)} = \frac{2 \cdot 3435,2}{3,14 \cdot (1)^2 \cdot 0,96 \cdot (500 - 20)} = 4,7.$$

При значении безразмерного критерия 4,7 величина $\bar{\omega}$ рассчитывается по формуле (2.9)

$$\bar{\omega} = \frac{2}{\pi \cdot 1/\theta} = \frac{2}{3,14 \cdot 4,7} = 0,14.$$

Тогда, по формуле (2.26) получим, что

$$\omega = \bar{\omega} 2\pi\lambda \frac{(T_M - T_O)^2}{q_{\text{ПОГ}}} = 0,14 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 0,129 \cdot \frac{(500 - 20)^2}{3435,2} = 7,6 \frac{^\circ\text{C}}{\text{с}}.$$

Интервал мгновенных скоростей охлаждения для стали 12Х18Н10Т составляет 6...50 °С/с. Полученное значение входит в указанный интервал.

					ЮУрГУ-15.03.01.2020.475.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		76

2.5.4 Расчет режимов сварки шва №4

Шов №4 показан на рисунке 2.26.

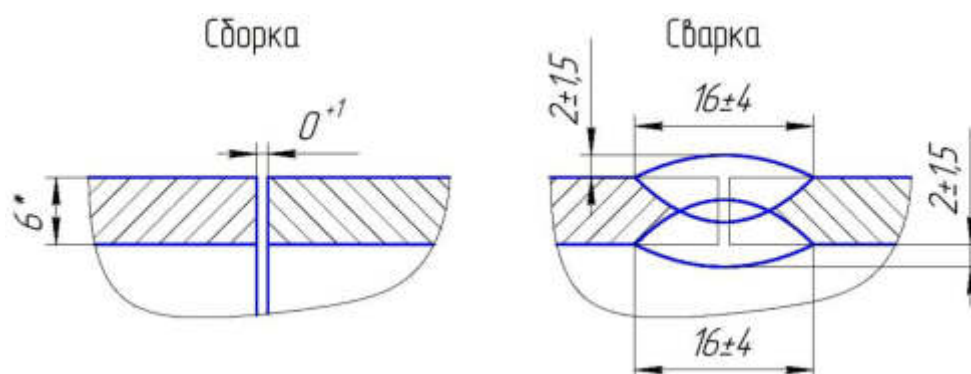


Рисунок 2.26 – Сварной шов №5

Шов №4 С-1 по [15]. Площадь сечения наплавленного металла определим по формуле (2.30) из [30]:

$$F_H = 0,73B_g + bh = 0,73 \cdot 16 \cdot 2 + 1 \cdot 4 = 28 \text{ мм}^2 = 0,28 \text{ см}^2, \quad (2.30)$$

где $B = 16$ – требуемая ширина сварного шва, мм;

$g = 2$ – требуемая высота валика сварного шва, мм;

$b = 1$ – требуемая величина зазора в соединении, мм;

$h = 4$ – требуемая глубина проплавления сварного шва, мм.

Полученное значение не превышает 100 мм^2 , поэтому сварка шва №5 будет проводиться за один проход. Положение при сварке нижнее.

В первую очередь, рассчитаем режимы сварки при условии отсутствия зазора, а затем с зазором и отсутствием разделки кромок.

Примем, что сила сварочного тока составляет 250 А.

Плотность принятого сварочного тока при диаметре электродной проволоки 2 мм рассчитывается по формуле (2.10)

$$j = \frac{4I_{CB}}{\pi d_3^2} = \frac{4 \cdot 250}{3,14 \cdot 2^2} = 79,6 \frac{\text{А}}{\text{мм}^2}.$$

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

При диаметре электрода 2 мм плотность сварочного тока находится в интервале 65...210 А/мм². Полученное значение входит в указанный интервал.

Рассчитаем напряжение на дуге по формуле (2.11)

$$U_D = 20 + \frac{0,05}{\sqrt{d_э}} I_{СВ \pm 1} = 20 + \frac{0,05}{\sqrt{2}} \cdot 250 \pm 1 \approx 28,8 \pm 1 \text{ В.}$$

Тогда:

- коэффициент $\beta = 3159,7$ ед;
- условная скорость подачи проволоки $V_э = 3,3$ см/с;
- коэффициенты $p_1 = -87,5$, $p_2 = -0,3$;
- количество теплоты $Q_{ПП} = 17,6$ кал;
- коэффициент $\alpha'_p = 11,6$ г/Ач;
- коэффициент $\Delta\alpha_p = 0,8$ г/Ач;
- коэффициент расплавления $\alpha_p = 12,4$ г/Ач;
- скорость подачи проволоки $V_{ПОД} = 3,9$ см/с;
- скорость сварки $V_{СВ} = 0,44$ см/с;
- коэффициент $k' = 0,9$;
- коэффициент формы провара $\psi_{ПР} = 3,1$ ед;
- погонная энергия $q_{ПОГ} = 4109,9$ кал/см.
- глубина проплавления $h = 5,7$ мм;
- ширина шва $B = 17,7$ мм;
- высота валика $C = 0,22$ мм.

Рассчитаем общую высоту шва по формуле (2.31) из [29]:

$$D = h + C = 0,57 + 0,22 = 0,79 \text{ см.} \quad (2.31)$$

Рассчитаем параметры режима сварки шва №5 при условии наличия зазора 1 мм. При данном условии высота валика рассчитывается по формуле (2.32) из [29]:

					ЮУрГУ-15.03.01.2020.475.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		78

$$C_1 = \frac{F_H - Db}{0,73B - p} = \frac{0,28 - 0,79 \cdot 0,1}{0,73 \cdot 1,77 - 0,1} = 0,17 \text{ см.} \quad (2.32)$$

Рассчитаем значение глубины провара по формуле (2.33) из [29]:

$$h_1 = D - C_1 = 0,79 - 0,17 = 0,62 \text{ см.} \quad (2.33)$$

Глубина проплавления превышает толщину стенки, следовательно, требуется скорректировать режимы сварки. Примем, что скорость подачи $V_{\text{под}} = 5,5 \text{ см/с}$, скорость сварки $V_{\text{св}} = 0,62 \text{ см/с}$. Тогда:

- погонная энергия $q_{\text{пог}} = 2916,7 \text{ кал/см}$.
- глубина проплавления $h = 4,8 \text{ мм}$;
- ширина шва $B = 14,9 \text{ мм}$;
- высота валика $C = 0,26 \text{ мм}$;
- высота шва $D = 0,74 \text{ см}$;
- высота валика $C_1 = 0,21 \text{ мм}$;
- глубина провара $h_1 = 0,53 \text{ мм}$.

Рассчитаем коэффициент формы валика по формуле (2.34) из [29]:

$$\psi_B = \frac{B}{C_1} = \frac{1,49}{0,21} = 7,09. \quad (2.34)$$

Рассчитаем коэффициент формы провара по формуле (2.35) из [29]:

$$\psi_{\Pi} = \frac{B}{h_1} = \frac{1,49}{0,53} = 2,8. \quad (2.35)$$

Оптимальным интервалом коэффициента формы валика является $7 \leq \psi_B \leq 10$, а коэффициента формы провара $0,8 \leq \psi_{\Pi} \leq 4$.

Полученные значения геометрических параметров шва соответствуют требуемым.

					ЮУрГУ-15.03.01.2020.475.00 ПЗ	Лист
						79
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Безразмерный критерий процесса по формуле (2.30)

$$\frac{1}{\theta} = \frac{2q_{\text{ПОГ}}}{\pi(\delta)^2 c \gamma (T_M - T_0)} = \frac{2 \cdot 2916,7}{3,14 \cdot (0,6)^2 \cdot 0,96 \cdot (500 - 20)} = 3,63.$$

При значении безразмерного критерия 3,63 величина рассчитывается по формуле (2.25)

$$\bar{\omega} = \frac{2}{\pi \cdot 1/\theta} = \frac{2}{3,14 \cdot 3,63} = 0,18.$$

Тогда, по формуле (2.29) получим, что

$$\omega = 0,18 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 0,1 \cdot \frac{(500 - 20)^2}{2916,7} = 11,9 \frac{^\circ\text{C}}{\text{с}}.$$

Интервал мгновенных скоростей охлаждения для стали 12Х18Н10Т составляет 6...50 °С/с. Полученное значение входит в указанный интервал.

2.5.5 Расчет режимов сварки шва №5

Шов №5 показан на рисунке 2.27.

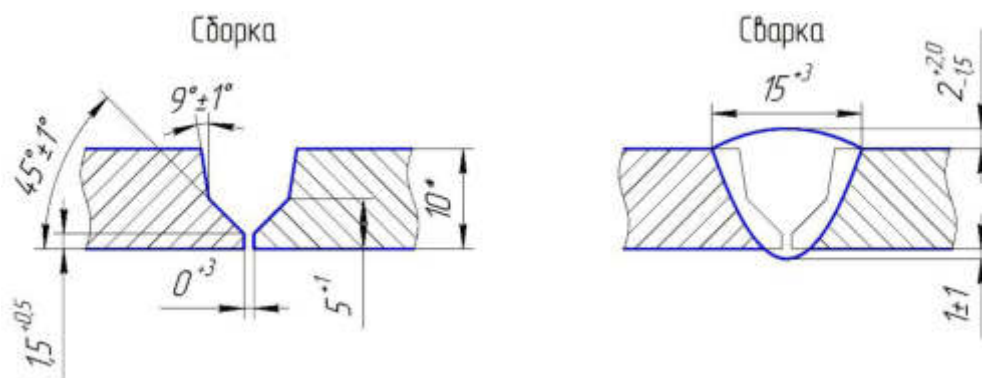


Рисунок 2.27 – Шов №5

Шов №5 С-27-2 по [15]. Площадь сечения наплавленного металла составляет

$$106 \text{ мм}^2 = 1,06 \text{ см}^2.$$

Сварку будем производить комбинированным способом:

- корневой проход ручной дуговой сваркой покрытыми электродами ЦТ-26 диаметром 2 мм. Коэффициент наплавки у этих электродов $\alpha_H = 10,5 \text{ г/Ач}$;
- остальные проходы автоматической сваркой под флюсом проволокой Св-04Х19Н11М3 диаметром 2 мм.

Произведем расчет режимов сварки корневого прохода ручной дуговой сваркой покрытыми электродами.

Площадь поперечного сечения корневого прохода определяется из условия (2.2)

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

Рассчитаем режимы сварки при корневом проходе. Примем, что для диаметра электрода $d_{\text{Э}} = 2 \text{ мм}$ плотность тока $j = 20 \text{ А/мм}^2$.

Определим силу сварочного тока по формуле (2.3):

$$I_{\text{СВ}} = \frac{\pi d_{\text{Э}}^2}{4} j = \frac{3,14 \cdot 2^2}{4} \cdot 20 = 65 \text{ А}.$$

Определим напряжение на дуге по формуле (2.4):

$$U_{\text{Д}} = 20 + 0,02 I_{\text{СВ}} = 20 + 0,02 \cdot 65 = 21,3 \text{ В}.$$

Определим скорость сварки по формуле (2.5):

$$V_{\text{СВ}} = \frac{\alpha_H I_{\text{СВ}}}{3600 \gamma F_H} = \frac{10,5 \cdot 65}{3600 \cdot 7,8 \cdot 0,16} = 0,15 \frac{\text{см}}{\text{с}}.$$

Рассчитаем погонную энергию по формуле (2.6):

					ЮУрГУ-15.03.01.2020.475.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		81

$$q_{\Pi} = \frac{0,24 U_{\text{Д}} I_{\text{СВ}} \eta_{\text{И}}}{V_{\text{СВ}}} = \frac{0,24 \cdot 21,3 \cdot 65 \cdot 0,7}{0,15} = 1550,6 \frac{\text{кал}}{\text{см}}.$$

Коэффициенты приведения при указанном типе шва рассчитываются по формуле (2.29):

$$k_1 = k_2 = \frac{180^\circ}{180^\circ - \alpha} = \frac{180}{180 - 90} = 2 \text{ ед.}$$

Мгновенная скорость охлаждения металла для первого прохода определяется по формуле (2.7) с учетом формулы (2.8).

Определим безразмерный критерий процесса $1/\theta$ по формуле (2.8):

$$\frac{1}{\theta} = \frac{2k_1 q_{\text{ПОГ}}}{\pi(\delta k_2)^2 c \gamma (T_M - T_O)} = \frac{2 \cdot 2 \cdot 1550,6}{3,14 \cdot (2 \cdot 1)^2 \cdot 0,96 \cdot (500 - 20)} = 1,1.$$

При значении безразмерного критерия $1/\theta = 3,3$ величина $\bar{\omega} = 0,72$.

Рассчитаем мгновенную скорость охлаждения металла при первом проходе по формуле (2.7):

$$\omega = \bar{\omega} 2\pi\lambda \frac{(T_M - T_O)^2}{k_1 q_{\Pi}} = 0,72 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 0,129 \cdot \frac{(500 - 20)^2}{2 \cdot 1550,6} = 43,3 \frac{^\circ\text{C}}{\text{с}}.$$

Интервал мгновенных скоростей охлаждения для стали 12Х18Н10Т составляет 6...50 °С/с. Полученное значение входит в указанный интервал.

Рассчитаем режимы сварки под флюсом при заполнении. Площадь сечения заполняющих проходов составляет $30 \text{ мм}^2 = 0,3 \text{ см}^2$.

Сварочный ток постоянный обратной полярности. Диаметр электродной проволоки равен $d_{\text{Э}} = 2 \text{ мм}$.

Рассчитаем параметры режима сварки:

– сила тока $I_{\text{СВ}} = 320 \text{ А}$;

					ЮУрГУ-15.03.01.2020.475.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		82

- напряжение на дуге $U_{\text{д}} = 31,3 \text{ В}$;
- коэффициент $\beta = 5178 \text{ ед}$;
- условная скорость подачи проволоки $V_{\text{э}} = 4,2 \text{ см/с}$;
- коэффициенты $p_1 = -111,3$, $p_2 = -0,4$;
- количество теплоты $Q_{\text{ПП}} = 35,5 \text{ кал}$;
- коэффициент $\alpha'_{\text{р}} = 11,6 \text{ г/Ач}$;
- коэффициент $\Delta\alpha_{\text{р}} = 1,2 \text{ г/Ач}$;
- коэффициент расплавления $\alpha_{\text{р}} = 12,8 \text{ г/Ач}$;
- скорость подачи проволоки $V_{\text{ПОД}} = 7 \text{ см/с}$;
- скорость сварки $V_{\text{СВ}} = 0,73 \text{ см/с}$;
- погонная энергия $q_{\text{ПОГ}} = 2964,6 \text{ кал/см}$.

Рассчитаем параметры режимов сварки облицовочного прохода. Сварочный ток постоянный обратной полярности. Диаметр электродной проволоки равен $d_{\text{э}} = 2 \text{ мм}$. Площадь поперечного сечения прохода $30 \text{ мм}^2 = 0,3 \text{ см}^2$.

Сварочный ток постоянный обратной полярности. Диаметр электродной проволоки равен $d_{\text{э}} = 2 \text{ мм}$.

Рассчитаем параметры режима сварки:

- сила тока $I_{\text{СВ}} = 320 \text{ А}$;
- напряжение на дуге $U_{\text{д}} = 31,3 \text{ В}$;
- коэффициент $\beta = 5178 \text{ ед}$;
- условная скорость подачи проволоки $V_{\text{э}} = 4,2 \text{ см/с}$;
- коэффициенты $p_1 = -111,3$, $p_2 = -0,4$;
- количество теплоты $Q_{\text{ПП}} = 35,5 \text{ кал}$;
- коэффициент $\alpha'_{\text{р}} = 11,6 \text{ г/Ач}$;
- коэффициент $\Delta\alpha_{\text{р}} = 1,2 \text{ г/Ач}$;
- коэффициент расплавления $\alpha_{\text{р}} = 12,8 \text{ г/Ач}$;
- скорость подачи проволоки $V_{\text{ПОД}} = 6 \text{ см/с}$;
- скорость сварки $V_{\text{СВ}} = 0,62 \text{ см/с}$;
- погонная энергия $q_{\text{ПОГ}} = 3490,6 \text{ кал/см}$;
- коэффициент $k' = 0,9 \text{ ед}$;

- коэффициент формы провара $\psi_{\text{пр}} = 2,8$ ед;
- глубина проплавления $h = 5,5$ мм;
- ширина шва $B = 15,4$ мм;
- высота валика $C = 0,27$ см.

Рассчитаем мгновенную скорость охлаждения металла по формуле (2.26) с учетом формулы (2.27).

Рассчитаем безразмерный критерий процесса $1/\theta$ по формуле (2.27):

$$\frac{1}{\theta} = \frac{2q_{\text{ПОГ}}}{\pi(\delta)^2 c \gamma (T_M - T_O)} = \frac{2 \cdot 3490,6}{3,14 \cdot (1,2)^2 \cdot 0,96 \cdot (500 - 20)} = 3,4.$$

При значении безразмерного критерия 3,4 величина $\bar{\omega}$ рассчитывается по формуле (2.9)

$$\bar{\omega} = \frac{2}{\pi \cdot 1/\theta} = \frac{2}{3,14 \cdot 3,4} = 0,19.$$

Тогда, по формуле (2.26) получим, что

$$\omega = \bar{\omega} 2\pi\lambda \frac{(T_M - T_O)^2}{q_{\text{ПОГ}}} = 0,19 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 0,129 \cdot \frac{(500 - 20)^2}{3490,6} = 10,2 \frac{^\circ\text{C}}{\text{с}}.$$

Интервал мгновенных скоростей охлаждения для стали 12Х18Н10Т составляет 6...50 °С/с. Полученное значение входит в указанный интервал.

2.5.6 Определение содержания ферритной фазы

При изготовлении бака применяется сталь аустенитного класса марки 12Х18Н10Т. При проектировании изделий из данной стали особое внимание уделяется содержанию ферритной фазы в наплавленном металле. Для ее определения используется диаграмма Шеффлера, показанная на рисунке 2.28.

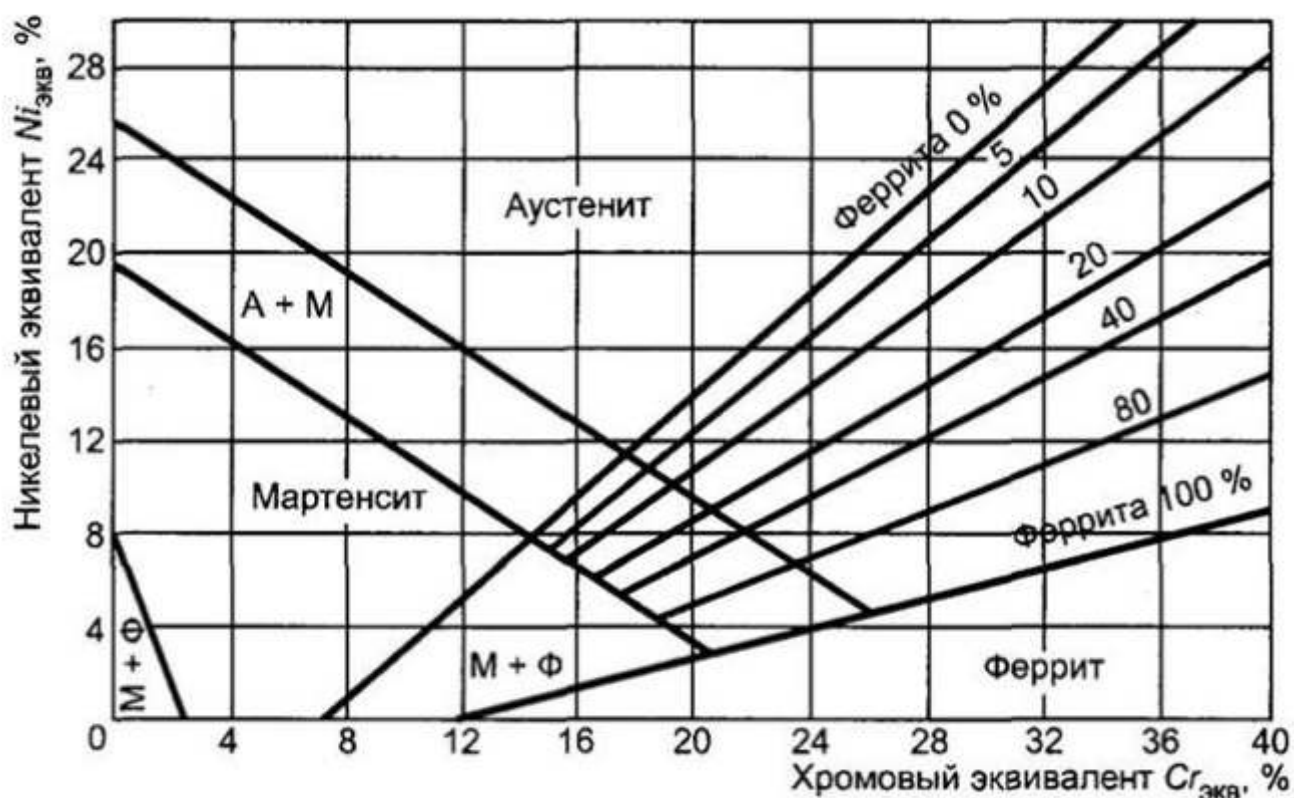


Рисунок 2.28 – Диаграмма Шеффлера [31]

По данной диаграмме, вычислив значения $Cr_{экв}$ и $Ni_{экв}$ по формулам (1.1) и (1.2) можно определить содержание ферритной фазы.

Для определения значений $Cr_{экв}$ и $Ni_{экв}$ необходимо знать доли расплавленного основного металла и присадочной проволоки в сварном шве. Доля участия наплавленного металла определяется по формуле (2.36) из [30]:

$$\gamma_H = \frac{F_H}{F_{ПР}}, \quad (2.36)$$

где F_H – площадь сечения наплавленного металла, $см^2$;

$F_{\text{ПР}}$ – площадь проплавления, см^2 .

Площадь проплавления определяется по формуле (2.37) из [30]:

$$F_{\text{ПР}} = \frac{I_{\text{СВ}} U_{\text{д}} \eta_{\text{ПОЛ}}}{q_{\text{Э}} \gamma V_{\text{СВ}}}, \quad (2.37)$$

где $I_{\text{СВ}}$ – сила тока, А;

$U_{\text{д}}$ – напряжение на дуге, В;

$\eta_{\text{ПОЛ}}$ – полный КПД процесса, ед;

$q_{\text{Э}} = 325$ – теплосодержание металла, кал/г;

$\gamma = 7,9$ – плотность стали, $\text{г}/\text{см}^3$;

$V_{\text{СВ}}$ – скорость сварки, $\text{см}/\text{с}$.

Полный КПД процесса определяется по формуле (2.38) из [30]:

$$\eta_{\text{ПОЛ}} = \eta \eta_{\text{Т}}, \quad (2.38)$$

где η – эффективный КПД дуги, ед;

$\eta_{\text{Т}} = 0,25 \dots 0,48$ – термический КПД процесса, ед.

Для удобства проведения расчетов представим рассчитанные режимы сварки в таблице 2.16.

Таблица 2.16 – Режимы сварки

№ шва	Вид сварки	Номер прохода	$I_{\text{СВ}}$, А	$U_{\text{д}}$, В	η	$\eta_{\text{Т}}$	$\eta_{\text{ПОЛ}}$, ед	$q_{\text{Э}}$, кал/г	$V_{\text{СВ}}$, см/с			
1	РД	1	65	21,3	0,7	0,28	0,2	325	0,15			
	АФ	2	250	28,8					0,9	0,45	0,41	1,05
		Подварочный	190	26,7								0,65
2	АФ	1	190	26,7	0,7	0,28	0,2	325	0,75			
		2	220	36,8					0,62			
3	РД	1	65	21,3	0,7	0,28	0,2	325	0,15			

Продолжение таблицы 2.16.

№ шва	Вид сварки	Номер прохода	I_{CB}, A	U_d, B	η	η_T	$\eta_{пол}, ед$	$qэ, кал/г$	$V_{CB}, см/с$
3	АФ	2	320	31,3	0,9	0,45	0,41	325	1
		3	320	31,3					0,63
4	АФ	1	250	28,8					0,62
5	РД	1	65	21,3	0,7	0,28	0,2		0,15
	АФ	2, 3	320	31,3	0,9	0,45	0,41		0,73
		4	320	31,3					0,62

Результаты расчета площади проплавления по формуле (2.37) и доли расплавленного металла по формуле (2.36) представлены в таблице 2.17.

Таблица 2.17 – Результаты расчета площади проплавления по формуле (2.37) и доли расплавленного металла по формуле (2.36)

№ шва	Вид сварки	Номер прохода	$F_{ПР}, см^2$	$\gamma_n, ед$
1	РД	1	0,72	0,22
	АФ	2	1,1	0,33
		Подварочный	1,25	0,1
2	АФ	1	1,08	0,23
		2	1,58	0,22
3	РД	1	0,72	0,22
	АФ	2	1,6	0,16
		3	2,54	0,12
4	АФ	1	1,85	0,11
5	РД	1	0,72	0,22
	АФ	2, 3	2,19	0,27
		4	2,58	0,14

Коэффициент расплавления основного металла определяется по формуле

									Лист
									87
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ЮУрГУ-15.03.01.2020.475.00 ПЗ				

(2.39) из [30]:

$$\gamma_{\text{O}}=1-\gamma_{\text{H}} \quad (2.39)$$

Для расчета химического состава металла шва в качестве количественных показателей свариваемых материалов отбираются средние значения содержания химических элементов в них.

Химический состав металла шва при сварке стали 12X18H10T электродами ЦТ-26 и проволокой Св-04X19H11M3 показан в таблице 2.18.

Таблица 2.18 – Химический состав металла шва при сварке стали 12X18H10T электродами ЦТ-26 и проволокой Св-04X19H11M3

В процентах

Химический элемент	Шов №1			Шов №2		Шов №3			Шов №4	Шов №5		
	РД	АФ		АФ		РД	АФ			АФ	РД	АФ
	1	2	3	1	2	1	2	3	1		2,3	4
С	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1
Mn	1,2	1,3	1,1	1,1	1,1	1,2	1,2	1,1	1,1	1,2	1,3	1,1
Si	0,4	0,3	0,4	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3	0,4
Cr	17,9	18,3	18,1	18,2	18,2	17,9	18,1	18,1	18,1	17,9	18,2	18,1
Ni	9,7	10,1	10,1	10,2	10,2	9,7	9,9	10,1	10,1	9,7	10	10,1
Mo	0,4	1,1	0,3	0,6	0,6	0,4	0,7	0,3	0,3	0,4	1	0,3
S	0,01											
P	0,02											
Ti	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,2	0,2	0,3
Cr _{ЭКВ}	19,8	20,7	19,8	20,2	20,2	19,8	20,2	19,9	19,8	19,8	20,5	19,9
Ni _{ЭКВ}	11,3	11,6	11,8	11,7	11,7	11,3	11,6	11,8	11,8	11,3	11,5	11,8

Как видно из таблицы 2.18, при определении химического состава шва при

каждом проходе среднее значение $Cr_{ЭКВ} = 20,05 \%$, а $Ni_{ЭКВ} = 11,6 \%$. Тогда, содержание ферритной фазы в наплавленном металле по диаграмме Шеффлера определим по рисунку 2.29.

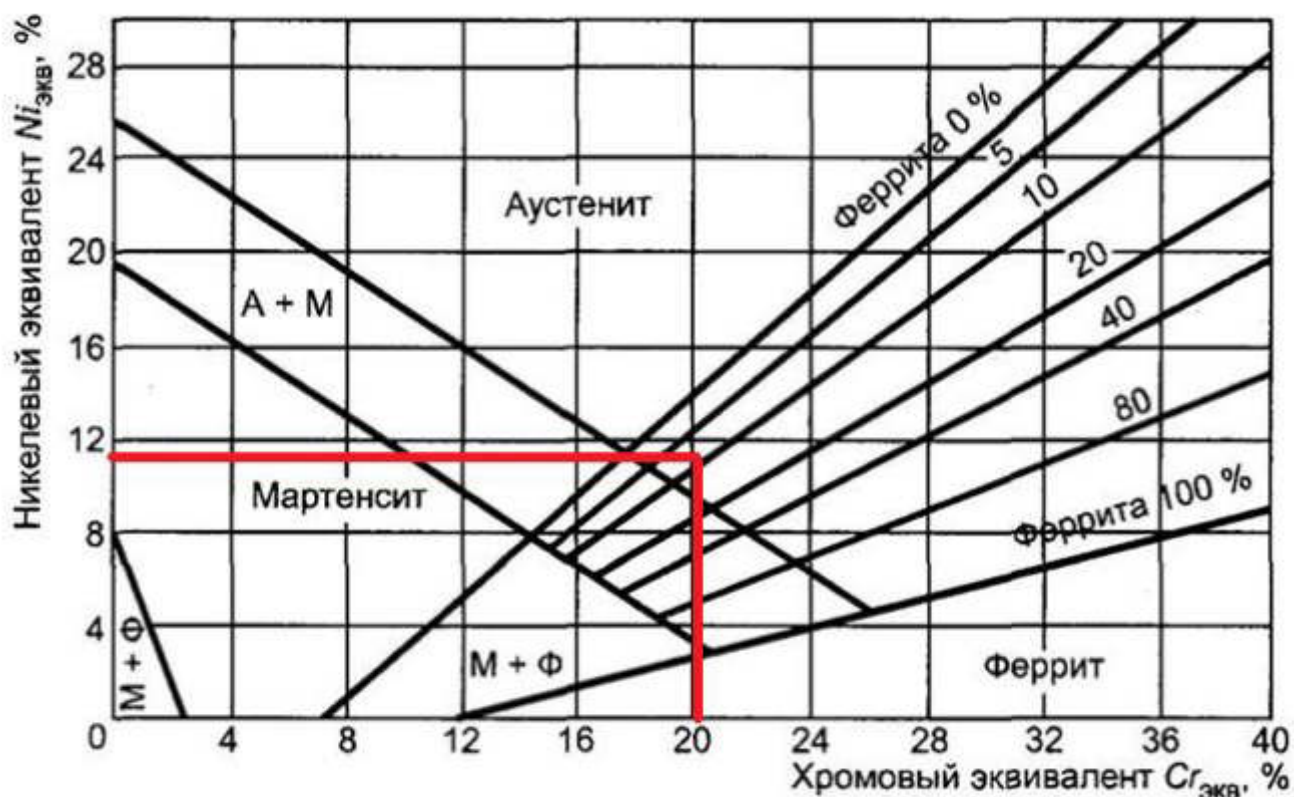


Рисунок 2.29 – Определение ферритной фазы

Согласно рисунку 2.29, содержание ферритной фазы составляет примерно 8%.

2.6 Выбор сборочного и сварочного оборудования

2.6.1 Описание конструкции сборочной установки

При сборке бака, применяется ложемент, показанный на рисунке 2.5.

Для обеспечения плоскостности и для выставления требуемой геометрии собираемых стыков при сборке днищ применяются прижимы, показанные на рисунке 2.30.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата



Рисунок 2.30 – Прижим механический [31]

Для сборки кольцевых стыков обечайки с днищами применяется центратор наружный звенный ЦЗН-1220, показанный на рисунке 2.31.



Рисунок 2.31 – Центратор наружный звенный ЦЗН-1220 [32]

2.6.2 Описание конструкции сварочной установки

В предлагаемом варианте технологии изготовления бака применяется автоматическая сварка под флюсом. Для обеспечения работы процесса требуется подобрать такое сварочное оборудование, которое при занятии небольшой площади позволит обеспечить качество, стабильность процесса, а также универсальность.

При изготовлении обечайки опорной, днища нижнего, днища верхнего, а также обечайки выполняется сварка продольного шва. При сварке обечайки опорной с кольцом опорным, а также обечайки опорной с днищем нижним

выполняются кольцевые швы. При сварке обечайки с днищами выполняются кольцевые швы.

При изготовлении днищ нет необходимости подбирать специальную оснастку, поэтому, их изготовление будет осуществляться на ложементе, показанном на рисунке 2.5. Но сварные швы будем выполнять с применением сварочного трактора марки Cruiser dx производства фирмы Lincoln electric, который показан на рисунке 2.32.



Рисунок 2.32 – Трактор сварочный Cruiser dx [33]

Он предназначен для выполнения сварки стыковых, угловых соединений, а также швов со сквозным проплавлением и в «симметричную лодочку». Трактор оснащен съемным блоком управления с цифровой индикацией режимов сварки. Емкость бункера для флюса составляет 5,6 кг. Также в комплект входит система рециркуляции флюса и компрессор.

Технические характеристики трактора Cruiser dx приведены в таблице 2.19.

Таблица 2.19 – Технические характеристики трактора Cruiser dx [33]

Характеристика	Значение
Диаметр электродной проволоки, мм	1,6...5,6
Скорость подачи проволоки, м/мин	0,4...5
Габаритные размеры, мм	737×584×914
Масса, кг	63,5

В качестве источника питания при автоматической сварке под флюсом

сварочным трактором будем использовать источник Power wave 1000, который показан на рисунке 2.33.



Рисунок 2.33 – Источник питания Power wave 1000 [34]

Он предназначен для автоматической под флюсом на постоянном и переменном токе. Является источником инверторного типа с числовым программным управлением.

Технические характеристики Power wave 1000 приведены в таблице 2.20.

Таблица 2.20 – Технические характеристики Power wave 1000 [34]

Характеристика	Значение
Сеть питания, В	220/380/460/500
Частота, Гц	50/60
Количество фаз, шт	3
Цикл сварки	1000А/44В/100%
Диапазон тока, А	100...1000
Масса, кг	295
Габаритные размеры, мм	1105×488×838

Этим же сварочным трактором будем осуществлять сварку продольных швов обечаек. Для этого, требуется обеспечить ровную поверхность для движения

трактора, а также предотвратить влияние его собственного веса на свариваемые кромки. Выполнить данные условия возможно при сварке на специальной подставке, которая показана на рисунке 2.34.

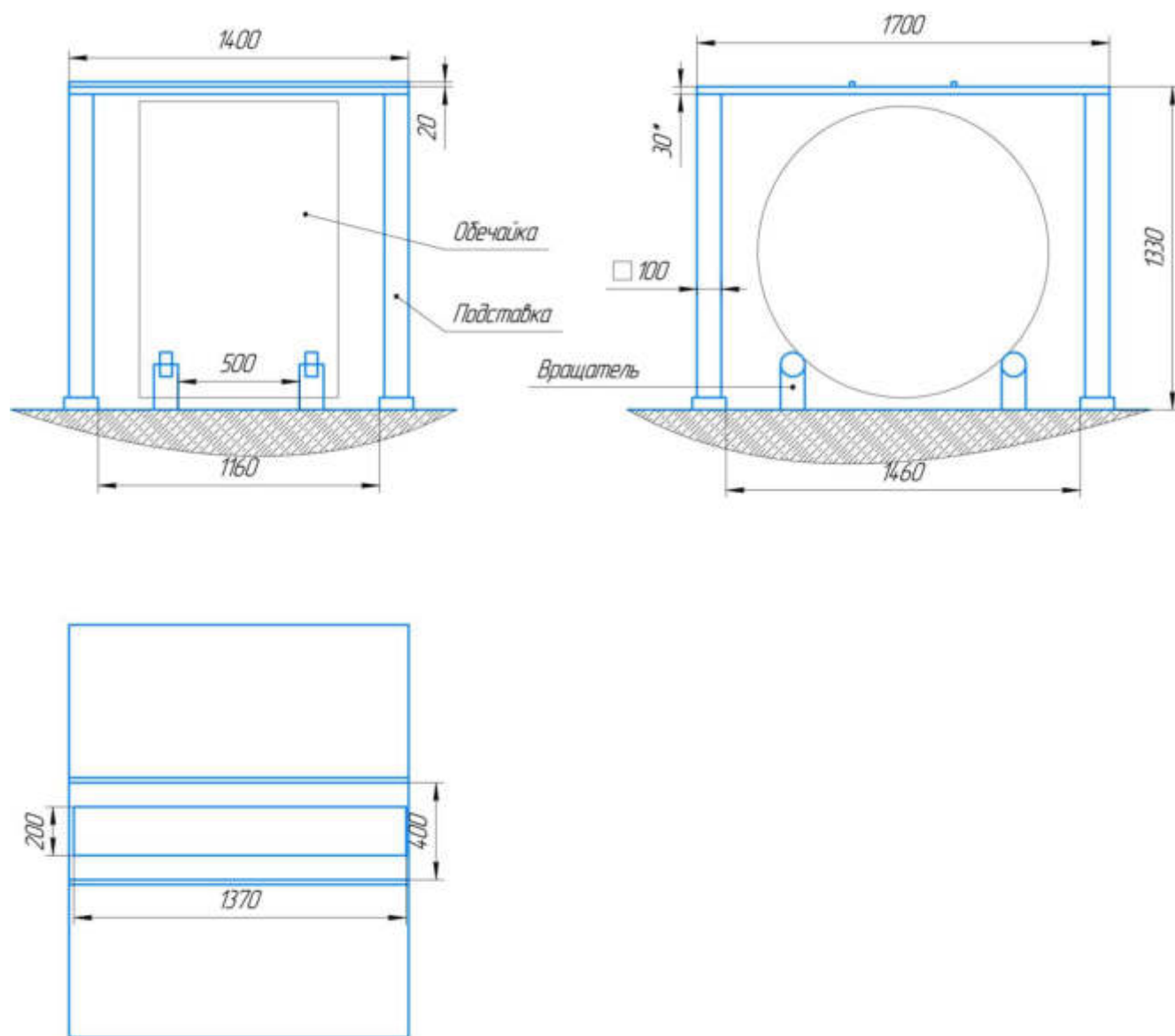


Рисунок 2.34 – Подставка для сварки

Подставка цельносварная. Для движения трактора на ней предусмотрен рельсовый путь. Для сварки в плите подставки предусмотрено отверстие.

Для сварки внутреннего шва обечайки опорной предлагается применить рельсовый путь, показанный на рисунке 2.35.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

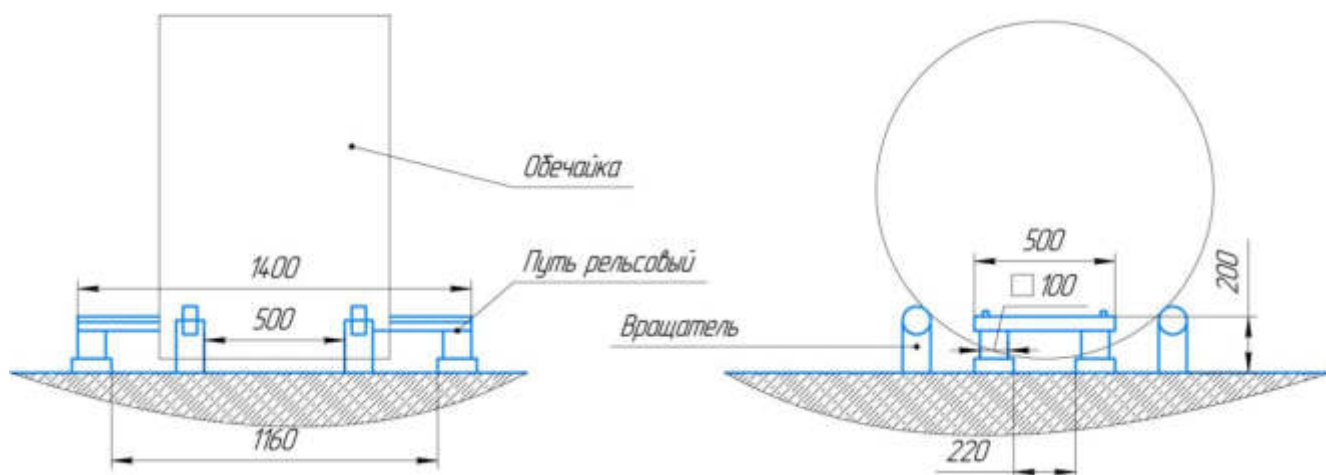


Рисунок 2.35 – Путь рельсовый

Для автоматической сварки под флюсом кольцевых швов предлагается применить подвесную сварочную головку марки КА 2-UP 3 мм, показанную на рисунке 2.36.



Рисунок 2.36 – Головка КА 2-UP 3 мм [35]

Она предназначена для автоматической сварки под флюсом с силой тока до 800 А металлических конструкций и швов различной конфигурации в нижнем положении. Технические характеристики головки КА 2-UP 3 мм показаны в таблице 2.21.

Таблица 2.21 – Технические характеристики головки КА 2-UP 3 мм [35]

Характеристика	Значение
Сила тока, А	Не более 800
Диаметр проволоки, мм	1,6...3
Скорость подачи проволоки, м/ч	20...200
Масса, кг	61

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

Крепление головки будем осуществлять на сварочной колонне, показанной на рисунке 2.36.



Рисунок 2.36 – Колонна сварочная [36]

Технические характеристики колонны показаны в таблице 2.22.

Таблица 2.22 – Технические характеристики колонны [36]

Характеристика	Значение
Рабочая длина, мм	830...5000
Грузоподъемность, кг	130
Высота от пола до горизонтальной платформы, мм	1000...4000
Расстояние между рельсовыми осями, мм	1490
Скорость перемещения платформы, мм/мин	100...2000
Угол поворота колонны, град	360
Мощность двигателя подъемника, кВт	0,55
Мощность двигателя платформы, кВт	0,37
Высота, мм	4380
Вес, кг	4700

Для придания вращения при сварке обечайки опорной с кольцом опорным, а также при сварке обечайки опорной с днищем нижним предлагается применить вращатель марки Т-3000/1, показанный на рисунке 2.37.



Рисунок 2.37 – Вращатель Т-3000/1 [37]

Характеристики вращателя Т-3000/1 показаны в таблице 2.23.

Таблица 2.23 – Характеристики вращателя Т-3000/1 [37]

Характеристика	Значение
Максимальная грузоподъемность, кг	3000
Номинальный центр тяжести, мм	150
Номинальный эксцентриситет, мм	150
Скорость вращения стола, об/мин	0,05...1
Диаметр стола, мм	1220
Мощность двигателя поворота стола, кВт	1,1
Мощность двигателя наклона стола, кВт	1,1
Масса, кг	1380

Для вращения бака при сварке кольцевых швов обечайки с днищами применяется саморегулируемая роликовая опора HGZ-5, показанная ранее на рисунке 2.15.

Характеристики опоры HGZ-5 показаны в таблице 2.24.

Таблица 2.24 – Характеристики опоры HGZ-5 [18]

Характеристика	Значение
Максимальная грузоподъемность, кг	5000
Диаметр полиуретанового ролика, мм	250
Ширина полиуретанового ролика, мм	100
Диапазон диаметров свариваемых деталей, мм	250...2300
Скорость вращения, м/ч	6...60
Мощность одного двигателя, кВт	0,75

Выводы по разделу 2:

В разделе 2 рассматривается технология изготовления бака. Рассмотрено заготовительное оборудование. Описан порядок сборки и сварки. Выявлены недостатки технологического процесса сборки и сварки, которые предложено устранить применением комплекса мероприятий. Для указанного комплекса мероприятий разработан порядок сборки и сварки бака. Для предлагаемого варианта подобран оптимальный способ сварки. Также был осуществлен подбор сварочных материалов и рассчитаны параметры режима сварки. Произведен подбор сварочного оборудования и оснастки.

3 КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА

3.1 Способы и средства контроля качества

Главными методами контроля качества сварных швов бака являются:

- визуальный и измерительный (ВИК);
- радиографический (РК);
- капиллярный (ЦКД).

ВИК применяется на всех операциях по изготовлению бака. Требования и методика контроля указаны в согласованных с главным инженером предприятия картах контроля.

ВИК проводится на следующих операциях:

- входной контроль;
- производство заготовок;
- сборка;
- сварка.

На операции входного контроля проверяется соответствие качества листов и готовых деталей, а также применяемых сварочных материалов. Проверка проката проводится в два этапа:

- сравнение маркировки и приложенного сертификата качества;
- измерение геометрических параметров.

При проверке сварочных материалов контролируется наличие либо отсутствие:

- ржавчины на сварочной проволоке;
- механических повреждений сварочной проволоки.

Выборочно, но не менее чем на каждой третьей партии проводятся испытания сварочных материалов наплавкой на образец либо сварки контрольного сварного соединения (КСС) и проверка технологических, механических и металлографических свойств.

Флюс, применяемый при изготовлении бака, проходит проверку соответствия данным, указанным в паспорте.

При проведении ВИК применяются шаблоны, линейки измерительные, штангенциркули, щупы, увеличительные лупы, а также фонарики и прочее оборудование.

Радиографический метод контроля основан на прохождении γ -лучей через основной металл сварного шва с проецированием на радиографическую пленку. При отсутствии дефектов изображение шва на пленке светлое. При наличии дефектов в месте контроля на пленке проявляются темные пятна, которые расшифровываются при помощи негатоскопа по длине и ширине.

РК осуществляется специальными генераторами радиоактивного излучения, встроенными в трубку. РК проводится в специальной камере.

					ЮУрГУ-15.03.01.2020.475.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		98

Для контроля наличия недопустимых дефектов поверхности, а также выходящих на поверхность, применяется ЦКД. Данный метод контроля основан на выявлении на проявителе следов пенетранта, который при контроле заполняет полости и после очищения поверхности очистителем не удаляется из этих полостей.

Для проведения ЦКД применяется специальный комплекс для контроля, который состоит из следующих элементов:

- пенетрант;
- очиститель;
- проявитель.

3.2 Допустимые и недопустимые дефекты

По результатам проведения визуального и измерительного контроля не допускаются следующие виды дефектов:

- несоответствие параметров геометрических размеров сварного шва;
- незаваренные кратеры;
- прожоги;
- наплывы;
- свищи;
- усадочные раковины;
- подрезы глубиной 0,3 мм.

Устранение подрезов производится вышлифовкой части сечения шва заподлицо с основным металлом и наложением одного корректирующего валика методом РАД. При этом допускаемое увеличение ширины сварного шва не более 2 мм от базового значения.

Наплывы и нарушение геометрических параметров шва устраняются зачисткой.

Прожоги ремонту не подлежат и стык подлежит вырезке.

Незаваренные кратеры, свищи, усадочные раковины ремонтируются сваркой

					ЮУрГУ-15.03.01.2020.475.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		99

путем удаления дефекта шлифованием и сварки разделанной зоны.

При радиографическом контроле выявляются следующие виды дефектов:

- поры (недопустимый размер более 2 мм одиночной или 0,8 мм для двух пор и более);
- непровары;
- несплавления;
- трещины.

Устранение указанных дефектов производится путем удаления дефекта шлифовкой на глубину превышающую глубину залегания на 1-2 мм и последующей заваркой. Длина ремонтного участка не должна превышать 1/6 периметра стыка. В противном случае, стык подлежит вырезке.

3.3 Оборудование для контроля качества

При проведении ВИК применяются следующие инструменты:

- для контроля линейных размеров: рулетка измерительная длиной 20 м, рулетка измерительная длиной 10 м, линейка металлическая 20 см;
- для контроля угловых размеров: угломер механический;
- для контроля диаметра отверстий и ширины стыковых швов: штангенциркуль ШЦ-1-125-0,1;
- для контроля зазоров при сборке: набор щупов №4;
- для контроля величины притупления фасок: штангенциркуль ШЦ-1-125-0,1;
- для контроля толщины стенки: ультразвуковой толщиномер.

При РК контроле применяется рентгеновский аппарат марки Eresco 65 MF4, показанный на рисунке 3.1.

					ЮУрГУ-15.03.01.2020.475.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		100



Рисунок 3.1 – Рентгеновский аппарат марки Eresco 65 MF4 [38]

Характеристики рентгеновского аппарата Eresco 65 MF4 приведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Характеристики рентгеновского аппарата Eresco 65 MF4 [38]

Характеристика	Значение
Направление излучения	направленное
Просвет по стали за 10 мин, мм	65
Диапазон высокого напряжения, кВ	5...300
Диапазон тока, мА	0,5...6
Ток при максимальном напряжении (300 кВ), мА	3
Постоянный режим работы, Вт	900
Номинальное значение фокусного пятна, мм	3
Материал анода	Вольфрам
Угол наклона мишени, град	20
Угол выхода пучка, град	40×60
Фильтр рентгеновского излучения, мм	0,8 ± 0,1
Стабильность тока и напряжения, %	± 1
Вес блока излучения, кг	40

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

При проведении ЦКД применяется набор для проведения капиллярной дефектоскопии марки Sherwin. В состав набора входит:

- пенетрант красного цвета;
- очиститель;
- проявитель.

3.4 Методика контроля

3.4.1 Визуальный и измерительный контроль

При проведении ВИК персонал, который осуществляет контроль, должен быть аттестован на уровень I, II, III согласно [39]. При этом заключение о годности выдается лишь специалистами II и III уровней.

Освещенность участка контроля должна быть не менее 500 лк. При меньшем значении требуется использование искусственных приборов освещения.

Контроль линейных размеров осуществляется рулеткой измерительной длиной 20 м, рулеткой измерительной длиной 10 м, линейкой металлической длиной 20 см.

Контроль угловых размеров осуществляется угломером механическим.

Контроль ширины стыковых швов осуществляется штангенциркулем ШЦ-1-125-0,1.

Контроль зазоров при сборке осуществляется набором щупов №4.

Контроль величины притупления фасок осуществляется штангенциркулем ШЦ-1-125-0,1.

Контроль глубины поверхностных дефектов осуществляется глубиномером.

					ЮУрГУ-15.03.01.2020.475.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		102

3.4.2 Радиографический контроль

РК швов проводится по нескольким схемам сканирования, указанным в [40].

При контроле стыковых швов днищ и обечаек используется схема сканирования, показанная на рисунке 3.2.

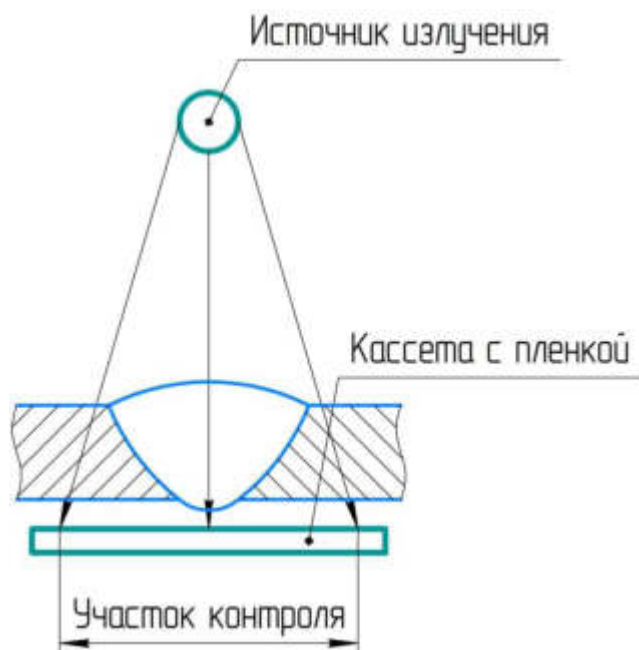


Рисунок 3.2 – Схема сканирования стыковых швов днищ и обечаек

При контроле стыковых кольцевых швов днищ с обечайкой при выборочном контроле используется схема, показанная на рисунке 3.3.

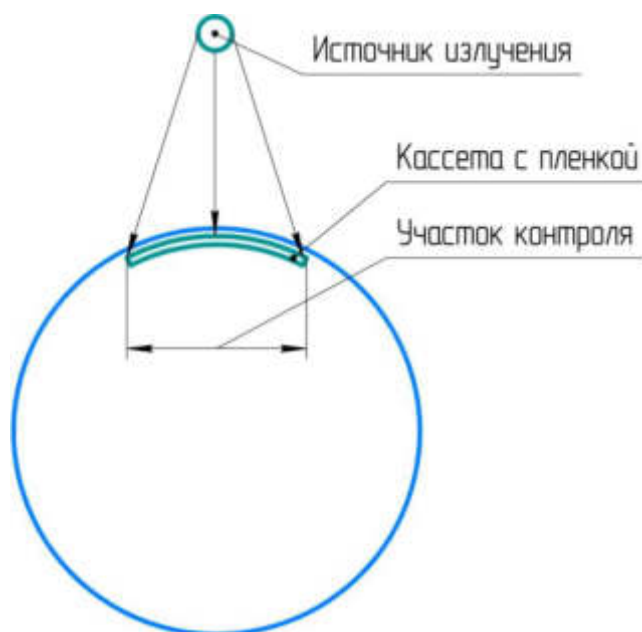


Рисунок 3.3 – Схема сканирования кольцевых стыковых швов днищ с обечайкой

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Перед проведением контроля на каждый проверяемый стык устанавливается кассета с пленкой. Также, при установке пленки рядом со снимком устанавливаются канавочные эталоны (либо проволочные), а также рядом с каждым сегментом устанавливаются свинцовые маркировочные знаки с порядковым номером снимка и стрелка, указывающая направление контроля. Перед контролем на оборудовании выставляются такие параметры контроля, как время экспозиции, фокусное расстояние, напряжение в трубке.

3.4.3 Капиллярный контроль

Шероховатость контролируемых торцевых поверхностей не должна превышать Rz 20.

Перед контролем провести очистку торцев ацетоном или очистителем Sherwin.

После этого нанести пенетрант Sherwin на контролируемую поверхность торца. Время выдержки пенетранта на поверхности не менее 15 минут.

После выдержки провести очистку контролируемой поверхности торцов очистителем Sherwin. Очистку проводить тканью. Очищать поверхность до такой степени, чтобы на ткани не осталось следов пенетранта.

Далее нанести на контролируемую поверхность проявитель. Наносить проявитель следует с расстояния не менее 150 мм равномерно. При этом не следует наносить проявитель большим слоем. Для более качественного контроля желательно наносить проявитель за один проход.

После нанесения проявителя выдержать контролируемые торцы в течение не менее 30 минут и после того провести первичный осмотр. Если при первичном осмотре отсутствуют дефекты, то провести дальнейшую выдержку не менее 15 минут и повторно проконтролировать.

Выводы по разделу 3:

В разделе 3 рассматриваются методы и методика проведения контроля качества при изготовлении Рамы. Описаны недопустимые дефекты, применяемое оборудование для контроля, а также порядок контроля.

					ЮУрГУ-15.03.01.2020.475.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		104

4 БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

4.1 Анализ вредных и опасных производственных факторов

При выполнении сварочных работ на исполнителей оказывают воздействие разные опасные и вредные производственные факторы.

К вредным производственным факторам относятся следующие:

- повышенная загазованность и запыленность воздуха рабочей зоны;
- видимое, инфракрасное и ультрафиолетовое излучение сварочной дуги при сварке, а также инфракрасное излучение самой ванны и изделий, подвергшихся сварке;
- электромагнитное поле;
- ионизирующее излучение;
- повышенный уровень шума.

При сварке в зоне дыхания производителей работ присутствуют различные сварочные аэрозоли, которые содержат в своем составе окислы металлов и иные химические соединения. При воздействии на организм различных вредных веществ возможно получение острых и хронических профессиональных заболеваний и отравлений.

При отсутствии защиты от излучения сварочной дуги появляется высокая вероятность поражения органов зрения, а также ожоги кожных покровов. Инфракрасное излучение от изделий, подвергшихся предварительному подогреву, оказывает на здоровье негативное воздействие.

Источниками повышенного шума являются компрессоры, генераторы, вакуумные насосы и т. д. Источниками ультразвука являются ультразвуковые генераторы, рабочие органы установок и т. д.

К опасным производственным факторам относятся:

- электрический ток;
- брызги расплавленного металла;
- вероятность взрыва баллонов и систем, которые находятся под давлением;

					ЮУрГУ-15.03.01.2020.475.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		105

– движущиеся изделия и механизмы.

4.2 Техника безопасности при производстве сварочных работ

4.2.1 Обеспечение санитарно-гигиенических условий труда

В целях профилактики неблагоприятного воздействия опасных и вредных производственных факторов должны применяться следующие мероприятия:

- использование средств индивидуальной защиты, которые уменьшают тепловое воздействие на организм рабочего;
- регламентация времени работы (перерывы в работе, сокращение рабочего дня и т. д.).

Рабочие места исполнителей работ должны ограждаться переносными или стационарными светонепроницаемыми ограждениями (тенты) из несгораемого материала, высота которых должна обеспечивать надежность защиты от воздействия внешней среды.

Ширина проходов с каждой стороны рабочего места должна быть не менее 1 м.

Для защиты от выделения сварочных аэрозолей, пыли и газов применяется местная вентиляция.

Снижение шума при работе осуществляется следующими методами:

- организационными;
- звукоизоляции;
- звукопоглощения;
- виброизоляции;
- дистанционного управления из звукоизолирующих кабин.

					ЮУрГУ-15.03.01.2020.475.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		106

4.2.2 Обеспечение электрической безопасности

Для обеспечения электробезопасности должны соблюдаться следующие требования:

– при электросварочных работах должны применяться оборудование, аппараты и приспособления, удовлетворяющие требованиям действующих стандартов и нормативов на соответствующее сварочное оборудование;

– напряжение холостого хода источников сварочного тока не должно превышать максимальных значений, указанных в стандартах на соответствующее оборудование;

– для дуговой сварки необходимо применять изолированные гибкие кабели, рассчитанные на надежную работу при максимальных электрических нагрузках с учетом продолжительности цикла сварки;

– соединение сварочных кабелей следует производить опрессовкой, сваркой или пайкой с последующей изоляцией мест соединения;

– подключение кабелей к сварочному оборудованию должно осуществляться при помощи опрессованных или припаянных кабельных наконечников;

– при прокладке или перемещении сварочных проводов необходимо принимать меры против повреждения их изоляции и соприкосновения с водой, маслом, стальными канатами и горячими трубопроводами;

– в электросварочных аппаратах и источниках их питания элементы, находящиеся под напряжением, должны быть закрыты оградительными устройствами;

– запрещается использовать провода сети заземления, трубы санитарно - технических сетей (водопровод, газопровод и др.), металлические конструкции зданий, технологическое оборудование в качестве обратного провода электросварки;

– запрещается оставлять на рабочем месте электросварочный инструмент, находящийся под напряжением;

– запрещается производить ремонт электросварочных установок под

					ЮУрГУ-15.03.01.2020.475.00 ПЗ	Лист
						107
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

напряжением;

– в связи с вероятностью воздействия электрического тока весь персонал, обслуживающий электросварочные установки, должен проходить обучение и аттестацию на соответствующую квалификационную группу по электробезопасности.

4.2.3 Обеспечение пожарной безопасности

В соответствии с [42] сварочный участок относится к категории «Г» производства, где в обращении находятся негорючие вещества и материалы, процесс обработки которых сопровождается выделением лучистого тепла и искрения пламени.

Для ликвидации возможных очагов пожара в цеховых условиях присутствуют пожарные щиты.

В комплект пожарного щита входят:

- огнетушители воздушно-пенные вместимостью 10 л – 2 шт;
- порошковые вместимостью 10 л – 1 шт, 5 л – 2 шт;
- лом – 1 шт;
- ведро – 1 шт;
- асбестовое полотно, грубошерстная ткань или войлок (кошма, покрывало из негорючего материала) – 1 шт;
- лопата штыковая – 1 шт;
- тележка для перевозки оборудования – 1 шт;
- емкость для хранения воды объемом 0,02 м³ – 1 шт;
- насос ручной – 1 шт;
- рукав ДУ 18...20 длиной 5 м – 1 шт.

4.3 Безопасность при работе с подъемными устройствами

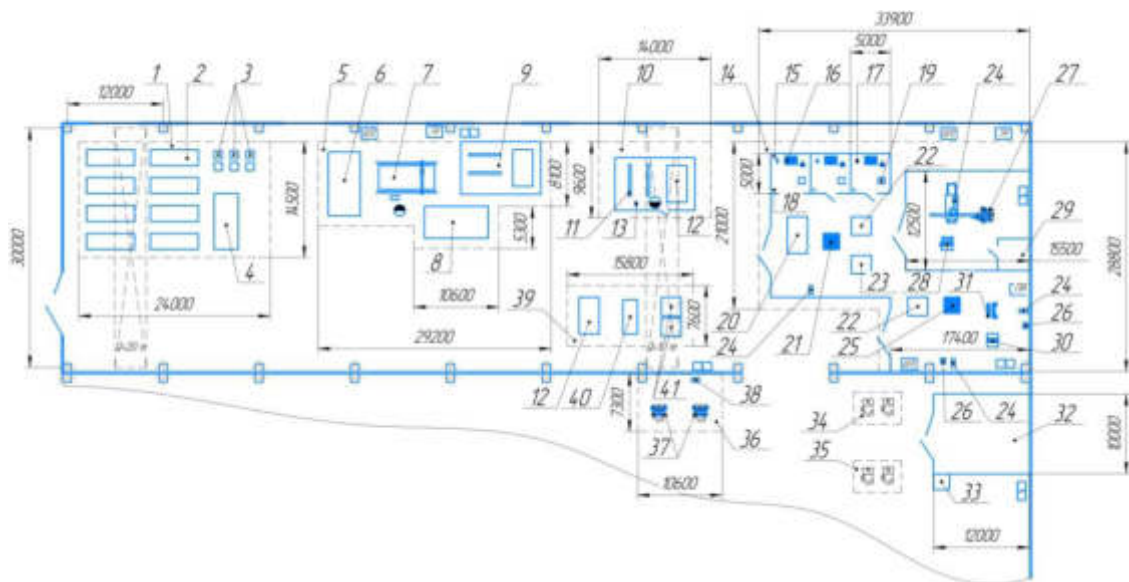
При работе с подъемными устройствами следует соблюдать следующие рекомендации:

- строповочные работы допускается производить обученному персоналу;
- строповка бака осуществляется при помощи мягких стропов;
- при строповке деталей использовать цепной строп с антискользящими зажимами;
- при транспортировании по цеховой площадке каких-либо элементов запрещается находиться в зоне транспортировки на расстоянии ближе 10 м.

4.4 Планировка оборудования и рабочих мест участка

На рисунке 4.1 показана планировка существующего цеха с изображением на ней расположения оборудования и рабочих мест.

Планировка показана с учетом предлагаемого варианта технологического процесса изготовления бака. Описание технологической цепочки в соответствии с рисунком 4.1.



- 1 – Склад металла; 2 – Штабель листового проката; 3 – Место складирования готовых заготовок; 4 – Стенд входного контроля; 5 – Участок термической резки; 6 – Место складирования листов перед резкой; 7 – Машина термической резки Сибирь АРМ; 8 – Место складирования заготовок; 9 – Место зачистки заготовок от шлака; 10 – Участок заготовки фасок; 11 – Ложемент; 12 – Место складирования заготовок после подготовки фасок; 13 – Машина АВМ-28; 14 – Участок сборки и сварки; 15 – Пост аргонодуговой сварки; 16 – Стол сварщика; 17 – Источник питания AugoraPRO IronMan 200 AC/DC; 18 – Баллон с аргоном; 19 – Место складирования заготовок и деталей; 20 – Место складирования заготовок перед сборкой; 21 – Ложемент; 22 – Место складирования заготовок обечаек; 23 – Место складирования сваренных обечаек; 24 – Источник питания Power Wave 1000; 25 – Ложемент для сборки и сварки днищ; 26 – Трактор сварочный Cruiser dx; 27 – Вращатель HGZ-5; 28 – Вращатель Т-3000/1; 29 – Склад сварочных материалов; 30 – Подставка для сварки обечаек; 31 – Вращатель HGZ-5; 32 – Камера для радиографического контроля; 33 – Пультовая; 34 – Место складирования деталей и узлов перед контролем; 35 – Место складирования деталей и узлов после контроля; 36 – Участок проведения контроля качества; 37 – Стенд для контроля; 38 – Шкаф хранения оборудования для ВИК и ЦКД; 39 – Участок вальцевания; 40 – Станок Imcar S1HRV; 41 – Место складирования вальцованных заготовок

Рисунок 4.1 – Планировка оборудования и рабочих мест

						ЮУрГУ-15.03.01.2020.475.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			110

Порядок изготовления бака на участке описывается в соответствии с рисунком 4.1.

В начале, листовой прокат и готовые детали поставляются на склад металла (поз. 1). Листовой прокат складировается в штабелях (поз. 2), а готовые детали в месте складирования готовых заготовок (поз. 3).

На стенде (поз. 4) проводится входной контроль.

После входного контроля листы отправляются на участок термической резки (поз. 5). Складирование листов проводится на месте складирования листов перед резкой (поз. 6). Резка проводится на машине термической резки Сибирь АРМ (поз. 7). После резки заготовки укладываются на место складирования заготовок (поз. 8). Вырезанные заготовки отправляются на место зачистки заготовок от шлака (поз. 9).

После резки и зачистки заготовки отправляются на участок заготовки фасок (поз. 10). Для этого они укладываются на ложементе (поз. 11). Фаски нарезаются при помощи машины АВМ-28 (поз. 13). Далее заготовки укладываются на место складирования заготовок после подготовки фасок (поз. 12).

Заготовки для обечаек отправляются на участок вальцевания (поз. 39). Вальцевание обечаек проводится на станке Imcar S1HRV (поз. 40). Заготовки обечаек после вальцевания укладываются на место складирования вальцованных заготовок (поз. 41).

После проведения всех заготовительных операций на участке сборки и сварки (поз. 14) начинается укрупнение бака. На постах аргонодуговой сварки (поз. 15) в количестве трех штук, проводится РАД заготовок патрубков, штуцеров и пр. Пост оборудован столом сварщика (поз. 16), источником питания AuroraPRO IronMan 200 AC/DC (поз. 17), баллоном с аргоном (поз. 18). Сваренные детали укладываются на место складирования заготовок и деталей (поз. 19).

Перед укрупнительной сборкой заготовки собираются на месте складирования заготовок перед сборкой (поз. 20). Укрупнительная сборка проводится на ложементе (поз. 21).

Заготовки обечаек после вальцевания и днищ отправляются для сварки и

					ЮУрГУ-15.03.01.2020.475.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		111

укладываются на место складирования заготовок обечайки (поз. 22). После сварки краном они транспортируются и укладываются на место складирования сваренных обечаек (поз. 23). Сварка обечаек проводится на подставке для сварки обечаек (поз. 30) и на вращателе HGZ-5 (поз. 31). Сборка и сварка днищ выполняется на ложементе для сборки и сварки днищ (поз. 25). Сварка днищ и обечаек выполняется трактором Cruiser dx (поз. 26). Источником питания является Power Wave 1000 (поз. 24).

Далее обечайки и заготовки днищ транспортируются для радиографического контроля, который проводится в камере (поз. 32). Управление проводится из пультовой (поз. 33). Обечайки укладываются на место складирования деталей и узлов перед контролем (поз. 34). Проверенные обечайки и днища укладываются на место складирования деталей и узлов после контроля (поз. 35).

После радиографического контроля заготовки днищ отправляют на участок штамповки, а сваренные обечайки транспортируются и укладываются на место складирования сваренных обечаек (поз. 23).

На ложементе (поз. 21) проводится сборка и сварка. Собранные узлы транспортируются для сварки под флюсом. Часть узлов устанавливается во вращателе Т-3000/1 (поз. 28), а общая сборка бака устанавливается на вращатель HGZ-5 (поз. 27).

После сварки бак транспортируется для контроля качества. Проверка проводится радиографическим контролем в камере (поз. 32), визуальным и измерительным, а также капиллярным на участке проведения контроля качества (поз. 36). Для ВИК и ЦКД сваренный бак устанавливается на стенд для контроля (поз. 37). Инструменты для контроля хранятся в шкафу хранения оборудования для ВИК и ЦКД (поз. 38).

Выводы по разделу 4:

В разделе 4 рассмотрены возникающие опасные и вредные производственные факторы, которые оказывают влияние на жизнь и здоровье исполнителей работ. Рассмотрены способы снизить влияние этих факторов.

Описана техника безопасности при производстве различных видов работ, а

					ЮУрГУ-15.03.01.2020.475.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		112

также с применением подъемно-транспортных механизмов.

Рассмотрена планировка рабочих мест с описанием основных типов оборудования.

					ЮУрГУ-15.03.01.2020.475.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		113

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В выпускной квалификационной работе рассматривается технология сборки и сварки бака конденсата объемом 1,5 м³.

В конструкторском разделе произведен анализ конструкции бака, описаны элементы, составляющие его конструкцию. Описана применяемая марка стали (12X18H10T). Определена, что необходимость проведения подогрева перед сваркой отсутствует. Рассмотрены применяемые виды и типы сварных швов. Описаны действующие нагрузки на бак.

В технологическом разделе проанализирована базовая технология сборки и сварки бака. Описано заготовительное оборудование. Рассмотрен порядок сборки и сварки бака, режимы сварки и контроль качества. При рассмотрении технологии выявлены недостатки, которые предложено устранить применением следующих мероприятий: автоматизация технологии сварки (применение автоматической сварки под флюсом), замена сварочных материалов (применение электродов ЦТ-20 и флюса ФЦ-17). Для предлагаемого варианта бы осуществлен расчет режимов сварки, подобрана сварочная оснастка.

В разделе контроля качества описаны методы контроля, применяемые при изготовлении бака, принцип их работы, применяемое оборудование для контроля, а также методика проведения контроля.

В разделе безопасности жизнедеятельности рассмотрены опасные и вредные производственные факторы. Описана техника проведения безопасных работ, а также рассмотрена планировка участка.

					ЮУрГУ-15.03.01.2020.475.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		114

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ 15150-69 «Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды. Климатическое исполнение». – М.: Стандартиформ, 2010. – 57 с.

2. ГОСТ 2590-2006 «Прокат сортовой стальной горячекатаный круглый. Сортамент». – М.: Стандартиформ, 2010. – 7 с.

3. ГОСТ 9941-81 «Трубы бесшовные холодно- и теплодеформированные из коррозионно-стойкой стали. Технические условия». – М.: Стандартиформ, 2010.– 10 с.

4. ГОСТ 19903-2015 «Прокат листовой горячекатаный. Сортамент». – М.: Стандартиформ, 2010. – 12 с.

5. ОСТ 108.109.01-92 «Заготовки корпусных деталей из коррозионно-стойких сталей аустенитного класса. Технические условия»

6. ГОСТ 9940-81 «Трубы бесшовные горячедеформированные из коррозионно-стойкой стали. Технические условия». – М.: Стандартиформ, 2010.– 8 с.

7. СТО 79814898 111-2009 «Детали и элементы трубопроводов атомных станций из коррозионно-стойкой стали на давление до 2,2 МПа (22 кгс/см²). Колена крутоизогнутые. Конструкция и размеры».

8. ГОСТ 5632-2014 «Легированные нержавеющие стали и сплавы коррозионно-стойкие, жаростойкие и жаропрочные. Марки». – М.: Стандартиформ, 2015.– 48 с.

9. Моисеенко В. П. Материалы и их поведение при сварке: учебное пособие/ В.П. Моисеенко. – Ростов н/Д: Феникс, 2009. – 300 с. ил.: – (высшее образование).

10. <http://sibirsvarka.ru/catalog/stanki-termicheskoy-rezki-s-chpu/sibir-arm-1500kh3000>.

11. <https://weber.ru/device/valkovie-listogibi/575/>.

12. <https://k2tool.ru/catalog/135-abm-28>.

					ЮУрГУ-15.03.01.2020.475.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		115

13. ГОСТ 7798-70 «Болты с шестигранной головкой класса точности В. Конструкция и размеры». – М.: Стандартиформ, 2010.– 9 с.

14. ГОСТ 5915-70 «Гайки шестигранные класса точности В. Конструкция и размеры». – М.: Стандартиформ, 2010.– 4 с.

15. НП 104-18 «Сварка и наплавка оборудования и трубопроводов энергетических установок».

16. ГОСТ 14771-76 «Дуговая сварка в защитном газе. Соединения сварные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры». – М.: Стандартиформ, 2007.– 37 с.

17. ГОСТ 23518-79 «Дуговая сварка в защитных газах. Соединения сварные под острыми и тупыми углами. Основные типы, конструктивные элементы и размеры». – М.: Стандартиформ, 2011.– 26 с.

18. <https://www.vekpro.ru/samocentriruyushiesya-rolikovie-vrashateli-hgz/>.

19. ГОСТ 16037-80 «Соединения сварные стальных трубопроводов. Основные типы, конструктивные элементы и размеры». – М.: ИПК издательство стандартов, 1998. – 23 с.

20. ГОСТ 10157-2016 «Аргон газообразный и жидкий. Технические условия». – М.: Стандартиформ, 2016.– 23 с.

21. ГОСТ 2246-70 «Проволока стальная сварочная. Технические условия». – М.: ИПК издательство стандартов, 2003. – 18 с.

22. https://aurora-online.ru/catalog/welding/tig_svarka/4150/.

23. <https://www.welding-russia.ru/catalog.html?itemid=16667>.

24. <http://svarkainfo.ru>.

25. ГОСТ 11533-75 «Автоматическая и полуавтоматическая дуговая сварка под флюсом. Соединения сварные под острыми и тупыми углами. Основные типы, конструктивные элементы и размеры». – М.: Стандартиформ, 2011.– 26 с.

26. ГОСТ 52222-2014 «Флюсы сварочные плавленные для автоматической сварки. Технические условия». – М.: Стандартиформ, 2010.– 12 с.

27. <https://weldelec.com/ct-26/>.

28. Акулов, А. И. Технология и оборудования сварки плавлением. Учебник для

					ЮУрГУ-15.03.01.2020.475.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		116

студентов вузов/ А. И. Акулов, Г. А. Бельчук, В. П. Демянцевич. – М.: «Машиностроение», 1977. – 432с. с ил.

29. Зайцев, Н. Л. Теоретические основы сварки плавлением: учебное пособие/ Н.Л. Зайцев. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2014. – 78 с.

30. Шахматов, М. В. Технология изготовления и расчет сварных оболочек/ М. В. Шахматов, В. В. Ерофеев, В. В. Коваленко – Уфа: Полиграфкомбинат, 1999. – 272 с.

31. <http://струбцины.рф>.

32. <https://profinstrument.su/good/tsentrator-zvennyu-narujnyu-tszn-1220/>.

33. <https://svarcom.net/katalog/automation/saw/tracktors/tractor-cruiser-dx.html>.

34. <https://www.welding-russia.ru/catalog.html?itemid=17217>.

35. <http://svarochnyeavtomaty.ru/production/avtomaticheskaya-svarka/svarochnye-golovki/kjellberg-ka-2-up-svarochnaya-golovka-dlya-svarki-pod-flyusom/>.

36. <https://k2tool.ru/catalog/974-svarochnye-kolonny-i-linii-promotech-sawmig-mag>.

37. <https://k2tool.ru/catalog/0111-svarochnye-pozicionery>.

38. <https://sktprom.ru/katalog-produkczii/nerazrushayushhij-kontrol/rentgenograficheskij-kontrol/apparatyi-postoyannogo-dejstviya/rentgenovskij-apparat-eresco-65-mf4>.

39. ПБ 03-440-02 «Правила аттестации персонала в области неразрушающего контроля».

40. ГОСТ 7512-82 «Контроль неразрушающий. Соединения сварные. Радиографический метод». М.: ИПК издательство стандартов, 1998. – 18 с.

41. НПБ 105-03 «Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности»

42. СТО ЮУрГУ 04-2008. Курсовое и дипломное проектирование. Общие требования к содержанию и оформлению. Компьютерная версия. – 2-е изд. перераб./ Составители: Т. И. Парубочая, Н. В. Сырейщикова, В. И. Гузеев, Л. В. Винокурова. – Челябинск: Изд. ЮУрГУ, 2008. – 56 с.

					ЮУрГУ-15.03.01.2020.475.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		117