

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

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

Факультет «МиМТ»

Кафедра «Оборудование и технология сварочного производства»

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

Заведующий кафедрой

_____ М.А.

Иванов _____ 2020

г.

Технология сборки и сварки рамы фронтального погрузчика В-138
ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
К выпускной КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ

Руководитель работы Данилкин, П. А.

Автор работы студент группы ПЗ-540

Корнев, Н.П.

Нормоконтролёр старший
преподаватель

_____ Ю.В. Безганс

Челябинск, 2020

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	7
1 КОНСТРУКТОРСКИЙ РАЗДЕЛ	8
1.1 Анализ конструкции изделия.....	8
1.2 Материал изделия и его свариваемость.....	13
2 ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ	17
2.1 Базовый вариант технологии изготовления	17
2.2 Проектируемый вариант технологического процесса	30
2.3 Выбор способа сварки	32
2.4 Выбор сварочных материалов	33
2.5 Расчет режимов сварки.....	35
2.5.1 Расчет режимов сварки шва №1	35
2.5.2 Расчет режимов сварки шва №2	42
2.5.3 Расчет режимов сварки шва №3	45
2.5.4 Расчет режимов сварки шва №4	50
2.5.5 Расчет режимов сварки шва №5	54
2.5.6 Расчет режимов сварки шва №6	57
2.6 Выбор сборочного и сварочного оборудования	63
2.6.1 Описание конструкции сборочной установки	63
2.6.2 Описание конструкции сварочной установки	65
3 КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА	69
3.1 Способы и средства контроля качества	69
3.2 Допустимые и недопустимые дефекты.....	71
3.3 Оборудование для контроля качества.....	72
3.4 Методика контроля	73
3.4.1 Визуальный и измерительный контроль	73
3.4.2 Капиллярный контроль	74
4 БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ	75

					15.03.01.2020.216 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		5

4.1 Анализ вредных и опасных производственных факторов.....	75
4.2 Техника безопасности при производстве сварочных работ	76
4.2.1 Обеспечение санитарно-гигиенических условий труда	76
4.2.2 Обеспечение электрической безопасности.....	77
4.2.3 Обеспечение пожарной безопасности	78
4.3 Безопасность при работе с подъемными устройствами.....	79
4.4 Планировка оборудования и рабочих мест участка.....	80
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	82
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	83
ПРИЛОЖЕНИЕ	84

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время на территории Российской Федерации активно производится строительство как жилых строений, так и расширение сети автомобильных дорог. Все операции, которые требуют землеройных, засыпных, очистных и иных видов работ выполняются при помощи дорожно-строительных машин. Указанные машины эксплуатируются в тяжелых, и, иногда, в экстремальных условиях, таких как круглосуточная работа, работа в условиях низких и крайне низких температур. Поэтому ресурс данных машин играет не последнюю роль в получении прибыли для предприятия.

Хорошо при работе в различных условиях зарекомендовали себя фронтальные погрузчики, например, погрузчик В-138. Эта машина применяется практически во всех областях строительства и при повышенном спросе на нее, предназначена для работы в тяжелых условиях. Наибольшую нагрузку несет на себе мост. Различают в погрузчике В-138 передний и задний мосты. В состав заднего моста входит деталь под названием рамка. Она является наиболее нагруженным узлом, так как при эксплуатации на нее действуют нагрузки от веса самого погрузчика, нагрузки от его передвижения и его работы.

В выпускной квалификационной работе предлагается рассмотреть существующую технологию изготовления рамки заднего моста фронтального погрузчика В-138 и предложить способы как повышения производительности, так и качества выполнения сварных соединений.

					15.03.01.2020.216 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		7

1 КОНСТРУКТОРСКИЙ РАЗДЕЛ

1.1 Анализ конструкции изделия

В настоящей работе рассматривается технология изготовления рамы фронтального погрузчика В-138. Погрузчик применяется при проведении подготовительных работ при расчистке и транспортировке грунтов, для уборки снега и мусора в городских условиях. Фронтальный погрузчик В-138 показан на рисунке 1.1.



Рисунок 1.1 – Фронтальный погрузчик В-138

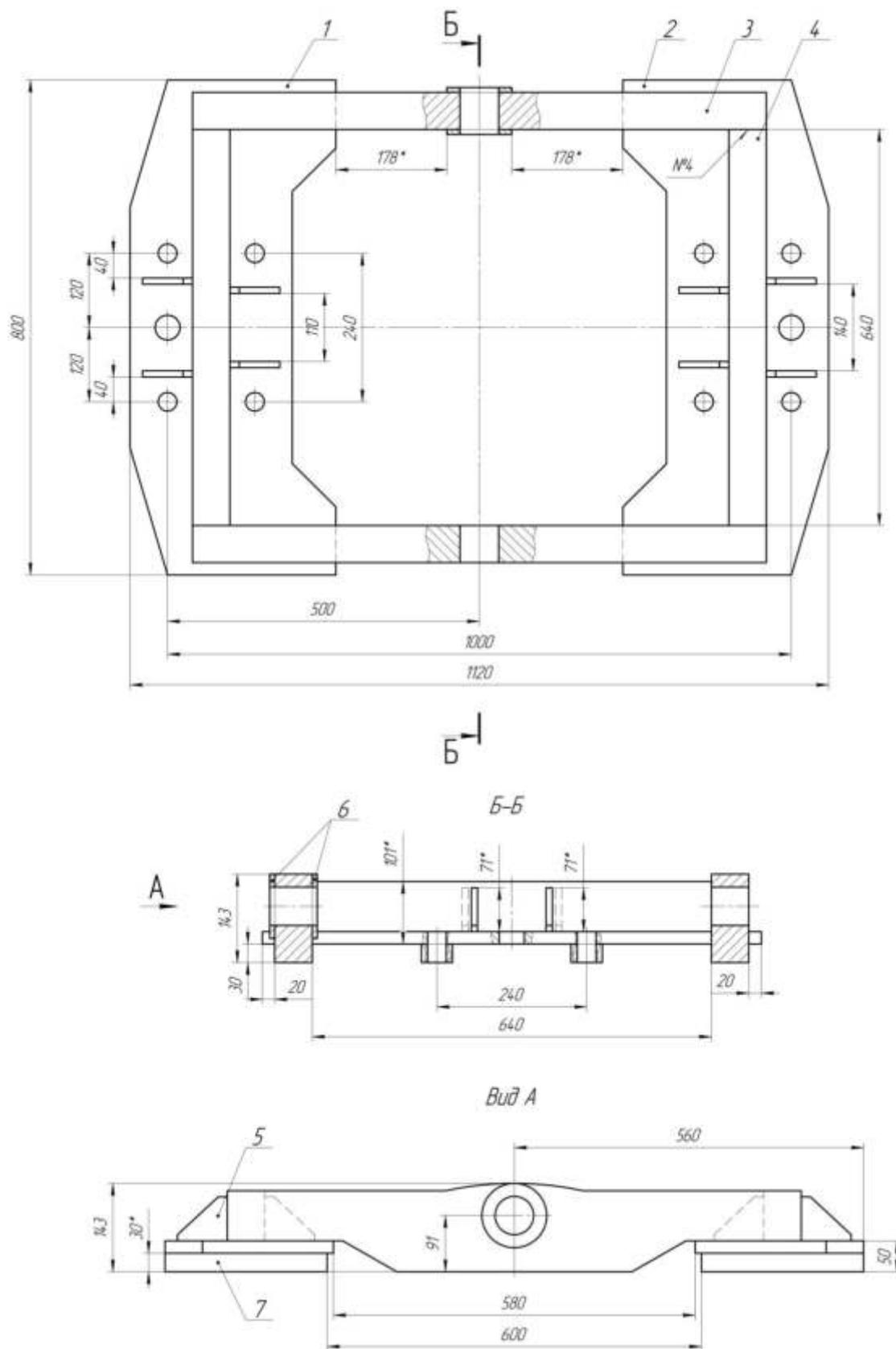
В выпускной квалификационной работе рассматривается технология изготовления опорной части подвески, называемой Рамой. Она является элементом заднего моста, на котором установлены шасси задних колес. Погрузчик является полноприводным, следовательно, Рама испытывает на себе все виды нагрузок, воздействующих на подвеску.

Нагрузки, которые воздействуют на Раму:

- напряжения растяжение;
- напряжения сжатие;
- вибрационные и знакопеременные нагрузки;
- изгибающий момент;
- крутящий момент.

									Лист
									8
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	15.03.01.2020.216 ПЗ				

Рама показана на рисунке 1.2.



1 – Лист левый; 2 – Лист правый; 3 – Стенка торцевая; 4 – Стенка фланговая;
5 – Косынка; 6 – Накладка; 7 – Лист опорный

Рисунок 1.2 – Рама

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

15.03.01.2020.216 ПЗ

Лист

9

Рама является цельносварной конструкцией, которая изготавливается из следующих деталей (рисунок 1.2):

– лист левый, который показан на рисунке 1.3.

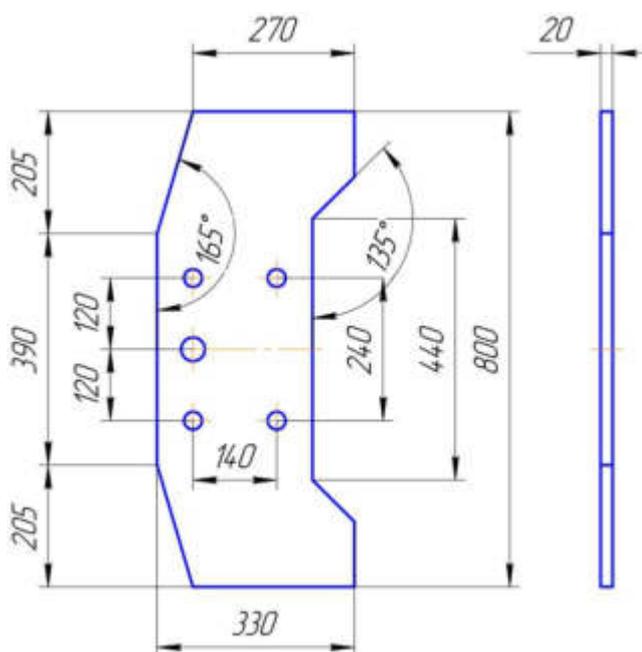


Рисунок 1.3 – Лист левый

– лист правый, который показан на рисунке 1.4.

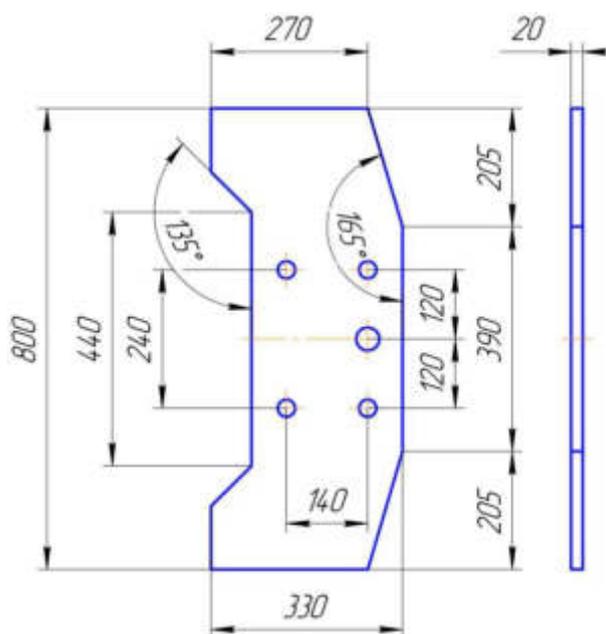


Рисунок 1.4 – Лист правый

– стенка торцевая, которая показана на рисунке 1.5.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

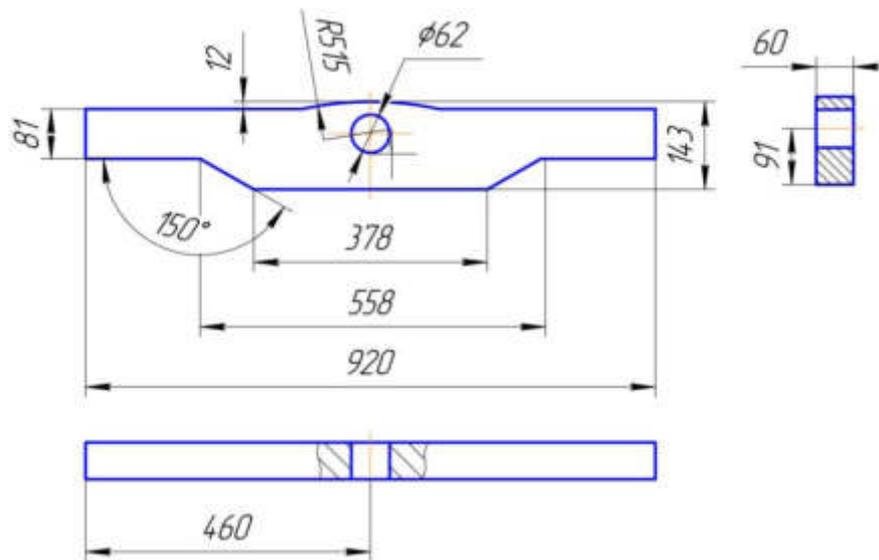


Рисунок 1.5 – Стенка торцевая

– стенка фланговая, которая показана на рисунке 1.6.

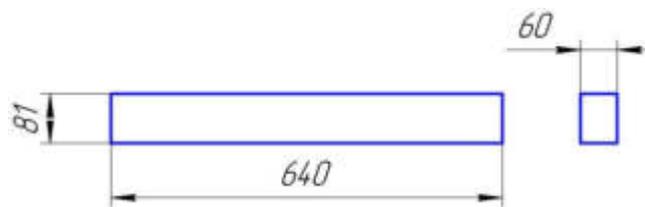


Рисунок 1.6 – Стенка фланговая

– косынка, которая показана на рисунке 1.7.

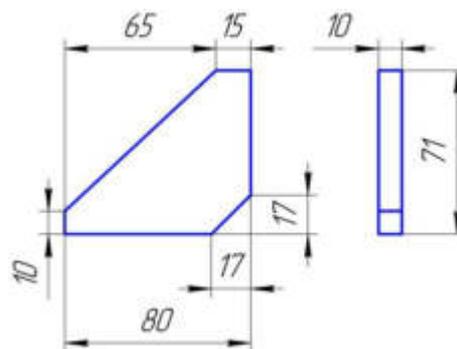


Рисунок 1.7 – Косынка

– накладка, которая показана на рисунке 1.8.

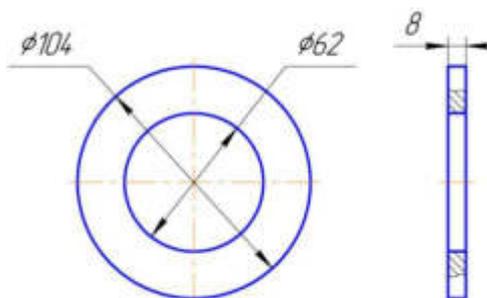


Рисунок 1.8 – Накладка

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

– лист опорный, который показан на рисунке 1.9.

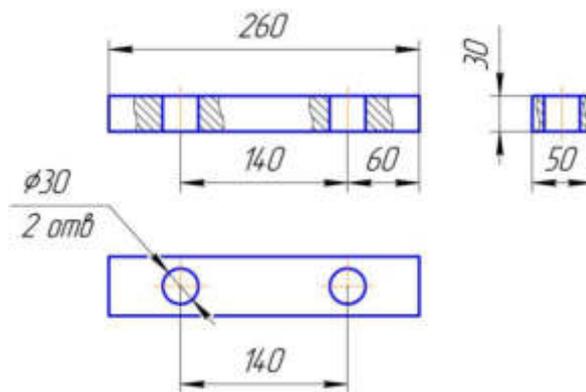


Рисунок 1.9 – Эскиз листа опорного

Расположение сварных швов Рама показано на рисунке 1.10.

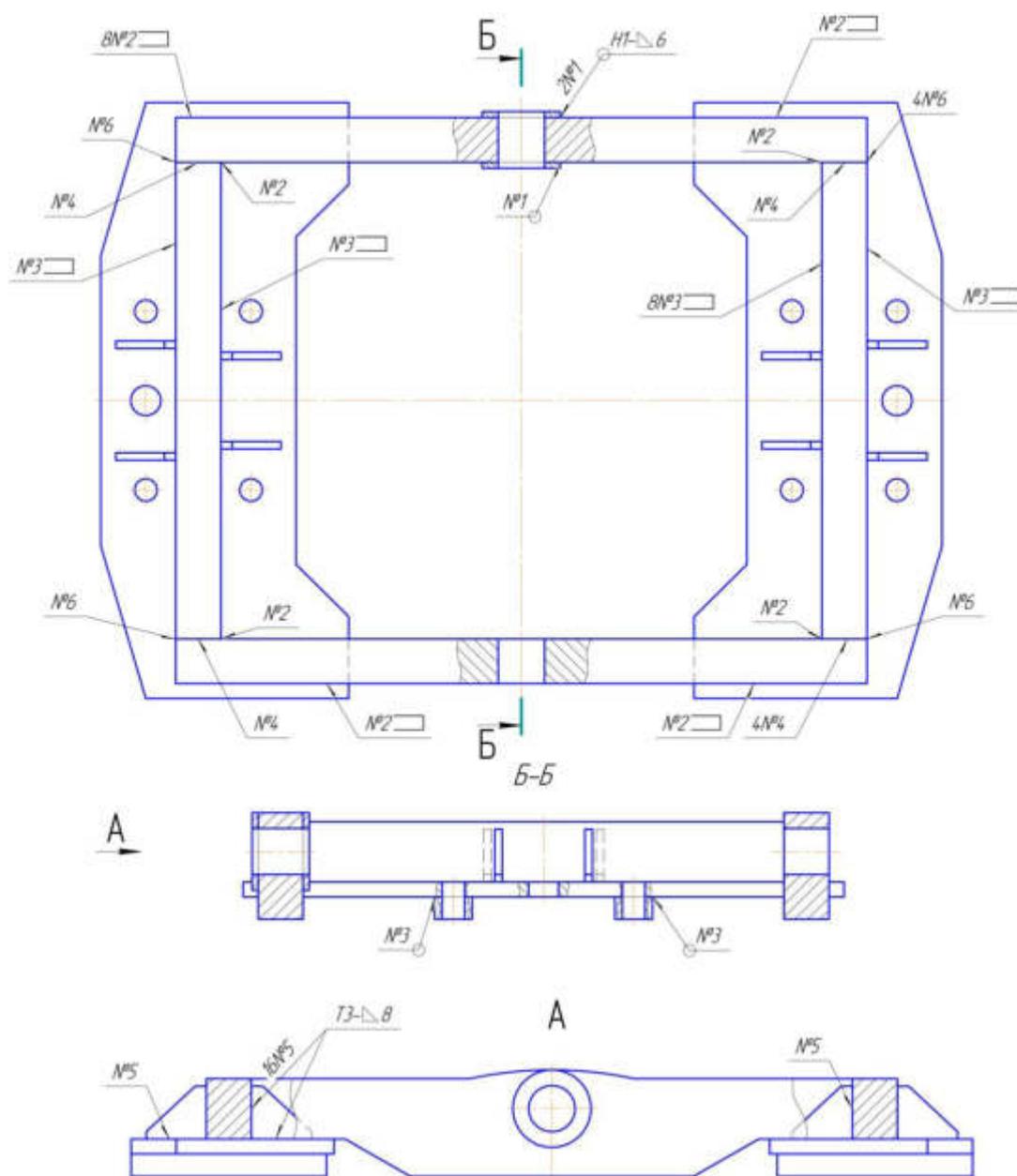


Рисунок 1.10 – Расположение сварных швов Рама

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

15.03.01.2020.216 ПЗ

Лист

12

отсутствуют, поэтому, расчет эквивалентного содержания углерода ($C_{\text{Э}}$) для стали 15ХСНД будем производить по средним значениям содержания химических элементов, приведенным в таблице 1.1.

Тогда, по формуле (1.1) получим, что

$$C_{\text{Э}} = 0,15 + \frac{0,55}{6} + \frac{0,55}{24} + \frac{0,75}{5} + \frac{0,45}{40} + \frac{0,3}{13} + \frac{0,035}{2} = 0,47 \%$$

Полученное значение $C_{\text{Э}} = 0,47 \%$ превышает допустимое $0,46\%$ (для низкоуглеродистых низколегированных сталей), следовательно, во избежание появления холодных трещин, требуется применить предварительный подогрев перед выполнением сварки.

Температура предварительного подогрева перед сваркой (T_0) рассчитывается по формуле (1.2) из [3]:

$$T_0 = 350 \cdot (|C|_{\text{Э}} - 0,25)^{0,5}, \quad (1.2)$$

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

Эквивалент углерода полный $|C|_{\text{Э}}$ рассчитывается по формуле (1.3) из [3]:

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

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

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

Рассчитаем эквивалент углерода химический $|C|_{\text{Х}}$ по формуле (1.4) из [3]:

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

где C, Mn, Cr, Mo, Ni – массовые доли в стали углерода, марганца, хрома, молибдена, никеля по результатам контрольного отбора пробы от плавки, %.

									Лист
									15
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

15.03.01.2020.216 ПЗ

Подставляя значения содержания химических элементов из таблицы 1.1 в формулу (1.4) получим, что эквивалент углерода химический $|C|_X$

$$|C|_X = 0,15 + \frac{0,55 + 0,75}{9} + \frac{0,45}{18} = 0,32 \%$$

Рассчитаем эквивалент углерода размерный $|C|_P$ по формуле (1.5) из [3]:

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

где $S = 60$ – максимальная толщина соединяемых деталей, мм.

Тогда, по формуле (1.5) получим, что

$$|C|_P = 0,005 \cdot 60 \cdot 0,32 = 0,1 \%$$

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

$$|C|_Э = 0,32 + 0,1 = 0,42 \%$$

Следовательно, согласно формуле (1.2) температура предварительного подогрева T_0

$$T_0 = 350 \cdot (0,42 - 0,25)^{0,5} = 144 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Таким образом, для упрощения дальнейших расчетов примем, что минимальная температура предварительного подогрева при сварке стали 15ХСНД составляет 150 °С.

Выводы по разделу 1:

В разделе 1 рассматривается Рама, которая является частью опорной подвески

					15.03.01.2020.216 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		16

фронтального погрузчика В-138. Рассмотрена конструкция Рамы, ее составляющие элементы, а также расположение и виды сварных швов. Рассмотрена применяемая сталь (15ХСНД), рассчитана ее свариваемость и определена температура предварительного подогрева перед сваркой.

2 ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

2.1 Базовый вариант технологического процесса

Первым этапом при изготовлении Рамы является операция входного контроля. При входном контроле проводится проверка поступающего на склад металла. В ходе проверки проводится сверка сертификатных данных с требованиями нормативных документов на металл, проводится измерение геометрических размеров. Также в сертификате на прокат проверяется указание метода изготовления (контролируемая прокатка, термообработка листов), сведения о проведении сплошного ультразвукового контроля всей поверхности листового проката на расстрой.

При входном контроле также проводится проверка фактического химического состава и механических свойств. Для этого, на складе металла проводится отбор образцов размером 300×300 мм от одного листа от каждой партии. Отбор проводится по направлению прокатки (указывается на образце) методом газовой резки.

После прохождения операции входного контроля листовой прокат проходит операцию первичной очистки. Данная операция проводится на установке для проведения абразивоструйной очистки марки Siapro RC 2500×600, показанной на рисунке 2.1.

					15.03.01.2020.216 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		17



Рисунок 2.1 – Установка абразивоструйной очистки Siapro RC 2500×600 [4]

Установка Siapro RC 2500×600 применяется для очищения листового и профильного металлопроката от наличия окисной пленки, прокатной окалины, ржавчины, поверхностной коррозии и других видов загрязнений, которые влияют как на качество поверхности, так и на возможность определить недопускаемые дефекты наружные дефекты (раковины, плены, пузыри).

Характеристики установки Siapro RC 2500×600 представлены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Характеристики установки Siapro RC 2500×600 [4]

Характеристика	Значение
Максимальная ширина очищаемых листов, мм	2500
Максимальная высота очищаемых профилей, мм	600
Минимальная толщина листа, мм	5
Максимальная толщина листа, мм	60
Скорость проведения очистки, м/мин	0,7...1,3
Габаритные размеры установки, мм	6700×5000×6300

После очистки, поверхность каждого листа проверяется визуально на стенде, расположенном на участке дробеметной очистки. Осмотренный и признанный

годным лист отправляется далее по технологическому потоку. Листы с выявленными дефектами помечаются мелом и откладываются в изолятор брака для дальнейшего комиссионного осмотра с представителями завода-изготовителя металла.

Годные листы отправляются на участок проведения термической резки, которая проводится с применением портальной установки термической резки марки SNR-QL2-2565. Она показана на рисунке 2.2.



Рисунок 2.2 – Установка SNR-QL2-2565 [5]

Характеристики установки SNR-QL2-2565 приведены в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Характеристики установки SNR-QL2-2565[5]

Характеристика	Значение
Длина балки поперечной, мм	2500
Длина пути, мм	6500
Размер рабочей зоны, мм	2000×6000
Высота регулировки резака, мм	120
Точность позиционирования, мм	±0,25
Скорость резания, мм/мин	0...4000
Скорость перемещения, мм/мин	0...6000
Толщина разрезаемых листов, мм	8...120
Потребляемая мощность, не более, кВт	2,6

прижимаются к столу при помощи механических прижимов.

После этого, на лист правый и левый устанавливаются стенки торцевые (детали 3). Сборка проводится по заранее выставленным упорам. Выполняется контроль размеров и проводится сварка прихваток. Длина прихватки не должна быть менее 10 мм с катетом не менее 5 мм. Количество прихваток не должно быть менее двух на каждый собираемый сегмент.

После этого, собранный узел (из деталей 1, 2 и 3) собирается со стенками фланговыми (детали 4). Проводится вручную установка требуемого размера для сборки, его измерительный контроль. Далее проводится сварка прихваток. Количество прихваток не должно быть менее трех с каждой стороны сборки. При этом, прихватки устанавливаются также с торцевой части стыка деталей 3 и 4.

Режимы сварки прихваток показаны в таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Режимы сварки прихваток

I_{CB}, A	$U_{Д}, В$	$d_{ЭЛ}, мм$
150...170	24...26	1,2

После того, как «выставлены» все требуемые размеры, узел отправляют на сварку. Сварка проводится на сварочном столе, который показан на рисунке 2.4.

Крепление сборочного узла к сварочному столу проводится при помощи болтов М16-6g×60.58 [6] и гаек М16-6Н.5 [7], которые устанавливаются в отверстия стола, вырезанные по заранее установленным размерам свариваемых узлов.

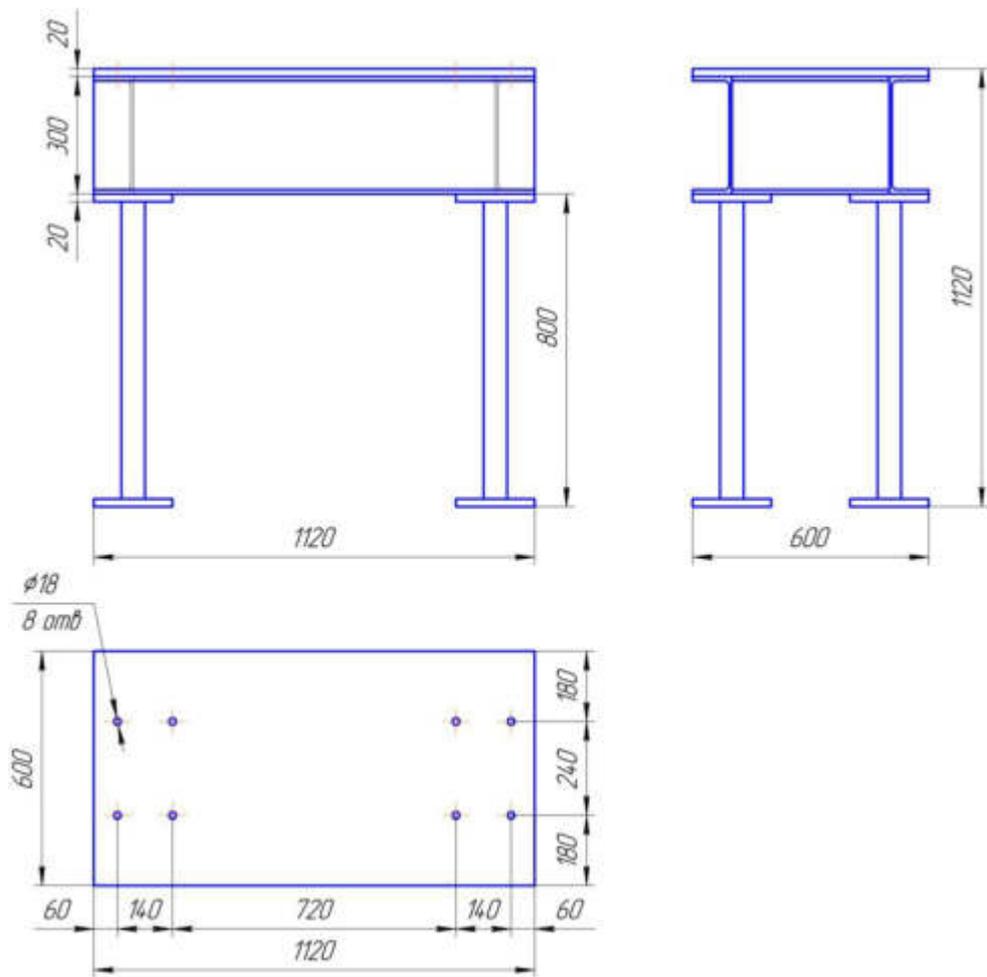


Рисунок 2.4 – Сварочный стол

Порядок выполнения сварных швов:

– сварка швов №4 и №6 приварки стенок торцевых к стенкам фланговым. Шов №4 выполняется за один проход, шов №6 выполняется за два прохода.

Режимы сварки швов №4 показаны в таблице 2.4.

Таблица 2.4 – Режимы сварки швов №4

I_{CB} , А	$U_{Д}$, В	$d_{Э}$, мм	V_{CB} , см/с
220...250	25...28	1,2	0,3...0,5

Режимы сварки швов №6 показаны в таблице 2.5.

Таблица 2.5 – Режимы сварки швов №6

Проход	I_{CB} , А	$U_{Д}$, В	$d_{Э}$, мм	V_{CB} , см/с
Первый	220...250	25...28	1,2	0,3...0,5
Второй	250...280	28...33		0,2...0,6

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

15.03.01.2020.216 ПЗ

Лист

22

Схема сварки швов №4 и №6 показана на рисунке 2.5.

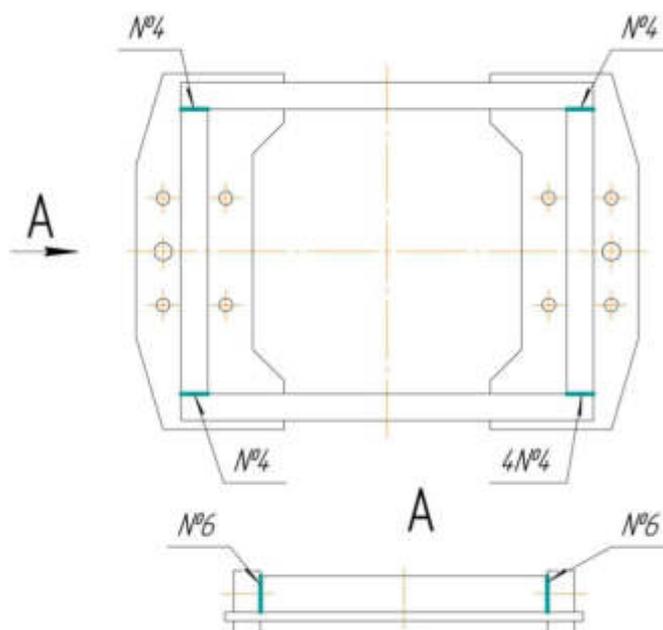


Рисунок 2.5 – Схема сварки швов №4 и №6

– сварка швов №2, которые располагаются на участке стыка стенок торцевых к листу левому и листу правому с наружной стороны. Сварка проводится в порядке «крест-накрест» согласно схеме, показанной на рисунке 2.6.

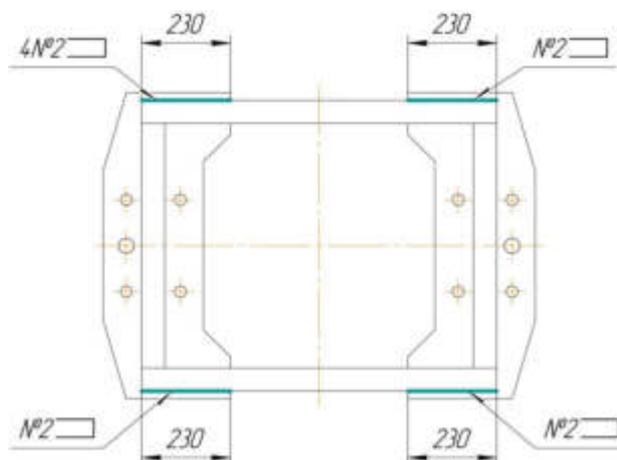


Рисунок 2.6 – Схема сварки швов №2 с наружной стороны

Каждый участок шва №2 выполняется не менее, чем за 2 прохода. Режимы сварки швов №2 показаны в таблице 2.6.

Таблица 2.6 – Режимы сварки швов №2

Проход	I_{CB}, A	U_D, B	$d_{\text{э}}, \text{мм}$	$V_{CB}, \text{см/с}$
Первый	220...250	25...28	1,2	0,3...0,5
Второй	250...280	28...33		0,2...0,6

Шов разбивается на пять участков. Сварка производится в порядке «крест-накрест». Каждый участок шва выполняется не менее, чем за 2 прохода. Режимы сварки швов №3 показаны ранее в таблице 2.7.

На втором этапе сборки проводится поворот узла на 180°.

Далее проводится сборка листа правого и листа левого с листом опорным (деталь 7). После установки листов опорных по требуемым геометрическим размерам выполняется сварка прихваток.

После сборки проводится сварка листов правого и левого с листами опорными швами №3, режимы сварки которых показаны в таблице 2.7.

Схема сварки швов №3 показана на рисунке 2.9.

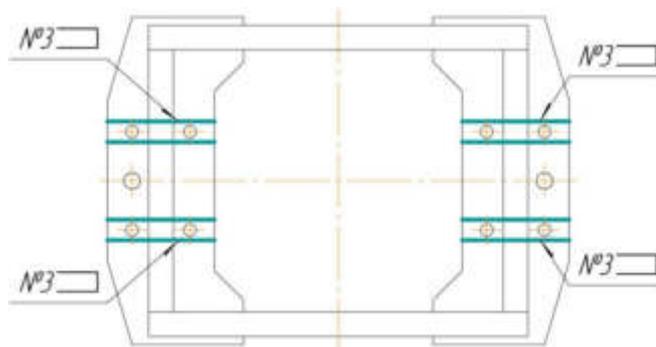


Рисунок 2.9 – Схема сварки швов №3

После сварки листов опорных проводится повторный поворот узла на 180° и выполняется сборка косынок (деталь 5). После сборки косынок выполняется сварка прихваток.

После сборки проводится сварка швов №5. Режимы сварки швов №5 показаны в таблице 2.8.

Таблица 2.8 – Параметры режимов сварки швов №5

I_{CB} , А	$U_{д}$, В	$d_{э}$, мм	V_{CB} , см/с
250...280	28...33	1,2	0,3...0,6

Следующим этапом сборки является сборка накладок (деталь 6) со стенкой торцевой. В начале, узел поворачивается на угол, равный 90° так, чтобы первая накладка, которая находится внутри, оказалась в нижнем положении. При помощи оси устанавливается накладка. Проводится сварка двух прихваток.

После сборки проводится сварка шва №1. Режимы сварки шва №1 показаны в таблице 2.9.

Таблица 2.9 – Параметры режимов сварки швов №1

I_{CB}, A	U_d, B	$d_{\text{э}}, \text{мм}$	$V_{CB}, \text{см/с}$
240...270	28...33	1,2	0,3...0,6

После сварки первой накладки узел поворачивается на 180° и выполняется сварка второй накладки.

После сварки узел передается на участок слесарной очистки. Здесь производится очистка изделия от шлака и брызг расплавленного металла. После этого производится контроль качества сварных швов и геометрии рамки.

В качестве методов контроля качества используется визуально-измерительный контроль и ультразвуковой контроль.

Полностью сваренное изделие изготавливается в течение 413 минут персоналом в количестве:

- слесарь-зачистник – 2 человека;
- сборщик металлоконструкций – 2 человека;
- электросварщик – 2 человека.

Существующий вариант технологии изготовления позволяет выпускать продукцию в количестве 500 шт в год.

При сборке и при сварке Рамы используется полуавтомат Unistep 3000, который показан на рисунке 2.10.



Рисунок 2.10 – Полуавтомат Unistep 3000 [8]

Характеристики полуавтомата Unister 3000 приведены в таблице 2.10.

Таблица 2.10 – Характеристики полуавтомата Unister 3000 [8]

Характеристика	Значение
Источник питания	
Пределы регулирования сварочного тока, А	30...330
Напряжение холостого хода, В	43
Сетевое напряжение, В	3×380
Потребляемая из сети мощность, кВА	15,9
Габаритные размеры, мм	910×500×750
Вес, кг	88
Блок подачи проволоки	
Диаметр проволоки, мм	1,0...1,2
Скорость подачи проволоки, м/мин	1,5...18
Сетевое напряжение, В	3×400
Мощность, Вт	90
Габаритные размеры, мм	600×220×440
Вес, кг	17,5

Изготовление Рамы проводится механизированной сваркой в защитных газах. Защитной средой, в данном случае, является чистая углекислота CO₂ [9].

В качестве присадочного материала применяется сварочная проволока Св-08Г2С диаметром 1,2 мм, поставляемая согласно требованиям [10]. Химический состав проволоки Св-08Г2С приведен в таблице 2.11.

Таблица 2.11 – Химический состав проволоки Св-08Г2С [10]

В процентах

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

Механические свойства шва, наплавленного проволокой Св-08Г2С, показаны в

					15.03.01.2020.216 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		27

таблице 2.12.

Таблица 2.12 – Механические свойства шва, наплавленного проволокой Св-08Г2С [11]

Предел текучести σ_T , МПа	Предел временного сопротивления σ_B , МПа	Относительное удлинение δ_5 , %
Не менее		
464	580	26

Оценка склонности сварного соединения к образованию горячих трещин определяется по формуле (2.1) из [12]:

$$HCS = \frac{C \left(S + P + \frac{Si}{25} + 0,01Ni \right) 10^3}{3Mn + Cr + Mo + V}, \quad (2.1)$$

где C, S, P, Si, Ni, Mn, Cr, Mo, V – процентное содержание химических элементов в сварочной проволоке, %.

Тогда, по формуле (2.1)

$$HCS = \frac{0,11 \cdot \left(0,025 + 0,03 + \frac{0,95}{25} + 0,01 \cdot 0,25 \right) \cdot 10^3}{3 \cdot 2,1 + 0,2} = 1,6 \text{ ед.}$$

Так как $1,6 < 4$, то сварное соединение не имеет склонности к образованию горячих трещин.

В ходе описания и анализа базового варианта технологии изготовления Рамы выявлены факторы, которые влияющие на производительность и качество сварных соединений, а именно:

- сборка изделия осуществляется в несколько этапов, что снижает производительность;
- применение механизированной сварки сварочным полуавтоматом;
- неудобство сварки швов, находящихся внутри Рамы;

- малый диаметр сварочной проволоки;
- отсутствие жесткого закрепления свариваемого изделия, что может привести к недопустимым остаточным деформациям;
- переворот изделия и поворот осуществляется при помощи грузоподъемного крана, что влечет за собой опасность получить вред здоровью персонала, а также снижение производительности.

Для устранения вышеуказанных факторов предлагается улучшить технологический производственный процесс за счет внедрения следующих мероприятий:

- изменить порядок сборки, уменьшив при этом количество этапов, что позволит повысить производительность;
- применить роботизированную сварку вместо механизированной. При этом, увеличится скорость сварки и уменьшится количество образовавшихся дефектов;
- заменить сварочный стол на сварочный позиционер. Это позволит уменьшить время на поворот изделия и придание ему требуемого пространственного положения;
- заменить сварочную проволоку марки Св-08Г2С на другую проволоку с заменой диаметра и пересчитать режимы сварки. Это позволит увеличить производительность, а также повысить прочностные характеристики сварных швов;
- для сварки в позиционере разработать переходную рамку, которая компенсирует остаточные деформации при сварке и позволит закрепить Раму на планшайбе.

					15.03.01.2020.216 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		29

2.2 Проектируемый вариант технологического процесса

В проектируемом варианте при повышении качества и производительности основной упор делается на операциях сборки и сварки. Следовательно, заготовительные операции остаются прежними, и их изменение не рассматривается в текущей работе.

На участке сборки принятые детали комплектуются в соответствии с требованиями конструкторской документации. Сборка осуществляется на сборочном столе, показанном ранее на рисунке 2.3. Элементы сборки фиксируются между собой прихватками.

Сборка осуществляется в два этапа:

1. Первый этап:

– на сборочный стол устанавливаются по ранее выставленным упорам лист левый и лист правый. После этого они прижимаются к столу при помощи механических прижимов;

– на лист правый и левый ставятся стенки торцевые и фланговые. Проводится сварка прихваток;

– по окончании сборки узел раскрепляется от упоров и зажимов и переворачивается на 180°. После по отверстиям при помощи «пальцев» устанавливаются листы опорные. Проводится сварка прихваток.

Затем узел заново переворачивают на 180° и устанавливают на переходную рамку, предназначенную для закрепления собранного узла на планшайбе позиционера.

После того, как собранный узел закреплен на рамке, он вместе с ней устанавливается на планшайбу позиционера, в котором будет производиться процесс сварки.

Порядок сварки швов следующий:

– сварка швов №4 и №6 приварки стенок торцевых к стенкам фланговым.

Схема сварки швов №4 и №6 показана на рисунке 2.5;

– сварка швов №2 на участке приварки стенок торцевых к листу левому и

										Лист
										30
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	15.03.01.2020.216 ПЗ					

листу правому с наружной стороны. Сварка производится в порядке «крест-накрест» согласно схеме, приведенной на рисунке 2.6;

– сварка швов №2 приварки стенок фланговых к стенкам торцевым. Сварка производится в нижнем положении, которое обеспечивает позиционер;

– сварка швов №3 приварки стенок фланговых к листам левому и правому с наружной стороны. Сварка производится согласно схеме, показанной на рисунке 2.7;

– сварка швов №3 приварки между собой листа левого со стенками и листа правого со стенками внутри узла. Схема сварки швов №3 показана на рисунке 2.8.

Второй этап:

– сборка косынок. Фиксация сборки косынок производится прихватками;

– сборка накладок со стенкой торцевой. Фиксация сборки накладок со стенкой торцевой производится прихватками.

После сборки второй накладки проводится ее сварка швом №1. Сварка производится в нижнем положении. В этом же положении производится сварка косынок швами №5. После сварки узел поворачивается в позиционере и выполняется сварка швов №1 приварки второй накладки к стенке торцевой и швов №5 приварки косынок с другой стороны.

После сварки узел снимается с позиционера. Затем проводится демонтаж переходной рамки.

Далее, выполняется сварка швов №3 приварки листов опорных к листу левому и листу правому согласно схеме, приведенной на рисунке 2.9.

Окончательно сваренный узел отправляется на участок слесарной обработки для зачистки и для контроля качества.

Таким образом, при изменении порядка сборки наблюдается снижение количества дополнительных операций, что в итоге, приводит к повышению производительности.

					15.03.01.2020.216 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		31

2.3 Выбор способа сварки

Изготовление Рамы возможно осуществлять двумя способами:

- сварка под флюсом;
- сварка в защитных газах.

При сварке под флюсом наблюдается более высокая производительность по сравнению со сваркой в защитных газах, стабильное качество сварного шва, малый расход электродного металла и электроэнергии и хорошие условия труда. Производительность при сварке под флюсом увеличивается путем применения повышенных токов и большей плотности тока в электроде. Увеличение величины и плотности тока достигается из-за наличия плотного слоя флюса, защищающего сварочную ванну. Предотвращение выдувания жидкого металла из сварочной ванны уменьшает потери на угар и разбрызгивание до величины 1-3 %.

При сварке под флюсом отсутствует необходимость зачистки поверхности свариваемых деталей от капель расплавленного металла. Надежная защита сварочной ванны от воздействия атмосферного воздуха, однородность металла шва по химическому составу, улучшение формирования шва и сохранения постоянства его размеров обеспечивают хорошее качество сварного соединения. Это также позволяет уменьшить вероятность образования таких дефектов, как непровары, подрезы и др.

Основными недостатками при сварке под флюсом являются [13]:

- точность сборки деталей должна быть с минимальными допусками;
- мало применяется при сварке деталей малых толщин (3...6 мм);
- процесс стабилен только в нижнем положении;
- большое тепловложение в свариваемое изделие.

Процесс сварки в среде защитных газов характеризуется меньшей производительностью по сравнению с процессом сварки под слоем флюса. Но, для производства остается достаточно высокой. Производительность повышается путем автоматизации процесса. Для лучшей защиты сварочной ванны от воздействия атмосферного воздуха применяется смесь газов: углекислота с

										Лист
										32
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	15.03.01.2020.216 ПЗ					

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 [13]:

- выполнение процесса во всех пространственных положениях;
- высокая производительность;
- лучшие условия труда;
- простота оборудования.

Из-за вышеуказанных особенностей, сварка в среде защитных газов является наиболее лучшим вариантом при сварке Рамы.

2.4 Выбор сварочных материалов

Для увеличения производительности и для повышения прочностных характеристик сварных швов Рамы заменим существующую сварочную проволоку марки Св-08Г2С диаметром 1,2 мм на проволоку сплошного сечения большего диаметра.

В настоящее время, на рынке сварочных материалов присутствует огромное количество различных марок сварочной проволоки, предназначенных для различных областей промышленности. Правильный выбор проволоки позволяет получить требуемые прочностные и технологические характеристики сварного соединения.

В качестве присадочного материала выберем сварочную проволоку марки Св-08ХГ2С диаметром 2 мм, поставляемую согласно [10]. Данная проволока благодаря добавлению хрома (Cr) позволяет повысить коррозионную стойкость сварного соединения без ухудшения механических и пластических свойств. Дополнительное добавление меди (Cu) в покрытие проволоки также положительно влияет на коррозионную стойкость.

Химический состав металла, наплавленного проволокой Св-08ХГ2С, приведен в таблице 2.13.

					15.03.01.2020.216 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		33

Таблица 2.13 – Химический состав металла, наплавленного проволокой Св-08ХГ2С [10]

В процентах

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

Механические свойства шва, наплавленного проволокой Св-08ХГ2С, показаны в таблице 2.14.

Таблица 2.14 – Механические свойства шва, наплавленного проволокой Св-08ХГ2С [10]

Предел текучести σ_T , МПа	Предел временного сопротивления σ_B , МПа	Относительное удлинение δ_5 , %
Не меньше		
484	600	26

Для определения склонности сварного шва к образованию горячих трещин применяется формула (2.1):

$$HCS = \frac{C \left(S + P + \frac{Si}{25} + 0,01Ni \right) 10^3}{3Mn + Cr + Mo + V} = \frac{0,11 \cdot \left(0,025 + 0,03 + \frac{0,95}{25} + 0,01 \cdot 0,25 \right) \cdot 10^3}{3 \cdot 2,1 + 1} = 1,44.$$

Так как $1,4 < 4$, то сварное соединение не склонно к образованию горячих трещин. Значение HCS для проволоки Св-08ХГ2С меньше, чем для проволоки Св-08Г2С, следовательно, данная проволока обладает лучшими технологическими свойствами.

При сварке этой проволокой наблюдается наименьшая вероятность образования горячих трещин. Также механические свойства и предназначение данной проволоки обосновывают правильность ее применения при сварке Рамы.

2.5 Расчет режимов сварки

2.5.1 Расчет режимов сварки шва №1

Тип шва Н1 с катетом 6 мм согласно [16]. Общий вид сварного шва №1 показан на рисунке 2.11.

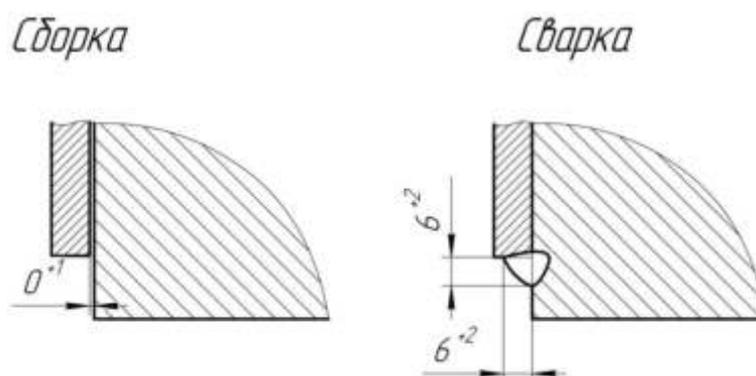


Рисунок 2.11 – Общий вид сварного шва №1

Вылет электродной проволоки примем равным 20 мм. Расход газа примем равным 20 л/мин. Ток постоянный прямой полярности.

Определим площадь наплавленного металла по формуле (2.2) из [3]:

$$F_H = \frac{K^2}{2}, \text{ мм}^2, \quad (2.2)$$

где $K = 6$ – величина катета сварного шва, мм.

Тогда, по формуле (2.2) получим, что

$$F_H = \frac{6^2}{2} = 18 \text{ мм}^2.$$

Следовательно, сварка шва №1 ведется за один проход.

Сила сварочного тока выбирается в зависимости от диаметра проволоки и от плотности сварочного тока. Примем, что для диаметра проволоки 2 мм сила сварочного тока составляет 400 А.

Определим плотность сварочного тока по формуле (2.3) из [17]:

$$j = \frac{4I_{CB}}{\pi d_{\text{Э}}^2} = \frac{4 \cdot 400}{3,14 \cdot 2^2} = 127,4 \frac{\text{А}}{\text{мм}^2}. \quad (2.3)$$

При диаметре электрода 2 мм и при сварке нахлесточного шва плотность сварочного тока находится в интервале 60...150 А/мм² [3]. Полученное значение входит в указанный интервал.

Рассчитаем напряжение на дуге по формуле (2.4) из [3]:

$$U_{\text{Д}} = 20 + \frac{0,05}{\sqrt{d_{\text{Э}}}} I_{\text{CB}} \pm 1, \text{ В}, \quad (2.4)$$

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

$I_{\text{CB}} = 400$ – сила сварочного тока, А.

Тогда, по формуле (2.4) получим, что

$$U_{\text{Д}} = 20 + \frac{0,05}{\sqrt{2}} \cdot 400 \pm 1 \approx 34,1 \pm 1 \text{ В}.$$

Рассчитаем скорость сварки при выбранных параметрах режима по формуле (2.5) из [3]:

$$V_{\text{СВ}} = \frac{V_{\text{ПОД}}}{F_{\text{Н}} \left(1 - \frac{\Psi_{\text{П}}}{100} \right)} \cdot F_{\text{ЭЛ}}, \frac{\text{см}}{\text{с}}, \quad (2.5)$$

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

$F_{\text{Н}} = 0,18$ – площадь наплавленного металла, см²;

$F_{\text{Э}} = 0,031$ – площадь сечения электрода, см²;

$\Psi_{\text{П}}$ – коэффициент потерь, %.

					15.03.01.2020.216 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		36

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

Рассчитаем количество теплоты по формуле (2.10) из [3]:

$$Q_{\text{III}} = 0,1884j^2 \rho_0 d_{\text{Э}}^2 \left(\frac{V_{\text{Э}}}{a\alpha\beta} (e^{-p_2 l} - 1) - \frac{\alpha(T_{\text{пл}} - T_0)}{p_1} \right), \quad (2.10)$$

где $j = 12740$ – плотность тока в электроде, А/см²;

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

$d_{\text{Э}} = 0,2$ – 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;

$l = 2$ – 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.

Определим коэффициент по формуле (2.11) из [3]:

$$\beta = \frac{0,24j^2 \rho_0}{a\gamma} = \frac{0,24 \cdot 12740^2 \cdot 0,000014}{0,08 \cdot 1,25} = 5453,5 \text{ ед.} \quad (2.11)$$

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

Определим условную скорость подачи проволоки по формуле (2.12) из [18]:

$$V_{\text{Э}} = \frac{4\alpha_p I_{\text{СВ}}}{3600\pi\gamma d_{\text{Э}}^2} = \frac{4 \cdot 20 \cdot 400}{3600 \cdot 3,14 \cdot 7,85 \cdot 0,2^2} = 9,1 \text{ см/с.} \quad (2.12)$$

										Лист
										38
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

$$\psi_{\Pi}=0,176j-0,000448j^2-4,72, \%, \quad (2.14)$$

где $j = 127,4$ – плотность сварочного тока, А/мм².

Тогда, по формуле (2.14) получим, что коэффициент потерь ψ_{Π}

$$\psi_{\Pi}=0,176 \cdot 127,4 - 0,000448 \cdot 127,4^2 - 4,72 = 10,4 \, \%$$

Тогда, по формуле (2.5) получим, что скорость сварки

$$V_{\text{СВ}} = \frac{9,1}{0,18 \cdot \left(1 - \frac{10,4}{100}\right)} \cdot 0,031 = 1,5 \frac{\text{см}}{\text{с}}$$

Рассчитаем погонную энергию при сварке по формуле (2.15) из [3]:

$$q_{\text{ПОГ}} = \frac{0,24 U_{\text{Д}} I_{\text{СВ}} \eta}{V_{\text{СВ}}}, \frac{\text{кал}}{\text{см}}, \quad (2.15)$$

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

Тогда, по формуле (2.15) получим, что

$$q_{\text{ПОГ}} = \frac{0,24 \cdot 34,1 \cdot 400 \cdot 0,85}{1,5} = 1855 \frac{\text{кал}}{\text{см}}$$

Для стали 15ХСНД скорость охлаждения металла в околошовной зоне при наименьшей устойчивости аустенита имеет интервал 1,8...9 °С/с [3].

Определим мгновенную скорость охлаждения металла по формуле (2.16) из [3]:

					15.03.01.2020.216 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		40

$$\omega = \bar{\omega} 2\pi\lambda \frac{(T_M - T_0)^2}{k_1 q_{\text{ПОГ}}}, \frac{^\circ\text{C}}{\text{с}}, \quad (2.16)$$

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

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

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

$T_0 = 150$ – начальная температура изделия, $^\circ\text{C}$;

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

Безразмерный критерий процесса $\bar{\omega}$ зависит от другого безразмерного критерия, который определяется по формуле (2.17) из [3]:

$$\frac{1}{\theta} = \frac{2k_1 q_{\text{ПОГ}}}{\pi(\delta k_2)^2 c \gamma (T_M - T_0)} = \frac{2 \cdot 2 \cdot 1855}{3 \cdot 3,14 \cdot (6 \cdot 1)^2 \cdot 1,25 \cdot (500 - 150)} = 0,1. \quad (2.17)$$

где $c \gamma = 1,25$ – объемная теплоемкость, кал/см³ $^\circ\text{C}$;

$k_2 = 1$ – коэффициент приведения для нахлесточного шва, ед.

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

Тогда, по формуле (2.16) получим, что

$$\omega = 1 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 0,1 \cdot \frac{3 \cdot (500 - 150)^2}{2 \cdot 1855} = 62,2 \frac{^\circ\text{C}}{\text{с}}.$$

Полученное значение мгновенной скорости охлаждения не входит в требуемый интервал мгновенных скоростей охлаждения для стали 15ХСНД, следовательно, требуется увеличить температуру предварительного подогрева.

Примем, что она составляет 370 $^\circ\text{C}$. Тогда, по формуле (2.17) получим, что

$$\frac{1}{\theta} = \frac{2 \cdot 2 \cdot 1855}{3 \cdot 3,14 \cdot (6 \cdot 1)^2 \cdot 1,25 \cdot (500 - 370)} = 0,1.$$

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

									Лист
									41
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	15.03.01.2020.216 ПЗ				

Тогда, по формуле (2.16) получим, что

$$\omega = 1 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 0,1 \cdot \frac{3 \cdot (500 - 370)^2}{2 \cdot 1855} = 8,6 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{с}}$$

Полученное значение мгновенной скорости охлаждения входит в указанный интервал для стали 15ХСНД.

2.5.2 Расчет режимов сварки шва №2

Шов №2 нестандартный. Сварка производится в среде защитных газов. Общий вид сварного шва №2 показан на рисунке 2.12.

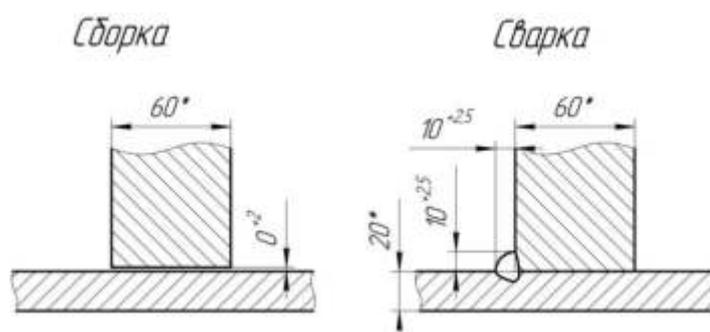


Рисунок 2.12 – Общий вид сварного шва №2

Вылет электродной проволоки принимается равным 20 мм. Расход газа примем равным 20 л/мин. Ток постоянный прямой полярности. Площадь наплавленного металла рассчитывается по формуле (2.2) и составляет

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

Сварку шва №2 будем вести за один проход в положении в симметричную «лодочку». Примем, что для диаметра проволоки 2 мм сила сварочного тока составляет 450 А.

Плотность принятого сварочного тока при диаметре электродной проволоки 2 мм рассчитывается по формуле (2.3) и составляет

					15.03.01.2020.216 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		42

$$j = \frac{4I_{CB}}{\pi d_{\text{э}}^2} = \frac{4 \cdot 450}{3,14 \cdot 2^2} = 143,3 \frac{\text{А}}{\text{мм}^2}.$$

При диаметре электрода 2 мм и при сварке таврового шва плотность сварочного тока находится в интервале 60...150 А/мм² [3]. Полученное значение входит в указанный интервал.

Рассчитаем напряжение на дуге по формуле (2.4) и получим, что

$$U_{\text{д}} = 20 + \frac{0,05}{\sqrt{2}} \cdot 450 \pm 1 \approx 35,9 \pm 1 \text{ В}.$$

Рассчитаем скорость сварки при выбранных параметрах режима по формуле (2.5) с учетом формул (2.6)...(2.13). Тогда получим, что:

- составляющая, обусловленная тепловложением дуги $\alpha'_{\text{р}} = 21,7 \text{ г/Ач}$;
- условная скорость подачи проволоки $V_{\text{э}} = 11,1 \text{ см/с}$;
- коэффициент $\beta = 6899,7 \text{ ед}$;
- коэффициент $p_1 = -138,3 \text{ ед}$, $p_2 = -0,4 \text{ ед}$;
- количество теплоты, расходуемое на предварительный подогрев вылета электродной проволоки протекающим по нему током $Q_{\text{ПП}} = 64,4 \text{ кал}$;
- составляющая, зависящая от тепловложения вследствие предварительного нагрева вылета электрода протекающим током $\Delta\alpha_{\text{р}} = 1,6 \text{ г/Ач}$;
- коэффициент расплавления $\alpha_{\text{р}} = 23,3 \text{ г/Ач}$;
- скорость подачи проволоки $V_{\text{ПОД}} = 12 \text{ см/с}$;
- скорость сварки $V_{\text{СВ}} = 0,66 \text{ см/с}$.

Далее по формуле (2.15) определяем погонную энергию

$$q_{\text{ПОГ}} = \frac{0,24 \cdot 35,9 \cdot 450 \cdot 0,85}{0,66} = 4993,4 \frac{\text{кал}}{\text{см}}.$$

Определим мгновенную скорость охлаждения металла по формуле (2.16) с учетом формулы (2.17). Так, по формуле (2.17)

					15.03.01.2020.216 ПЗ	Лист
						43
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$\frac{1}{\theta} = \frac{2k_1 q_{\text{ПОГ}}}{\pi(\delta k_2)^2 c \gamma (T_M - T_0)} = \frac{2 \cdot 2 \cdot 4993,4}{3 \cdot 3,14 \cdot (2 \cdot 1)^2 \cdot 1,25 \cdot (500 - 150)} = 1,2.$$

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

Тогда, по формуле (2.16) получим, что

$$\omega = 0,65 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 0,1 \cdot \frac{3 \cdot (500 - 150)^2}{2 \cdot 4993,4} = 15 \frac{^\circ\text{C}}{\text{с}}.$$

Полученное значение мгновенной скорости охлаждения не входит в требуемый интервал мгновенных скоростей охлаждения для стали 15ХСНД, следовательно, требуется увеличить температуру предварительного подогрева.

Примем, что она составляет 210°C. Тогда, по формуле (2.17) получим, что

$$\frac{1}{\theta} = \frac{2k_1 q_{\text{ПОГ}}}{\pi(\delta k_2)^2 c \gamma (T_M - T_0)} = \frac{2 \cdot 2 \cdot 4993,4}{3 \cdot 3,14 \cdot (2 \cdot 1)^2 \cdot 1,25 \cdot (500 - 210)} = 1,5.$$

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

Тогда, по формуле (2.16) получим, что

$$\omega = 0,48 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 0,1 \cdot \frac{3 \cdot (500 - 210)^2}{2 \cdot 4993,4} = 7,6 \frac{^\circ\text{C}}{\text{с}}.$$

Полученное значение мгновенной скорости охлаждения входит в требуемый интервал мгновенных скоростей охлаждения для стали 15ХСНД.

					15.03.01.2020.216 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		44

2.5.3 Расчет режимов сварки шва №3

Шов №3 нестандартный. Сварка производится в среде защитных газов. Общий вид сварного шва №3 показан на рисунке 2.13.

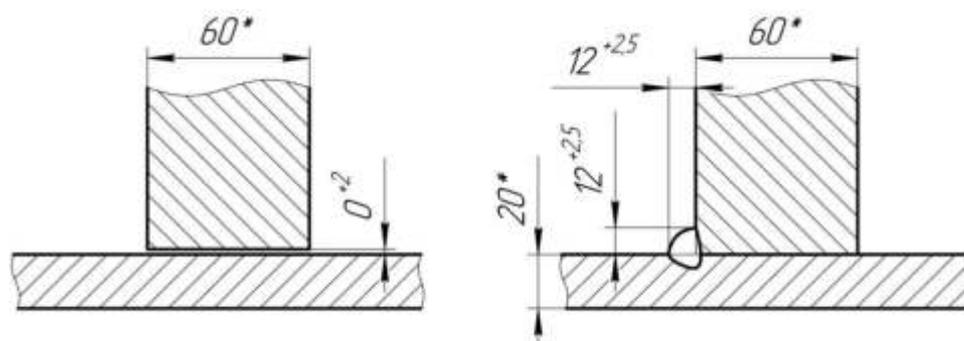


Рисунок 2.13 – Общий вид сварного шва №3

Вылет электродной проволоки принимается равным 20 мм. Расход газа примем равным 20 л/мин. Ток постоянный прямой полярности. Площадь наплавленного металла рассчитывается по формуле (2.2) и составляет

$$F_H = \frac{12^2}{2} = 72 \text{ мм}^2.$$

Сварку шва №3 будем вести за два прохода в нижнем положении. Площадь поперечного сечения при первом проходе составляет $F_1 = 0,3 \text{ см}^2$, площадь поперечного сечения при втором проходе составляет $F_2 = 0,42 \text{ см}^2$.

Рассчитаем параметры режима сварки шва №3 при первом проходе. Примем, что сила сварочного тока составляет 350 А. Плотность принятого сварочного тока при диаметре электродной проволоки 2 мм рассчитывается по формуле (2.3) и составляет

$$j = \frac{4I_{CB}}{\pi d^2} = \frac{4 \cdot 350}{3,14 \cdot 2^2} = 111,5 \frac{\text{А}}{\text{мм}^2}.$$

При диаметре электрода 2 мм и при сварке таврового шва плотность сварочного тока находится в интервале 60...150 А/мм² [3]. Полученное значение

					15.03.01.2020.216 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		45

(2.16) получим, что

$$\omega = 1 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 0,1 \cdot \frac{3 \cdot (500-150)^2}{2 \cdot 3213} = 35,9 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{с}}.$$

Полученное значение мгновенной скорости охлаждения не входит в требуемый интервал мгновенных скоростей охлаждения для стали 15ХСНД. Поэтому примем, что температура предварительного подогрева составляет 330 °С. Тогда, по формуле (2.17)

$$\frac{1}{\theta} = \frac{2k_1 q_{\text{ПОГ}}}{\pi(\delta k_2)^2 c \gamma (T_M - T_0)} = \frac{2 \cdot 2 \cdot 3213}{3 \cdot 3,14 \cdot (6 \cdot 1)^2 \cdot 1,25 \cdot (500-330)} = 0,2.$$

При значении безразмерного критерия 0,2 величина $\bar{\omega} = 1$. Тогда, по формуле (2.16) получим, что

$$\omega = 1 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 0,1 \cdot \frac{3 \cdot (500-330)^2}{2 \cdot 3213} = 8,5 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{с}}.$$

Полученное значение скорости входит в требуемый интервал.

Рассчитаем параметры режима сварки шва №3 при втором проходе. Примем, что сила сварочного тока составляет 450 А. Плотность принятого сварочного тока при диаметре электродной проволоки 2 мм рассчитывается по формуле (2.3) и составляет

$$j = \frac{4I_{\text{СВ}}}{\pi d_{\text{Э}}^2} = \frac{4 \cdot 450}{3,14 \cdot 2^2} = 143,3 \frac{\text{А}}{\text{мм}^2}.$$

При диаметре электрода 2 мм и при сварке таврового шва плотность сварочного тока находится в интервале 60...150 А/мм² [3]. Полученное значение входит в указанный интервал.

					15.03.01.2020.216 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		47

Рассчитаем напряжение на дуге по формуле (2.4) и получим, что

$$U_{д} = 20 + \frac{0,05}{\sqrt{2}} \cdot 450 \pm 1 \approx 35,9 \pm 1 \text{ В.}$$

Рассчитаем скорость сварки при выбранных параметрах режима по формуле (2.5) с учетом формул (2.6)...(2.13). Тогда получим, что:

- составляющая, обусловленная тепловложением дуги $\alpha'_p = 21,7 \text{ г/Ач}$;
- условная скорость подачи проволоки $V_{\text{Э}} = 11,1 \text{ см/с}$;
- коэффициент $\beta = 6899,7 \text{ ед}$;
- коэффициент $p_1 = -138,3 \text{ ед}$, $p_2 = -0,4 \text{ ед}$;
- количество теплоты, расходуемое на предварительный подогрев вылета электродной проволоки протекающим по нему током $Q_{\text{ПП}} = 64,4 \text{ кал}$;
- составляющая, зависящая от тепловложения вследствие предварительного нагрева вылета электрода протекающим током $\Delta\alpha_p = 1,6 \text{ г/Ач}$;
- коэффициент расплавления $\alpha_p = 23,3 \text{ г/Ач}$;
- скорость подачи проволоки $V_{\text{ПОД}} = 12 \text{ см/с}$;
- скорость сварки $V_{\text{СВ}} = 0,78 \text{ см/с}$.

Далее по формуле (2.15) определяем погонную энергию

$$q_{\text{ПОГ}} = \frac{0,24 \cdot 35,9 \cdot 450 \cdot 0,85}{0,78} = 4225,2 \frac{\text{кал}}{\text{см}}.$$

Определим мгновенную скорость охлаждения металла по формуле (2.18) из [3]:

$$\omega = \bar{\omega} 2\pi\lambda \frac{(T_M - T_0)^2}{q_{\text{ПОГ}}}, \frac{\text{°С}}{\text{с}}, \quad (2.18)$$

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

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

										Лист
										48
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	15.03.01.2020.216 ПЗ					

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

$T_0 = 200$ – начальная температура изделия, °С.

Безразмерный критерий процесса $\bar{\omega}$ зависит от другого безразмерного критерия, который определяется по формуле (2.19) из [3]:

$$\frac{1}{\theta} = \frac{2q_{\text{ПОГ}}}{\pi(\delta)^2 c \gamma (T_M - T_0)} = \frac{2 \cdot 4225,2}{3 \cdot 3,14 \cdot (6)^2 \cdot 1,25 \cdot (500 - 200)} = 0,2. \quad (2.19)$$

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

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

Тогда, по формуле (2.18) получим, что

$$\omega = 1 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 0,1 \cdot \frac{(500 - 200)^2}{4225,2} = 13,4 \frac{^\circ\text{C}}{\text{с}}.$$

Полученное значение мгновенной скорости охлаждения не входит в требуемый интервал мгновенных скоростей охлаждения для стали 15ХСНД. Поэтому примем, что температура предварительного подогрева составляет 260 °С. Тогда, по формуле (2.19)

$$\frac{1}{\theta} = \frac{2q_{\text{ПОГ}}}{\pi(\delta)^2 c \gamma (T_M - T_0)} = \frac{2 \cdot 4225,2}{3 \cdot 3,14 \cdot (6)^2 \cdot 1,25 \cdot (500 - 260)} = 0,2.$$

При значении безразмерного критерия 0,2 величина $\bar{\omega} = 1$. Тогда, по формуле (2.18) получим, что

$$\omega = 1 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 0,1 \cdot \frac{(500 - 260)^2}{4225,2} = 8,6 \frac{^\circ\text{C}}{\text{с}}.$$

Полученное значение мгновенной скорости охлаждения входит в требуемый интервал мгновенных скоростей охлаждения для стали 15ХСНД.

					15.03.01.2020.216 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		49

2.5.4 Расчет режимов сварки шва №4

Шов №4 нестандартный. Тип шва стыковой. Сварка производится в среде защитных газов. Общий вид сварного шва №4 показан на рисунке 2.14.



Рисунок 2.14 – Общий вид сварного шва №4

Вылет электродной проволоки принимается равным 20 мм. Расход газа примем равным 20 л/мин. Ток постоянный прямой полярности.

Требуемая площадь наплавленного металла рассчитывается по формуле (2.20) из [3]:

$$F_H = 0,73Bg, \quad (2.20)$$

где $B = 12$ – требуемая ширина усиления сварного шва, мм;

$g = 2$ – требуемая высота усиления сварного шва, мм.

Тогда, по формуле (2.20) получим, что

$$F_H = 0,73 \cdot 12 \cdot 2 = 17,5 \text{ мм}^2.$$

Сварку шва №4 будем вести за один проход. Примем, что сила сварочного тока составляет 330 А. Плотность принятого сварочного тока при диаметре электродной проволоки 2 мм рассчитывается по формуле (2.3) и составляет

$$j = \frac{4I_{CB}}{\pi d_{\text{э}}^2} = \frac{4 \cdot 330}{3,14 \cdot 2^2} = 105,1 \frac{\text{А}}{\text{мм}^2}.$$

При диаметре электрода 2 мм и при сварке стыкового шва плотность сварочного тока находится в интервале 65...210 А/мм² [3]. Полученное значение входит в указанный интервал.

Рассчитаем напряжение на дуге по формуле (2.4) и получим, что

$$U_{д} = 20 + \frac{0,05}{\sqrt{2}} \cdot 330 \pm 1 \approx 31,7 \pm 1 \text{ В.}$$

Рассчитаем скорость сварки при выбранных параметрах режима по формуле (2.5) с учетом формул (2.6)...(2.14). Тогда получим, что:

- составляющая, обусловленная тепловложением дуги $\alpha'_p = 17,6 \text{ г/Ач}$;
- условная скорость подачи проволоки $V_{\text{Э}} = 6,6 \text{ см/с}$;
- коэффициент $\beta = 3711,5 \text{ ед}$;
- коэффициент $p_1 = -82,1 \text{ ед}$, $p_2 = -0,4 \text{ ед}$;
- количество теплоты, расходуемое на предварительный подогрев вылета электродной проволоки протекающим по нему током $Q_{\text{ПП}} = 38,4 \text{ кал}$;
- составляющая, зависящая от тепловложения вследствие предварительного нагрева вылета электрода протекающим током $\Delta\alpha_p = 1,3 \text{ г/Ач}$;
- коэффициент расплавления $\alpha_p = 18,9 \text{ г/Ач}$;
- скорость подачи проволоки $V_{\text{ПОД}} = 7,1 \text{ см/с}$;
- скорость сварки $V_{\text{СВ}} = 1,15 \text{ см/с}$.

Далее по формуле (2.15) определяем погонную энергию

$$q_{\text{ПОГ}} = \frac{0,24 \cdot 35,9 \cdot 330 \cdot 0,85}{1,15} = 1855,7 \frac{\text{кал}}{\text{см}}.$$

Определим глубину провара по формуле (2.21) из [3]:

$$h = 0,0165 \sqrt{\frac{q_{\text{П}}}{\psi_{\text{ПР}}}}, \quad (2.21)$$

где q_{II} – величина погонной энергии, кал/см;

ψ_{II} – коэффициент формы провара, ед.

Определим коэффициент формы шва по формуле (2.22) из [3]:

$$\psi_{II} = \frac{k'(19-0,01I_{CB})d_{\Delta}U_{Д}}{I_{CB}}, \quad (2.22)$$

где k' – коэффициент, зависящий от плотности и полярности тока, ед.

Значение коэффициента k' при постоянном токе прямой полярности и при плотности тока $j=105,1$ А/мм² определяется по формуле (2.23) из [3]:

$$k' = \frac{2,82}{j^{0,1925}} = \frac{2,82}{105,1^{0,1925}} = 1,15. \quad (2.23)$$

Тогда, по формуле (2.22) получим, что

$$\psi_{II} = \frac{1,15 \cdot (19-0,01 \cdot 330) \cdot 2 \cdot 31,7}{330} = 3,5 \text{ ед.}$$

Тогда, по формуле (2.21) глубина провара

$$h = 0,0165 \cdot \sqrt{\frac{1855,7}{3,5}} = 0,38 \text{ см.}$$

Определим ширину шва по формуле (2.24) из [3]:

$$B = \psi_{II} h = 3,5 \cdot 0,38 = 1,33 \text{ см.} \quad (2.24)$$

Определим высоту валика по формуле (2.25) из [3]:

					15.03.01.2020.216 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		52

$$C = \frac{F_H}{0,73B} = \frac{0,175}{0,73 \cdot 1,33} = 0,18 \text{ см.} \quad (2.25)$$

Полученное значение геометрических параметров сварного шва удовлетворяют требуемым.

Безразмерный критерий процесса $\bar{\omega}$ зависит от другого безразмерного критерия, который определяется по формуле (2.19)

$$\frac{1}{\theta} = \frac{2q_{\text{ПОГ}}}{\pi(\delta)^2 c \gamma (T_M - T_0)} = \frac{2 \cdot 1855,7}{3 \cdot 3,14 \cdot (6)^2 \cdot 1,25 \cdot (500 - 150)} = 0,1.$$

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

Тогда, по формуле (2.18) получим, что

$$\omega = 1 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 0,1 \cdot \frac{(500 - 150)^2}{1855,7} = 41,5 \frac{^\circ\text{C}}{\text{с}}.$$

Полученное значение мгновенной скорости охлаждения не входит в требуемый интервал мгновенных скоростей охлаждения для стали 15ХСНД. Поэтому примем, что температура предварительного подогрева составляет 340 °С. Тогда, по формуле (2.19)

$$\frac{1}{\theta} = \frac{2q_{\text{ПОГ}}}{\pi(\delta)^2 c \gamma (T_M - T_0)} = \frac{2 \cdot 1855,7}{3 \cdot 3,14 \cdot (6)^2 \cdot 1,25 \cdot (500 - 330)} = 0,2.$$

При значении безразмерного критерия 0,2 величина $\bar{\omega} = 1$. Тогда, по формуле (2.18) получим, что

$$\omega = 1 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 0,1 \cdot \frac{(500 - 330)^2}{1855,7} = 8,7 \frac{^\circ\text{C}}{\text{с}}.$$

Полученное значение мгновенной скорости охлаждения входит в требуемый интервал мгновенных скоростей охлаждения для стали 15ХСНД.

2.5.5 Расчет режимов сварки шва №5

Тип шва ТЗ с катетом 8 мм согласно [16]. Общий вид сварного шва №5 показан на рисунке 2.15.

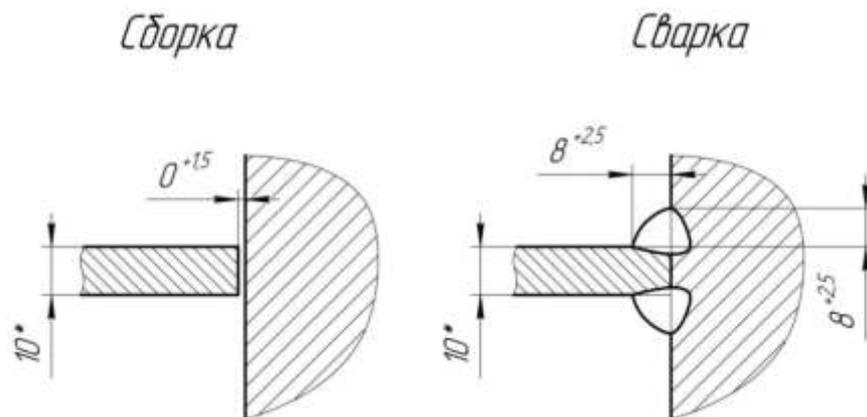


Рисунок 2.15 – Общий вид сварного шва №5

Вылет электродной проволоки принимается равным 20 мм. Расход газа примем равным 20 л/мин. Ток постоянный прямой полярности. Площадь наплавленного металла рассчитывается по формуле (2.2) и составляет

$$F_H = \frac{8^2}{2} = 32 \text{ мм}^2.$$

Сварку шва №5 будем вести за один проход в положении «симметричная лодочка». Примем, что для диаметра проволоки 2 мм сила сварочного тока составляет 450 А.

Плотность принятого сварочного тока при диаметре электродной проволоки 2 мм рассчитывается по формуле (2.3) и составляет

$$j = \frac{4I_{CB}}{\pi d_{\text{Э}}^2} = \frac{4 \cdot 450}{3,14 \cdot 2^2} = 143,3 \frac{\text{А}}{\text{мм}^2}.$$

При диаметре электрода 2 мм и при сварке таврового шва плотность сварочного тока находится в интервале 60...150 А/мм² [3]. Полученное значение входит в указанный интервал.

Рассчитаем напряжение на дуге по формуле (2.4) и получим, что

$$U_{д} = 20 + \frac{0,05}{\sqrt{2}} \cdot 450 \pm 1 \approx 35,9 \pm 1 \text{ В.}$$

Рассчитаем скорость сварки при выбранных параметрах режима по формуле (2.5) с учетом формул (2.6)...(2.14). Тогда получим, что:

- составляющая, обусловленная тепловложением дуги $\alpha'_p = 21,7$ г/Ач;
- условная скорость подачи проволоки $V_{\text{Э}} = 11,1$ см/с;
- коэффициент $\beta = 6899,7$ ед;
- коэффициент $p_1 = -138,3$ ед, $p_2 = -0,4$ ед;
- количество теплоты, расходуемое на предварительный подогрев вылета электродной проволоки протекающим по нему током $Q_{\text{ПП}} = 64,4$ кал;
- составляющая, зависящая от тепловложения вследствие предварительного нагрева вылета электрода протекающим током $\Delta\alpha_p = 1,6$ г/Ач;
- коэффициент расплавления $\alpha_p = 23,3$ г/Ач;
- скорость подачи проволоки $V_{\text{ПОД}} = 12$ см/с;
- скорость сварки $V_{\text{СВ}} = 1,03$ см/с.

Далее по формуле (2.15) определяем погонную энергию

$$q_{\text{ПОГ}} = \frac{0,24 \cdot 35,9 \cdot 450 \cdot 0,85}{1,03} = 3199,6 \frac{\text{кал}}{\text{см}}.$$

Определим мгновенную скорость охлаждения металла по формуле (2.16) с учетом формулы (2.17). Так, по формуле (2.17)

$$\frac{1}{\theta} = \frac{2k_1 q_{\text{ПОГ}}}{\pi(\delta k_2)^2 c \gamma (T_M - T_0)} = \frac{2 \cdot 2 \cdot 3199,6}{3 \cdot 3,14 \cdot (6 \cdot 1)^2 \cdot 1,25 \cdot (500 - 150)} = 0,1.$$

										Лист
										55
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	15.03.01.2020.216 ПЗ					

При значении безразмерного критерия 0,1 величина $\bar{\omega}=1$. Тогда, по формуле (2.16) получим, что

$$\omega=1 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 0,1 \cdot \frac{3 \cdot (500-150)^2}{2 \cdot 3199,6} = 36,1 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{с}}.$$

Полученное значение мгновенной скорости охлаждения не входит в требуемый интервал мгновенных скоростей охлаждения для стали 15ХСНД. Поэтому, требуется увеличить температуру предварительного подогрева до значения 330°C.

Тогда, по формуле (2.17) получим, что

$$\frac{1}{\theta} = \frac{2 \cdot 2 \cdot 3199,6}{3 \cdot 3,14 \cdot (6 \cdot 1)^2 \cdot 1,25 \cdot (500-330)} = 0,3.$$

При значении безразмерного критерия 0,3 величина $\bar{\omega}=1$. Тогда, по формуле (2.16) получим, что

$$\omega=1 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 0,1 \cdot \frac{3 \cdot (500-330)^2}{2 \cdot 3199,6} = 8,5 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{с}}.$$

Полученное значение мгновенной скорости охлаждения входит в требуемый интервал мгновенных скоростей охлаждения для стали 15ХСНД.

2.5.6 Расчет режимов сварки шва №6

Шов №6 нестандартный. Сварка производится в среде защитных газов. Общий вид сварного шва №6 показан на рисунке 2.16.

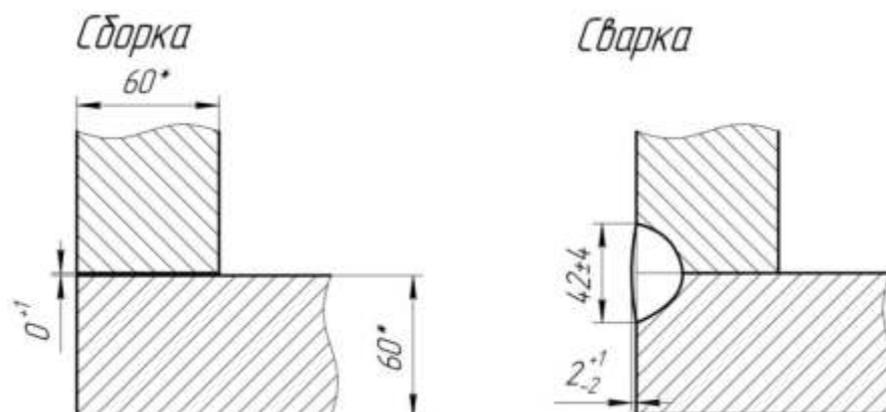


Рисунок 2.16 – Общий вид сварного шва №6

Вылет электродной проволоки принимается равным 20 мм. Расход газа примем равным 20 л/мин. Ток постоянный прямой полярности. Площадь наплавленного металла рассчитывается по формуле (2.18)

$$F_H = 0,73 \cdot 42 \cdot 2 = 62 \text{ мм}^2.$$

Сварку шва №6 будем вести за два прохода валиками с площадью поперечного сечения 0,3 см² и 0,32 см².

Рассчитаем параметры режима сварки при первом проходе. Примем, что сила сварочного тока составляет 300 А. Плотность принятого сварочного тока при диаметре электродной проволоки 2 мм рассчитывается по формуле (2.3) и составляет

$$j = \frac{4I_{CB}}{\pi d_3^2} = \frac{4 \cdot 300}{3,14 \cdot 2^2} = 95,5 \frac{\text{А}}{\text{мм}^2}.$$

При диаметре электрода 2 мм и при сварке стыкового шва плотность сварочного тока находится в интервале 65...210 А/мм² [3]. Полученное значение

входит в указанный интервал.

Рассчитаем напряжение на дуге по формуле (2.4) и получим, что

$$U_{\text{д}} = 20 + \frac{0,05}{\sqrt{2}} \cdot 300 \pm 1 \approx 30,6 \pm 1 \text{ В.}$$

Рассчитаем скорость сварки при выбранных параметрах режима по формуле (2.5) с учетом формул (2.6)...(2.14). Тогда получим, что:

- составляющая, обусловленная тепловложением дуги $\alpha'_p = 16,6 \text{ г/Ач}$;
- условная скорость подачи проволоки $V_{\text{Э}} = 5,6 \text{ см/с}$;
- коэффициент $\beta = 3064,4 \text{ ед}$;
- коэффициент $p_1 = -69,6 \text{ ед}$, $p_2 = -0,4 \text{ ед}$;
- количество теплоты, расходуемое на предварительный подогрев вылета электродной проволоки протекающим по нему током $Q_{\text{ПП}} = 32,6 \text{ кал}$;
- составляющая, зависящая от тепловложения вследствие предварительного нагрева вылета электрода протекающим током $\Delta\alpha_p = 1,2 \text{ г/Ач}$;
- коэффициент расплавления $\alpha_p = 17,8 \text{ г/Ач}$;
- скорость подачи проволоки $V_{\text{ПОД}} = 6,1 \text{ см/с}$;
- скорость сварки $V_{\text{СВ}} = 0,58 \text{ см/с}$.

Далее по формуле (2.15) определяем погонную энергию

$$q_{\text{ПОГ}} = \frac{0,24 \cdot 30,6 \cdot 300 \cdot 0,85}{0,58} = 3228,8 \frac{\text{кал}}{\text{см}}.$$

Значение коэффициента k' при постоянном токе прямой полярности и при плотности тока $j = 105,1 \text{ А/мм}^2$ определяется по формуле (2.23):

$$k' = \frac{2,82}{j^{0,1925}} = \frac{2,82}{95,5^{0,1925}} = 1,17.$$

Тогда, по формуле (2.22) получим, что

									Лист
									58
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

$$\Psi_{\text{ПР}} = \frac{1,17 \cdot (19 - 0,01 \cdot 300) \cdot 2 \cdot 30,6}{300} = 3,8 \text{ ед.}$$

Тогда, по формуле (2.21) глубина провара

$$h = 0,0165 \cdot \sqrt{\frac{3228,8}{3,8}} = 0,48 \text{ см.}$$

Определим ширину шва по формуле (2.24)

$$B = \Psi_{\text{ПР}} h = 3,8 \cdot 0,48 = 1,82 \text{ см.}$$

Определим высоту валика по формуле (2.25)

$$C = \frac{F_{\text{Н}}}{0,73B} = \frac{0,3}{0,73 \cdot 1,82} = 0,23 \text{ см.}$$

Для получения более широкого валика примем, что напряжение на дуге $U_{\text{д}} = 40$

В. Тогда:

- погонная энергия $q_{\text{ПОГ}} = 4220,7$ кал/см;
- коэффициент формы провара $\Psi_{\text{ПР}} = 5$ ед;
- глубина провара $h = 0,48$ см;
- ширина шва $B = 2,4$ см;
- высоту валика $C = 0,17$ см.

Определим мгновенную скорость охлаждения металла по формуле (2.18) с учетом формулы (2.19). Так, по формуле (2.19) получим, что

$$\frac{1}{\theta} = \frac{2q_{\text{ПОГ}}}{\pi(\delta)^2 c \gamma (T_{\text{М}} - T_{\text{О}})} = \frac{2 \cdot 4220,7}{3 \cdot 3,14 \cdot (6)^2 \cdot 1,25 \cdot (500 - 150)} = 0,2.$$

										Лист
										59
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	15.03.01.2020.216 ПЗ					

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

Тогда, по формуле (2.23) получим, что

$$\omega=1 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 0,1 \cdot \frac{(500-150)^2}{4220,7} = 18,2 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{с}}.$$

Полученное значение мгновенной скорости охлаждения не входит в требуемый интервал мгновенных скоростей охлаждения для стали 15ХСНД. Поэтому примем, что температура предварительного подогрева составляет 260 °С. Тогда, по формуле (2.19)

$$\frac{1}{\theta} = \frac{2q_{\text{ПОГ}}}{\pi(\delta)^2 c \gamma (T_M - T_0)} = \frac{2 \cdot 4220,7}{3 \cdot 3,14 \cdot (6)^2 \cdot 1,25 \cdot (500-260)} = 0,2.$$

При значении безразмерного критерия 0,2 величина $\bar{\omega} = 1$. Тогда, по формуле (2.18) получим, что

$$\omega=1 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 0,1 \cdot \frac{(500-260)^2}{4220,7} = 8,6 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{с}}.$$

Полученное значение мгновенной скорости охлаждения входит в требуемый интервал мгновенных скоростей охлаждения для стали 15ХСНД.

Рассчитаем параметры режима сварки шва №6 при втором проходе. Плотность принятого сварочного тока при диаметре электродной проволоки 2 мм рассчитывается по формуле (2.3) и составляет

$$j = \frac{4I_{\text{СВ}}}{\pi d_{\text{Э}}^2} = \frac{4 \cdot 300}{3,14 \cdot 2^2} = 95,5 \frac{\text{А}}{\text{мм}^2}.$$

При диаметре электрода 2 мм и при сварке стыкового шва плотность сварочного тока находится в интервале 65...210 А/мм² [3]. Полученное значение

					15.03.01.2020.216 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		60

входит в указанный интервал.

Рассчитаем напряжение на дуге по формуле (2.4) и получим, что

$$U_{\text{д}} = 20 + \frac{0,05}{\sqrt{2}} \cdot 300 \pm 1 \approx 30,6 \pm 1 \text{ В.}$$

Рассчитаем скорость сварки при выбранных параметрах режима по формуле (2.5) с учетом формул (2.6)...(2.14). Тогда получим, что:

- составляющая, обусловленная тепловложением дуги $\alpha'_p = 16,6 \text{ г/Ач}$;
- условная скорость подачи проволоки $V_{\text{Э}} = 5,6 \text{ см/с}$;
- коэффициент $\beta = 3064,4 \text{ ед}$;
- коэффициент $p_1 = -69,6 \text{ ед}$, $p_2 = -0,4 \text{ ед}$;
- количество теплоты, расходуемое на предварительный подогрев вылета электродной проволоки протекающим по нему током $Q_{\text{ПП}} = 32,6 \text{ кал}$;
- составляющая, зависящая от тепловложения вследствие предварительного нагрева вылета электрода протекающим током $\Delta\alpha_p = 1,2 \text{ г/Ач}$;
- коэффициент расплавления $\alpha_p = 17,8 \text{ г/Ач}$;
- скорость подачи проволоки $V_{\text{ПОД}} = 6,1 \text{ см/с}$;
- скорость сварки $V_{\text{СВ}} = 0,54 \text{ см/с}$.

Далее по формуле (2.15) определяем погонную энергию

$$q_{\text{ПОГ}} = \frac{0,24 \cdot 30,6 \cdot 300 \cdot 0,85}{0,54} = 3468 \frac{\text{кал}}{\text{см}}.$$

Значение коэффициента k' при постоянном токе прямой полярности и при плотности тока $j = 105,1 \text{ А/мм}^2$ определяется по формуле (2.23):

$$k' = \frac{2,82}{j^{0,1925}} = \frac{2,82}{95,5^{0,1925}} = 1,17.$$

Тогда, по формуле (2.22) получим, что

					15.03.01.2020.216 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		61

$$\Psi_{\text{ПР}} = \frac{1,17 \cdot (19 - 0,01 \cdot 300) \cdot 2 \cdot 30,6}{300} = 3,8 \text{ ед.}$$

Тогда, по формуле (2.21) глубина провара

$$h = 0,0165 \cdot \sqrt{\frac{3468}{3,8}} = 0,5 \text{ см.}$$

Определим ширину шва по формуле (2.24)

$$B = \Psi_{\text{ПР}} h = 3,8 \cdot 0,5 = 1,9 \text{ см.}$$

Определим высоту валика по формуле (2.25)

$$C = \frac{F_{\text{Н}}}{0,73B} = \frac{0,3}{0,73 \cdot 1,9} = 0,23 \text{ см.}$$

Для получения более широкого валика примем, что напряжение на дуге $U_{\text{д}} = 45$

В. Тогда:

- погонная энергия $q_{\text{ПОГ}} = 5100 \text{ кал/см}$;
- коэффициент формы провара $\Psi_{\text{ПР}} = 5,6 \text{ ед}$;
- глубина провара $h = 0,5 \text{ см}$;
- ширина шва $B = 2,8 \text{ см}$;
- высоту валика $C = 0,16 \text{ см}$.

Определим мгновенную скорость охлаждения металла по формуле (2.18) с учетом формулы (2.19). Так, по формуле (2.19) получим, что

$$\frac{1}{\theta} = \frac{2q_{\text{ПОГ}}}{\pi(\delta)^2 c \gamma (T_{\text{М}} - T_{\text{О}})} = \frac{2 \cdot 5100}{3 \cdot 3,14 \cdot (6)^2 \cdot 1,25 \cdot (500 - 250)} = 0,3.$$

										Лист
										62
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	15.03.01.2020.216 ПЗ					

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

Тогда, по формуле (2.23) получим, что

$$\omega=1 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 0,1 \cdot \frac{(500-250)^2}{5100} = 7,7 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{с}}.$$

Полученное значение мгновенной скорости охлаждения входит в требуемый интервал мгновенных скоростей охлаждения для стали 15ХСНД.

2.6 Выбор сборочного и сварочного оборудования

2.6.1 Описание конструкции сборочной установки

Для придания удобного пространственного положения при сварки Рама используется сварочный позиционер НВJ-06. Общий вид сварочного позиционера НВJ-06 показан на рисунке 2.17.



Рисунок 2.17 – Общий вид сварочного позиционера НВJ-06 [19]

Технические характеристики сварочного позиционера НВJ-06 показаны в таблице 2.15.

					15.03.01.2020.216 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		63

Таблица 2.15 – Технические характеристики сварочного позиционера НВJ-06

[19]

Характеристика	Значение
Скорость вращения планшайбы, об/мин	0,05...0,5
Скорость наклона планшайбы, об/мин	0,4
Максимальная грузоподъемность, кг:	
– при горизонтальном положении планшайбы	600
– при вертикальном положении планшайбы	300
Диаметр планшайбы, мм	1000
Максимальный угол наклона планшайбы, град	0...90
Привод	Электрический
Максимальный эксцентриситет, мм	150
Максимальная высота центра тяжести, мм	200

Установка собранного узла производится на планшайбу при помощи болтового соединения.

Для крепления и установки свариваемого изделия в позиционер используется переходная рамка, показанная на рисунке 2.18.



Рисунок 2.19 – Общий вид сварочного робота Kawasaki RA10N [20]

Характеристики робота Kawasaki RA10N приведены в таблице 2.16.

Таблица 2.16 – Технические характеристики робота Kawasaki RA10N [20]

Характеристика	Значение
Количество осей, шт	6
Грузоподъемность кисти, кг	10
Максимальный вылет, мм	1450
Точность позиционирования, мм	$\pm 0,06$
Масса (без контроллера), кг	380
Способ установки	Напольный, подвесной потолочный

В оснастку сварочного робота входит следующее оборудование:

- сварочный аппарат с источником питания и устройством подачи проволоки;
- газовые баллоны;
- устройство автоматической обрезки конца электрода;
- устройство очистки горелки от брызг и впрыскивания противопригарной жидкости.

В качестве источника питания при роботизированной сварке выберем сварочный аппарат марки OrigoMig 6502С производства фирмы Esab. Общий вид источника питания OrigoMig 6502С показан на рисунке 2.20.



Рисунок 2.21 – Общий вид горелки [22]

Горелка рассчитана на работу в тяжелых условиях при нагрузке до 550 А в среде чистой углекислоты или газовой смеси проволокой диаметром 0,8...2 мм.

При проектировании роботизированного участка необходимо учитывать следующие особенности:

- свариваемое изделие должно входить в перекрываемую рабочую зону манипулятора;
- дополнительная оснастка должна быть в пределах рабочей зоны манипулятора и быть автоматической;
- участок должен иметь защитные ограждения;
- рабочее место оператора должно быть за пределами рабочей зоны манипулятора.

Выводы по разделу 2:

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

3 КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА

3.1 Способы и средства контроля качества

При контроле качества Рама применяются такие методы контроля качества, как:

- визуальный и измерительный контроль (далее ВИК);
- капиллярный контроль (далее ЦКД).

ВИК применяется на всех производственных операциях как основной метод выявления несоответствий и отклонений от требований технической документации. Он проводится по картам контроля, которые утверждаются главным инженером предприятия. Они разрабатываются в соответствии с требованиями [23].

При входном контроле проводится проверка соответствия листового проката, сварочных материалов и полуфабрикатов по прилагаемым сертификатам и при отборе проб. Проверка проводится сравнением маркировки с данными, указанными в сертификатах.

При проведении входного контроля сварочных материалов контролируется визуально:

- наличие ржавчины;
- наличие механических повреждений.

Также выборочно проводятся испытания сварочных материалов наплавкой на образец либо сварки контрольного сварного соединения и проверки технологических, механических и для проведения металлографических исследований.

Поставляемые защитные газы проверяются на чистоту и соответствие паспортным данным. Контроль проводится ротаметрами.

При текущем контроле проверяется качество сборки, а именно, проводится проверка габаритных размеров, а также параметров сборки деталей перед сваркой.

					15.03.01.2020.216 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		69

После сварки ВИК проверяют внешний вид сварного соединения, его геометрические размеры, производится измерение габаритных размеров свариваемых изделий. В ходе проведения сварки контролируются параметры режима.

При проведении ВИК применяются следующие инструменты:

- линейка измерительная металлическая длиной 20 см;
- рулетка измерительная 5 м;
- штангенциркуль ШЦ-1-125-0,1;
- универсальный шаблон сварщика №3;
- универсальный шаблон сварщика №2;
- набор щупов №4;
- угольник 160×100;
- лупа увеличительная 10×;
- ,фонарь светодиодный.

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

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

- пенетрант;
- очиститель;
- проявитель.

					15.03.01.2020.216 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		70

3.2 Допустимые и недопустимые дефекты

При входном контроле недопустимым является отклонение химического состава и механических свойств проката от нормативного значения и значений, указанных в сертификате качества. Отклонение геометрии листов при поставке является не критичным дефектом, но при этом толщина листа должна быть в пределах допуска, а длина и ширина не должны отклоняться от предельных допускных значений на величину более 40 мм. Наличие на поверхности проката дефектов глубиной более 0,3 мм является недопустимым. Коррозия поверхности металла не допускается при значении глубины более 0,3 мм.

При обнаружении несоответствующих размеров заготовок и деталей перед сборкой проводится их комиссионный осмотр и принимается решение об их доработке, окончательной отбраковке или допуска в производство без изменений.

При проведении ВИК сборки несоответствующими дефектами являются:

- несоответствие величины зазоров;
- несоответствие габаритных размеров при сборке, а также при сварке.

При обнаружении несоответствий сборку проводят заново.

При проведении ВИК сварки отклонение от требуемых режимов сварки является недопустимым.

При проведении ВИК Рамы после сварки проверяются следующие параметры швов:

– внешний вид – 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 0,3 мм. Наличие указанных несоответствий является недопустимым;

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

– отсутствие прожогов. Наличие таких дефектов является недопустимым;

– отсутствие пор, выходящих на поверхность любого диаметра. Наличие таких

										Лист
										71
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	15.03.01.2020.216 ПЗ					

Продолжение таблицы 3.1.

Набор щупов №4	Контроль величины зазоров
Универсальный шаблон сварщика УШС-2	Контроль величины катетов швов
Угольник 160×100	Контроль перпендикулярности собранных деталей между собой, контроль ширины и высоты тавровых швов

При проведении ЦКД применяется набор для проведения капиллярной дефектоскопии марки Karl Deutch [25]. В состав набора входит:

- пенетрант красного цвета;
- очиститель;
- проявитель.

3.4 Методика контроля

3.4.1 Визуальный и измерительный контроль

При проведении ВИК персонал, который осуществляет контроль, должен быть аттестован на уровень I, II, III согласно [26]. 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.

Измерение линейных размеров листов, а также заготовок производится следующими инструментами:

- длина и ширина – рулетка измерительная длиной 5 м;
- толщина листов – ультразвуковой толщиномер или микрометр.

Диаметральные размеры, а также ширина швов, измеряются штангенциркулем ШЦ-1-125-0,1.

										Лист
										73
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	15.03.01.2020.216 ПЗ					

Геометрические параметры сборки измеряются следующими инструментами:

- длина и ширина – рулетка измерительная длиной 10 м;
- перпендикулярность сборочных элементов относительно друг друга – угольник 160×100 мм.

Качество прихваток оценивается визуально. В прихватках не допускаются трещины, кратеры, несплавления по кромкам. Длина прихваток проверяется линейкой металлической длиной 20 см.

При контроле сварных швов проверяются их геометрические размеры, а также отсутствие дефектов, выявляемых по результатам ВИК. Геометрические параметры швов проверяют следующими инструментами:

- катет шва – универсальный шаблон сварщика УШС-2.

3.4.2 Капиллярный контроль

Перед проведением контроля требуется проверить шероховатость поверхности и она не должна превышать значения Rz 20.

Перед контролем провести очистку поверхности ацетоном или очистителем Karl Deutch.

Пенетрант Karl Deutch следует наносить на рабочую поверхность после ее подготовки. Время выдержки пенетранта на поверхности должно составлять не менее 15 минут.

После выдержки контролируемую поверхность штампа очистить очистителем Karl Deutch. Очистку проводить тканью. Очищать поверхность следует до такой степени, чтобы на ткани не осталось следов пенетранта.

После очистки на контролируемую поверхность следует нанести проявитель. Проявитель наносится с расстояния не менее 150 мм до контролируемой поверхности равномерно. При этом не следует наносить проявитель большим слоем. Для наиболее качественного контроля проявитель требуется наносить за один проход.

После нанесения проявителя, швы следует выдерживать в течение не менее 30

										Лист
										74
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	15.03.01.2020.216 ПЗ					

минут и после этого провести первичный осмотр. Если при первичном осмотре отсутствуют дефекты, то провести дальнейшую выдержку не менее 15 минут и повторно проконтролировать.

Выводы по разделу 3:

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

4 БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

4.1 Анализ вредных и опасных производственных факторов

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

К вредным производственным факторам относятся следующие:

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

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

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

					15.03.01.2020.216 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		75

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 дня и т. д.).

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

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

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

Снижение шума при работе осуществляется следующими методами:

- организационными;

					15.03.01.2020.216 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		76

зданий, технологическое оборудование в качестве обратного провода электросварки;

– 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.

4.2.3 Обеспечение пожарной безопасности

В соответствии с [27] 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;

					15.03.01.2020.216 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		78

– рукав ДУ 18...20 длиной 5 м – 1 шт.

4.3 Безопасность при работе с подъемными устройствами

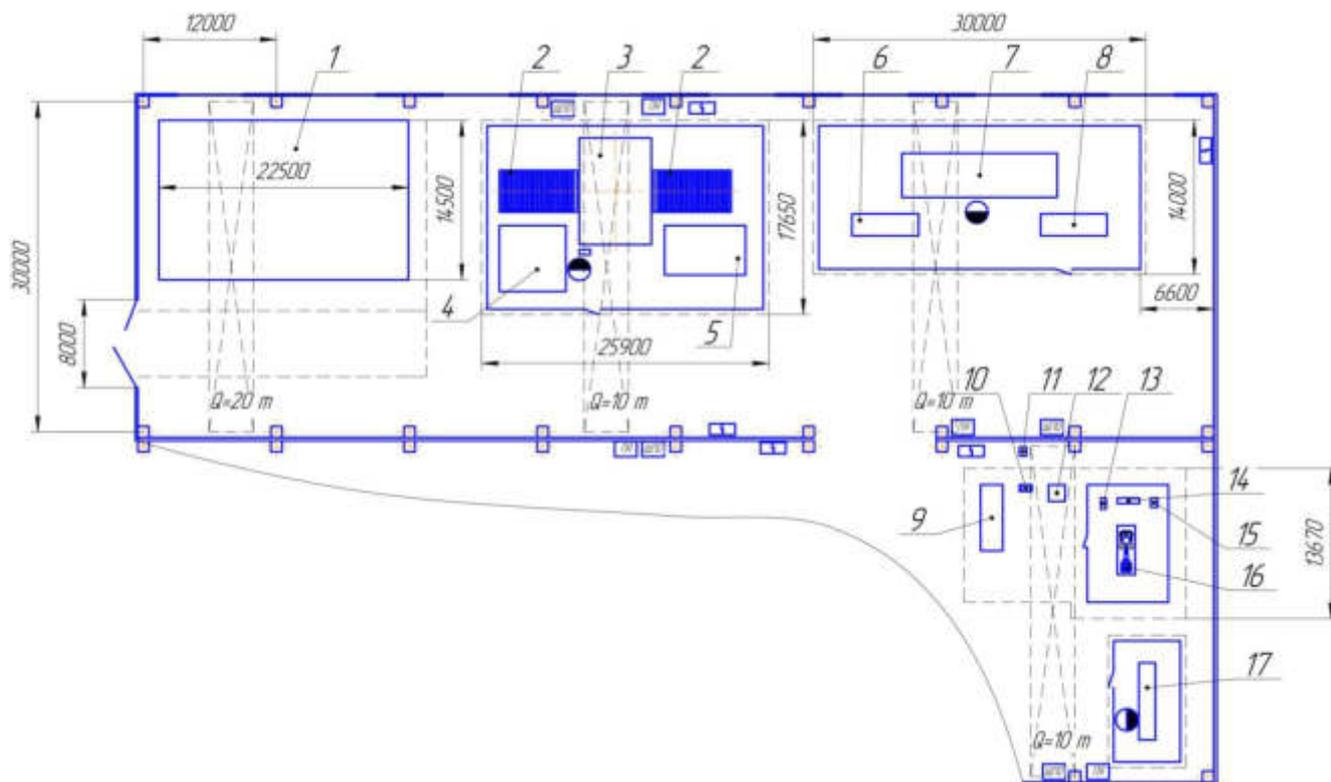
При работе с подъемными устройствами следует соблюдать следующие рекомендации:

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

					15.03.01.2020.216 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		79

4.4 Планировка оборудования и рабочих мест участка

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



- 1 – Склад металла; 2 – Рольганг; 3 – Установка Siapro RC 2500×600;
 4 – Площадка складирования листов до очистки; 5 – Площадка складирования листов; 6 – Площадка складирования листов; 7 – Установка SNR-QL2-2565;
 8 – Площадка складирования заготовок; 9 – Площадка складирования заготовок перед сборкой; 10 – Стол сборочный; 11 – Аппарат OrigoMig 6502С;
 12 – Площадка складирования узлов перед сваркой; 13 – Стол слесарный;
 14 – Шкаф для хранения инструмента; 15 – Аппарат OrigoMig 6502С;
 16 – Роботизированный комплекс; 17 – Стенд контроля качества и слесарной очистки

Рисунок 4.1 – Планировка оборудования и рабочих мест

Планировка показана с учетом предлагаемого варианта технологического процесса изготовления Рамы погрузчика В-138. Описание технологической цепочки в соответствии с рисунком 4.1.

В первую очередь, листовой прокат поставляется на склад металла (поз. 1,) в

										Лист
										80
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	15.03.01.2020.216 ПЗ					

цех. Листы укладываются в штабели в зависимости от марки стали, толщины стенки. На складе проводится входной контроль.

Листы, принятые по результатам входного контроля, отправляют на участок дробеметной очистки и складироваться на площадке складирования листов до очистки (поз. 4). Далее листы укладывают на входной рольганг (поз. 2). Очистка производится на машине Siapro RC 2500×600 (поз. 3). Очищенные листы снимают укладывают на площадку складирования листов (поз. 5).

Далее листы транспортируют на участок термической резки и укладывают на площадке складирования листов (поз. 6). Резка производится на установке SNR-QL2-2565 (поз. 7). Заготовки деталей складироваться на площадке складирования заготовок (поз. 8).

После проведения всех заготовительных операций детали отправляют на участок сборки и сварки. Находятся заготовки на площадке складирования заготовок перед сборкой (поз. 9).

Сборка проводится на столе сборочном (поз. 10). Сборка проводится аппаратом OrigoMig 6502C (поз. 11). Собранные узлы складировать на площадке складирования узлов перед сваркой (поз. 12).

Сварка производится роботизированным комплексом (поз. 16). На посту для питания робота применяется источник питания OrigoMig 6502C (поз. 15).

После сварки Раму отправляют на участок для контроля качества и слесарной обработки (поз. 17).

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.

					15.03.01.2020.216 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		81

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В выпускной квалификационной работе рассматривается технология сборки и сварки рамы фронтального погрузчика В-138.

В конструкторском разделе произведен анализ конструкции, описаны элементы, составляющие конструкцию Рама. Описана применяемая марка стали (15ХСНД), а также применяемые виды и тип сварных швов. Описаны действующие нагрузки на Раму.

В технологическом разделе проанализирована базовая технология сборки и сварки Рама. Описано заготовительное оборудование. Рассмотрен порядок сборки и сварки Рама, контроль качества. При рассмотрении технологии выявлены недостатки, которые предложено устранить применением следующих мероприятий: автоматизация технологии сварки (применение роботизированного комплекса), замена сварочных материалов (проволока Св-08Г2С диаметром 1,2 мм заменена на проволоку Св-08ХГ2С диаметром 2 мм). Для предлагаемого варианта бы осуществлен расчет режимов сварки, подобран сварочный вращатель и сварочный робот.

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

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

					15.03.01.2020.216 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		82

2007.– 37 с.

17. Акулов, А. И. Технология и оборудования сварки плавлением. Учебник для студентов вузов/ А. И. Акулов, Г. А. Бельчук, В. П. Демянцевич. – М.: «Машиностроение», 1977. – 432с. с ил.

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

19. <https://www.uniprofit.ru/catalog/avtomatizaciy-svarki/sp/spsbg/>.

20. <https://belfingroup.com/robotizacziya/promyishlennyye-robotyi/promyishlennyye-robotyi-kawasaki/r-seriya/kawasaki-ra010n.html>.

21. <https://www.ventsvar.ru/catalog/esab-origo-mig-6502c.html>.

22. https://www.korabel.ru/equipment/item_view/426753.html.

23. Инструкция по визуальному и измерительному контролю (РД 03-606-03). Серия 03. Выпуск 39 / Колл. авт. – М.: Федеральное государственное унитарное предприятие «Научно-технический центр по безопасности в промышленности Госгортехнадзора России», 2004.

24. <http://www.ntcexpert.ru/vic/1322-komplekt-vik-expert>.

25. https://acnkru.ru/catalog_category/nabory-dlja-cd-karl-deutsch.

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

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

28. 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.

					15.03.01.2020.216 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		84