

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

« 10 » июня 2019 г.

Участок сборки и сварки гусака манифольда на ПАО «Сургутнефтегаз»

**ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ
ЮУрГУ-15.03.01.2019.021 ПЗ ВКР**

Руководитель работы

_____ Должность

А.М. Уланов

_____ Подпись

И.О., Фамилия

« 06 » июня 2019 г.

Автор работы

студент группы П-540

_____ К.С. Маляров

« 06 » июня 2019 г.

Нормоконтролёр

старший преподаватель

_____ Ю.В. Безганс

« 10 » июня 2019 г.

Челябинск, 2019

					15.03.01.2019.021.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		5

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	7
1 КОНСТРУКТОРСКИЙ РАЗДЕЛ.....	8
1.1 Описание конструкции гусака манифольда.....	8
1.2 Описание основного металла гусака.....	13
2 ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ.....	19
2.1 Базовый технологический процесс изготовления гусака.....	19
2.2 Проектируемый вариант технологии изготовления гусака.....	28
2.3 Выбор способа сварки.....	30
2.4 Выбор сварочных материалов.....	31
2.5 Расчет режимов сварки.....	32
2.5.1 Расчет режимов сварки шва №1.....	34
2.5.2 Расчет режимов сварки шва №2.....	52
2.5.3 Расчет режимов сварки шва №3.....	64
2.5.4 Расчет режимов сварки шва №4.....	68
2.5.5 Расчет режимов сварки шва №5.....	72
2.5.6 Расчет режимов сварки шва №6.....	75
2.6 Выбор оборудования.....	84
3 КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА.....	89
3.1 Способы и средства контроля качества.....	89
3.2 Допустимые и недопустимые дефекты.....	91
3.3 Оборудование для контроля качества.....	101
3.4 Методика контроля.....	103
3.4.1 Визуальный и измерительный контроль.....	103
3.4.2 Радиографический контроль.....	104
3.4.3 Гидравлические испытания.....	105
4 БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ.....	105
4.1 Анализ вредных и опасных производственных факторов.....	105

					15.03.01.2019.021.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		6

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	110
4.3 Безопасность при работе с подъемными устройствами	110
4.4 Планировка размещения оборудования и рабочих мест участка	111
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	113
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	114
ПРИЛОЖЕНИЕ	116

					15.03.01.2019.021.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		7

ВВЕДЕНИЕ

Увеличение добычи нефти и газа на нефтяных и газовых месторождениях является важной задачей в современной экономике, особенно в Российской Федерации.

При разработке месторождений применяется сложное технологическое оборудование, без которого трудно представить получение запасов нефти и газа в нынешнем объеме.

ПАО «Сургутнефтегаз» занимается разработкой нефтяных и газовых месторождений. Для этого применяются буровые установки. Для транспортирования бурового раствора от буровых насосов до стояка в буровой вышке и к трубопроводу, обвязывающему устройства системы приготовления и очистки раствора на буровых установках для глубокого разведочного и эксплуатационного бурения, применяется устройство, называемое манифольд.

Манифольд является элементом нефтегазовой трубопроводной арматуры и представляет собой трубопроводы, арматуру и прочее оборудование (компенсаторы и буровые рукава), закрепленные на одном основании.

Манифольды рассчитаны на работу в условиях высоких давлений и соединяются в соответствии с определенной схемой.

В состав манифольда также входят линии дросселирования и глушения. Они сделаны в виде блоков, соединенных с превенторным блоком с помощью магистральных линий.

В процессе эксплуатации манифольд выходит из строя, и одним из первых и наиболее нагруженных элементов является гусак.

В выпускной квалификационной работе рассматривается технологический процесс изготовления гусака манифольда в условиях монтажной площадки. Рассматриваемая технология включает в себя заготовительные, сборочные и сварочные операции, контроль качества.

					15.03.01.2019.021.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		8

1 КОНСТРУКТОРСКИЙ РАЗДЕЛ

1.1 Описание конструкции гусака манифольда

Манифольд предназначен для транспортирования бурового раствора от буровых насосов до стояка в буровой вышке и к трубопроводу, обвязывающему устройства системы приготовления и очистки раствора на буровых установках для глубокого разведочного и эксплуатационного бурения.

Манифольд является элементом нефтегазовой трубопроводной арматуры и представляет собой трубопроводы, арматуру и прочее оборудование (компенсаторы и буровые рукава), закрепленные на одном основании. Он рассчитан на работу в условиях воздействия высокого давления от транспортирования разрабатываемой среды. Наиболее нагруженным элементом в конструкции манифольда является гусак.

Гусак манифольда показан на рисунке 1.1.

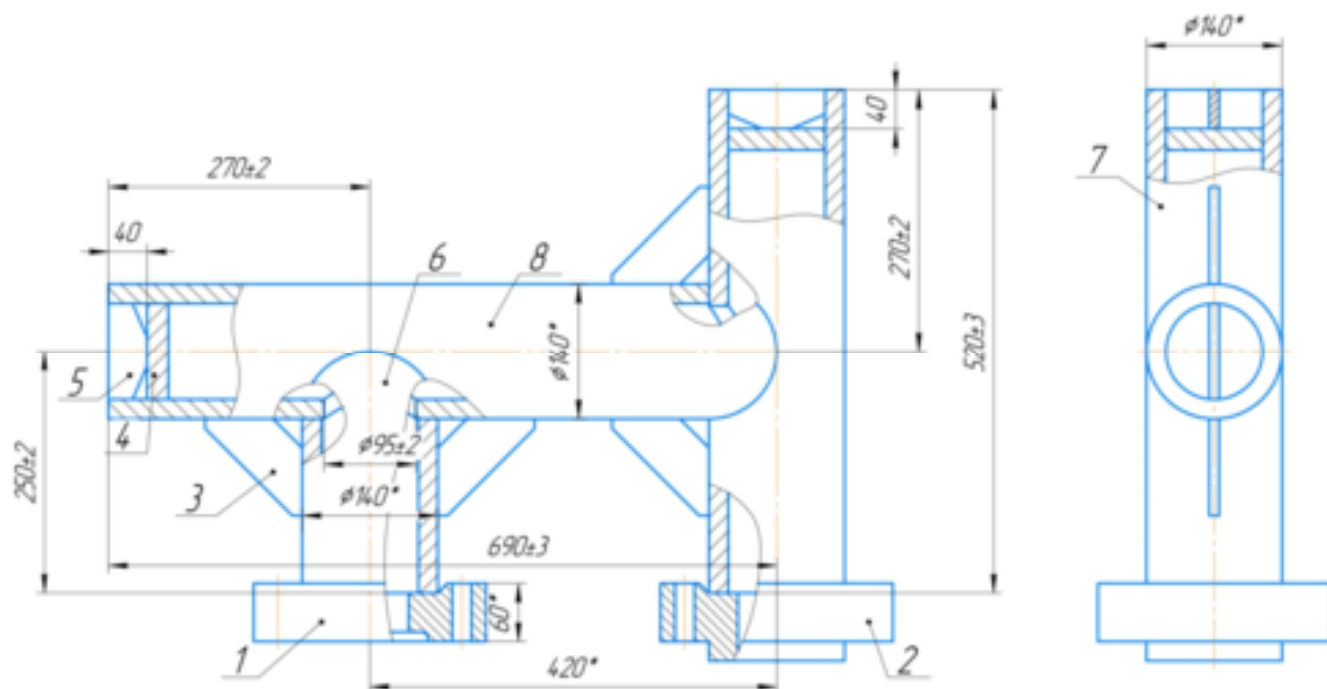


Рисунок 1.1 – Гусак манифольда:

- 1 – Фланец; 2 – Фланец; 3 – Ребро жесткости; 4 – Заглушка; 5 – Усиление;
6 – Патрубок; 7 – Стояк; 8 – Магистраль

В состав конструкции гусака входят следующие элементы:

					15.03.01.2019.021.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		9

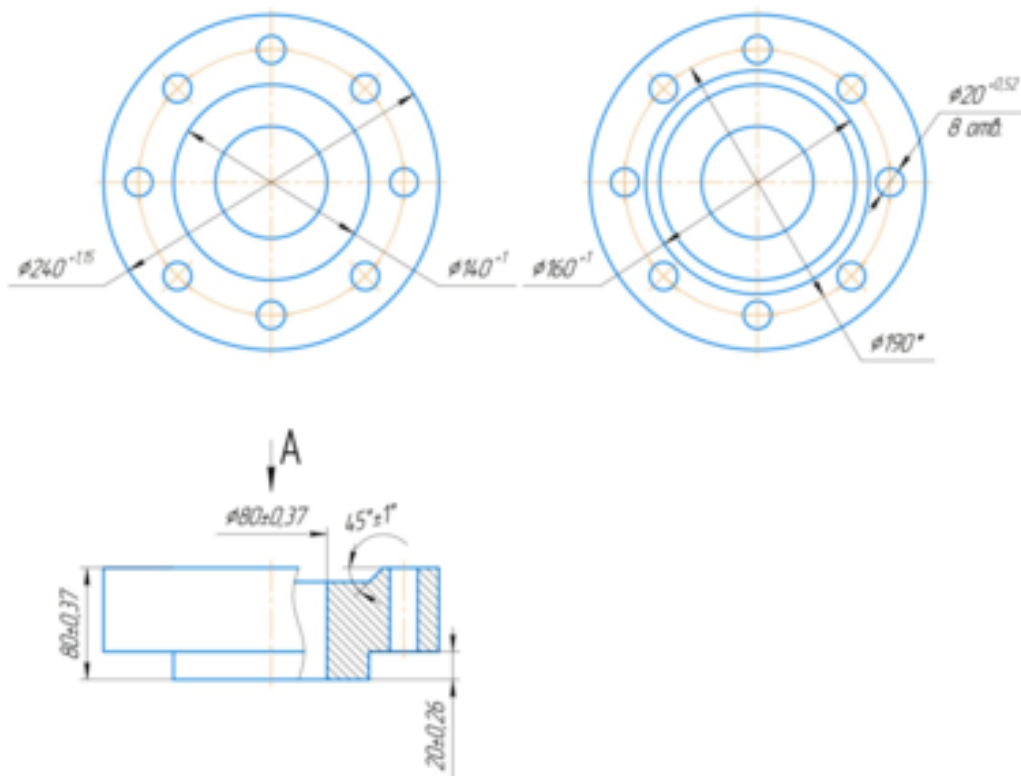


Рисунок 1.3 – Фланец (позиция 2 на рисунке 1.1)

Ребро жесткости (позиция 3 на рисунке 1.1) представлено на рисунке 1.4.

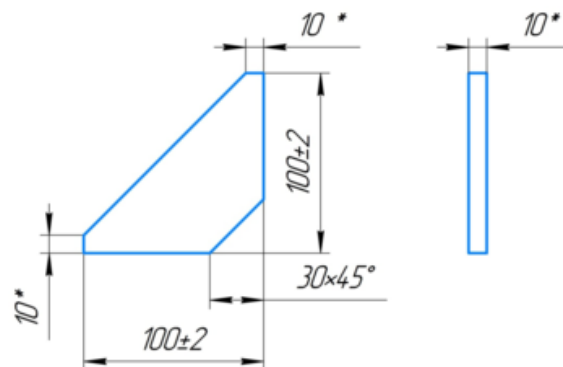


Рисунок 1.4 – Ребро жесткости (позиция 3 на рисунке 1.1)

Заглушка (позиция 4 на рисунке 1.1) представлена на рисунке 1.5.

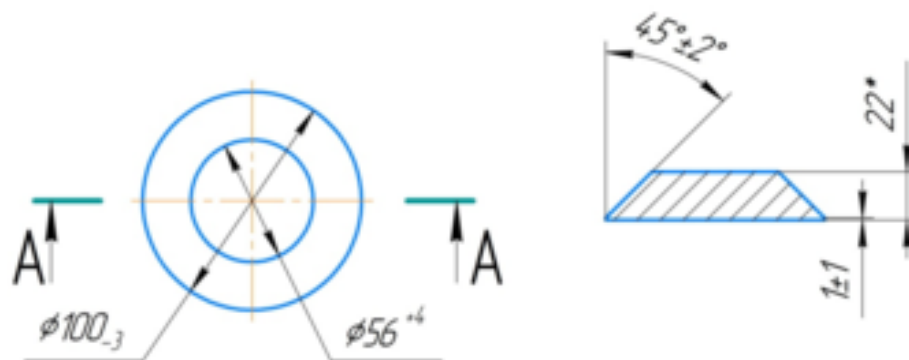


Рисунок 1.5 – Заглушка (позиция 4 на рисунке 1.1)

Усиление (позиция 5 на рисунке 1.1) представлено на рисунке 1.6.

										Лист
										11
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	15.03.01.2019.021.00 ПЗ					

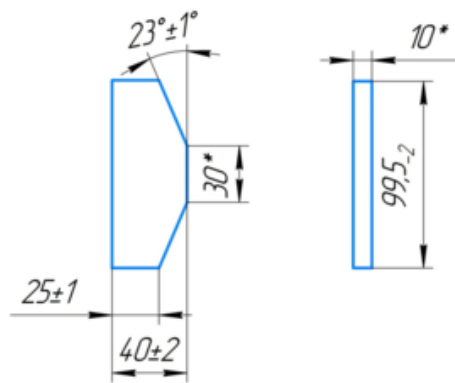


Рисунок 1.6 – Усиление (позиция 5 на рисунке 1.1)

Патрубок (позиция 6 на рисунке 1.1) представлен на рисунке 1.7.

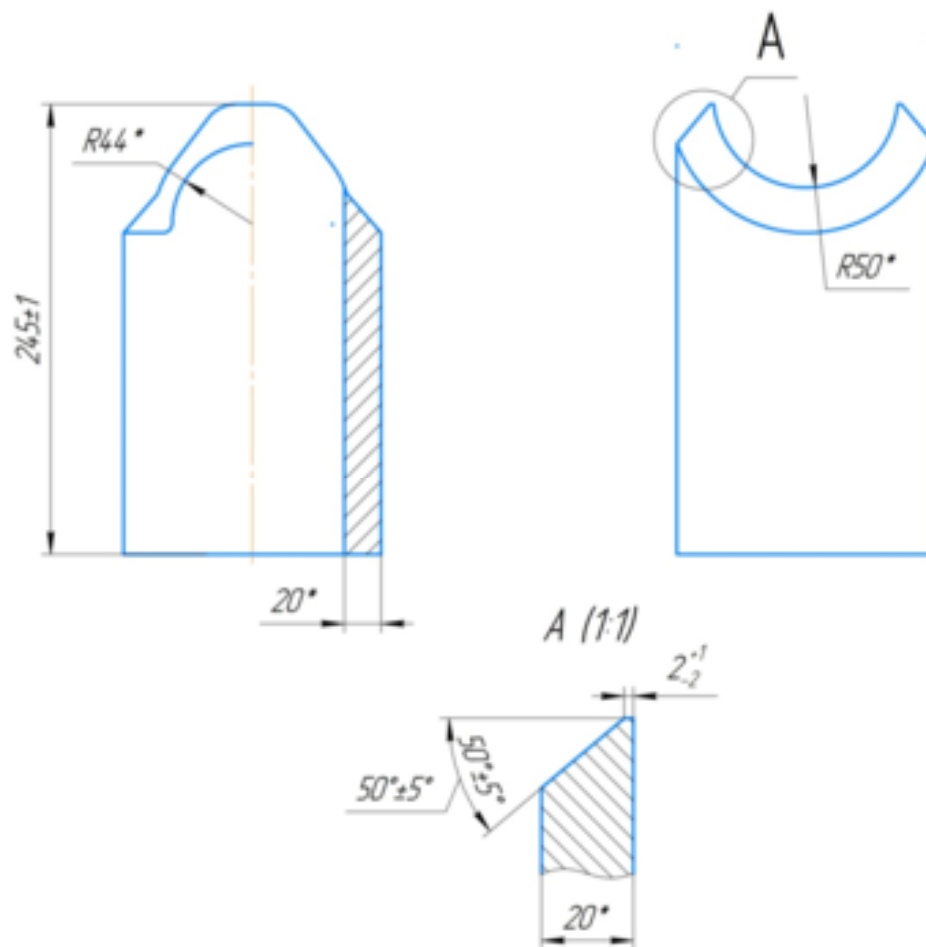


Рисунок 1.7 – Патрубок (позиция 6 на рисунке 1.1)

Стояк (позиция 7 на рисунке 1.1) представлен на рисунке 1.8.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

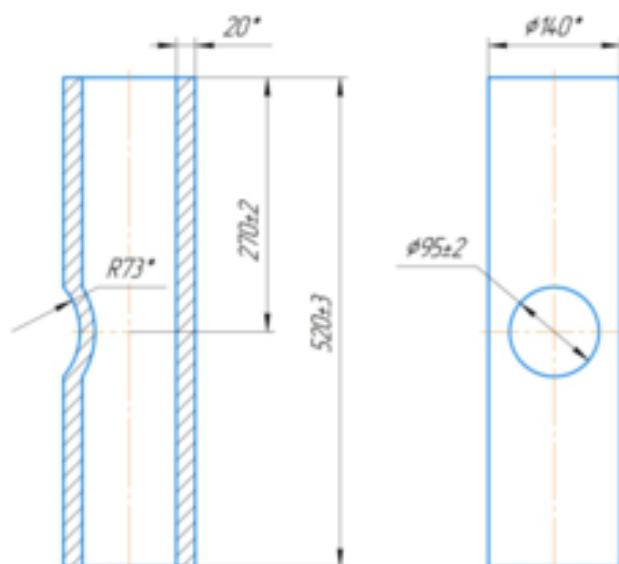


Рисунок 1.8 – Стояк (позиция 7 на рисунке 1.1)

Магистраль (позиция 8 на рисунке 1.1) представлена на рисунке 1.9.

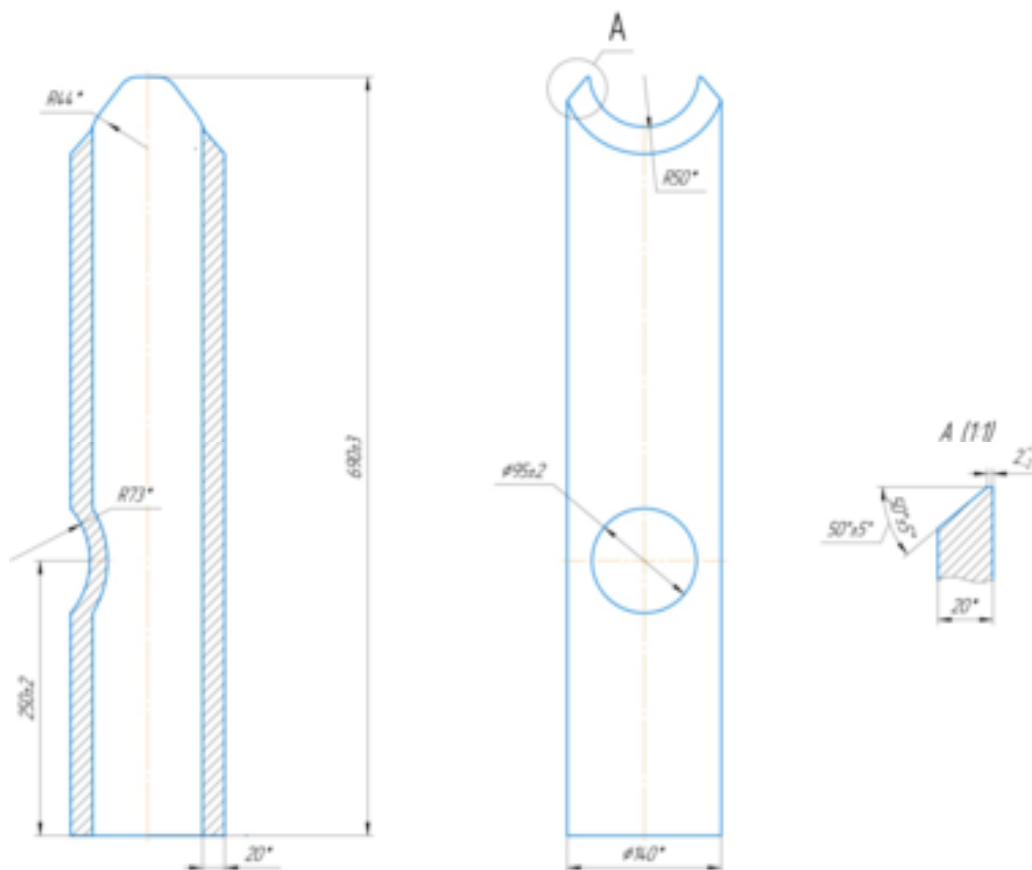


Рисунок 1.9 – Магистраль (позиция 8 на рисунке 1.1)

Гусак представляет собой цельносварную конструкцию, воспринимающую на себе высокие давления от работы трубопроводов при разработке нефтяных и газовых месторождений.

Схема расположения и вид сварных швов показаны на рисунке 1.10.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

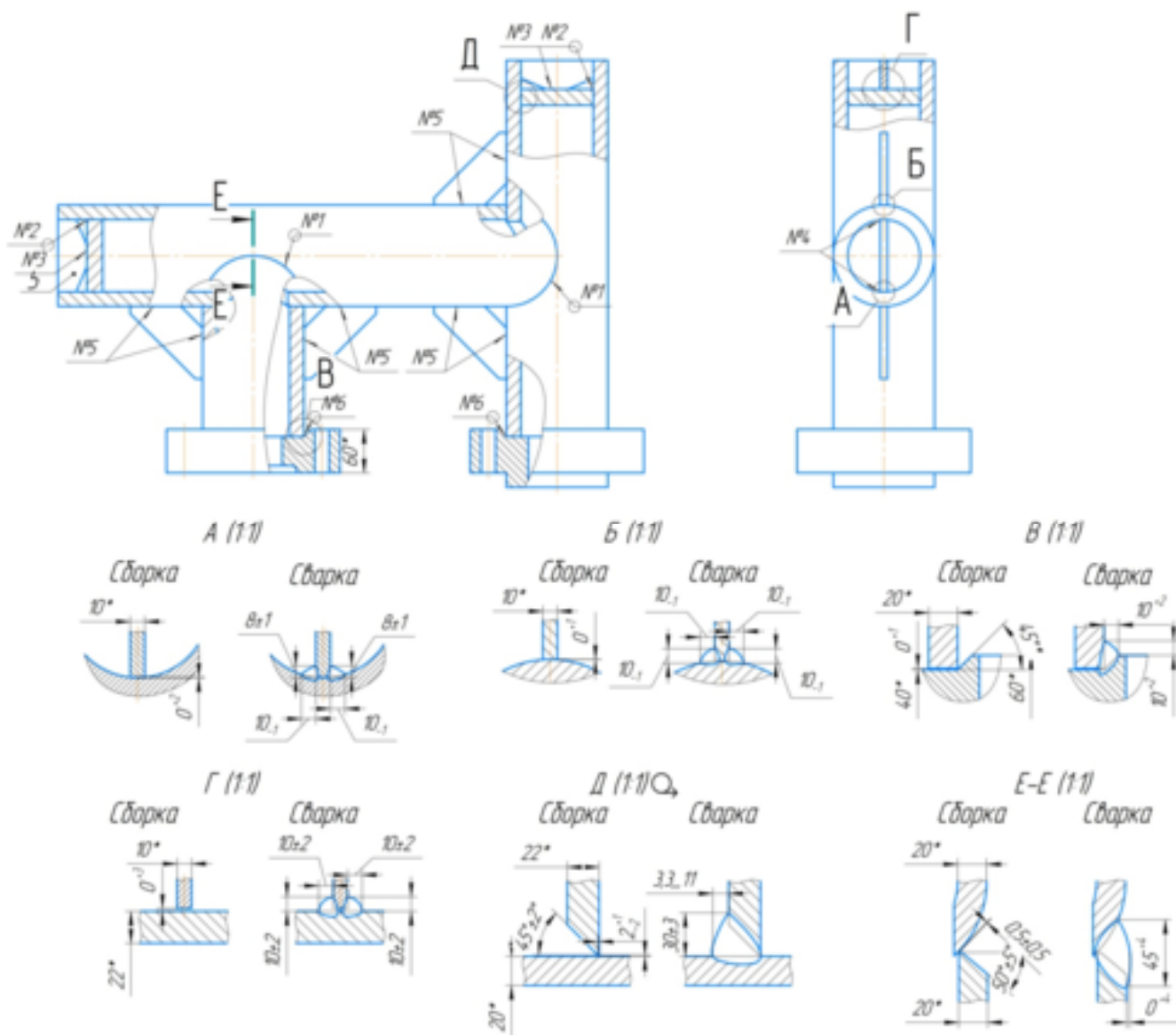


Рисунок 1.10 – Схема расположения и вид сварных швов

1.2 Описание основного металла гусака

Листовой прокат, применяемый при изготовлении гусака манифольда, поставляется по требованиям [1]. Требования данного документа относятся к геометрическим параметрам поставляемых листов (длина, толщина, ширина), а также к качеству поверхности листов. Также, в источнике [1] оговариваются возможные отклонения от номинальных значений размеров поставляемых листов.

Маркой стали поставляемых листов является сталь марки СтЗсп. Требования к прокату из данной стали оговариваются в [2]. Требования данного документа относятся к химическому составу поставляемой стали. Химический состав стали

									Лист
									14
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	15.03.01.2019.021.00 ПЗ				

СтЗсп представлен в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Химический состав стали СтЗсп [2]

В процентах

C	Si	Mn	Ni	Cr	Cu	N	S	P
			Не более					
0,14...0,22	0,15...0,3	0,4...0,65	0,3	0,3	0,3	0,008	0,05	0,04

Механические свойства СтЗсп приведены в различных нормативных документах в соответствии с видом проката. При поставке листового проката механические свойства представлены в [3].

Механические свойства стали СтЗсп представлены в таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Механические свойства стали СтЗсп [3]

σ_B , МПа	σ_T , МПа	δ_5 , %
370...480	245	26

Сварные соединения образуются при плавлении металла. Из-за малого объема сварочной ванны происходит быстрое охлаждение зоны сварного шва, что может привести к появлению трещин. Оценка склонности стали к образованию холодных трещин производится расчетом эквивалента углерода по формуле (1.1) из [3]:

$$C_{\text{Э}} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Si}{24} + \frac{Cr}{5} + \frac{Ni}{40} + \frac{Cu}{13} + \frac{V}{14} + \frac{P}{2}, \quad (1.1)$$

где C, Mn, Si, Cr, Ni, Cu, V, P – максимальное химическое содержание в рассматриваемой стали углерода (C), марганца (Mn), кремния (Si), хрома (Cr), никеля (Ni), меди (Cu), ванадия (V), фосфора (P), %.

Подставим значения содержания химических элементов в стали СтЗсп в формулу (1.1), и получим, что значение $C_{\text{Э}}$:

$$C_{\text{Э}} = 0,22 + \frac{0,65}{6} + \frac{0,3}{24} + \frac{0,3}{5} + \frac{0,3}{40} + \frac{0,3}{13} + \frac{0,04}{2} = 0,46 \%$$

Для углеродистых сталей предельное значение эквивалента углерода $C_{\text{Э}}$, при котором не применяется предварительный подогрев, составляет 0,45 %. Полученное значение эквивалента углерода для стали СтЗсп превышает требуемое, поэтому, теоретически, перед сваркой требуется проводить предварительный подогрев.

Температуру предварительного подогрева определим по формуле (1.2) из [4]:

$$T_{\text{O}} = 350 \cdot (|C|_{\text{Э}} - 0,25)^{0,5}, \quad (1.2)$$

где $|C|_{\text{Э}}$ – полный эквивалент углерода, %.

Полный эквивалент углерода $|C|_{\text{Э}}$ определим по формуле (1.3) из [4]:

$$|C|_{\text{Э}} = |C|_{\text{X}} + |C|_{\text{P}}, \quad (1.3)$$

где $|C|_{\text{X}}$ – химический эквивалент углерода, %;

$|C|_{\text{P}}$ – размерный эквивалент углерода, %.

Химический эквивалент углерода $|C|_{\text{X}}$ определим по формуле (1.4) из [4]:

$$|C|_{\text{X}} = C + \frac{\text{Mn} + \text{Cr}}{9} + \frac{\text{Ni}}{18} + \frac{7\text{Mo}}{90}, \quad (1.4)$$

где C, Mn, Cr, Mo, Ni – максимальное химическое содержание в рассматриваемой стали углерода (C), марганца (Mn), хрома (Cr), молибдена (Mo), никеля (Ni), проверенное ковшовой пробой, %.

Подставим принятые значения содержания химических элементов в формулу (1.4) и получим, что химический эквивалент углерода $|C|_{\text{X}}$

$$|C|_X = 0,22 + \frac{0,65 + 0,3}{9} + \frac{0,3}{18} = 0,34 \%$$

Размерный эквивалент углерода $|C|_P$ определим по формуле (1.5) из [4]:

$$|C|_P = 0,005S|C|_X, \quad (1.5)$$

где $S = 22$ – максимальная толщина свариваемых элементов из листового проката, мм.

Следовательно, по формуле (1.5)

$$|C|_P = 0,005 \cdot 22 \cdot 0,34 = 0,0374 \%$$

Подставим полученные значения $|C|_X$ и $|C|_P$ в формулу (1.3) и получим, что полный эквивалент углерода $|C|_Э$

$$|C|_Э = 0,34 + 0,0374 = 0,3774 \%$$

Таким образом, по формуле (1.2) получим, что температура предварительного подогрева T_0

$$T_0 = 350 \cdot (0,3774 - 0,25)^{0,5} = 125 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Полученное значение температуры является наиболее оптимальным для того, чтобы избежать появления холодных трещин. В то же время, данное значение температуры получено расчетом по максимально возможному содержанию химических элементов. Фактическое значение химических элементов отбирается из сертификатных данных, согласно которым предварительный подогрев для стали СтЗсп не применяется, так как фактическое значение эквивалента углерода не превышает 0,45 %.

					15.03.01.2019.021.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		17

Трубы для патрубка, магистрали и стояка поставляются согласно требованиям [5]. Маркой стали труб является сталь 20, поставляемая по механическим свойствам согласно требованиям [6].

Химический состав стали 20 приведен в таблице 1.3 и регламентируется [7].

Таблица 1.3 – Химический состав стали 20 [7]

В процентах

C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Cu
			Не более				
0,17...0,24	0,17...0,37	0,35...0,65	0,035	0,03	0,3	0,3	0,3

Механические свойства труб из стали 20 представлены в таблице 1.4.

Таблица 1.4 – Механические свойства труб из стали 20 [6]

σ_B , МПа	σ_T , МПа	δ_5 , %
412	245	21

Произведем оценку склонности стали к образованию холодных трещин по формуле (1.1)

$$C_{\Sigma} = 0,24 + \frac{0,6}{6} + \frac{0,37}{24} + \frac{0,3}{5} + \frac{0,3}{40} + \frac{0,3}{13} + \frac{0,03}{2} = 0,46 \%$$

Для углеродистых сталей предельное значение эквивалента углерода C_{Σ} , при котором не применяется предварительный подогрев, составляет 0,45 %. Полученное значение эквивалента углерода для стали 20 превышает требуемое, поэтому перед сваркой требуется проводить предварительный подогрев.

Химический эквивалент углерода $|C|_X$ определим по формуле (1.4)

$$|C|_X = 0,24 + \frac{0,65 + 0,3}{9} + \frac{0,3}{18} = 0,36 \%$$

Размерный эквивалент углерода $|C|_P$ определим по формуле (1.5)

$$|C|_P = 0,005 \cdot 20 \cdot 0,36 = 0,04 \%$$

Подставим полученные значения $|C|_X$ и $|C|_P$ в формулу (1.3) и получим, что полный эквивалент углерода $|C|_Э$

$$|C|_Э = 0,36 + 0,04 = 0,4 \%$$

Таким образом, по формуле (1.2) получим, что температура предварительного подогрева T_0

$$T_0 = 350 \cdot (0,4 - 0,25)^{0,5} = 135,6 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Полученное значение температуры является наиболее оптимальным для того, чтобы избежать появления холодных трещин. В то же время, данное значение температуры получено расчетом по максимально возможному содержанию химических элементов. Фактическое значение химических элементов отбирается из сертификатных данных, согласно которым предварительный подогрев для стали 20 не применяется, так как фактическое значение эквивалента углерода не превышает 0,45 %.

Выводы по разделу 1:

В разделе 1 рассматривается конструкция гусака манифольда. Описаны его геометрические размеры, условия работы. Проведен обзор применяемых марок стали. Для каждой стали рассчитана свариваемость и определена температура предварительного подогрева.

					15.03.01.2019.021.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		19

2 ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

2.1 Базовый технологический процесс изготовления гусака

Все этапы изготовления гусака манифольда проводятся на монтажной площадке. Изготовление гусака манифольда начинается с входного контроля. На данном этапе проверяются по данным сертификатов и по геометрическим параметрам следующие детали:

1. Трубы;
2. Фланцы;
3. Заготовки ребер жесткости, заглушек и усилений.

Изготовление гусака производится в монтажных условиях в крытых тентах, установленных на расстоянии не более 200 м от места бурения.

Изготовление патрубка, стояка и магистрали производится по месту ручной газовой резкой по лекалу. Отрезка труб по длине также производится газовой резкой вручную. Потом грат и шлак зачищаются шлифовальными машинками.

В качестве рабочего инструмента применяется резак пропановый марки Сварог РЗП-02М, показанный на рисунке 2.1.

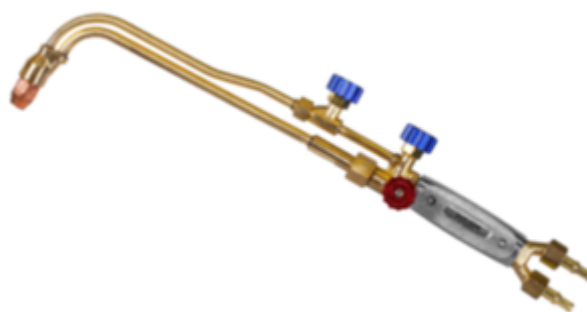


Рисунок 2.1 – Резак пропановый Сварог РЗП-02М [21]

Фаски на заглушке также изготавливаются вручную при помощи резака Сварог РЗП-02М, показанного на рисунке 2.1.

После резки производится зачистка кромок от грата и шлака шлифовальными машинками до металлического блеска с глубиной зачистки не менее 1 мм для

					15.03.01.2019.021.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		20

толщиной 6 мм. К распоркам приварены упоры, изготовленные из листа толщиной 10 мм для установки стола на полу.

Вначале, собираются и свариваются отдельные узлы, а затем производится укрупнение.

Первичная сборка производится в несколько этапов:

- сборка магистрали с заглушкой;
- сборка стояка с заглушкой и фланцем;
- сборка патрубка с фланцем.

Схема базирования при сборке магистрали с заглушкой показана на рисунке 2.3.

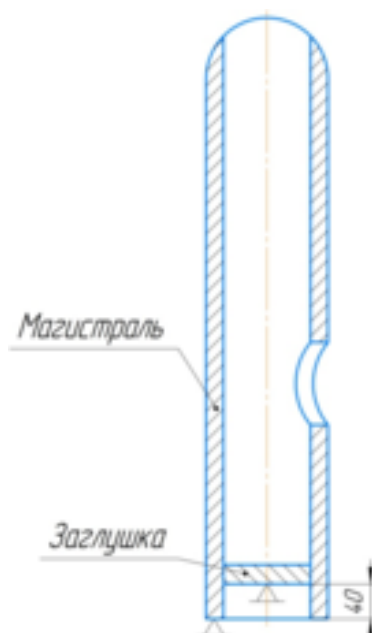


Рисунок 2.3 – Схема базирования при сборке магистрали с заглушкой

В качестве базы при сборке магистрали с заглушкой используется технологическая подложка толщиной не менее 40 мм с диаметром не более 70 мм. На эту подложку устанавливают заглушку. После этого устанавливают магистраль. Сборка фиксируется прихваткой, которую сваривают ручной сваркой изнутри.

Схема базирования при сборке стояка с заглушкой и фланцем показана на рисунке 2.4.

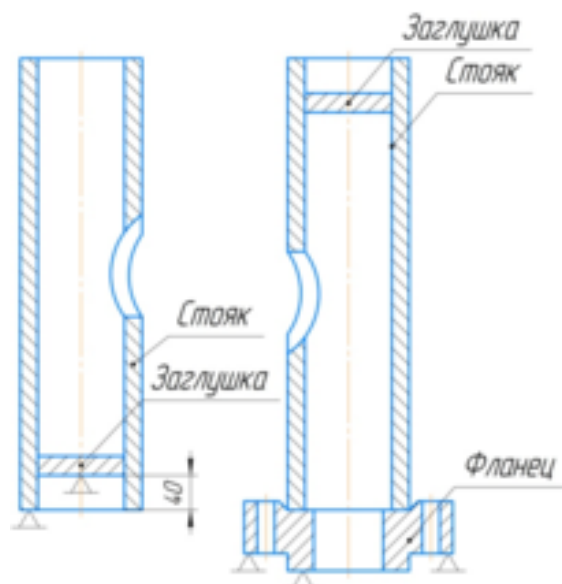


Рисунок 2.4 – Схема базирования при сборке стояка с заглушкой и фланцем

В качестве базы при сборке магистрали с заглушкой используется технологическая подложка толщиной не менее 40 мм с диаметром не более 70 мм. На эту подложку устанавливают заглушку. После этого устанавливают магистраль. Сборка фиксируется прихватками, которые сваривают ручной сваркой изнутри. После сборки магистрали с заглушкой, узел переворачивают на 180° и устанавливают на фланец, который установлен на сборочном столе. Фиксирование сборки производится прихватками. Сборка заглушки со стояком фиксируется одной прихваткой изнутри, а сборка патрубка со стояком фиксируется не менее, чем двумя прихватками.

Аналогично производится сборка патрубка со вторым фланцем.

Прихватки свариваются ручной дуговой сваркой электродами марки УОНИ 13/55 диаметром 3 мм на режимах, показанных в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Режимы сварки прихваток

И _{св} , А	U _д , В
100...120	19...21

После сварки прихватки осматриваются и, при наличии трещин, удаляются и свариваются заново с последующим визуальным контролем.

После сварки и осмотра прихваток сваривают швы №2 и №6 (согласно рисунку 1.10), показанные на рисунках 2.5 и 2.6.

– сборка стояка с усилением.

Схема сборки магистрали и стояка с усилением показана на рисунке 2.5.

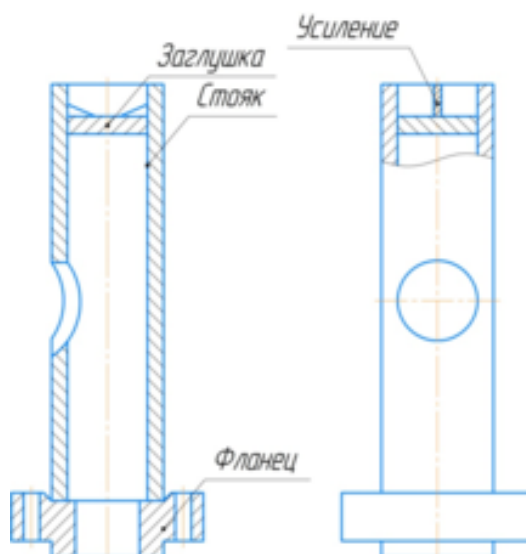


Рисунок 2.5 – Схема сборки магистрали и стояка с усилением

Фиксирование усиления производится прихватками на режимах, показанных в таблице 2.1.

После сварки и осмотра прихваток сваривают швы №3 и №4 (согласно рисунку 1.10), показанные на рисунках 2.7 и 2.8.

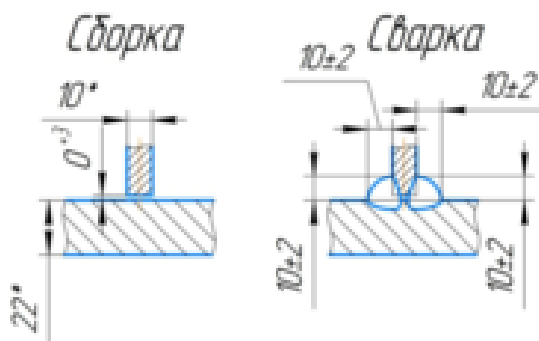


Рисунок 2.7 – Сварной шов №3

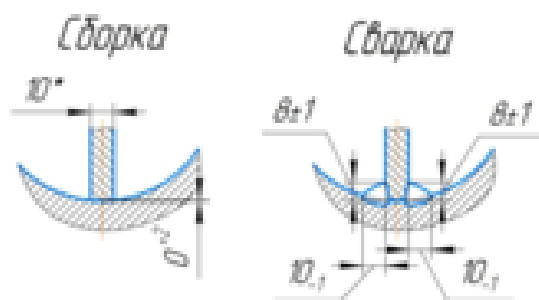


Рисунок 2.8 – Сварной шов №4

Сварка производится ручной дуговой сваркой электродами марки УОНИ 13/55 диаметром 3 мм на режимах, показанных в таблице 2.3.

									Лист
									25
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	15.03.01.2019.021.00 ПЗ				

Таблица 2.3 – Режимы сварки швов №3 и №4

Номер шва	I _{св} , А	U _д , В	Количество проходов
3	130...150	23...25	2
4	110...130	20...23	2

После сварки швы и околошовную зону зачищают от остатков шлака и брызг расплавленного металла. После этого швы осматриваются визуально на соответствие требованиям геометрических размеров, показанным на рисунках 2.7 и 2.8.

Последним этапом сборки является укрупнение ранее сваренных узлов. В первую очередь производится сборка и сварка магистрали, стояка и патрубка между собой. После этого свариваются прихватки на режимах, указанных в таблице 2.1. Далее свариваются сварные швы №1 (согласно рисунку 1.10), показанные на рисунке 2.9.

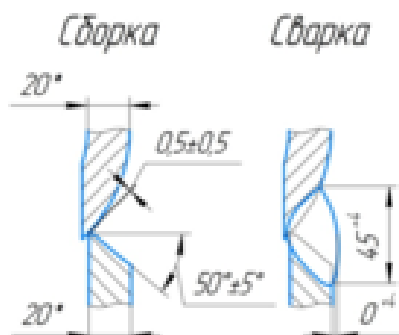


Рисунок 2.9 – Сварной шов №1

При первом проходе сваривается сначала одна половина шва №1, а затем узел переворачивают и сваривают вторую половину шва №1. Далее производится осмотр первого прохода, узел снимается со стола и начинается сварка заполняющих и облицовочных проходов шва №1.

После сварки шва №1 узел снова устанавливают на ложементы сборочного стола и устанавливаются ребра жесткости. После этого, в этом же положении сваривается шов №5 (согласно рисунку 1.10), показанный на рисунке 2.10, приварки ребер жесткости к стояку, магистрали и патрубку.



Рисунок 2.11 – Источник питания марки ВДУ-500 Урал [22]

Технические характеристики выпрямителя ВДУ-500 Урал приведены в таблице 2.5.

Таблица 2.5 – Технические характеристики выпрямителя ВДУ-500 Урал [22]

Характеристика	Значение
Значение номинального тока, А	500
Номинальное напряжение дуги, В	39
Пределы регулирования сварочного тока, А	50...510
Пределы регулирования рабочего напряжения, В	15...40
Напряжение холостого хода, В	85
Номинальное напряжение питающей сети при частоте 50 Гц, В	3×380
Потребляемая мощность, кВА	33
Габаритные размеры, мм	840×530×850
Вес, кг	230

Газовая резка производится при помощи смеси кислорода с пропаном.

Ввиду того, что гусак манифольда является важной частью системы, его изготовление производится рядом с каждой буровой. При этом технологии изготовления не уделяется достаточно внимания, что приводит к образованию следующих факторов, влияющих на качество и производительность:

- низкое качество изготавливаемых деталей;
- применение ручной дуговой сварки;
- отсутствие приспособления для вращения при сварке.

Устранить выявленные факторы возможно путем внедрения следующих мероприятий:

- применить при нарезании фасок плазменную резку;
- для нарезания контурных элементов труб предлагается применить термический труборез;
- рассмотреть способы замены ручной дуговой сварки на более производительный;
- подобрать сварочный вращатель для вращения гусака при сварке.

2.2 Проектируемый вариант технологии изготовления гусака

В существующем варианте технологии изготовления гусака манифольда заготовки труб для патрубка, магистрали и стояка производятся при помощи газовой сварки вручную, то есть с применением резака Сварог РЗП-02М, показанного на рисунке 2.1. Этим же способом изготавливаются фигурные вырезы в трубных заготовках, а также нарезаются фаски. В результате этого получается неровный рез с глубокими зазубринами, который приходится долго зачищать шлифовальными машинками. Из-за этого сильно снижается качество сборочных деталей, что в дальнейшем затрудняет качественную сборку.

Для того, чтобы улучшить качество при проведении заготовительных операций труб предлагается применить портативный станок для плазменной резки труб и заготовок марки Velmard 1030-T, показанный на рисунке 2.12.

					15.03.01.2019.021.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		29



Рисунок 2.12 – Станок Velmard 1030-Т [23]

Данный станок предназначен для плазменной резки трубного проката на узлы, а также для вырезания фигурных элементов в заготовках и для резки фасок. В состав станка входит вращатель с трехкулачковым патроном, а также дополнительно станок комплектуется роликоопорами.

Характеристики станка Velmard 1030-Т представлены в таблице 2.6.

Таблица 2.6 – Характеристики станка Velmard 1030-Т [23]

Характеристика	Значение
Максимальная длина трубы, мм	3000
Минимальный диаметр трубы, мм	50
Максимальный диаметр трубы, мм	610
Минимальная толщина стенки, мм	4
Максимальная толщина стенки, мм	22
Максимальная скорость резки, мм/мин	2000

На этом станке будет производиться как нарезка труб в заготовки, так и фигурная резка заготовок с одновременным формированием фаски.

2.3 Выбор способа сварки

Для усовершенствования процесса изготовления гусака манифольда предлагается изменить способ сварки. В настоящее время, наиболее массовыми способами изготовления конструкций являются:

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

Преимуществами сварки под слоем флюса являются:

- более высокая производительность по сравнению со сваркой в защитных газах;
- стабильное качество сварного шва за счет более совершенной защиты сварочной ванны;
- относительно небольшой расход сварочной проволоки и электроэнергии;
- качественные условия труда.

Повышенная производительность при сварке под слоем флюса обеспечивается за счет использования более высоких значений силы сварочного тока, а, следовательно, более высокой плотности тока. Это становится возможным благодаря наличию плотного слоя флюса, который защищает сварочную ванну. Уменьшение потерь на угар и разбрызгивание до величины 1...3 % достигается за счет внутреннего давления дуги на ванну.

Основными недостатками при сварке под слоем флюса являются:

- обеспечение высокой точности сборки деталей;
- нерационально использовать при сварке малых толщин соединяемых элементов;
- стабильность процесса может быть обеспечена только в нижнем положении;
- большое тепловложение в свариваемое изделие, что приводит к появлению больших деформаций, а, следовательно, к дальнейшей термоправке.

Сварка в среде защитных газов обладает меньшей производительностью, по сравнению со сваркой под слоем флюса. Однако, применяется в промышленности довольно широко. Производительность сварки возможно повысить путем

					15.03.01.2019.021.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		31

механизации и автоматизации процесса. Улучшение защиты сварочной ванны от воздействия атмосферного воздуха достигается путем применения не однокомпонентного защитного газа, а смеси газов: углекислота с аргоном, углекислота с аргоном и кислородом, углекислота с гелием, гелий с аргоном. Различные сочетания предназначены для различных условий и зависят также от стоимости.

Достоинствами сварки в среде защитных газов являются:

- возможность выполнения сварки в любом пространственном положении;
- высокая производительность, по сравнению с ручной сваркой;
- лучшие условия труда, по сравнению с ручной сваркой;
- простота оборудования.

Конструкция гусака манифольда затрудняет применение сварки под слоем флюса. Следовательно, наиболее приемлемым способом сварки при изменении технологии является сварка в среде защитных газов. В качестве способа автоматизации выберем механизированную сварку. Установка сварочного робота экономически нецелесообразна из-за высокой стоимости робота и проведения работ на площадке по сезонам. Из-за сложной геометрии швов затруднительно применять также другие средства автоматизации, такие как подвесная сварочная головка, сварочный трактор и другие.

2.4 Выбор сварочных материалов

При изменении технологии сварки с ручной дуговой на механизированную в среде защитных газов требуется выбрать сварочные материалы. К ним относятся сварочная проволока и газовая защита.

При изготовлении гусака манифольда применяется сталь СтЗсп и сталь 20. Данные стали не обладают какими-либо уникальными свойствами, поэтому при сварке изделий из указанным марок сталей широко применяется сварочная проволока марки Св-08Г2С, поставляемая по требованиям [9]. Диаметр проволоки выберем 1,2 мм.

					15.03.01.2019.021.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		32

Химический состав проволоки Св-08Г2С приведен в таблице 2.7.

Таблица 2.7 – Химический состав проволоки Св-08Г2С [9]

В процентах

C	Si	Mn	Ni	P	S	Cr
			Не более			
0,05...0,11	0,7...0,95	1,8...2,1	0,25	0,03	0,025	0,2

Механические свойства металла, наплавленного проволокой Св-08Г2С, представлены в таблице 2.8.

Таблица 2.8 – Механические свойства металла, наплавленного проволокой Св-08Г2С [9]

σ_B , МПа	σ_T , МПа	δ_5 , %
Не менее		
500	400	27

В качестве защитной среды выберем газовую смесь марки М21, поставляемой в соответствии с требованиями [10]. Состав смеси М21:

- CO₂ 15...25 %;
- Ar 75...85 %.

2.5 Расчет режимов сварки

При изменении способа сварки с ручной дуговой сварки на механизированную в среде защитных газов требуется проверить соответствие нормативной документации на типы и геометрические параметры швов. В базовом варианте технологии изготовления сварные швы были следующих типов:

- №1 – У19 согласно [11]. Шов №1 показан на рисунке 2.18.

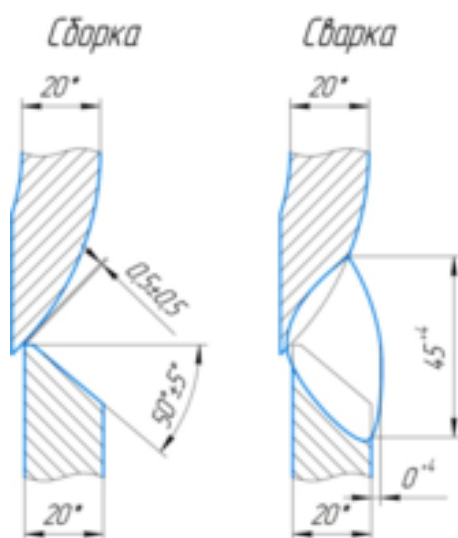


Рисунок 2.18 – Шов №1 [11]

– №2 – Т6 согласно [12]. Шов №2 показан на рисунке 2.19.

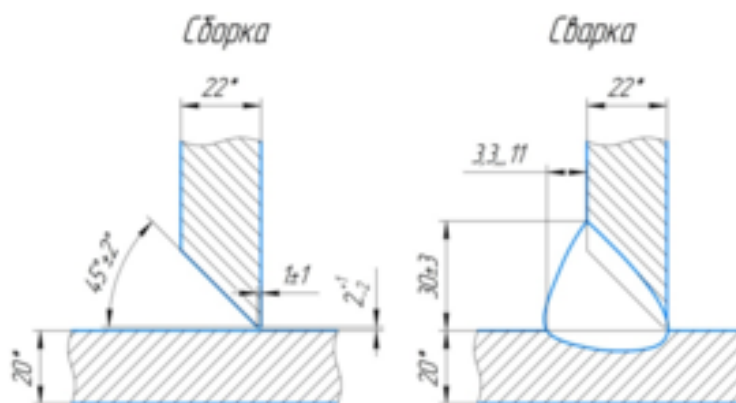


Рисунок 2.19 – Шов №2 [12]

– №3 – Т3 согласно [12]. Шов №3 показан на рисунке 2.20.

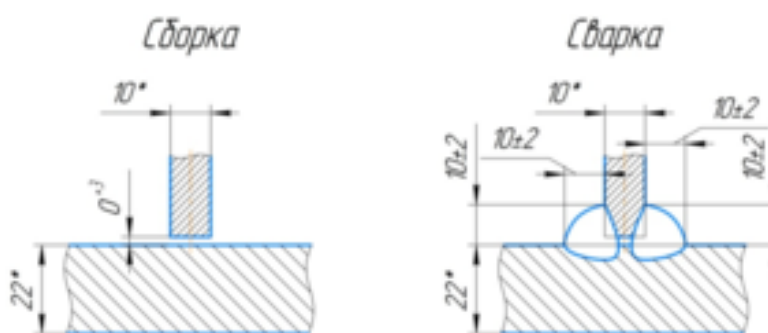


Рисунок 2.20 – Шов №3 [12]

– №4, №5 и №6 – нестандартные сварные швы, показанные на рисунке 2.21.

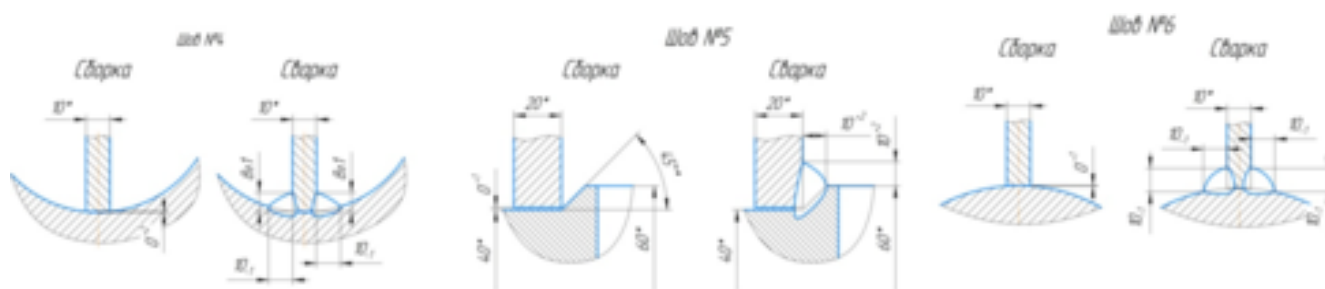


Рисунок 2.21 – Сварные швы №4, №5 и №6

При изменении технологии сварки с ручной дуговой на механизированную в среде защитных газов изменяются нормативные документы.

При сварке шва №1 нормативный документ остается прежним.

При сварке шва №2 тип шва остается прежним, но при этом изменяются параметры разделки кромок и геометрия шва. Вид шва №2 по требованиям [13] показан на рисунке 2.22.

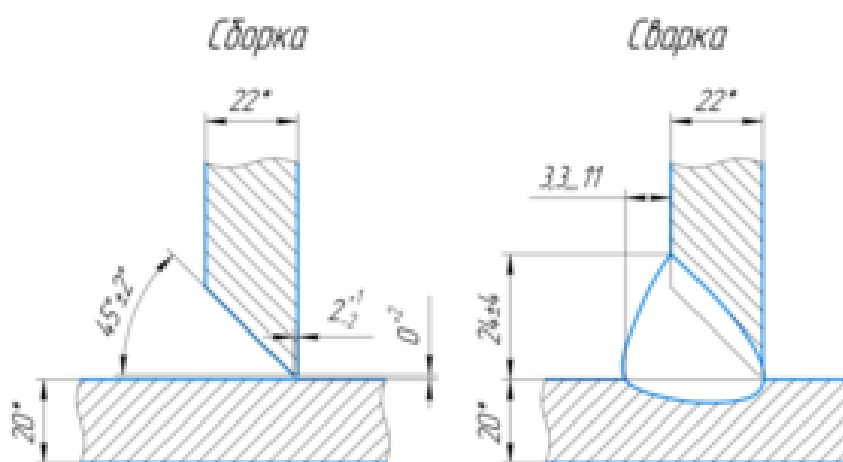


Рисунок 2.22 – Вид шва №2 [13]

При сварке шва №3 тип шва остается прежним. Геометрические параметры не изменяются.

Конструктивные элементы швов №4, №5 и №6 остаются неизменными.

2.5.1 Расчет режимов сварки шва №1

Шов №1 показан на рисунке 2.18. Шов №1 согласно [11] имеет тип соединения У19. Сварка механизированная и производится в среде смеси защитных газов проволокой сплошного сечения диаметром 1,2 мм. Расход газа составляет 20 л/мин. Сварка производится постоянным током прямой полярности.

Вылет проволоки примем равным 12 мм. Указанный шов можно рассматривать как стыковой с разделкой кромок 100° и зазором 0,5 мм.

Площадь поперечного сечения шва составляет $4,5 \text{ см}^2 = 450 \text{ мм}^2$.

Примем, что площадь поперечного сечения первого прохода составляет $0,3 \text{ см}^2 = 30 \text{ мм}^2$, площадь остальных проходов составляет $0,6 \text{ см}^2 = 60 \text{ мм}^2$. Таким образом, сварка шва №1 будет производиться за 8 проходов.

Рассчитаем режимы сварки шва №1 при первом проходе. Расчет будем проводить в два этапа:

- расчет стыкового шва при условии отсутствия разделки кромок и зазора;
- расчет стыкового шва при наличии разделки кромок и зазора.

Примем, что сила сварочного тока составляет 200 А.

Рассчитаем плотность сварочного тока (j) по формуле (2.1) из [4]:

$$j = \frac{4I_{\text{СВ}}}{\pi d_{\text{Э}}^2} = \frac{4 \cdot 200}{3,14 \cdot 1,2^2} = 176,9 \frac{\text{А}}{\text{мм}^2}. \quad (2.1)$$

где $I_{\text{СВ}} = 200$ – сила тока, А;

$\pi = 3,14$ – постоянная, ед;

$d_{\text{Э}} = 1,2$ – диаметр проволоки, мм.

Интервал плотностей тока для проволоки диаметром 1,2 мм составляет 90...250 А/мм² [14]. Полученное значение плотности тока входит в требуемый интервал.

Рассчитаем напряжение на дуге ($U_{\text{д}}$) по формуле (2.2) из [4]:

$$U_{\text{д}} = 20 + \frac{0,05}{\sqrt{d_{\text{Э}}}} I_{\text{СВ}} \pm 1, \text{ В}, \quad (2.2)$$

где $d_{\text{Э}} = 1,2$ – диаметр электродной проволоки, мм;

$I_{\text{СВ}} = 200$ – сила сварочного тока, А.

Тогда, по формуле (2.2) получим, что

					15.03.01.2019.021.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		36

$$\alpha'_p = 6,3 + \frac{0,0702 I_{CB}}{d_{\text{Э}}^{1,035}} = 6,3 + \frac{0,0702 \cdot 200}{1,2^{1,035}} = 17,9 \frac{\text{г}}{\text{Ач}}. \quad (2.6)$$

Рассчитаем составляющую ($\Delta\alpha_p$) по формуле (2.7) из [4]:

$$\Delta\alpha_p = \frac{3600 Q_{\text{ПП}}}{q_{\text{Э}} I_{CB}}, \quad (2.7)$$

где $Q_{\text{ПП}}$ – количество теплоты, расходуемое на предварительный подогрев вылета электродной проволоки протекающим по нему током, кал;

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

Рассчитаем количество теплоты ($Q_{\text{ПП}}$) по формуле (2.8) из [4]:

$$Q_{\text{ПП}} = 0,1884 j^2 \rho_0 d_{\text{Э}}^2 \left(\frac{V_{\text{Э}}}{a \alpha \beta} (e^{-p_2 l} - 1) - \frac{\alpha (T_{\text{ПЛ}} - T_0)}{p_1} \right), \quad (2.8)$$

где $j = 17690$ – плотность тока в электроде, А/см²;

$\rho_0 = 0,000014$ – удельное электрическое сопротивление электродной проволоки при нуле градусов, Ом/см;

$d_{\text{Э}} = 0,12$ – диаметр электродной проволоки, см;

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

$a = 0,08$ – коэффициент температуропроводности, см²/с;

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

β – коэффициент, ед;

$l = 1,2$ – 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.

										Лист
										38
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	15.03.01.2019.021.00 ПЗ					

Рассчитаем коэффициент (β) по формуле (2.9) из [4]:

$$\beta = \frac{0,24j^2 \rho_0}{a c \gamma} = \frac{0,24 \cdot 17690^2 \cdot 0,000014}{0,08 \cdot 1,25} = 10514,7 \text{ ед.} \quad (2.9)$$

где $c \gamma = 1,25$ – объемная теплоемкость, кал/см³.

Рассчитаем условную скорость подачи проволоки ($V_{\text{Э}}$) по формуле (2.10) из [14]:

$$V_{\text{Э}} = \frac{4 \alpha_p I_{\text{СВ}}}{3600 \pi \gamma d_{\text{Э}}^2} = \frac{4 \cdot 17,9 \cdot 200}{3600 \cdot 3,14 \cdot 7,8 \cdot 0,12^2} = 11,3 \frac{\text{см}}{\text{с}}. \quad (2.10)$$

Рассчитаем коэффициенты (p_1) и (p_2) по формуле (2.11) из [4]:

$$\begin{cases} p_1 = -\frac{V_{\text{Э}}}{2a} - \sqrt{\frac{V_{\text{Э}}^2}{4a^2} - \alpha\beta} = -\frac{11,3}{2 \cdot 0,08} - \sqrt{\frac{11,3^2}{4 \cdot 0,08^2} - 0,0083 \cdot 10514,7} = -140,6 \text{ ед;} \\ p_2 = -\frac{V_{\text{Э}}}{2a} + \sqrt{\frac{V_{\text{Э}}^2}{4a^2} - \alpha\beta} = -\frac{11,3}{2 \cdot 0,08} + \sqrt{\frac{11,3^2}{4 \cdot 0,08^2} - 0,0083 \cdot 10514,7} = -0,6 \text{ ед.} \end{cases} \quad (2.11)$$

Тогда, по формуле (2.8) получим, что

$$Q_{\text{III}} = 0,1884 \cdot 17690^2 \cdot 0,000014 \cdot 0,12^2 \cdot \left(\frac{11,3}{0,08 \cdot 0,0083 \cdot 10514,7} (e^{-0,6 \cdot 1,5} - 1) - \frac{0,0083 \cdot (1500 - 20)}{-140,6} \right) = 19,6 \text{ кал.}$$

Следовательно, по формуле (2.7)

$$\Delta \alpha_p = \frac{3600 \cdot 19,6}{325 \cdot 200} = 1,1 \frac{\text{г}}{\text{Ач}}.$$

									Лист
									39
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

Тогда, по формуле (2.5) получим, что

$$\alpha_p = 17,9 + 1,1 = 19 \frac{\Gamma}{\text{Ач}}.$$

Следовательно, по формуле (2.4) получим, что скорость подачи ($V_{\text{ПОД}}$)

$$V_{\text{ПОД}} = \frac{19 \cdot 200}{3600 \cdot 0,0113 \cdot 7,8} = 12 \frac{\text{см}}{\text{с}}.$$

Рассчитаем коэффициент потерь ($\psi_{\text{П}}$) по формуле (2.12) из [15]:

$$\psi_{\text{П}} = 0,176j - 0,000448j^2 - 4,72, \% \quad (2.12)$$

где $j = 176,9$ – плотность сварочного тока, А/мм².

Тогда, по формуле (2.12) получим, что коэффициент потерь $\psi_{\text{П}}$

$$\psi_{\text{П}} = 0,176 \cdot 176,9 - 0,000448 \cdot 176,9^2 - 4,72 = 12,4 \%$$

Тогда, по формуле (2.3) получим, что скорость сварки ($V_{\text{СВ}}$)

$$V_{\text{СВ}} = \frac{12}{0,3 \cdot (1 - 0,124)} \cdot 0,0113 = 0,4 \frac{\text{см}}{\text{с}}.$$

Рассчитаем погонную энергию ($q_{\text{ПОГ}}$) по формуле (2.13) из [4]:

$$q_{\text{ПОГ}} = \frac{0,24 U_{\text{Д}} I_{\text{СВ}} \eta}{V_{\text{СВ}}}, \frac{\text{кал}}{\text{см}}, \quad (2.13)$$

где $\eta = 0,85$ – эффективный КПД нагрева изделия дугой.

Тогда, по формуле (2.13) получим, что

					15.03.01.2019.021.00 ПЗ	Лист
						40
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$B = \psi_{\text{ГР}} h = 3,3 \cdot 0,49 = 1,62 \text{ см.} \quad (2.16)$$

Рассчитаем высоту валика (C) по формуле (2.17) из [4]:

$$C = \frac{F_H}{0,73B} = \frac{0,3}{0,73 \cdot 1,62} = 0,25 \text{ см.} \quad (2.17)$$

Рассчитаем общую высоту шва (D) по формуле (2.18) из [4]:

$$D = h + C = 4,9 + 2,5 = 7,4 \text{ мм.} \quad (2.18)$$

Проведем расчет размеров шва для случая наличия зазора и разделки.

Высота шва при наличии разделки кромок и зазора (C_2) при многопроходной сварке определяется по формуле (2.19) из [4]:

$$C_2 = \sqrt{\frac{F_H - D_p}{\text{tg}\alpha}} = \frac{\sqrt{0,3 - 0,74 \cdot 0,05}}{1,2} = 4,7 \text{ мм} = 0,47 \text{ см.} \quad (2.19)$$

Рассчитаем полученную глубину проплавления (H_2) по формуле (2.20) из [4]:

$$H_2 = D - C_2 = 7,4 - 4,7 = 2,7 \text{ мм.} \quad (2.20)$$

Полученное значение глубины проплавления может привести к прожогу, поэтому, требуется скорректировать режимы сварки. Примем, что напряжение на дуге $U_d = 32 \text{ В}$. Тогда:

– погонная энергия

$$q_{\text{ПОГ}} = \frac{0,24 U_d I_{\text{СВ}} \eta}{V_{\text{СВ}}} = \frac{0,24 \cdot 32 \cdot 200 \cdot 0,85}{0,4} = 3264 \frac{\text{кал}}{\text{см}}$$

– коэффициент формы провара

$$\Psi_{\text{ПР}} = \frac{k'(19-0,01I_{\text{СВ}})d_{\text{Э}}U_{\text{Д}}}{I_{\text{СВ}}} = \frac{1,12 \cdot (19-0,01 \cdot 200) \cdot 1,2 \cdot 32}{200} = 3,7 \text{ ед.}$$

– глубина провара при условии отсутствия разделки кромок и зазора

$$h = 0,0165 \sqrt{\frac{q_{\text{П}}}{\Psi_{\text{ПР}}}} = 0,0165 \cdot \sqrt{\frac{3264}{3,7}} = 0,49 \text{ см.}$$

– ширина шва

$$B = \Psi_{\text{ПР}} h = 3,7 \cdot 0,49 = 1,81 \text{ см.}$$

– высота валика

$$C = \frac{F_{\text{Н}}}{0,73B} = \frac{0,3}{0,73 \cdot 1,81} = 0,22 \text{ см.}$$

– высота шва

$$D = h + C = 4,9 + 2,2 = 7,1 \text{ мм.}$$

– высота валика при условии наличия разделки и зазора

$$C_2 = \sqrt{\frac{F_{\text{Н}} - Dp}{\text{tg}\alpha}} = \sqrt{\frac{0,3 - 0,71 \cdot 0,05}{1,2}} = 4,7 \text{ мм} = 0,47 \text{ см.}$$

– глубина провара при наличии разделки и зазора

					15.03.01.2019.021.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		43

$$H_2 = D - C_2 = 7,1 - 4,7 = 2,4 \text{ мм.}$$

Полученное значение глубины провара соответствует требованиям.

Рассчитаем мгновенную скорость охлаждения металла (ω) при первом проходе по формуле (2.21) из [4]:

$$\omega = \bar{\omega} 2\pi\lambda \frac{(T_M - T_0)^2}{k_1 q_{\text{ПОГ}}}, \frac{^\circ\text{C}}{\text{с}}, \quad (2.21)$$

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

$\lambda = 0,1$ – коэффициент теплопроводности, кал·с/см $^\circ\text{C}$;

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

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

k_1 – коэффициент приведения для первого слоя стыкового шва, ед.

Безразмерный критерий процесса $\bar{\omega}$ зависит от другого безразмерного критерия ($1/\theta$), который определяется по формуле (2.22) из [4]:

$$\frac{1}{\theta} = \frac{2k_1 q_{\text{ПОГ}}}{\pi(\delta k_2)^2 c\gamma(T_M - T_0)}, \quad (2.22)$$

где $c\gamma = 1,25$ – объемная теплоемкость, кал/см 3 $^\circ\text{C}$;

k_2 – коэффициент приведения для первого слоя стыкового шва, ед.

Рассчитаем коэффициенты (k_1) и (k_2) по формуле (2.23) из [4]:

$$k_1 = k_2 = \frac{180^\circ}{180^\circ - \alpha} = \frac{180^\circ}{180^\circ - 100^\circ} = 2,25. \quad (2.23)$$

Тогда, по формуле (2.22) получим, что

$$\frac{1}{\theta} = \frac{2k_1 q_{\text{ПОГ}}}{\pi(\delta k_2)^2 c\gamma(T_M - T_0)} = \frac{2 \cdot 2,25 \cdot 3264}{3,14 \cdot (2 \cdot 2,25)^2 \cdot 1,25 \cdot (500 - 20)} = 0,4.$$

									Лист
									44
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	15.03.01.2019.021.00 ПЗ				

При значении безразмерного критерия 0,4 величина $\bar{\omega}=1$.

Тогда, по формуле (2.21) получим, что

$$\omega=1 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 0,1 \cdot \frac{(500-20)^2}{2,25 \cdot 3264} = 19,7 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{с}}.$$

Полученное значение мгновенной скорости охлаждения превышает максимальное для стали 20 (1...7 °C/с), поэтому, при сварке требуется применить предварительный подогрев до температуры 210 °C.

Тогда, по формуле (2.22) получим, что

$$\frac{1}{\theta} = \frac{2k_1 q_{\text{ПОГ}}}{\pi(\delta k_2)^2 c \gamma (T_M - T_0)} = \frac{2 \cdot 2,25 \cdot 3264}{3,14 \cdot (2 \cdot 2,25)^2 \cdot 1,25 \cdot (500 - 210)} = 0,6.$$

При значении безразмерного критерия 0,6 величина $\bar{\omega}=0,97$.

По формуле (2.21) получим, что

$$\omega=0,97 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 0,1 \cdot \frac{(500-210)^2}{2,25 \cdot 3264} = 7 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{с}}.$$

Полученное значение скорости охлаждения соответствует требованиям, следовательно, параметры режима сварки рассчитаны правильно.

Рассчитаем режимы сварки шва №1 при заполняющих проходах. Площадь поперечного сечения шва составляет 60 мм² = 0,6 см². Диаметр проволоки при сварке заполняющих проходов составляет 1,2 мм. Сварку будем производить на постоянном токе прямой полярности. Примем, что сила сварочного тока составляет 280 А.

Рассчитаем режимы сварки:

– плотность тока по формуле (2.1):

					15.03.01.2019.021.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		45

$$j = \frac{4I_{CB}}{\pi d_{\text{Э}}^2} = \frac{4 \cdot 280}{3,14 \cdot 1,2^2} = 247,7 \frac{\text{А}}{\text{мм}^2}.$$

Интервал плотностей тока для проволоки диаметром 2 мм составляет 90...250 А/мм². Полученное значение плотности тока входит в требуемый интервал.

– напряжение на дуге по формуле (2.2):

$$U_{\text{д}} = 20 + \frac{0,05}{\sqrt{d_{\text{Э}}}} I_{CB} \pm 1 = 20 + \frac{0,05}{\sqrt{1,2}} \cdot 280 \pm 1 = 32,8 \pm 1 \text{ В}.$$

– составляющая, обусловленная тепловложением дуги по формуле (2.6):

$$\alpha'_{\text{р}} = 6,3 + \frac{0,0702 I_{CB}}{d_{\text{Э}}^{1,035}} = 6,3 + \frac{0,0702 \cdot 280}{1,2^{1,035}} = 22,6 \frac{\text{г}}{\text{Ач}}.$$

– условная скорость подачи проволоки по формуле (2.10):

$$V_{\text{Э}} = \frac{4\alpha'_{\text{р}} I_{CB}}{3600\pi \gamma d_{\text{Э}}^2} = \frac{4 \cdot 22,6 \cdot 280}{3600 \cdot 3,14 \cdot 7,8 \cdot 0,12^2} = 19,9 \frac{\text{см}}{\text{с}}.$$

– коэффициент $\beta = 20615,4$ ед;

– коэффициент $p_1 = -248,1$ ед, $p_2 = -0,7$ ед;

– количество теплоты, расходуемое на предварительный подогрев вылета электродной проволоки протекающим по нему током $Q_{\text{ПП}} = 41,6$ кал;

– составляющая, зависящая от тепловложения вследствие предварительного нагрева вылета электрода протекающим током по формуле (2.7):

$$\Delta\alpha_{\text{р}} = \frac{3600 Q_{\text{ПП}}}{q_{\text{Э}} I_{CB}} = \frac{3600 \cdot 41,6}{325 \cdot 280} = 1,6 \frac{\text{г}}{\text{Ач}}.$$

					15.03.01.2019.021.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		46

– коэффициент расплавления по формуле (2.6):

$$\alpha_p = \alpha'_p + \Delta\alpha_p = 22,6 + 1,6 = 24,2 \frac{\Gamma}{\text{Ач}}.$$

– скорость подачи проволоки по формуле (2.4):

$$V_{\text{ПОД}} = \frac{\alpha_p I_{\text{СВ}}}{3600 F_{\text{ЭГ}}} = \frac{24,2 \cdot 280}{3600 \cdot 0,0113 \cdot 7,8} = 21,4 \frac{\text{см}}{\text{с}}.$$

– коэффициент потерь по формуле (2.12)

$$\psi_{\text{П}} = 0,176 \cdot 247,7 - 0,000448 \cdot 247,7^2 - 4,72 = 11,4 \%$$

– скорость сварки по формуле (2.3):

$$V_{\text{СВ}} = \frac{21,4}{0,6 \cdot (1 - 0,114)} \cdot 0,0113 = 0,36 \frac{\text{см}}{\text{с}}.$$

– эффективный КПД нагрева изделия дугой $\eta = 0,85$ ед;

– погонная энергия по формуле (2.13):

$$q_{\text{П}} = \frac{0,24 U_{\text{Д}} I_{\text{СВ}} \eta}{V_{\text{СВ}}} = \frac{0,24 \cdot 32,8 \cdot 280 \cdot 0,85}{0,36} = 5204,3 \frac{\text{кал}}{\text{см}}.$$

Рассчитаем режимы сварки шва №1 при облицовочных проходах. Площадь поперечного сечения шва составляет $60 \text{ мм}^2 = 0,6 \text{ см}^2$. Диаметр проволоки при сварке облицовочных проходов составляет 1,2 мм. Сварку будем производить на постоянном токе прямой полярности. Примем, что сила сварочного тока составляет 260 А.

Рассчитаем режимы сварки:

					15.03.01.2019.021.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		47

– плотность тока по формуле (2.1):

$$j = \frac{4I_{CB}}{\pi d_{\Theta}^2} = \frac{4 \cdot 260}{3,14 \cdot 1,2^2} = 230 \frac{\text{А}}{\text{мм}^2}.$$

Интервал плотностей тока для проволоки диаметром 1,2 мм составляет 90...250 А/мм². Полученное значение плотности тока входит в требуемый интервал.

– напряжение на дуге по формуле (2.2):

$$U_{\text{д}} = 20 + \frac{0,05}{\sqrt{d_{\Theta}}} I_{CB} \pm 1 = 20 + \frac{0,05}{\sqrt{1,2}} \cdot 260 \pm 1 = 31,9 \pm 1 \text{ В.}$$

– составляющая, обусловленная тепловложением дуги по формуле (2.6):

$$\alpha'_p = 6,3 + \frac{0,0702 I_{CB}}{d_{\Theta}^{1,035}} = 6,3 + \frac{0,0702 \cdot 260}{1,2^{1,035}} = 21,4 \frac{\text{г}}{\text{Ач}}.$$

– условная скорость подачи проволоки по формуле (2.10):

$$V_{\Theta} = \frac{4\alpha'_p I_{CB}}{3600\pi\gamma d_{\Theta}^2} = \frac{4 \cdot 21,4 \cdot 260}{3600 \cdot 3,14 \cdot 7,8 \cdot 0,12^2} = 17,5 \frac{\text{см}}{\text{с}}.$$

– коэффициент $\beta = 17774,4$ ед;

– коэффициент $p_1 = -218,1$ ед, $p_2 = -0,7$ ед;

– количество теплоты, расходуемое на предварительный подогрев вылета электродной проволоки протекающим по нему током $Q_{\text{III}} = 36,6$ кал;

– составляющая, зависящая от тепловложения вследствие предварительного нагрева вылета электрода протекающим током по формуле (2.7):

					15.03.01.2019.021.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		48

$$\Delta\alpha_p = \frac{3600Q_{III}}{q_{\Theta}I_{CB}} = \frac{3600 \cdot 36,6}{325 \cdot 260} = 1,6 \frac{\Gamma}{\text{Ач}}.$$

– коэффициент расплавления по формуле (2.6):

$$\alpha_p = \alpha'_p + \Delta\alpha_p = 21,4 + 1,6 = 23 \frac{\Gamma}{\text{Ач}}.$$

– скорость подачи проволоки по формуле (2.4):

$$V_{\text{ПОД}} = \frac{\alpha_p I_{CB}}{3600 F_{\Theta} \gamma} = \frac{23 \cdot 260}{3600 \cdot 0,0113 \cdot 7,8} = 18,8 \frac{\text{см}}{\text{с}}.$$

– коэффициент потерь по формуле (2.12)

$$\psi_{II} = 0,176 \cdot 230 - 0,000448 \cdot 230^2 - 4,72 = 12,1 \text{ \%}.$$

– скорость сварки по формуле (2.3):

$$V_{CB} = \frac{18,8}{0,6 \cdot (1 - 0,121)} \cdot 0,0113 = 0,31 \frac{\text{см}}{\text{с}}.$$

– эффективный КПД нагрева изделия дугой $\eta = 0,85$ ед;

– погонная энергия по формуле (2.13):

$$q_{II} = \frac{0,24 U_D I_{CB} \eta}{V_{CB}} = \frac{0,24 \cdot 31,9 \cdot 260 \cdot 0,85}{0,31} = 5458 \frac{\text{кал}}{\text{см}}.$$

– коэффициент, зависящий от рода и полярности тока $k' = 1,12$, так как плотность $j > 120 \text{ А/мм}^2$.

– коэффициент формы провара по формуле (2.16):

					15.03.01.2019.021.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		49

$$\psi_{\text{ПР}} = \frac{k'(19-0,01I_{\text{СВ}})d_{\text{Э}}U_{\text{Д}}}{I_{\text{СВ}}} = \frac{1,12 \cdot (19-0,01 \cdot 260) \cdot 1,2 \cdot 31,9}{260} = 2,7.$$

– глубина провара для случая сварки в среде защитных газов стыкового шва без зазора и без разделки по формуле (2.15):

$$h = 0,0165 \sqrt{\frac{q_{\text{П}}}{\psi_{\text{ПР}}}} = 0,0165 \cdot \sqrt{\frac{5458}{2,7}} = 7,4 \text{ мм} = 0,74 \text{ см.}$$

– ширина усиления шва по формуле (2.17):

$$B = \psi_{\text{ПР}} h = 2,7 \cdot 0,74 = 2 \text{ см} = 20 \text{ мм.}$$

– высота усиления шва определяется по формуле (2.18):

$$C = \frac{F_{\text{Н}}}{0,73B} = \frac{0,6}{0,73 \cdot 2} = 0,41 \text{ см} = 4,1 \text{ мм.}$$

Полученное значение высоты усиления шва превышает требуемое, поэтому, требуется скорректировать режимы сварки. Примем, что напряжение на дуге $U_{\text{Д}} = 35 \text{ В}$. Тогда:

– погонная энергия по формуле (2.13):

$$q_{\text{П}} = \frac{0,24 U_{\text{Д}} I_{\text{СВ}} \eta}{V_{\text{СВ}}} = \frac{0,24 \cdot 35 \cdot 260 \cdot 0,85}{0,31} = 5988,4 \frac{\text{кал}}{\text{см}}.$$

– коэффициент, зависящий от рода и полярности тока $k^2 = 1,12$, так как плотность $j > 120 \text{ А/мм}^2$.

– коэффициент формы провара по формуле (2.16):

										Лист
										50
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	15.03.01.2019.021.00 ПЗ					

$$\Psi_{\text{ПР}} = \frac{k'(19-0,01I_{\text{СВ}})d_{\text{Э}}U_{\text{Д}}}{I_{\text{СВ}}} = \frac{1,12 \cdot (19-0,01 \cdot 260) \cdot 1,2 \cdot 35}{260} = 3.$$

– глубина провара для случая сварки в среде защитных газов стыкового шва без зазора и без разделки по формуле (2.15):

$$h = 0,0165 \sqrt{\frac{q_{\text{П}}}{\Psi_{\text{ПР}}}} = 0,0165 \cdot \sqrt{\frac{5988,4}{3}} = 7,4 \text{ мм} = 0,74 \text{ см.}$$

– ширина усиления шва по формуле (2.17):

$$B = \Psi_{\text{ПР}} h = 3 \cdot 0,74 = 2,22 \text{ см} = 22,2 \text{ мм.}$$

– высота усиления шва определяется по формуле (2.18):

$$C = \frac{F_{\text{Н}}}{0,73B} = \frac{0,6}{0,73 \cdot 2,22} = 0,37 \text{ см} = 3,7 \text{ мм.}$$

Рассчитаем мгновенную скорость охлаждения при сварке облицовочного слоя шва №1 по формуле (2.24) из [4]:

$$\omega = \bar{\omega} 2\pi\lambda \frac{(T_{\text{М}} - T_{\text{О}})^2}{q_{\text{ПОГ}}}, \frac{\text{°С}}{\text{с}}, \quad (2.24)$$

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

$\lambda = 0,1$ – коэффициент теплопроводности, кал/см с °С;

$T_{\text{М}} = 500$ – температура наименьшей устойчивости аустенита, °С;

$T_{\text{О}} = 20$ – температура щита перед сваркой, °С.

Безразмерный критерий процесса $\bar{\omega}$ зависит от другого безразмерного критерия ($1/\theta$), который рассчитывается по формуле (2.25) из [4]:

					15.03.01.2019.021.00 ПЗ	Лист
						51
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$\frac{1}{\theta} = \frac{2q_{\text{ПОГ}}}{\pi\delta^2 c\gamma(T_M - T_0)} = \frac{2 \cdot 5988,4}{3,14 \cdot 2^2 \cdot 1,25 \cdot (500 - 20)} = 1,6. \quad (2.25)$$

При значении безразмерного критерия 1,6 значение $\bar{\omega} = 0,44$.

Тогда, по формуле (2.24) получим, что

$$\omega = 0,44 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 0,1 \cdot \frac{(500 - 20)^2}{5988,4} = 10,6 \frac{^\circ\text{C}}{\text{с}}.$$

Полученное значение скорости охлаждения не соответствует требуемым для стали 20 (1...7 °C/с), поэтому, при сварке требуется применить предварительный подогрев до температуры 100 °C.

Тогда, по формуле (2.25)

$$\frac{1}{\theta} = \frac{2q_{\text{ПОГ}}}{\pi\delta^2 c\gamma(T_M - T_0)} = \frac{2 \cdot 5988,4}{3,14 \cdot 2^2 \cdot 1,25 \cdot (500 - 100)} = 1,9.$$

При значении безразмерного критерия 1,9 значение $\bar{\omega} = 0,35$. Тогда, по формуле (2.24) получим, что

$$\omega = 0,35 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 0,1 \cdot \frac{(500 - 100)^2}{5988,4} = 5,9 \frac{^\circ\text{C}}{\text{с}}.$$

Полученное значение мгновенной скорости охлаждения соответствует требуемой для стали 20.

					15.03.01.2019.021.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		52

2.5.2 Расчет режимов сварки шва №2

Шов №2 показан на рисунке 2.22. Шов №2 согласно [13] имеет тип соединения Т6. Сварка механизированная и производится в среде смеси защитных газов проволокой сплошного сечения диаметром 1,2 мм. Расход газа составляет 20 л/мин. Сварка производится постоянным током прямой полярности. Вылет проволоки примем равным 12 мм.

Рассчитаем площадь поперечного сечения наплавленного металла шва №2 по формуле (2.26) из [4]:

$$F_H = Sp + \frac{(S-c)^2}{2} \operatorname{tg}\alpha + 0,73Bg, \quad (2.26)$$

где $S = 20$ – толщина полки таврового соединения, мм;

$p = 2$ – величина зазора, мм;

$c = 2$ – величина притупления, мм;

$\alpha = 45$ – угол разделки кромок, мм;

$B = 24$ – ширина валика шва, мм;

$g = 4$ – высота валика шва, мм.

Тогда, по формуле (2.26) получим, что

$$F_H = 20 \cdot 2 + \frac{(20-2)^2}{2} \operatorname{tg}45 + 0,73 \cdot 24 \cdot 4 = 273 \text{ мм}^2 = 2,73 \text{ см}^2.$$

Примем, что площадь поперечного сечения первого прохода составляет $0,33 \text{ см}^2 = 33 \text{ мм}^2$, площадь сечения заполняющих проходов составляет $0,45 \text{ см}^2 = 45 \text{ мм}^2$, площадь сечения облицовочных проходов $0,35 \text{ см}^2 = 35 \text{ мм}^2$. Таким образом, количество проходов при сварке шва №2:

– при первом проходе – 1 шт;

– при заполняющих проходах – 4 шт;

					15.03.01.2019.021.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		53

– при облицовочных проходах – 2 шт.

Рассчитаем режимы сварки шва №2 при первом проходе. Расчет будем проводить в два этапа:

- расчет стыкового шва при условии отсутствия разделки кромок и зазора;
- расчет стыкового шва при наличии разделки кромок и зазора.

Примем, что сила сварочного тока составляет 190 А.

Рассчитаем режимы сварки:

– плотность тока по формуле (2.1):

$$j = \frac{4I_{CB}}{\pi d_{\text{Э}}^2} = \frac{4 \cdot 190}{3,14 \cdot 1,2^2} = 168,1 \frac{\text{А}}{\text{мм}^2}.$$

Интервал плотностей тока для проволоки диаметром 1,2 мм составляет 90...250 А/мм². Полученное значение плотности тока входит в требуемый интервал.

– напряжение на дуге по формуле (2.2):

$$U_{\text{д}} = 20 + \frac{0,05}{\sqrt{d_{\text{Э}}}} I_{CB \pm 1} = 20 + \frac{0,05}{\sqrt{1,2}} \cdot 190 \pm 1 = 28,7 \pm 1 \text{ В}.$$

– составляющая, обусловленная тепловложением дуги по формуле (2.6):

$$\alpha'_{\text{р}} = 6,3 + \frac{0,0702 I_{CB}}{d_{\text{Э}}^{1,035}} = 6,3 + \frac{0,0702 \cdot 190}{1,2^{1,035}} = 17,3 \frac{\text{г}}{\text{Ач}}.$$

– условная скорость подачи проволоки по формуле (2.10):

$$V_{\text{Э}} = \frac{4\alpha'_{\text{р}} I_{CB}}{3600\pi d_{\text{Э}}^2} = \frac{4 \cdot 17,3 \cdot 190}{3600 \cdot 3,14 \cdot 7,8 \cdot 0,12^2} = 10,4 \frac{\text{см}}{\text{с}}.$$

					15.03.01.2019.021.00 ПЗ	Лист
						54
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

- коэффициент $\beta = 9494,6$ ед;
- коэффициент $p_1 = -129,4$ ед, $p_2 = -0,6$ ед;
- количество теплоты, расходуемое на предварительный подогрев вылета электродной проволоки протекающим по нему током $Q_{III} = 41,2$ кал;
- составляющая, зависящая от тепловложения вследствие предварительного нагрева вылета электрода протекающим током по формуле (2.7):

$$\Delta\alpha_p = \frac{3600Q_{III}}{q_{\Sigma}I_{CB}} = \frac{3600 \cdot 41,2}{325 \cdot 190} = 2,4 \frac{\text{г}}{\text{Ач}}.$$

- коэффициент расплавления по формуле (2.6):

$$\alpha_p = \alpha'_p + \Delta\alpha_p = 17,3 + 2,4 = 19,7 \frac{\text{г}}{\text{Ач}}.$$

- скорость подачи проволоки по формуле (2.4):

$$V_{\text{ПОД}} = \frac{\alpha_p I_{CB}}{3600 F_{\Sigma} \gamma} = \frac{19,7 \cdot 190}{3600 \cdot 0,0113 \cdot 7,8} = 11,8 \frac{\text{см}}{\text{с}}.$$

- коэффициент потерь по формуле (2.12)

$$\psi_{II} = 0,176 \cdot 168,1 - 0,000448 \cdot 168,1^2 - 4,72 = 12,2 \ %.$$

- скорость сварки по формуле (2.3):

$$V_{CB} = \frac{11,8}{0,33 \cdot (1 - 0,122)} \cdot 0,0113 = 0,4 \frac{\text{см}}{\text{с}}.$$

- эффективный КПД нагрева изделия дугой $\eta = 0,85$ ед;
- погонная энергия по формуле (2.13):

										Лист
										55
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	15.03.01.2019.021.00 ПЗ					

$$q_{\Pi} = \frac{0,24U_{\text{Д}}I_{\text{СВ}}\eta}{V_{\text{СВ}}} = \frac{0,24 \cdot 28,7 \cdot 190 \cdot 0,85}{0,4} = 2781 \frac{\text{кал}}{\text{см}}.$$

– коэффициент, зависящий от рода и полярности тока $k^2=1,12$, так как плотность $j > 120 \text{ А/мм}^2$.

– коэффициент формы провара по формуле (2.16):

$$\psi_{\text{ПР}} = \frac{k'(19-0,01I_{\text{СВ}})d_{\text{Э}}U_{\text{Д}}}{I_{\text{СВ}}} = \frac{1,12 \cdot (19-0,01 \cdot 190) \cdot 1,2 \cdot 28,7}{190} = 3,5.$$

– глубина провара для случая сварки в среде защитных газов стыкового шва без зазора и без разделки по формуле (2.15):

$$h = 0,0165 \sqrt{\frac{q_{\Pi}}{\psi_{\text{ПР}}}} = 0,0165 \cdot \sqrt{\frac{2781}{3,5}} = 4,7 \text{ мм} = 0,47 \text{ см}.$$

– ширина усиления шва по формуле (2.17):

$$B = \psi_{\text{ПР}} h = 3,5 \cdot 0,47 = 1,65 \text{ см} = 16,5 \text{ мм}.$$

– высота усиления шва определяется по формуле (2.18):

$$C = \frac{F_{\text{Н}}}{0,73B} = \frac{0,33}{0,73 \cdot 1,65} = 0,28 \text{ см} = 2,8 \text{ мм}.$$

– высота шва

$$D = h + C = 4,7 + 2,8 = 7,5 \text{ мм}.$$

– высота валика при условии наличия разделки и зазора

					15.03.01.2019.021.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		56

$$C_2 = \sqrt{\frac{F_H - D_p}{\operatorname{tg} \alpha}} = \frac{\sqrt{0,33 - 0,75 \cdot 0,2}}{1} = 4,3 \text{ мм} = 0,43 \text{ см.}$$

– глубина провара при наличии разделки и зазора

$$H_2 = D - C_2 = 7,5 - 4,3 = 3,2 \text{ мм.}$$

Полученное значение глубины провара может привести к прожогу, поэтому, требуется скорректировать режимы сварки. Примем, что напряжение на дуге $U_D = 33 \text{ В}$, скорость сварки $V_{CB} = 0,52 \text{ см/с}$, скорость подачи проволоки $V_{\text{Под}} = 15 \text{ см/с}$. Тогда:

– погонная энергия:

$$q_{\Pi} = \frac{0,24 U_D I_{CB} \eta}{V_{CB}} = \frac{0,24 \cdot 33 \cdot 190 \cdot 0,85}{0,52} = 2459,8 \frac{\text{кал}}{\text{см}}.$$

– коэффициент, зависящий от рода и полярности тока $k' = 1,12$, так как плотность $j > 120 \text{ А/мм}^2$.

– коэффициент формы провара по формуле (2.16):

$$\Psi_{\text{ПР}} = \frac{k'(19 - 0,01 I_{CB}) d_{\text{Э}} U_D}{I_{CB}} = \frac{1,12 \cdot (19 - 0,01 \cdot 190) \cdot 1,2 \cdot 33}{190} = 4.$$

– глубина провара для случая сварки в среде защитных газов стыкового шва без зазора и без разделки по формуле (2.15):

$$h = 0,0165 \sqrt{\frac{q_{\Pi}}{\Psi_{\text{ПР}}}} = 0,0165 \cdot \sqrt{\frac{2459,8}{4}} = 4,1 \text{ мм} = 0,41 \text{ см.}$$

										Лист
										57
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	15.03.01.2019.021.00 ПЗ					

– ширина усиления шва по формуле (2.17):

$$B = \psi_{\text{ИР}} h = 4 \cdot 0,41 = 1,64 \text{ см} = 16,4 \text{ мм.}$$

– высота усиления шва определяется по формуле (2.18):

$$C = \frac{F_H}{0,73B} = \frac{0,33}{0,73 \cdot 1,64} = 0,27 \text{ см} = 2,7 \text{ мм.}$$

– высота шва

$$D = h + C = 4,1 + 2,7 = 6,8 \text{ мм.}$$

– высота валика при условии наличия разделки и зазора

$$C_2 = \sqrt{\frac{F_H - Dp}{\text{tg}\alpha}} = \frac{\sqrt{0,33 - 0,68 \cdot 0,2}}{1} = 4,4 \text{ мм} = 0,44 \text{ см.}$$

– глубина провара при наличии разделки и зазора

$$H_2 = D - C_2 = 6,8 - 4,4 = 2,4 \text{ мм.}$$

Полученные параметры соответствуют требуемым.

Рассчитаем коэффициенты k_1 и k_2 по формуле (2.23)

$$k_1 = k_2 = \frac{180^\circ}{180^\circ - \alpha} = \frac{180^\circ}{180^\circ - 45^\circ} = 1,3.$$

Безразмерный критерий процесса $\bar{\omega}$ зависит от другого безразмерного критерия, который определяется по формуле (2.22)

					15.03.01.2019.021.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		58

$$\frac{1}{\theta} = \frac{2k_1 q_{\text{ПОГ}}}{\pi(\delta k_2)^2 c \gamma (T_M - T_0)} = \frac{2 \cdot 1,3 \cdot 2459,8}{3,14 \cdot (2 \cdot 1,3)^2 \cdot 1,25 \cdot (500 - 20)} = 0,5.$$

При значении безразмерного критерия 0,5 величина $\bar{\omega} = 0,98$.

Рассчитаем мгновенную скорость охлаждения металла при первом проходе по формуле (2.21)

$$\omega = \bar{\omega} 2\pi\lambda \frac{(T_M - T_0)^2}{k_1 q_{\text{ПОГ}}} = 0,98 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 0,1 \cdot \frac{(500 - 20)^2}{1,3 \cdot 2459,8} = 44,3 \frac{^\circ\text{C}}{\text{с}}.$$

Полученное значение мгновенной скорости охлаждения превышает максимальное для стали 20 (1...7 °C/с), поэтому, при сварке требуется применить предварительный подогрев до температуры 280 °C.

Тогда, по формуле (2.22) получим, что

$$\frac{1}{\theta} = \frac{2k_1 q_{\text{ПОГ}}}{\pi(\delta k_2)^2 c \gamma (T_M - T_0)} = \frac{2 \cdot 1,3 \cdot 2459,8}{3,14 \cdot (2 \cdot 1,3)^2 \cdot 1,25 \cdot (500 - 280)} = 1,1.$$

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

По формуле (2.21) получим, что

$$\omega = 0,72 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 0,1 \cdot \frac{(500 - 280)^2}{1,3 \cdot 2459,8} = 6,8 \frac{^\circ\text{C}}{\text{с}}.$$

Полученное значение скорости охлаждения соответствует требованиям, следовательно, параметры режима сварки рассчитаны правильно.

Рассчитаем режимы сварки шва №2 при заполняющих проходах. Площадь поперечного сечения шва составляет $45 \text{ мм}^2 = 0,45 \text{ см}^2$. Диаметр проволоки при сварке заполняющих проходов составляет 1,2 мм. Сварку будем производить на постоянном токе прямой полярности. Примем, что сила сварочного тока составляет 280 А.

										Лист
										59
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	15.03.01.2019.021.00 ПЗ					

Рассчитаем режимы сварки:

– плотность тока по формуле (2.1):

$$j = \frac{4I_{CB}}{\pi d_{\text{Э}}^2} = \frac{4 \cdot 280}{3,14 \cdot 1,2^2} = 247,7 \frac{\text{А}}{\text{мм}^2}.$$

Интервал плотностей тока для проволоки диаметром 1,2 мм составляет 90...250 А/мм². Полученное значение плотности тока входит в требуемый интервал.

– напряжение на дуге по формуле (2.2):

$$U_{\text{д}} = 20 + \frac{0,05}{\sqrt{d_{\text{Э}}}} I_{CB} \pm 1 = 20 + \frac{0,05}{\sqrt{1,2}} \cdot 280 \pm 1 = 32,8 \pm 1 \text{ В}.$$

– составляющая, обусловленная тепловложением дуги по формуле (2.6):

$$\alpha'_p = 6,3 + \frac{0,0702 I_{CB}}{d_{\text{Э}}^{1,035}} = 6,3 + \frac{0,0702 \cdot 280}{1,2^{1,035}} = 22,6 \frac{\text{г}}{\text{Ач}}.$$

– условная скорость подачи проволоки по формуле (2.10):

$$V_{\text{Э}} = \frac{4\alpha'_p I_{CB}}{3600\pi \gamma d_{\text{Э}}^2} = \frac{4 \cdot 22,6 \cdot 280}{3600 \cdot 3,14 \cdot 7,8 \cdot 0,12^2} = 19,9 \frac{\text{см}}{\text{с}}.$$

– коэффициент $\beta = 20615,4$ ед;

– коэффициент $p_1 = -248,1$ ед, $p_2 = -0,7$ ед;

– количество теплоты, расходуемое на предварительный подогрев вылета электродной проволоки протекающим по нему током $Q_{\text{III}} = 41,6$ кал;

– составляющая, зависящая от тепловложения вследствие предварительного нагрева вылета электрода протекающим током по формуле (2.7):

					15.03.01.2019.021.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		60

$$\Delta\alpha_p = \frac{3600Q_{III}}{q_{\Theta}I_{CB}} = \frac{3600 \cdot 41,6}{325 \cdot 280} = 1,6 \frac{\text{г}}{\text{Ач}}.$$

– коэффициент расплавления по формуле (2.6):

$$\alpha_p = \alpha'_p + \Delta\alpha_p = 22,6 + 1,6 = 24,2 \frac{\text{г}}{\text{Ач}}.$$

– скорость подачи проволоки по формуле (2.4):

$$V_{\text{ПОД}} = \frac{\alpha_p I_{CB}}{3600 F_{\Theta} \gamma} = \frac{24,2 \cdot 280}{3600 \cdot 0,0113 \cdot 7,8} = 21,4 \frac{\text{см}}{\text{с}}.$$

– коэффициент потерь по формуле (2.12)

$$\psi_{II} = 0,176 \cdot 247,7 - 0,000448 \cdot 247,7^2 - 4,72 = 11,4 \text{ \%}.$$

– скорость сварки по формуле (2.3):

$$V_{CB} = \frac{21,4}{0,45 \cdot (1 - 0,114)} \cdot 0,0113 = 0,54 \frac{\text{см}}{\text{с}}.$$

– эффективный КПД нагрева изделия дугой $\eta = 0,85$ ед;

– погонная энергия по формуле (2.13):

$$q_{II} = \frac{0,24 U_D I_{CB} \eta}{V_{CB}} = \frac{0,24 \cdot 32,8 \cdot 280 \cdot 0,85}{0,54} = 3469,5 \frac{\text{кал}}{\text{см}}.$$

Рассчитаем режимы сварки шва №2 при облицовочных проходах. Площадь поперечного сечения шва составляет $35 \text{ мм}^2 = 0,35 \text{ см}^2$. Диаметр проволоки при сварке облицовочных проходов составляет 1,2 мм. Сварку будем производить на

					15.03.01.2019.021.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		61

постоянном токе прямой полярности. Примем, что сила сварочного тока составляет 250 А.

Рассчитаем режимы сварки:

– плотность тока по формуле (2.1):

$$j = \frac{4I_{CB}}{\pi d_{\text{Э}}^2} = \frac{4 \cdot 250}{3,14 \cdot 1,2^2} = 221,2 \frac{\text{А}}{\text{мм}^2}.$$

Интервал плотностей тока для проволоки диаметром 1,2 мм составляет 90...250 А/мм². Полученное значение плотности тока входит в требуемый интервал.

– напряжение на дуге по формуле (2.2):

$$U_{\text{д}} = 20 + \frac{0,05}{\sqrt{d_{\text{Э}}}} I_{CB} \pm 1 = 20 + \frac{0,05}{\sqrt{1,2}} \cdot 250 \pm 1 = 31,4 \pm 1 \text{ В}.$$

– составляющая, обусловленная тепловложением дуги по формуле (2.6):

$$\alpha'_{\text{р}} = 6,3 + \frac{0,0702 I_{CB}}{d_{\text{Э}}^{1,035}} = 6,3 + \frac{0,0702 \cdot 250}{1,2^{1,035}} = 20,8 \frac{\text{г}}{\text{Ач}}.$$

– условная скорость подачи проволоки по формуле (2.10):

$$V_{\text{Э}} = \frac{4\alpha'_{\text{р}} I_{CB}}{3600\pi \gamma d_{\text{Э}}^2} = \frac{4 \cdot 20,8 \cdot 250}{3600 \cdot 3,14 \cdot 7,8 \cdot 0,12^2} = 16,4 \frac{\text{см}}{\text{с}}.$$

– коэффициент $\beta = 16440,3$ ед;

– коэффициент $p_1 = -204,3$ ед, $p_2 = -0,7$ ед;

– количество теплоты, расходуемое на предварительный подогрев вылета электродной проволоки протекающим по нему током $Q_{\text{ПП}} = 34,3$ кал;

									Лист
									62
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	15.03.01.2019.021.00 ПЗ				

– составляющая, зависящая от тепловложения вследствие предварительного нагрева вылета электрода протекающим током по формуле (2.7):

$$\Delta\alpha_p = \frac{3600Q_{III}}{q_{\Sigma}I_{CB}} = \frac{3600 \cdot 34,3}{325 \cdot 250} = 1,5 \frac{\text{г}}{\text{Ач}}.$$

– коэффициент расплавления по формуле (2.6):

$$\alpha_p = \alpha'_p + \Delta\alpha_p = 20,8 + 1,5 = 22,3 \frac{\text{г}}{\text{Ач}}.$$

– скорость подачи проволоки по формуле (2.4):

$$V_{\text{ПОД}} = \frac{\alpha_p I_{CB}}{3600 F_{\Sigma} \gamma} = \frac{22,3 \cdot 250}{3600 \cdot 0,0113 \cdot 7,8} = 17,6 \frac{\text{см}}{\text{с}}.$$

– коэффициент потерь по формуле (2.12)

$$\psi_{II} = 0,176 \cdot 221,2 - 0,000448 \cdot 221,2^2 - 4,72 = 12,3 \text{ \%}.$$

– скорость сварки по формуле (2.3):

$$V_{CB} = \frac{17,6}{0,35 \cdot (1 - 0,123)} \cdot 0,0113 = 0,57 \frac{\text{см}}{\text{с}}.$$

– эффективный КПД нагрева изделия дугой $\eta = 0,85$ ед;

– погонная энергия по формуле (2.13):

$$q_{II} = \frac{0,24 U_{Д} I_{CB} \eta}{V_{CB}} = \frac{0,24 \cdot 31,4 \cdot 250 \cdot 0,85}{0,57} = 2809,5 \frac{\text{кал}}{\text{см}}.$$

					15.03.01.2019.021.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		63

– коэффициент, зависящий от рода и полярности тока $k'=1,12$, так как плотность $j > 120 \text{ А/мм}^2$.

– коэффициент формы провара по формуле (2.16):

$$\psi_{\text{ПР}} = \frac{k'(19-0,01I_{\text{СВ}})d_{\text{Э}}U_{\text{Д}}}{I_{\text{СВ}}} = \frac{1,12 \cdot (19-0,01 \cdot 250) \cdot 1,2 \cdot 31,4}{250} = 2,8.$$

– глубина провара для случая сварки в среде защитных газов стыкового шва без зазора и без разделки по формуле (2.15):

$$h = 0,0165 \sqrt{\frac{q_{\text{П}}}{\psi_{\text{ПР}}}} = 0,0165 \cdot \sqrt{\frac{2809,5}{2,8}} = 5,2 \text{ мм} = 0,52 \text{ см.}$$

– ширина усиления шва по формуле (2.17):

$$B = \psi_{\text{ПР}} h = 2,8 \cdot 0,52 = 1,46 \text{ см} = 14,6 \text{ мм.}$$

– высота усиления шва определяется по формуле (2.18):

$$C = \frac{F_{\text{Н}}}{0,73B} = \frac{0,35}{0,73 \cdot 1,46} = 0,33 \text{ см} = 3,3 \text{ мм.}$$

Полученные геометрические размеры швов соответствуют требованиям.

Безразмерный критерий процесса $\bar{\omega}$ зависит от другого безразмерного критерия, который рассчитывается по формуле (2.25)

$$\frac{1}{\theta} = \frac{2q_{\text{ПОГ}}}{\pi \delta^2 c \gamma (T_{\text{М}} - T_{\text{О}})} = \frac{2 \cdot 2809,5}{3,14 \cdot 2^2 \cdot 1,25 \cdot (500 - 20)} = 0,7.$$

При значении безразмерного критерия 0,7 значение $\bar{\omega} = 0,92$.

					15.03.01.2019.021.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		64

Тогда, по формуле (2.24) получим, что

$$\omega = \bar{\omega} 2\pi\lambda \frac{(T_M - T_0)^2}{q_{\text{ПОГ}}} = 0,92 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 0,1 \cdot \frac{(500 - 20)^2}{2809,5} = 47,4 \frac{^\circ\text{C}}{\text{с}}.$$

Полученное значение скорости охлаждения не соответствует требуемым для стали 20 (1...7 °С/с), поэтому, при сварке требуется применить предварительный подогрев до температуры 260 °С.

Тогда, по формуле (2.25)

$$\frac{1}{\theta} = \frac{2q_{\text{ПОГ}}}{\pi\delta^2 c\gamma(T_M - T_0)} = \frac{2 \cdot 2809,5}{3,14 \cdot 2^2 \cdot 1,25 \cdot (500 - 260)} = 1,5.$$

При значении безразмерного критерия 1,5 значение $\bar{\omega} = 0,48$.

Тогда, по формуле (2.24) получим, что

$$\omega = 0,48 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 0,1 \cdot \frac{(500 - 260)^2}{2809,5} = 6,2 \frac{^\circ\text{C}}{\text{с}}.$$

Полученное значение мгновенной скорости охлаждения соответствует требуемой для стали 20.

2.5.3 Расчет режимов сварки шва №3

Шов №3 показан на рисунке 2.20. Шов №3 согласно [13] имеет тип соединения ТЗ с катетом 10 мм. Сварка механизированная и производится в среде смеси защитных газов проволокой сплошного сечения диаметром 1,2 мм. Расход газа составляет 16 л/мин. Сварка производится постоянным током прямой полярности. Вылет проволоки примем равным 12 мм.

Рассчитаем площадь поперечного сечения наплавленного металла шва №3 по

					15.03.01.2019.021.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		65

формуле (2.27) из [4]:

$$F_H = \frac{K^2}{2}, \quad (2.27)$$

где $K = 10$ – катет шва, мм.

Тогда, по формуле (2.27) получим, что

$$F_H = \frac{10^2}{2} = 50 \text{ мм}^2 = 0,5 \text{ см}^2.$$

Сварку шва №3 будем производить за один проход. Примем, что сила сварочного тока составляет 270 А.

Рассчитаем режимы сварки:

– плотность тока по формуле (2.1):

$$j = \frac{4I_{CB}}{\pi d_{\text{Э}}^2} = \frac{4 \cdot 270}{3,14 \cdot 1,2^2} = 238,9 \frac{\text{А}}{\text{мм}^2}.$$

Интервал плотностей тока для проволоки диаметром 1,2 мм составляет 90...250 А/мм². Полученное значение плотности тока входит в требуемый интервал.

– напряжение на дуге по формуле (2.2):

$$U_D = 20 + \frac{0,05}{\sqrt{d_{\text{Э}}}} I_{CB} \pm 1 = 20 + \frac{0,05}{\sqrt{1,2}} \cdot 270 \pm 1 = 32,3 \pm 1 \text{ В}.$$

– составляющая, обусловленная тепловложением дуги по формуле (2.6):

$$\alpha'_p = 6,3 + \frac{0,0702 I_{CB}}{d_{\text{Э}}^{1,035}} = 6,3 + \frac{0,0702 \cdot 270}{1,2^{1,035}} = 22 \frac{\text{г}}{\text{Ач}}.$$

					15.03.01.2019.021.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		66

– условная скорость подачи проволоки по формуле (2.10):

$$V_{\text{Э}} = \frac{4\alpha'_p I_{\text{СВ}}}{3600\pi\gamma d_{\text{Э}}^2} = \frac{4 \cdot 22 \cdot 270}{3600 \cdot 3,14 \cdot 7,8 \cdot 0,12^2} = 18,7 \frac{\text{см}}{\text{с}}.$$

– коэффициент $\beta = 19176,6$ ед;

– коэффициент $p_1 = -233,1$ ед, $p_2 = -0,7$ ед;

– количество теплоты, расходуемое на предварительный подогрев вылета электродной проволоки протекающим по нему током $Q_{\text{ПП}} = 39,1$ кал;

– составляющая, зависящая от тепловложения вследствие предварительного нагрева вылета электрода протекающим током по формуле (2.7):

$$\Delta\alpha_p = \frac{3600Q_{\text{ПП}}}{q_{\text{Э}} I_{\text{СВ}}} = \frac{3600 \cdot 39,1}{325 \cdot 270} = 1,6 \frac{\text{г}}{\text{Ач}}.$$

– коэффициент расплавления по формуле (2.6):

$$\alpha_p = \alpha'_p + \Delta\alpha_p = 22 + 1,6 = 23,6 \frac{\text{г}}{\text{Ач}}.$$

– скорость подачи проволоки по формуле (2.4):

$$V_{\text{ПОД}} = \frac{\alpha_p I_{\text{СВ}}}{3600F_{\text{Э}}\gamma} = \frac{23,6 \cdot 270}{3600 \cdot 0,0113 \cdot 7,8} = 20,1 \frac{\text{см}}{\text{с}}.$$

– коэффициент потерь по формуле (2.12)

$$\psi_{\text{П}} = 0,176 \cdot 238,9 - 0,000448 \cdot 238,9^2 - 4,72 = 11,8 \ %.$$

– скорость сварки по формуле (2.3):

					15.03.01.2019.021.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		67

$$V_{CB} = \frac{20,1}{0,5 \cdot (1 - 0,118)} \cdot 0,0113 = 0,45 \frac{\text{см}}{\text{с}}$$

– эффективный КПД нагрева изделия дугой $\eta = 0,85$ ед;

– погонная энергия по формуле (2.13):

$$q_{\Pi} = \frac{0,24 U_{\text{д}} I_{CB} \eta}{V_{CB}} = \frac{0,24 \cdot 32,3 \cdot 270 \cdot 0,85}{0,45} = 3953,5 \frac{\text{кал}}{\text{см}}$$

Безразмерный критерий процесса $\bar{\omega}$ зависит от другого безразмерного критерия, который определяется по формуле (2.22)

$$\frac{1}{\theta} = \frac{2k_1 q_{\text{ПОГ}}}{\pi(\delta k_2)^2 c \gamma (T_M - T_0)} = \frac{2 \cdot 2 \cdot 3953,5}{3 \cdot 3,14 \cdot (2 \cdot 1)^2 \cdot 1,25 \cdot (500 - 20)} = 0,7.$$

При значении безразмерного критерия 0,7 величина $\bar{\omega} = 0,92$.

Рассчитаем мгновенную скорость охлаждения металла при первом проходе по формуле (2.21)

$$\omega = \bar{\omega} 2\pi \lambda \frac{(T_M - T_0)^2}{k_1 q_{\text{ПОГ}}} = 0,92 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 0,1 \cdot \frac{3 \cdot (500 - 20)^2}{2 \cdot 3953,5} = 50,5 \frac{\text{°C}}{\text{с}}$$

Полученное значение мгновенной скорости охлаждения превышает максимальное для стали Ст3сп (1,2...12 °C/с), поэтому, при сварке требуется применить предварительный подогрев до температуры 250 °C.

Тогда, по формуле (2.22) получим, что

$$\frac{1}{\theta} = \frac{2k_1 q_{\text{ПОГ}}}{\pi(\delta k_2)^2 c \gamma (T_M - T_0)} = \frac{2 \cdot 2 \cdot 3953,5}{3 \cdot 3,14 \cdot (2 \cdot 1)^2 \cdot 1,25 \cdot (500 - 250)} = 1,3.$$

При значении безразмерного критерия 1,3 величина $\bar{\omega} = 0,59$.

										Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						68

По формуле (2.21) получим, что

$$\omega = 0,59 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 0,1 \cdot \frac{3 \cdot (500 - 250)^2}{2 \cdot 3953,5} = 8,8 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{с}}$$

Полученное значение скорости охлаждения соответствует требованиям, следовательно, параметры режима сварки рассчитаны правильно.

2.5.4 Расчет режимов сварки шва №4

Шов №4 показан на рисунке 2.23.

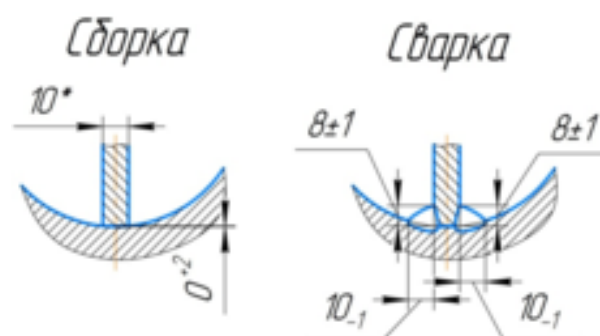


Рисунок 2.23 – Шов №4

Шов №4 является нестандартным. Сварка механизированная и производится в среде смеси защитных газов проволокой сплошного сечения диаметром 1,2 мм. Расход газа составляет 16 л/мин. Сварка производится постоянным током прямой полярности. Вылет проволоки прием равным 12 мм.

Рассчитаем площадь поперечного сечения наплавленного металла шва №3 по формуле (2.28) из [4]:

$$F_H = \frac{K_1 K_2}{2}, \quad (2.28)$$

где $K_1 = 8$ – высота шва, мм;

$K_2 = 10$ – ширина шва, мм

Тогда, по формуле (2.28) получим, что

$$F_H = \frac{10 \cdot 8}{2} = 40 \text{ мм}^2 = 0,4 \text{ см}^2.$$

Сварку шва №4 будем производить за один проход. Примем, что сила сварочного тока составляет 270 А.

Рассчитаем режимы сварки:

– плотность тока по формуле (2.1):

$$j = \frac{4I_{CB}}{\pi d_{\text{Э}}^2} = \frac{4 \cdot 270}{3,14 \cdot 1,2^2} = 238,9 \frac{\text{А}}{\text{мм}^2}.$$

Интервал плотностей тока для проволоки диаметром 1,2 мм составляет 90...250 А/мм². Полученное значение плотности тока входит в требуемый интервал.

– напряжение на дуге по формуле (2.2):

$$U_D = 20 + \frac{0,05}{\sqrt{d_{\text{Э}}}} I_{CB} \pm 1 = 20 + \frac{0,05}{\sqrt{1,2}} \cdot 270 \pm 1 = 32,3 \pm 1 \text{ В}.$$

– составляющая, обусловленная тепловложением дуги по формуле (2.6):

$$\alpha'_p = 6,3 + \frac{0,0702 I_{CB}}{d_{\text{Э}}^{1,035}} = 6,3 + \frac{0,0702 \cdot 270}{1,2^{1,035}} = 22 \frac{\text{г}}{\text{Ач}}.$$

– условная скорость подачи проволоки по формуле (2.10):

$$V_{\text{Э}} = \frac{4\alpha'_p I_{CB}}{3600\pi \gamma d_{\text{Э}}^2} = \frac{4 \cdot 22 \cdot 270}{3600 \cdot 3,14 \cdot 7,8 \cdot 0,12^2} = 18,7 \frac{\text{см}}{\text{с}}.$$

– коэффициент $\beta = 19176,6$ ед;

– коэффициент $p_1 = -233,1$ ед, $p_2 = -0,7$ ед;

					15.03.01.2019.021.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		70

– количество теплоты, расходуемое на предварительный подогрев вылета электродной проволоки протекающим по нему током $Q_{III} = 39,1$ кал;

– составляющая, зависящая от тепловложения вследствие предварительного нагрева вылета электрода протекающим током по формуле (2.7):

$$\Delta\alpha_p = \frac{3600Q_{III}}{q_{\Sigma}I_{CB}} = \frac{3600 \cdot 39,1}{325 \cdot 270} = 1,6 \frac{\text{г}}{\text{Ач}}.$$

– коэффициент расплавления по формуле (2.6):

$$\alpha_p = \alpha'_p + \Delta\alpha_p = 22 + 1,6 = 23,6 \frac{\text{г}}{\text{Ач}}.$$

– скорость подачи проволоки по формуле (2.4):

$$V_{\text{ПОД}} = \frac{\alpha_p I_{CB}}{3600 F_{\Sigma} \gamma} = \frac{23,6 \cdot 270}{3600 \cdot 0,0113 \cdot 7,8} = 20,1 \frac{\text{см}}{\text{с}}.$$

– коэффициент потерь по формуле (2.12)

$$\psi_{II} = 0,176 \cdot 238,9 - 0,000448 \cdot 238,9^2 - 4,72 = 11,8 \ %.$$

– скорость сварки по формуле (2.3):

$$V_{CB} = \frac{20,1}{0,4 \cdot (1 - 0,118)} \cdot 0,0113 = 0,57 \frac{\text{см}}{\text{с}}.$$

– эффективный КПД нагрева изделия дугой $\eta = 0,85$ ед;

– погонная энергия по формуле (2.13):

					15.03.01.2019.021.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		71

$$q_{\Pi} = \frac{0,24 U_{\text{Д}} I_{\text{СВ}} \eta}{V_{\text{СВ}}} = \frac{0,24 \cdot 32,3 \cdot 270 \cdot 0,85}{0,57} = 3121,2 \frac{\text{кал}}{\text{см}}$$

Безразмерный критерий процесса $\bar{\omega}$ зависит от другого безразмерного критерия, который определяется по формуле (2.22)

$$\frac{1}{\theta} = \frac{2k_1 q_{\text{ПОГ}}}{\pi(\delta k_2)^2 c \gamma (T_M - T_0)} = \frac{2 \cdot 2 \cdot 3121,2}{3 \cdot 3,14 \cdot (2 \cdot 1)^2 \cdot 1,25 \cdot (500 - 20)} = 0,6.$$

При значении безразмерного критерия 0,6 величина $\bar{\omega} = 0,97$.

Рассчитаем мгновенную скорость охлаждения металла при первом проходе по формуле (2.21)

$$\omega = \bar{\omega} 2\pi\lambda \frac{(T_M - T_0)^2}{k_1 q_{\text{ПОГ}}} = 0,97 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 0,1 \cdot \frac{3 \cdot (500 - 20)^2}{2 \cdot 3121,2} = 67,5 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{с}}$$

Полученное значение мгновенной скорости охлаждения превышает максимальное для стали СтЗсп (1,2...12 °С/с), поэтому, при сварке требуется применить предварительный подогрев до температуры 270 °С.

Тогда, по формуле (2.22) получим, что

$$\frac{1}{\theta} = \frac{2k_1 q_{\text{ПОГ}}}{\pi(\delta k_2)^2 c \gamma (T_M - T_0)} = \frac{2 \cdot 2 \cdot 3121,2}{3 \cdot 3,14 \cdot (2 \cdot 1)^2 \cdot 1,25 \cdot (500 - 270)} = 1,2.$$

При значении безразмерного критерия 1,2 величина $\bar{\omega} = 0,65$.

По формуле (2.21) получим, что

$$\omega = 0,65 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 0,1 \cdot \frac{3 \cdot (500 - 270)^2}{2 \cdot 3121,2} = 10,4 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{с}}$$

Полученное значение скорости охлаждения соответствует требованиям,

									Лист
									72
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	15.03.01.2019.021.00 ПЗ				

следовательно, параметры режима сварки рассчитаны правильно.

2.5.5 Расчет режимов сварки шва №5

Шов №5 показан на рисунке 2.24.

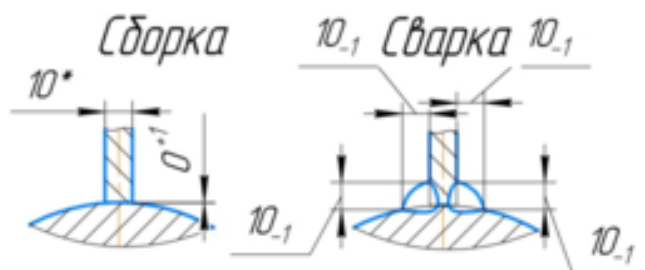


Рисунок 2.24 – Шов №5

Шов №5 является нестандартным. Сварка механизированная и производится в среде смеси защитных газов проволокой сплошного сечения диаметром 1,2 мм. Расход газа составляет 16 л/мин. Сварка производится постоянным током прямой полярности. Вылет проволоки примем равным 12 мм.

Рассчитаем площадь поперечного сечения наплавленного металла шва №5 по формуле (2.28)

$$F_H = \frac{K_1 K_2}{2} = \frac{10 \cdot 10}{2} = 50 \text{ мм}^2 = 0,5 \text{ см}^2$$

Сварку шва №5 будем производить за один проход. Примем, что сила сварочного тока составляет 270 А.

Рассчитаем режимы сварки:

– плотность тока по формуле (2.1):

$$j = \frac{4I_{CB}}{\pi d_3^2} = \frac{4 \cdot 270}{3,14 \cdot 1,2^2} = 238,9 \frac{\text{А}}{\text{мм}^2}$$

Интервал плотностей тока для проволоки диаметром 1,2 мм составляет 90...250 А/мм². Полученное значение плотности тока входит в требуемый

интервал.

– напряжение на дуге по формуле (2.2):

$$U_{\text{д}} = 20 + \frac{0,05}{\sqrt{d_{\text{э}}}} I_{\text{СВ}} \pm 1 = 20 + \frac{0,05}{\sqrt{1,2}} \cdot 270 \pm 1 = 32,3 \pm 1 \text{ В.}$$

– составляющая, обусловленная тепловложением дуги по формуле (2.6):

$$\alpha'_{\text{р}} = 6,3 + \frac{0,0702 I_{\text{СВ}}}{d_{\text{э}}^{1,035}} = 6,3 + \frac{0,0702 \cdot 270}{1,2^{1,035}} = 22 \frac{\text{г}}{\text{Ач}}.$$

– условная скорость подачи проволоки по формуле (2.10):

$$V_{\text{э}} = \frac{4\alpha'_{\text{р}} I_{\text{СВ}}}{3600\pi\gamma d_{\text{э}}^2} = \frac{4 \cdot 22 \cdot 270}{3600 \cdot 3,14 \cdot 7,8 \cdot 0,12^2} = 18,7 \frac{\text{см}}{\text{с}}.$$

– коэффициент $\beta = 19176,6$ ед;

– коэффициент $p_1 = -233,1$ ед, $p_2 = -0,7$ ед;

– количество теплоты, расходуемое на предварительный подогрев вылета электродной проволоки протекающим по нему током $Q_{\text{ПП}} = 39,1$ кал;

– составляющая, зависящая от тепловложения вследствие предварительного нагрева вылета электрода протекающим током по формуле (2.7):

$$\Delta\alpha_{\text{р}} = \frac{3600 Q_{\text{ПП}}}{q_{\text{э}} I_{\text{СВ}}} = \frac{3600 \cdot 39,1}{325 \cdot 270} = 1,6 \frac{\text{г}}{\text{Ач}}.$$

– коэффициент расплавления по формуле (2.6):

$$\alpha_{\text{р}} = \alpha'_{\text{р}} + \Delta\alpha_{\text{р}} = 22 + 1,6 = 23,6 \frac{\text{г}}{\text{Ач}}.$$

					15.03.01.2019.021.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		74

– скорость подачи проволоки по формуле (2.4):

$$V_{\text{ПОД}} = \frac{\alpha_p I_{\text{СВ}}}{3600 F_{\text{ЭГ}}} = \frac{23,6 \cdot 270}{3600 \cdot 0,0113 \cdot 7,8} = 20,1 \frac{\text{см}}{\text{с}}.$$

– коэффициент потерь по формуле (2.12)

$$\psi_{\text{П}} = 0,176 \cdot 238,9 - 0,000448 \cdot 238,9^2 - 4,72 = 11,8 \%$$

– скорость сварки по формуле (2.3):

$$V_{\text{СВ}} = \frac{20,1}{0,5 \cdot (1 - 0,118)} \cdot 0,0113 = 0,45 \frac{\text{см}}{\text{с}}.$$

– эффективный КПД нагрева изделия дугой $\eta = 0,85$ ед;

– погонная энергия по формуле (2.13):

$$q_{\text{П}} = \frac{0,24 U_{\text{Д}} I_{\text{СВ}} \eta}{V_{\text{СВ}}} = \frac{0,24 \cdot 32,3 \cdot 270 \cdot 0,85}{0,45} = 3953,5 \frac{\text{кал}}{\text{см}}.$$

Безразмерный критерий процесса $\bar{\omega}$ зависит от другого безразмерного критерия, который определяется по формуле (2.22)

$$\frac{1}{\theta} = \frac{2k_1 q_{\text{ПОГ}}}{\pi(\delta k_2)^2 c \gamma (T_{\text{М}} - T_0)} = \frac{2 \cdot 2 \cdot 3953,5}{3 \cdot 3,14 \cdot (2 \cdot 1)^2 \cdot 1,25 \cdot (500 - 20)} = 0,7.$$

При значении безразмерного критерия 0,7 величина $\bar{\omega} = 0,92$.

Рассчитаем мгновенную скорость охлаждения металла при первом проходе по формуле (2.21)

					15.03.01.2019.021.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		75

$$\omega = \bar{\omega} 2\pi\lambda \frac{(T_M - T_0)^2}{k_1 q_{\text{ПОГ}}} = 0,92 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 0,1 \cdot \frac{3 \cdot (500 - 20)^2}{2 \cdot 3953,5} = 50,5 \frac{^\circ\text{C}}{\text{с}}$$

Полученное значение мгновенной скорости охлаждения превышает максимальное для стали СтЗсп (1,2...12 °С/с), поэтому, при сварке требуется применить предварительный подогрев до температуры 250 °С.

Тогда, по формуле (2.22) получим, что

$$\frac{1}{\theta} = \frac{2k_1 q_{\text{ПОГ}}}{\pi(\delta k_2)^2 c \gamma (T_M - T_0)} = \frac{2 \cdot 2 \cdot 3953,5}{3 \cdot 3,14 \cdot (2 \cdot 1)^2 \cdot 1,25 \cdot (500 - 250)} = 1,3.$$

При значении безразмерного критерия 1,3 величина $\bar{\omega} = 0,59$.

По формуле (2.21) получим, что

$$\omega = 0,59 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 0,1 \cdot \frac{3 \cdot (500 - 250)^2}{2 \cdot 3953,5} = 8,8 \frac{^\circ\text{C}}{\text{с}}$$

Полученное значение скорости охлаждения соответствует требованиям, следовательно, параметры режима сварки рассчитаны правильно.

2.5.6 Расчет режимов сварки шва №6

Шов №6 показан на рисунке 2.25.

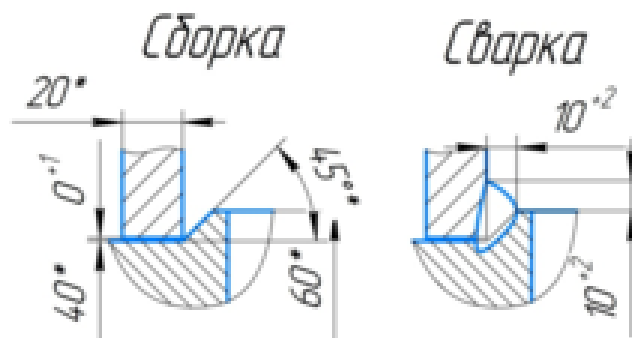


Рисунок 2.25 – Шов №6

Площадь поперечного сечения наплавленного металла шва №6 составляет 200

									Лист
									76
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	15.03.01.2019.021.00 ПЗ				

$$\text{мм}^2 = 2 \text{ см}^2.$$

Шов №6 является нестандартным. Сварка механизированная и производится в среде смеси защитных газов проволокой сплошного сечения диаметром 1,2 мм. Расход газа составляет 20 л/мин. Сварка производится постоянным током прямой полярности. Вылет проволоки примем равным 12 мм.

Примем, что площадь поперечного сечения первого прохода составляет $0,3 \text{ см}^2 = 30 \text{ мм}^2$, площадь сечения заполняющих проходов составляет $0,6 \text{ см}^2 = 60 \text{ мм}^2$, площадь сечения облицовочного прохода $0,5 \text{ см}^2 = 50 \text{ мм}^2$. Таким образом, количество проходов при сварке шва №6:

- при первом проходе – 1 шт;
- при заполняющих проходах – 2 шт;
- при облицовочных проходах – 1 шт.

Рассчитаем режимы сварки шва №6 при первом проходе. Примем, что сила сварочного тока составляет 220 А.

Рассчитаем режимы сварки:

- плотность тока по формуле (2.1):

$$j = \frac{4I_{\text{СВ}}}{\pi d_{\text{Э}}^2} = \frac{4 \cdot 220}{3,14 \cdot 1,2^2} = 194,6 \frac{\text{А}}{\text{мм}^2}.$$

Интервал плотностей тока для проволоки диаметром 1,2 мм составляет 90...250 А/мм². Полученное значение плотности тока входит в требуемый интервал.

- напряжение на дуге по формуле (2.2):

$$U_{\text{Д}} = 20 + \frac{0,05}{\sqrt{d_{\text{Э}}}} I_{\text{СВ}} \pm 1 = 20 + \frac{0,05}{\sqrt{1,2}} \cdot 220 \pm 1 = 30 \pm 1 \text{ В}.$$

- составляющая, обусловленная тепловложением дуги по формуле (2.6):

					15.03.01.2019.021.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		77

$$\alpha'_p = 6,3 + \frac{0,0702 I_{CB}}{d_{\text{Э}}^{1,035}} = 6,3 + \frac{0,0702 \cdot 220}{1,2^{1,035}} = 19,1 \frac{\text{г}}{\text{Ач}}.$$

– условная скорость подачи проволоки по формуле (2.10):

$$V_{\text{Э}} = \frac{4 \alpha'_p I_{CB}}{3600 \pi \gamma d_{\text{Э}}^2} = \frac{4 \cdot 19,1 \cdot 220}{3600 \cdot 3,14 \cdot 7,8 \cdot 0,12^2} = 13,2 \frac{\text{см}}{\text{с}}.$$

– коэффициент $\beta = 12724$ ед;

– коэффициент $p_1 = -164,4$ ед, $p_2 = -0,6$ ед;

– количество теплоты, расходуемое на предварительный подогрев вылета электродной проволоки протекающим по нему током $Q_{\text{ПП}} = 22,9$ кал;

– составляющая, зависящая от тепловложения вследствие предварительного нагрева вылета электрода протекающим током по формуле (2.7):

$$\Delta \alpha_p = \frac{3600 Q_{\text{ПП}}}{q_{\text{Э}} I_{CB}} = \frac{3600 \cdot 22,9}{325 \cdot 220} = 1,2 \frac{\text{г}}{\text{Ач}}.$$

– коэффициент расплавления по формуле (2.6):

$$\alpha_p = \alpha'_p + \Delta \alpha_p = 19,1 + 1,2 = 20,3 \frac{\text{г}}{\text{Ач}}.$$

– скорость подачи проволоки по формуле (2.4):

$$V_{\text{ПОД}} = \frac{\alpha_p I_{CB}}{3600 F_{\text{Э}} \gamma} = \frac{20,3 \cdot 220}{3600 \cdot 0,0113 \cdot 7,8} = 14,1 \frac{\text{см}}{\text{с}}.$$

– коэффициент потерь по формуле (2.12)

$$\psi_{\text{П}} = 0,176 \cdot 194,6 - 0,000448 \cdot 194,6^2 - 4,72 = 12,6 \ %.$$

									Лист
									78
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	15.03.01.2019.021.00 ПЗ				

– скорость сварки по формуле (2.3):

$$V_{CB} = \frac{14,1}{0,3 \cdot (1 - 0,126)} \cdot 0,0113 = 0,53 \frac{\text{см}}{\text{с}}.$$

– эффективный КПД нагрева изделия дугой $\eta = 0,85$ ед;

– погонная энергия по формуле (2.13):

$$q_{\Pi} = \frac{0,24 U_{\text{д}} I_{CB} \eta}{V_{CB}} = \frac{0,24 \cdot 30 \cdot 220 \cdot 0,85}{0,53} = 2540,4 \frac{\text{кал}}{\text{см}}.$$

Безразмерный критерий процесса $\bar{\omega}$ зависит от другого безразмерного критерия, который определяется по формуле (2.22)

$$\frac{1}{\theta} = \frac{2k_1 q_{\text{ПОГ}}}{\pi(\delta k_2)^2 c \gamma (T_M - T_0)} = \frac{2 \cdot 1,3 \cdot 2540,4}{3,14 \cdot (2 \cdot 1,3)^2 \cdot 1,25 \cdot (500 - 20)} = 0,5.$$

При значении безразмерного критерия 0,5 величина $\bar{\omega} = 0,98$.

Рассчитаем мгновенную скорость охлаждения металла при первом проходе по формуле (2.21)

$$\omega = \bar{\omega} 2\pi\lambda \frac{(T_M - T_0)^2}{k_1 q_{\text{ПОГ}}} = 0,98 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 0,1 \cdot \frac{(500 - 20)^2}{1,3 \cdot 2540,4} = 42,5 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{с}}.$$

Полученное значение мгновенной скорости охлаждения превышает максимальное для стали СтЗсп (1,2...12 °С/с), поэтому, при сварке требуется применить предварительный подогрев до температуры 220 °С.

Тогда, по формуле (2.22) получим, что

$$\frac{1}{\theta} = \frac{2k_1 q_{\text{ПОГ}}}{\pi(\delta k_2)^2 c \gamma (T_M - T_0)} = \frac{2 \cdot 1,3 \cdot 2540,4}{3,14 \cdot (2 \cdot 1,3)^2 \cdot 1,25 \cdot (500 - 220)} = 0,9.$$

					15.03.01.2019.021.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		79

При значении безразмерного критерия 0,9 величина $\bar{\omega}=0,74$.

По формуле (2.21) получим, что

$$\omega=0,74 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 0,1 \cdot \frac{(500-220)^2}{1,3 \cdot 2540,4} = 11 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{с}}.$$

Полученное значение скорости охлаждения соответствует требованиям, следовательно, параметры режима сварки рассчитаны правильно.

Рассчитаем режимы сварки шва №6 при заполняющих проходах. Площадь поперечного сечения шва составляет $60 \text{ мм}^2 = 0,6 \text{ см}^2$. Диаметр проволоки при сварке заполняющих проходов составляет 1,2 мм. Сварку будем производить на постоянном токе прямой полярности. Примем, что сила сварочного тока составляет 280 А.

Рассчитаем режимы сварки:

– плотность тока по формуле (2.1):

$$j = \frac{4I_{\text{СВ}}}{\pi d_{\text{Э}}^2} = \frac{4 \cdot 280}{3,14 \cdot 1,2^2} = 247,7 \frac{\text{А}}{\text{мм}^2}.$$

Интервал плотностей тока для проволоки диаметром 2 мм составляет 90...250 А/мм². Полученное значение плотности тока входит в требуемый интервал.

– напряжение на дуге по формуле (2.2):

$$U_{\text{Д}} = 20 + \frac{0,05}{\sqrt{d_{\text{Э}}}} I_{\text{СВ}} \pm 1 = 20 + \frac{0,05}{\sqrt{1,2}} \cdot 280 \pm 1 = 32,8 \pm 1 \text{ В}.$$

– составляющая, обусловленная тепловложением дуги по формуле (2.6):

$$\alpha'_{\text{р}} = 6,3 + \frac{0,0702 I_{\text{СВ}}}{d_{\text{Э}}^{1,035}} = 6,3 + \frac{0,0702 \cdot 280}{1,2^{1,035}} = 22,6 \frac{\text{г}}{\text{Ач}}.$$

									Лист
									80
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	15.03.01.2019.021.00 ПЗ				

– условная скорость подачи проволоки по формуле (2.10):

$$V_{\text{Э}} = \frac{4\alpha'_p I_{\text{СВ}}}{3600\pi\gamma d_{\text{Э}}^2} = \frac{4 \cdot 22,6 \cdot 280}{3600 \cdot 3,14 \cdot 7,8 \cdot 0,12^2} = 19,9 \frac{\text{см}}{\text{с}}.$$

– коэффициент $\beta = 20615,4$ ед;

– коэффициент $p_1 = -248,1$ ед, $p_2 = -0,7$ ед;

– количество теплоты, расходуемое на предварительный подогрев вылета электродной проволоки протекающим по нему током $Q_{\text{ПП}} = 41,6$ кал;

– составляющая, зависящая от тепловложения вследствие предварительного нагрева вылета электрода протекающим током по формуле (2.7):

$$\Delta\alpha_p = \frac{3600Q_{\text{ПП}}}{q_{\text{Э}} I_{\text{СВ}}} = \frac{3600 \cdot 41,6}{325 \cdot 280} = 1,6 \frac{\text{г}}{\text{Ач}}.$$

– коэффициент расплавления по формуле (2.6):

$$\alpha_p = \alpha'_p + \Delta\alpha_p = 22,6 + 1,6 = 24,2 \frac{\text{г}}{\text{Ач}}.$$

– скорость подачи проволоки по формуле (2.4):

$$V_{\text{ПОД}} = \frac{\alpha_p I_{\text{СВ}}}{3600F_{\text{Э}}\gamma} = \frac{24,2 \cdot 280}{3600 \cdot 0,0113 \cdot 7,8} = 21,4 \frac{\text{см}}{\text{с}}.$$

– коэффициент потерь по формуле (2.12)

$$\psi_{\text{П}} = 0,176 \cdot 247,7 - 0,000448 \cdot 247,7^2 - 4,72 = 11,4 \text{ \%}.$$

– скорость сварки по формуле (2.3):

					15.03.01.2019.021.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		81

$$V_{CB} = \frac{21,4}{0,6 \cdot (1 - 0,114)} \cdot 0,0113 = 0,4 \frac{\text{см}}{\text{с}}.$$

- эффективный КПД нагрева изделия дугой $\eta = 0,85$ ед;
- погонная энергия по формуле (2.13):

$$q_{II} = \frac{0,24 U_D I_{CB} \eta}{V_{CB}} = \frac{0,24 \cdot 32,8 \cdot 280 \cdot 0,85}{0,4} = 4683,8 \frac{\text{кал}}{\text{см}}.$$

Рассчитаем режимы сварки шва №6 при облицовочном проходе. Площадь поперечного сечения шва составляет $50 \text{ мм}^2 = 0,5 \text{ см}^2$. Диаметр проволоки при сварке облицовочных проходов составляет 1,2 мм. Сварку будем производить на постоянном токе прямой полярности. Примем, что сила сварочного тока составляет 270 А.

Рассчитаем режимы сварки:

- плотность тока по формуле (2.1):

$$j = \frac{4 I_{CB}}{\pi d_{\text{Э}}^2} = \frac{4 \cdot 270}{3,14 \cdot 1,2^2} = 238,9 \frac{\text{А}}{\text{мм}^2}.$$

Интервал плотностей тока для проволоки диаметром 1,2 мм составляет 90...250 А/мм². Полученное значение плотности тока входит в требуемый интервал.

- напряжение на дуге по формуле (2.2):

$$U_D = 20 + \frac{0,05}{\sqrt{d_{\text{Э}}}} I_{CB} \pm 1 = 20 + \frac{0,05}{\sqrt{1,2}} \cdot 270 \pm 1 = 32,3 \pm 1 \text{ В}.$$

- составляющая, обусловленная тепловложением дуги по формуле (2.6):

										Лист
										82
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	15.03.01.2019.021.00 ПЗ					

$$\alpha'_p = 6,3 + \frac{0,0702 I_{CB}}{d_{\text{Э}}^{1,035}} = 6,3 + \frac{0,0702 \cdot 270}{1,2^{1,035}} = 22 \frac{\text{г}}{\text{Ач}}.$$

– условная скорость подачи проволоки по формуле (2.10):

$$V_{\text{Э}} = \frac{4\alpha'_p I_{CB}}{3600\pi\gamma d_{\text{Э}}^2} = \frac{4 \cdot 22 \cdot 270}{3600 \cdot 3,14 \cdot 7,8 \cdot 0,12^2} = 18,7 \frac{\text{см}}{\text{с}}.$$

– коэффициент $\beta = 19176,6$ ед;

– коэффициент $p_1 = -233,1$ ед, $p_2 = -0,7$ ед;

– количество теплоты, расходуемое на предварительный подогрев вылета электродной проволоки протекающим по нему током $Q_{\text{ПП}} = 39,1$ кал;

– составляющая, зависящая от тепловложения вследствие предварительного нагрева вылета электрода протекающим током по формуле (2.7):

$$\Delta\alpha_p = \frac{3600 Q_{\text{ПП}}}{q_{\text{Э}} I_{CB}} = \frac{3600 \cdot 39,1}{325 \cdot 270} = 1,6 \frac{\text{г}}{\text{Ач}}.$$

– коэффициент расплавления по формуле (2.6):

$$\alpha_p = \alpha'_p + \Delta\alpha_p = 22 + 1,6 = 23,6 \frac{\text{г}}{\text{Ач}}.$$

– скорость подачи проволоки по формуле (2.4):

$$V_{\text{ПОД}} = \frac{\alpha_p I_{CB}}{3600 F_{\text{Э}} \gamma} = \frac{23,6 \cdot 270}{3600 \cdot 0,0113 \cdot 7,8} = 20,1 \frac{\text{см}}{\text{с}}.$$

– коэффициент потерь по формуле (2.12)

$$\psi_{\text{П}} = 0,176 \cdot 238,9 - 0,000448 \cdot 238,9^2 - 4,72 = 11,8 \text{ \%}.$$

										Лист
										83
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	15.03.01.2019.021.00 ПЗ					

– скорость сварки по формуле (2.3):

$$V_{CB} = \frac{20,1}{0,5 \cdot (1 - 0,118)} \cdot 0,0113 = 0,45 \frac{\text{см}}{\text{с}}.$$

– эффективный КПД нагрева изделия дугой $\eta = 0,85$ ед;

– погонная энергия по формуле (2.13):

$$q_{\Pi} = \frac{0,24 U_{д} I_{CB} \eta}{V_{CB}} = \frac{0,24 \cdot 32,3 \cdot 270 \cdot 0,85}{0,45} = 3953,5 \frac{\text{кал}}{\text{см}}.$$

Безразмерный критерий процесса $\bar{\omega}$ зависит от другого безразмерного критерия, который рассчитывается по формуле (2.25)

$$\frac{1}{\theta} = \frac{2q_{\Pi\text{ОГ}}}{\pi \delta^2 c \gamma (T_M - T_O)} = \frac{2 \cdot 3953,5}{3,14 \cdot 2^2 \cdot 1,25 \cdot (500 - 20)} = 0,5.$$

При значении безразмерного критерия 0,5 значение $\bar{\omega} = 0,98$.

Тогда, по формуле (2.24) получим, что

$$\omega = \bar{\omega} 2\pi\lambda \frac{(T_M - T_O)^2}{q_{\Pi\text{ОГ}}} = 0,98 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 0,1 \cdot \frac{(500 - 20)^2}{3953,5} = 42,9 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{с}}.$$

Полученное значение скорости охлаждения не соответствует требуемым для стали 20 (1...7 °С/с), поэтому, при сварке требуется применить предварительный подогрев до температуры 280 °С.

Тогда, по формуле (2.25)

$$\frac{1}{\theta} = \frac{2q_{\Pi\text{ОГ}}}{\pi \delta^2 c \gamma (T_M - T_O)} = \frac{2 \cdot 3953,5}{3,14 \cdot 2^2 \cdot 1,25 \cdot (500 - 280)} = 1,1.$$

					15.03.01.2019.021.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		84

При значении безразмерного критерия 1,1 значение $\bar{\omega}=0,72$.

Тогда, по формуле (2.24) получим, что

$$\omega=0,72 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 0,1 \cdot \frac{(500-280)^2}{3953,5} = 6,6 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{с}}.$$

Полученное значение мгновенной скорости охлаждения соответствует требуемой для стали 20.

Рассчитанные и принятые параметры режимов сварки показаны в таблице 2.9.

Таблица 2.9 – Рассчитанные и принятые параметры режимов сварки

Номер шва	Проход	I _{св} , А	U _д , В	V _{св} , см/с	V _{под} , см/с	q _{пог} , кал/см
№1	1	200	32	0,4	12	3264
	2...6	280	32,8	0,36	21,4	5204,3
	7...8	260	35	0,31	18,8	5988,4
№2	1	190	33	0,52	15	2459,8
	2...5	280	32,8	0,54	21,4	3469,5
	6...7	250	31,4	0,57	17,6	2809,5
№3	1	270	32,3	0,45	20,1	3953,5
№4	1	270	32,3	0,57	20,1	3121,2
№5	1	270	32,3	0,45	20,1	3953,5
№6	1	220	30	0,53	14,1	2540,4
	2..3	280	32,8	0,4	21,4	4683,8
	1	270	32,3	0,45	20,1	3953,5

2.6 Выбор оборудования

Для вращения гусака при сварке предлагается применить сварочный вращатель. Ввиду того, что габаритные размеры гусака относительно малы и расстояние между деталями не превышает 200 мм, то закрепление гусака на вращателе затруднительно. Поэтому, для выполнения условий закрепления

вращатель должен состоять из подвижной части с электродвигателем и ответной частью с трехкулачковым патроном.

В качестве подвижной части вращателя выберем сварочный позиционер марки СН-300. Позиционер СН-300 показан на рисунке 2.21.



Рисунок 2.21 – Позиционер СН-300 [24]

Технические характеристики позиционера СН-300 показаны в таблице 2.10.

Таблица 2.10 – Технические характеристики позиционера СН-300 [24]

Характеристика	Значение
Угол наклона, град	0...90
Грузоподъемность, кг, в положении планшайбы:	
– вертикальное	150
– горизонтальное	300
Скорость вращения, об/мин	0,2...2,5
Диаметр планшайбы, мм	450
Высота, мм	500
Питание, В	220
Вес, кг	62

Общий вид закрепления гусака на вращателе показан на рисунке 2.22.

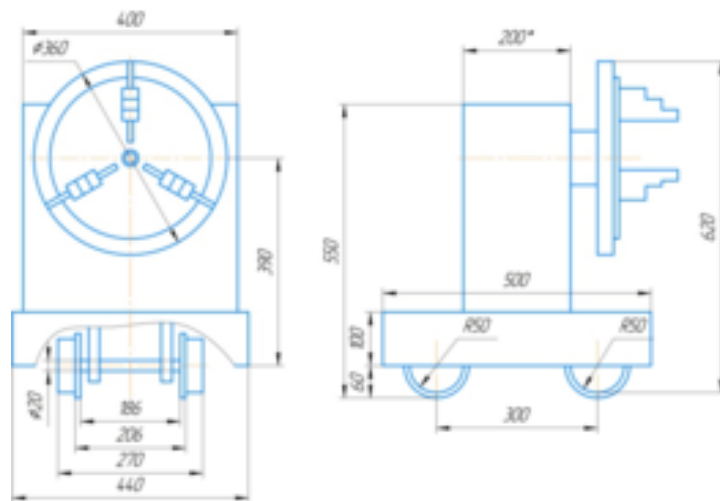


Рисунок 2.24 – Вращатель с трехкулачковым патроном

Вращатели предлагается устанавливать на раму, показанную на рисунке 2.25.

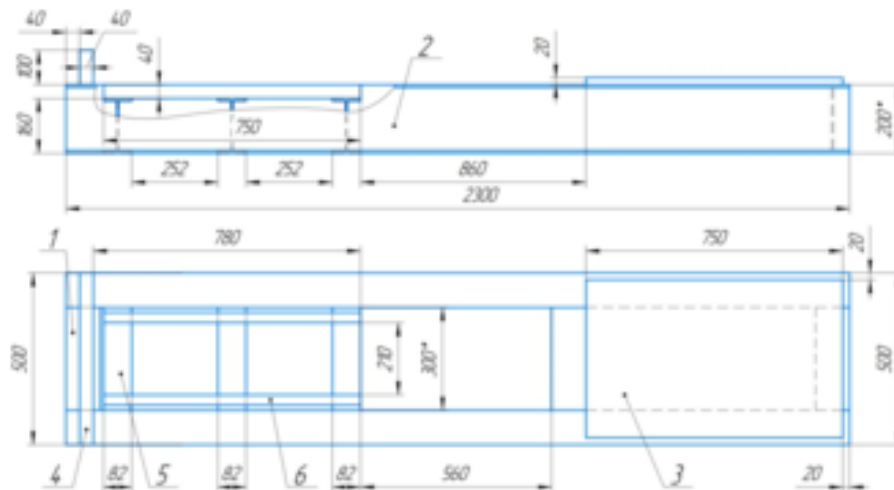


Рисунок 2.25 – Рама для установки вращателей

- 1 – Двутавр 20Б1 L = 340 мм; 2 – Двутавр 20Б1 L = 1950 мм; 3 – Накладка
4 – Упор; 5 – Балка поперечная; 6 – Рельсы

Раму предлагается изготовить своими силами из двутавров 20Б1, поставляемых согласно [18]. Рама должна быть цельносварной со сварными швами согласно [12]. На раму требуется установить накладку для установки на нее позиционера, а также упор, поперечные балки 16Б2[18], рельсы. Чтобы вращатель был закреплён на рельсах в не подвижном состоянии под колёса устанавливаются противооткатные упоры с каждой стороны.

При изготовлении гусака манифольда во вращателе будем сваривать швы №1 и №5, так как остальные швы свариваются при укрупнении деталей в узлы и нижнее положение при сварке обеспечивается.

										Лист
										88
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

Механизированную сварку будем производить сварочным аппаратом Unistep 3500 XP производства фирмы Selco, показанным на рисунке 2.26.



Рисунок 2.26 – Сварочный аппарат Unistep 3500 XP [22]

Характеристики сварочного аппарата Unistep 3500 XP приведены в таблице 2.11. Таблица 2.11 – Характеристики аппарата Unistep 3500 XP [22]

Характеристика	Значение
Источник питания	
Пределы регулирования сварочного тока, А	30...320
Напряжение холостого хода, В	42
Сетевое напряжение, В	3×380
Потребляемая из сети мощность, кВА	15,9
Габаритные размеры, мм	1060×570×780
Вес, кг	139
Блок подачи проволоки	
Пределы регулирования сварочного тока, А	6...500
Диаметр проволоки, мм	0,6...1,6
Скорость подачи проволоки, м/мин	1...18
Сетевое напряжение, В	3×400
Мощность, Вт	90
Габаритные размеры, мм	600×220×440
Вес, кг	17,8

Выводы по разделу 2:

В разделе 2 рассматривается технологический процесс изготовления гусака манифольда. Рассмотрены операции изготовления, применяемое оборудование. Рассмотрен порядок сборки и сварки гусака, а также методы контроля при изготовлении. При рассмотрении технологии изготовления выявлены факторы, которые влияют на качество и производительность. Для устранения влияния этих факторов предложено изменить технологию изготовления заменой оборудования и технологии сварки. Для этого рассчитаны режимы сварки и выбрано оборудование.

3 КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА

3.1 Методы контроля качества

Главными методами контроля качества сварных швов гусака манифольда являются:

- визуальный и измерительный (ВИК);
- радиографический (РК);
- гидроиспытания.

Проведение контроля качества регламентируется требованиями нормативной документации на манифольд.

ВИК применяется на всех операциях по изготовлению узла газораспределительного. 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 труб, фланцев и ребер жесткости, а также применяемых сварочных материалов.

					15.03.01.2019.021.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		90

Проверка деталей 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.

Защитные газы, применяемые при изготовлении узла, проходят проверку соответствия данным, указанным в паспорте. Также проверяется состав защитного газа при помощи ротаметра.

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

РК 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.

Гидравлические испытания проводятся для выявления сквозных дефектов в сварных швах и основном металле. Наличие таких дефектов индицируется появлением течи, потения в сварных швах и основном металле. Изменение геометрии патрубков также является признаком несоответствия основного металла. Гидравлические испытания проводятся на специальном огороженном участке.

					15.03.01.2019.021.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		91

3.2 Допустимые и недопустимые дефекты

Контролируемые параметры фланца (позиция 1) представлены на рисунке 3.1.

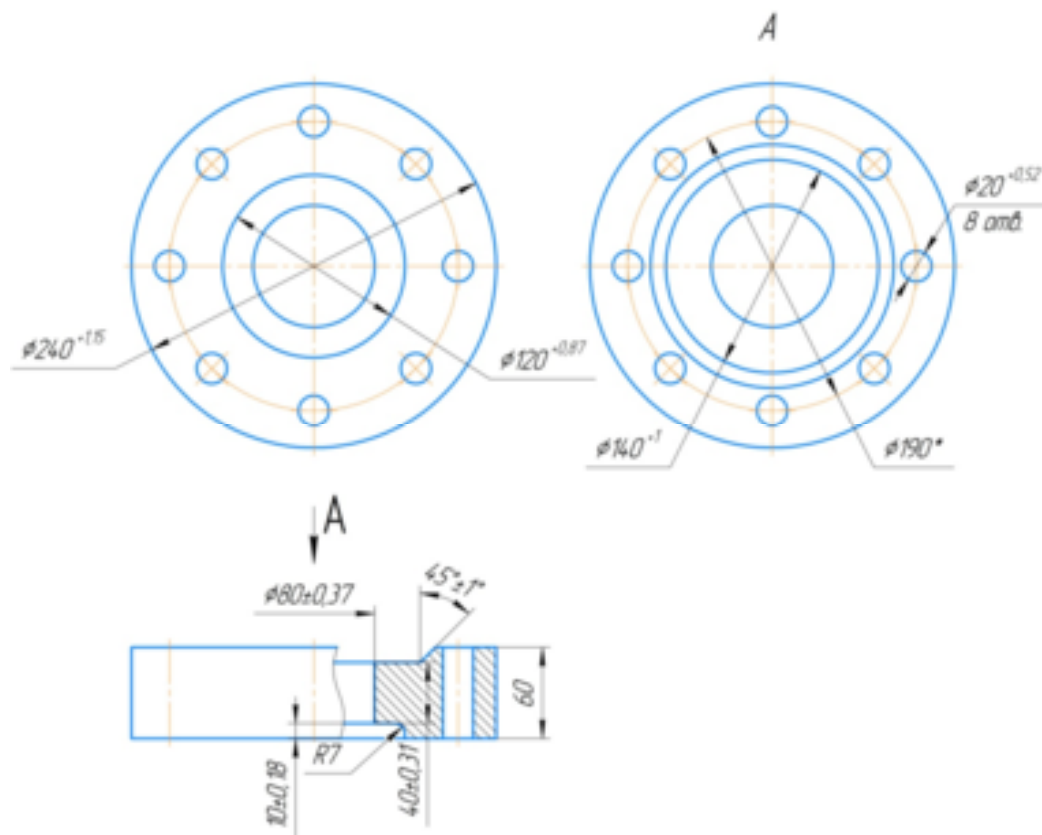


Рисунок 3.1 – Контролируемые параметры фланца (позиция 1)

При проведении ВИК на операции входного контроля фланца проверяются следующие параметры:

- маркировка фланца;
- сертификатные данные;
- $\varnothing 240^{+1.15}$ – отклонение, не соответствующее указанному значению является недопустимым;
- $\varnothing 120^{+0.87}$ – отклонение, не соответствующее указанному значению является недопустимым;
- $\varnothing 20^{+0.52}$ – отклонение, не соответствующее указанному значению является недопустимым;
- $\varnothing 140^{+1}$ – отклонение, не соответствующее указанному значению является недопустимым;
- $\varnothing 80^{+0.37}$ – отклонение, не соответствующее указанному значению является

										Лист
										92
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	15.03.01.2019.021.00 ПЗ					

недопустимым;

– $40 \pm 0,31$ – отклонение, не соответствующее указанному значению является

недопустимым

– $45^\circ \pm 1^\circ$ – отклонение, не соответствующее указанному значению является

недопустимым

– 60 – отклонение, не соответствующее указанному значению является

недопустимым;

– $10 \pm 0,18$ отклонение, не соответствующее указанному значению является

недопустимым;

– радиус 7 мм – отклонение, не соответствующее указанному значению, не является недопустимым и фланец может быть допущен к дальнейшему изготовлению.

Контролируемые параметры фланца (позиция 2) представлены на рисунке 3.2.

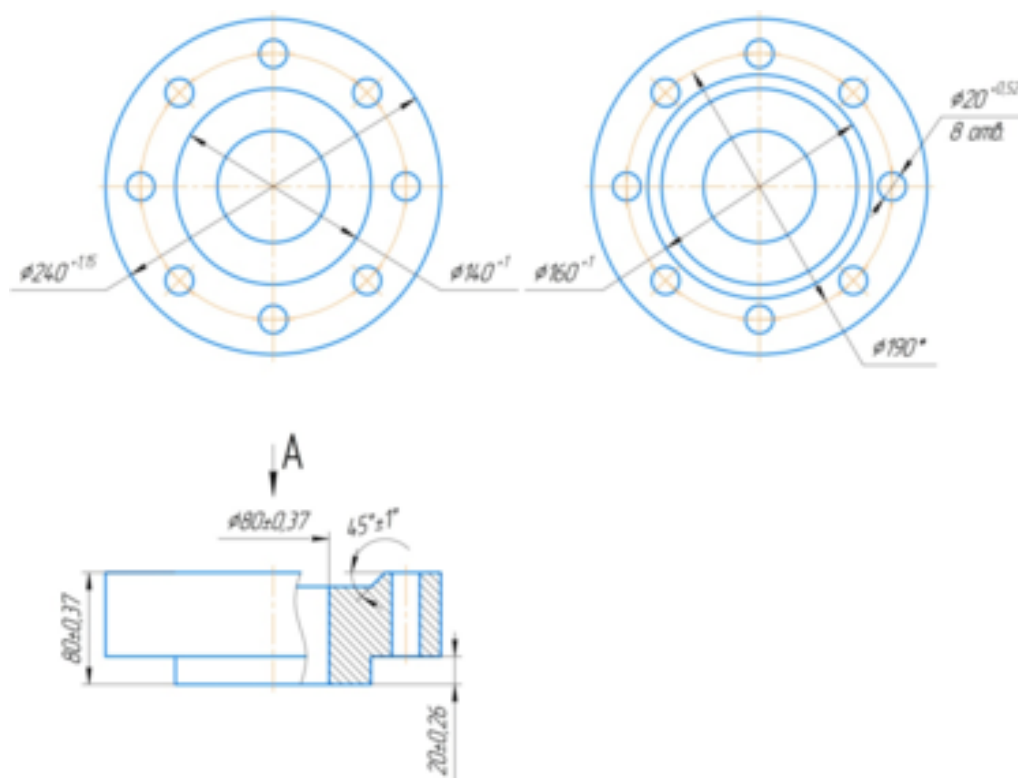


Рисунок 3.2 – Контролируемые параметры фланца (позиция 2)

При проведении ВИК на операции входного контроля фланца проверяются следующие параметры:

- маркировка фланца;
- сертификатные данные;

					15.03.01.2019.021.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		93

- $\varnothing 240^{+1,15}$ – отклонение, не соответствующее указанному значению является недопустимым;
- $\varnothing 20^{+0,52}$ – отклонение, не соответствующее указанному значению является недопустимым;
- $\varnothing 140^{+1}$ – отклонение, не соответствующее указанному значению является недопустимым;
- $\varnothing 160^{+1}$ – отклонение, не соответствующее указанному значению является недопустимым;
- $\varnothing 80^{+0,37}$ – отклонение, не соответствующее указанному значению является недопустимым;
- $20 \pm 0,26$ – отклонение, не соответствующее указанному значению является недопустимым;
- $80 \pm 0,37$ – отклонение, не соответствующее указанному значению является недопустимым;
- $45^\circ \pm 1^\circ$ – отклонение, не соответствующее указанному значению является недопустимым.

Контролируемые параметры ребра жесткости (позиция 3) представлены на рисунке 3.3.

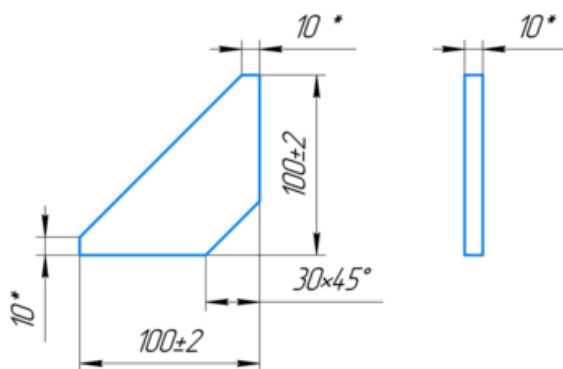


Рисунок 3.3 – Контролируемые параметры ребра жесткости (позиция 3)

При проведении ВИК на операции входного контроля ребра жесткости проверяются следующие параметры:

- сертификатные данные на металл;
- 100 ± 2 – отклонение, не соответствующее указанному значению является недопустимым;

– $30 \times 45^\circ$ – отклонение, не соответствующее указанному значению, не является недопустимым и ребро возможно допустить к изготовлению по согласованию с конструкторским отделом;

– 10^* – отклонение, не соответствующее указанному значению не является недопустимым.

Контролируемые параметры заглушки (позиция 4) представлены на рисунке 3.4.

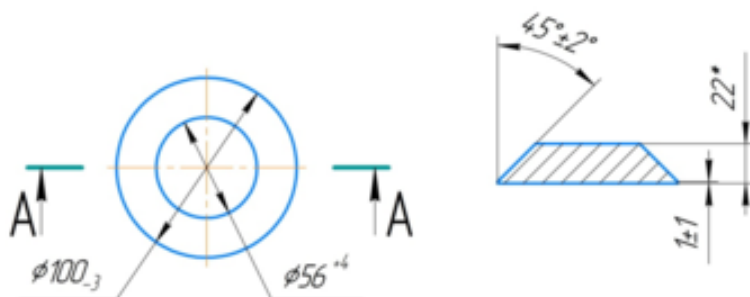


Рисунок 3.4 – Контролируемые параметры заглушки (позиция 4)

При проведении ВИК на операции входного контроля заглушки проверяются следующие параметры:

– сертификатные данные на металл;

– 100_{-3} – отклонение, не соответствующее указанному значению является недопустимым;

– $\phi 56^{+4}$ – отклонение, не соответствующее указанному значению является недопустимым;

– $45^\circ \pm 2^\circ$ – отклонение, не соответствующее указанному значению является недопустимым;

– 1 ± 1 – отклонение, не соответствующее указанному значению является недопустимым.

Контролируемые параметры усиления (позиция 5) представлены на рисунке 3.5.

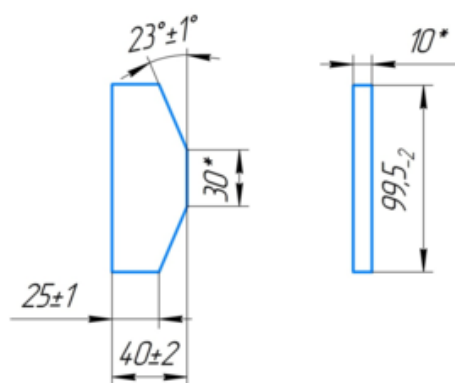


Рисунок 3.5 – Контролируемые параметры усиления (позиция 5)

При проведении ВИК на операции входного контроля усиления проверяются следующие параметры:

- сертификатные данные на металл;
- $99,5_{-2}$ – отклонение, не соответствующее указанному значению является недопустимым;
- $\text{Ø}56^{+4}$ – отклонение, не соответствующее указанному значению является недопустимым;
- $23^\circ \pm 1^\circ$ – отклонение, не соответствующее указанному значению является недопустимым;
- 25 ± 1 – отклонение, не соответствующее указанному значению является недопустимым;
- 40 ± 2 – отклонение, не соответствующее указанному значению является недопустимым;
- 30^* – отклонение, не соответствующее указанному значению не является недопустимым.

При проведении ВИК на операции входного контроля труб для изготовления патрубков проверяются следующие параметры:

- маркировка труб;
- сертификатные данные на металл;
- длина проката – отклонение, не соответствующее указанному значению не является недопустимым;
- $\text{Ø}140 \pm 2$ – отклонение, не соответствующее указанному значению является недопустимым;

					15.03.01.2019.021.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		96

– толщина стенки $20^{+10\%}_{-12,5\%}$ – отклонение, не соответствующее указанному значению является недопустимым;

– кривизна 1,5 мм / 1000 мм – отклонение, не соответствующее указанному значению является недопустимым.

Контролируемые параметры патрубка (позиция б) после заготовительных операций, представлены на рисунке 3.6.

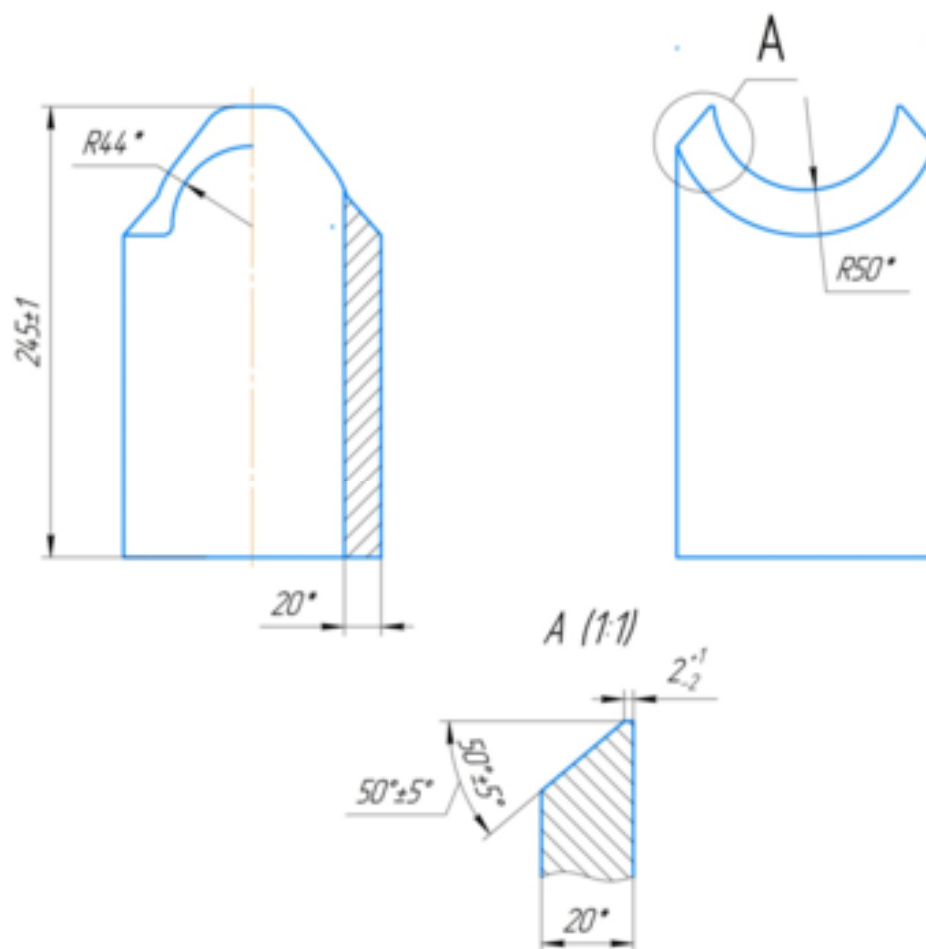


Рисунок 3.6 – Контролируемые параметры патрубка (позиция б) после заготовительных операций

Контролируемые параметры:

– 245 ± 1 – отклонение, не соответствующее указанному значению является недопустимым;

– $R44^*$ – отклонение, не соответствующее указанному значению не является недопустимым;

– $R50^*$ – отклонение, не соответствующее указанному значению является недопустимым;

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

15.03.01.2019.021.00 ПЗ

Лист

97

– $50^\circ \pm 5^\circ$ – отклонение, не соответствующее указанному значению является недопустимым;

– 2_{-2}^{+1} – отклонение, не соответствующее указанному значению является недопустимым.

Контролируемые параметры стояка (позиция 7) после заготовительных операций, представлены на рисунке 3.7.

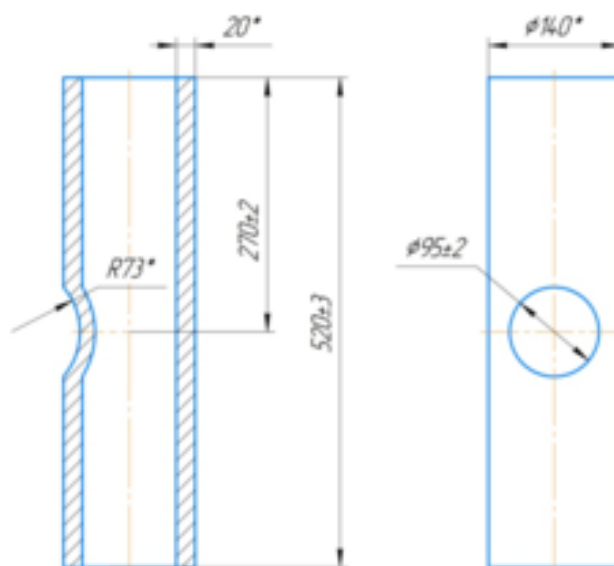


Рисунок 3.7 – Контролируемые параметры стояка (позиция 7)

Контролируемые параметры:

– 270 ± 2 – отклонение, не соответствующее указанному значению является недопустимым;

– 520 ± 3 – отклонение, не соответствующее указанному значению является недопустимым;

– $\varnothing 95 \pm 3$ – отклонение, не соответствующее указанному значению является недопустимым;

– $R73^*$ – отклонение, не соответствующее указанному значению не является недопустимым.

Контролируемые параметры магистрали (позиция 8) после заготовительных операций, представлены на рисунке 3.8.

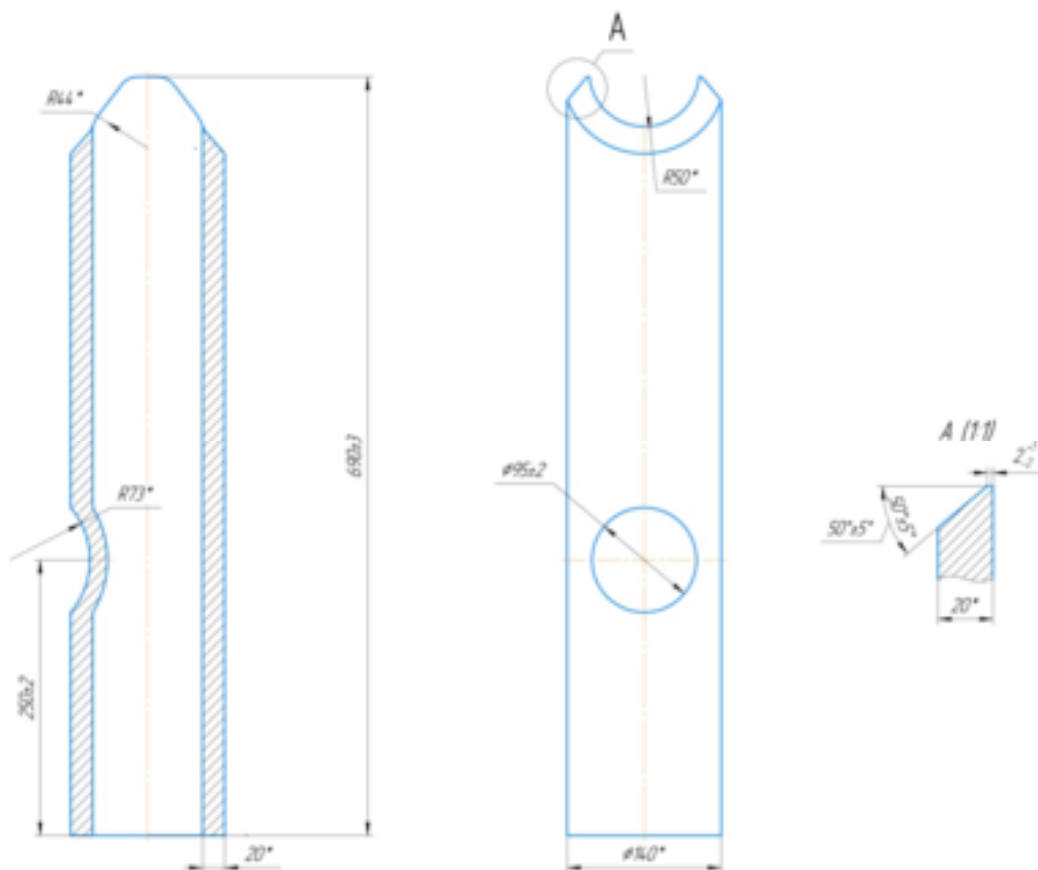


Рисунок 3.8 – Контролируемые параметры магистрали (позиция 8) после заготовительных операций

Контролируемые параметры:

- 250 ± 2 – отклонение, не соответствующее указанному значению является недопустимым;
- 690 ± 3 – отклонение, не соответствующее указанному значению является недопустимым;
- $\text{Ø}95 \pm 3$ – отклонение, не соответствующее указанному значению является недопустимым;
- $R73^*$ – отклонение, не соответствующее указанному значению не является недопустимым;
- $R44^*$ – отклонение, не соответствующее указанному значению не является недопустимым;
- $R50^*$ – отклонение, не соответствующее указанному значению не является недопустимым;
- $50^\circ \pm 5^\circ$ – отклонение, не соответствующее указанному значению является

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

15.03.01.2019.021.00 ПЗ

Лист

99

недопустимым;

– 2_{-2}^{+1} – отклонение, не соответствующее указанному значению является недопустимым

При проведении ВИК сборки и сварки швов проверяются параметры, показанные на рисунке 3.9.

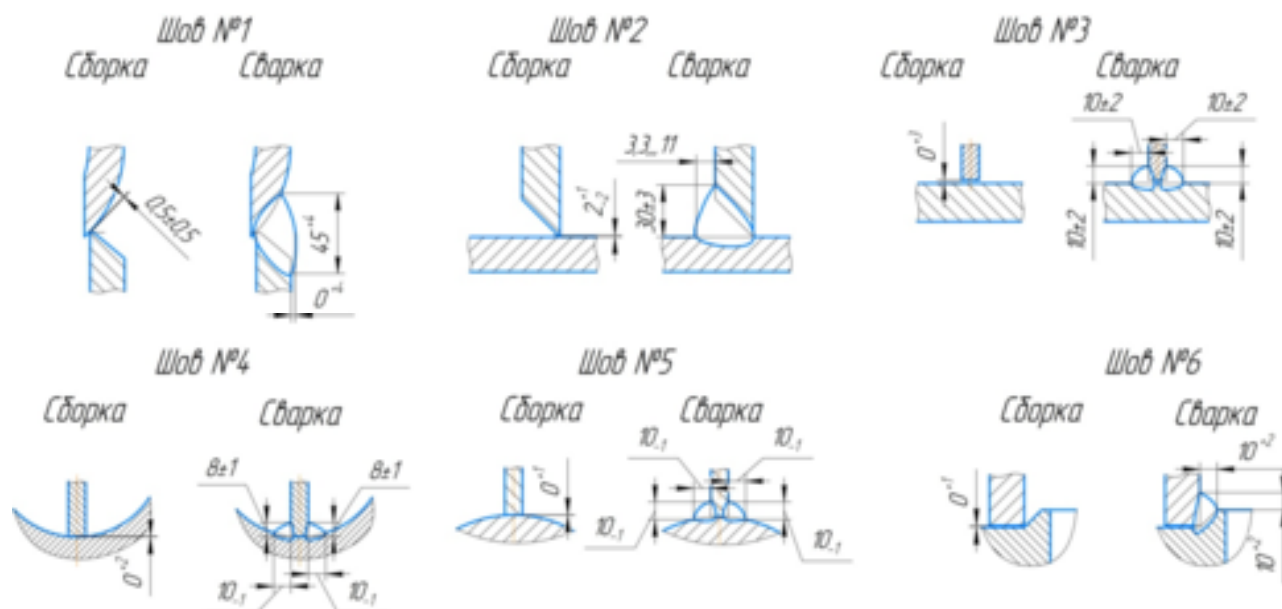


Рисунок 3.9 – Параметры проверки ВИК швов при сборке и сварке

Контролируемые параметры:

– величина зазоров:

а) для шва №1 – $0,5 \pm 0,5$ мм;

б) для шва №2 – 2_{-2}^{+1}

в) для шва №3 – 0^{+3} мм;

г) для шва №4 – 0^{+2} мм;

д) для швов №5 и №6 – 0^{+1} мм.

Несоответствие величины зазоров является недопустимым дефектом;

– ширина шва:

а) для шва №1 – 45^{+4} мм;

б) для шва №2 – 30 ± 3 мм;

в) для шва №4 – 8 ± 1 мм;

Несоответствие ширины шва является недопустимым дефектом;

– высота шва:

- а) для шва №1 – 0^{+4} мм;
- б) для шва №2 – 3,3...11 мм;
- в) для шва №4 – 10_{-1} мм.

Несоответствие высоты шва является недопустимым дефектом;

– катет шва:

- а) для шва №3 – 10 ± 2 мм;
- б) для шва №5 – 10_{-1} мм;
- в) для шва №6 – 10^{+2} мм.

Несоответствие катета шва является недопустимым дефектом.

– внешний вид швов – гладкая или равномерно чешуйчатая поверхность с плавным переходом к основному металлу. Высота чешуек не должна быть более 1 мм. Несоответствие данного параметра является недопустимым дефектом;

– отсутствие наплывов и подрезов глубиной более 0,4 мм. Наличие указанных несоответствий является недопустимым;

– отсутствие поверхностных трещин любых видов направлений. Наличие трещин является недопустимым;

– отсутствие поверхностных несплавлений, прожогов. Наличие таких дефектов является недопустимым;

– отсутствие пор, выходящих на поверхность. Наличие таких дефектов является недопустимым;

– отсутствие незаваренных кратеров в сварных швах. Наличие таких дефектов является недопустимым.

Исправление дефектного участка сварного шва заваркой допускается не более двух раз. Также визуальным контролем проверяется зачистка каждого прохода после проведения сварки. Контроль осуществляется сварщиком.

По результатам радиографического контроля в сварном шве не должно быть следующих дефектов:

- пор диаметром более 1,6 мм на оценочном участке в 50 мм;
- скоплений пор размером более 2% от величины сечения шва;
- трещин всех видов и направлений;

										Лист
										101
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	15.03.01.2019.021.00 ПЗ					

- непроваров;
- несплавлений.

Обнаруженные по результатам контроля дефекты подлежат ремонту в установленном порядке.

По результатам гидравлических испытаний не допускаются падения давления, течи, потения металла и сварных швов.

3.3 Оборудование для контроля качества

При проведении ВИК применяются следующие инструменты:

- для контроля линейных размеров: рулетка измерительная длиной 3 м, линейка металлическая длиной 20 см, микрометр МК-250-0,01, МК-50-0,01;
- для контроля угловых размеров: угломер механический;
- для контроля диаметральных размеров: нутромер НИ 18-50, нутромер НИ 100-160, штангенциркуль ШЦ-1-150-0,1, шаблон;
- для контроля зазоров при сборке: набор щупов №4;
- для контроля высоты и ширины угловых швов: уголок 100×160, линейка металлическая 20 см, универсальный шаблон сварщика УШС-2;
- для контроля величины притупления фасок: штангенциркуль ШЦ-1-150-0,1;
- для контроля толщины стенки: ультразвуковой толщиномер.

При РК контроле применяется рентгеновский аппарат марки Eresco 65 MF4, показанный на рисунке 3.10.

					15.03.01.2019.021.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		102



Рисунок 3.7 – Рентгеновский аппарат марки Eresco 65 MF4 [25]

Характеристики рентгеновского аппарата Eresco 65 MF4 приведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Характеристики рентгеновского аппарата Eresco 65 MF4 [25]

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

При гидравлических испытаниях применяется гидростенд, состоящий из

					15.03.01.2019.021.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		103

следующих элементов:

- гидронасос;
- набор манометров, один из которых подключен к выходному ниппелю гидронасоса, а второй подключен к ниппелю подачи воды в месте соединения с фланцами.

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 [19]. 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 диаметра отверстий и ширины стыковых швов осуществляется штангенциркулем ШЦ-1-125-0,1.

Контроль зазоров при сборке осуществляется набором щупов №4.

Контроль высоты и ширины угловых швов осуществляется уголком 100×160 и линейкой металлической 20 см.

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

					15.03.01.2019.021.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		104

3.4.2 Радиографический контроль

При РК угловых швов №1 применяется схема «через 2 стенки». Радиографическая пленка устанавливается с одной стороны объекта, а просвечивание производится снаружи с направлением на пленку. Схема контроля показана на рисунке 3.8.

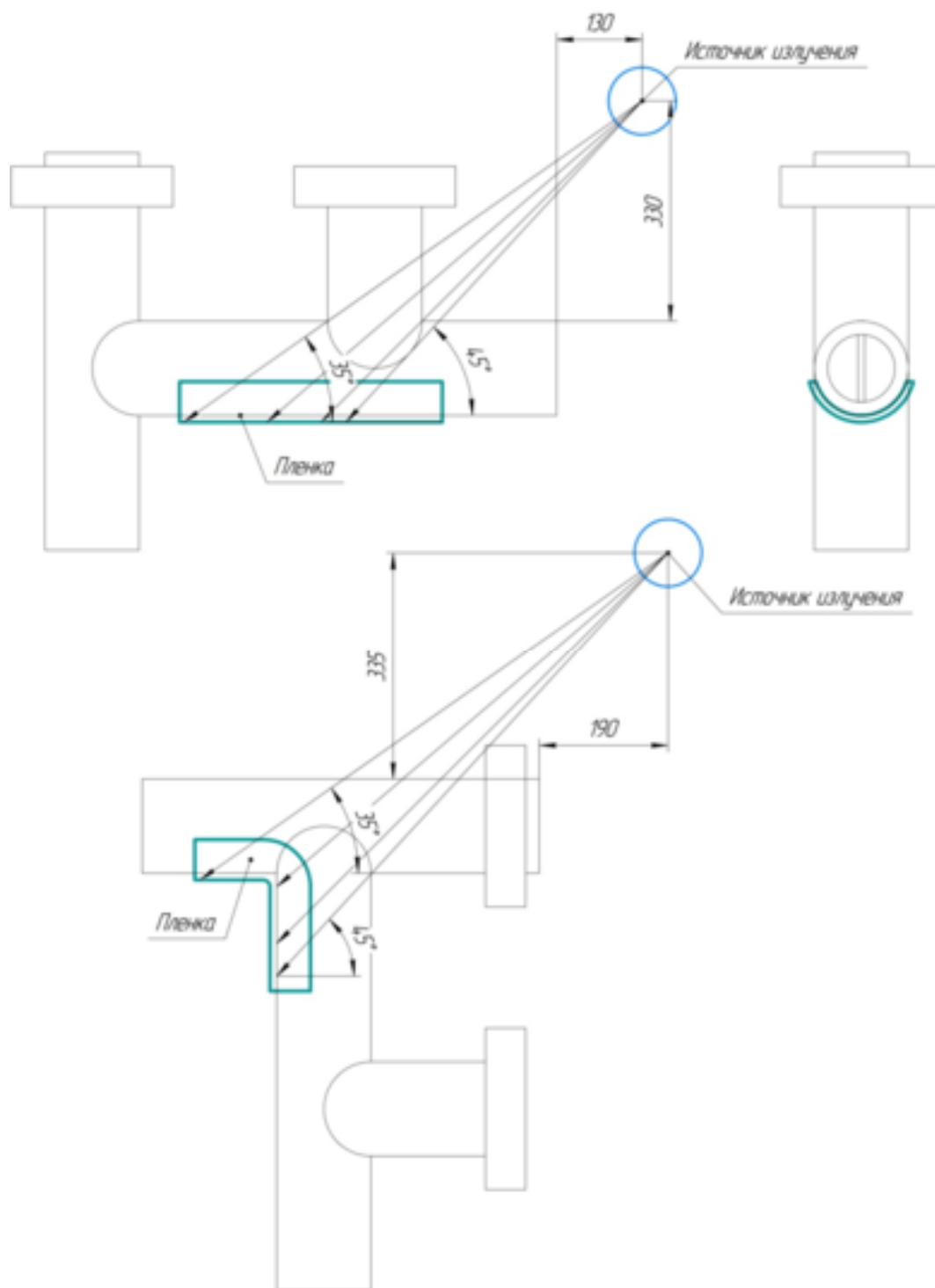


Рисунок 3.8 – Схема РК швов №1

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

15.03.01.2019.021.00 ПЗ

Лист

105

3.4.3 Гидравлические испытания

Перед проведением гидравлических испытаний провести проверку работоспособности оборудования, а также целостность шлангов. На шлангах не допускаются надрывы и сквозные повреждения.

Проверить работоспособность и сроки поверки манометров.

Провести подключение манометров к ниппелю подачи воды в гусак через фланцы и к ниппелю гидронасоса.

После этого создать давление в системе не менее 20 МПа. Выдержать сварные швы под заданным давлением не менее 60 минут. Наличие дефектов металла и сварных швов определяется визуально.

Выводы по разделу 3:

В разделе 3 рассматриваются применяемые методы контроля качества при изготовлении гусака манифольда. Рассматриваются особенности проведения каждого метода, выявляемые в процессе изготовления дефекты, а также величина допустимости дефектов.

Рассмотрено применяемое оборудование для контроля, а также методика проведения каждого метода контроля.

4 БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

4.1 Анализ вредных и опасных производственных факторов

При производстве 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;

					15.03.01.2019.021.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		106

- 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;
- 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

					15.03.01.2019.021.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		107

дня и т. д.).

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

Расстояние между элементами оборудования на монтажной площадке должно быть не менее 2 м друг от друга.

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

Рабочие места, расположенные выше 1,3 м от уровня земли или сплошного перекрытия, должны быть оборудованы ограждениями высотой не менее 1,1 м, состоящими из поручня, одного промежуточного элемента и бортовой доски шириной не менее 0,15 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.

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

					15.03.01.2019.021.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		108

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;

– электросварочная установка (преобразователь, сварочный трансформатор и т.п.) должна присоединяться к источнику питания через рубильник и предохранители или автоматический выключатель, а при напряжении холостого хода более 70 В должно применяться автоматическое отключение сварочного трансформатора;

– металлические части электросварочного оборудования, не находящиеся под напряжением, а также свариваемые изделия и конструкции на все время сварки должны быть заземлены, а у сварочного трансформатора, кроме того, заземляющий болт корпуса должен быть соединен с зажимом вторичной обмотки, к которому подключается обратный провод;

– в качестве обратного провода или его элементов могут быть использованы стальные шины и конструкции, если их сечение обеспечивает безопасное по условиям нагрева протекание сварочного тока. Соединение между собой отдельных элементов, применяемых в качестве обратного провода, должно быть надежным и выполняться на болтах, зажимах или сваркой;

										Лист
										109
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	15.03.01.2019.021.00 ПЗ					

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

– корпус любой электросварочной установки необходимо заземлять. Машины, в которых осуществление защитного заземления представляет трудности, должны быть оснащены устройствами защитного отключения, обеспечивающего отключение всех фаз сети при появлении в сварочной цепи напряжения сети. Для присоединения заземляющего провода на электросварочном оборудовании должен быть предусмотрен болт, расположенный в доступном месте, с надписью «Земля». Последовательное включение в заземляющий проводник нескольких аппаратов запрещается;

– на установках или автоматических линиях с большим фронтом обслуживания кнопки аварийного отключения должны располагаться друг от друга на расстоянии не более 10 м. Используемые в таких случаях кнопки управления должны иметь защелки, обеспечивающие только принудительное возвращение контактов в первоначальное состояние. Пульты управления оснащаются блокировками, исключающими возможность параллельного управления от различных пультов, сигнализацией, а также аварийными кнопками для включения установки (линии);

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

– запрещается производить ремонт электросварочных установок под напряжением;

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

										Лист
										110
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	15.03.01.2019.021.00 ПЗ					

4.2.3 Обеспечение пожарной безопасности

В соответствии с НПБ 105-03 «Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности» 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 пакета труб и каждой трубы в отдельности осуществляется при помощи мягкого стропа с закреплением не менее чем в двух точках;
- строповка патрубка, стояка и магистрали осуществляется мягкими чалками

					15.03.01.2019.021.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		111

стояки, магистрали и патрубки складываются на местах хранения заготовок (поз. 7 и 8, рисунок 4.1).

Далее заготовки отправляют на участок сборки и сварки гусakov (поз. 9, рисунок 4.1). Сборка производится на сборочном столе (поз. 13, рисунок 4.1). Сварка производится на сборочном столе и сварочном приспособлении (поз. 14, рисунок 4.1). На участке сборки и сварки присутствует слесарный стол (поз. 11, рисунок 4.1), печь для прокали электродов (поз. 12, рисунок 4.1) для экстренных нужд, сварочный аппарат Unister 3500 XP. Для хранения инструментов используется шкаф (поз. 15, рисунок 4.1). Складирование заготовок производится на площадке складирования заготовок (поз. 16, рисунок 4.1).

Сварочные материалы хранятся на участке (поз. 17, рисунок 4.1).

После сварки гусак отправляют на место проведения ВИК (поз. 19, рисунок 4.1). Инструменты для контроля хранятся в шкафу (поз. 18, рисунок 4.1).

После проведения ВИК гусак отправляют на стенд для гидроиспытаний (поз. 20, рисунок 4.1). Управление испытаниями производится на пульте (поз. 21, рисунок 4.1).

После гидроиспытаний гусак отправляют в камеру радиографического контроля (поз. 22, рисунок 4.1). Управление контролем производится на пульте (поз. 23, рисунок 4.1).

После контроля гусак отправляют на место складирования готовых изделий (поз. 24, рисунок 4.1).

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 также с применением подъемно-транспортных механизмов.

Рассмотрена планировка рабочих мест с описанием основных типов оборудования.

					15.03.01.2019.021.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		113

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В выпускной квалификационной работе рассмотрена существующая технология изготовления гусака манифольда. В процессе рассмотрения технологии выявлены факторы, которые оказывают значительное влияние на качество изделия, производительность, а также улучшение условий труда.

В текущей работе предлагается усовершенствовать существующую технологию производства заготовок, сборки и сварки гусака манифольда. Для этого предложено автоматизировать процесс заготовки труб применением станка Velmard 1030-T. Это позволило увеличить скорость и качество заготовок магистралей, патрубков и стояков, что улучшило также качество сборки.

Технологию сварки предложено изменить с ручной дуговой на механизированную в среде защитных газов. Для удобства сварки швов предложено применить сварочный вращатель.

Таким образом, предлагаемый вариант технологии изготовления гусака манифольда позволил улучшить качество изделий, снизить процент брака за счет улучшения качества заготовок, а также производительность сварки.

					15.03.01.2019.021.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		114

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ 19903-2015 «Прокат листовой горячекатаный. Сортамент».
2. ГОСТ 380-2005 «Сталь углеродистая обыкновенного качества. Марки».
3. ГОСТ 14637-89 «Прокат толстолистовой из углеродистой стали обыкновенного качества. Технические условия».
4. Зайцев, Н. Л. Теоретические основы сварки плавлением: учебное пособие/ Н.Л. Зайцев. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2014. – 78 с.
5. ГОСТ 8732-78 «Трубы стальные бесшовные горячедеформированные. Сортамент».
6. ГОСТ 8731-74 «Трубы стальные бесшовные горячедеформированные. Технические условия».
7. ГОСТ 1050-2013 «Металлопродукция из нелегированных конструкционных качественных и специальных сталей. Общие технические условия».
8. ГОСТ 7512-82 «Контроль неразрушающий. Соединения сварные. Радиографический метод».
9. ГОСТ 2246-70 «Проволока стальная сварочная. Технические условия».
10. ГОСТ Р ИСО 14175-2010 «Материалы сварочные. Газы и газовые смеси для сварки плавлением и родственных процессов».
11. ГОСТ 16037-80 «Соединения сварные стальных трубопроводов. Основные типы, конструктивные элементы и размеры».
12. ГОСТ 5264-80 «Ручная дуговая сварка. Соединения сварные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры».
13. ГОСТ 14771-76 «Дуговая сварка в защитном газе. Соединения сварные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры».
14. Шахматов, М. В. Технология изготовления и расчет сварных оболочек/ М. В. Шахматов, В. В. Ерофеев, В. В. Коваленко – Уфа: Полиграфкомбинат, 1999. – 272 с.
15. Акулов, А. И. Технология и оборудования сварки плавлением. Учебник для студентов вузов/ А. И. Акулов, Г. А. Бельчук, В. П. Демянцевич. – М.:

					15.03.01.2019.021.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		115

«Машиностроение», 1977. – 432с. с ил.

16. ГОСТ 7798-70 «Болты с шестигранной головкой класса точности В. Конструкция и размеры».

17. ГОСТ 5915-70 «Гайки шестигранные класса точности В. Конструкция и размеры».

18. СТО АСЧМ 20-93 «Прокат стальной сортовой фасонного профиля. Двутавры горячекатаные с параллельными гранями полок. Технические условия».

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

20. 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.

21. <http://www.svarog-rf.ru>.

22. <http://www.gazss.ru>.

23. <https://redsteel.ru>

24. <https://www.svartools.ru>

25. <http://defektoskopist.ru>.

					15.03.01.2019.021.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		116

ПРИЛОЖЕНИЕ

					15.03.01.2019.021.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		117