

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ 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

«____» _____ 2017 г.

Совершенствование сборки и сварки балки продольной автогрейдера ДЗ-98

**ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ
ЮУрГУ-15.03.01.2017. ПЗ ВКР**

Руководитель работы
Щербаков И.А., старший преподаватель каф.
ОиТСП

Подпись _____ И.О., Фамилия
«____» _____ 2017 г.

Автор работы
студент группы ПЗ-540
Зинатуллин Джамиль Фаритович

«____» _____ 2017 г.

Нормоконтролёр
преподаватель кафедры ОиТСП

_____ Ю.В. Безганс
«____» _____ 2017 г.

Челябинск, 2017

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	6
1 ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ	7
1.1 Описание рассматриваемой конструкции.....	7
1.2 Описание технологии изготовления.....	14
1.3 Общие положения предлагаемой технологии	27
1.4 Расчет режимов сварки	33
1.4.1 <i>Расчет параметров режима сварки шва №1</i>	33
1.4.2 <i>Расчет параметров режима сварки шва №2</i>	39
1.4.3 <i>Расчет параметров режима сварки шва №3</i>	44
1.4.4 <i>Расчет параметров режима сварки швов №4, №5, №7</i>	50
1.4.5 <i>Расчет параметров режима сварки шва №6</i>	52
1.5 Контроль качества.....	59
2КОНСТРУКТОРСКИЙ РАЗДЕЛ	64
3 ТЕХНИЧЕСКОЕ НОРМИРОВАНИЕ.....	71
3.1 Расчет фондов рабочего времени	71
3.2 Расчет норм штучного времени.....	73
3.3 Организация производства	85
3.4 Расчет расхода материалов	87
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	91
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	92
Приложение	93

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

15.03.01.2017.103.00 ПЗ

Лист

6

ВВЕДЕНИЕ

В Российской Федерации в настоящее время активно производится улучшение дорожной инфраструктуры. Благодаря этому, производится как строительство новых дорожных магистралей, так и капитальный и средний ремонт существующих автодорог.

При проведении указанных работ активное участие принимает спецтехника. В понятие спецтехники входят различные дорожно-строительные машины, использующиеся для проведения работ. Немаловажную роль здесь играет наличие у дорожных служб автогрейдеров, особенно автогрейдеров марки ДЗ-98.

Автогрейдер ДЗ-98 применяется для проведения работ при строительстве в сложных условиях бездорожья и различных климатических поясов. При этом в работе участвует вся конструкция автогрейдера. Одним из наиболее нагруженных элементов в системе является балка продольная, которая закреплена на раме с одной стороны, а с другой стороны удерживает на себе сгребающий ковш.

Указанные условия предъявляются жесткие требования к качеству изготовления рассматриваемого узла. Применение качественных сварочных материалов и защитной среды позволяет добиться требуемых характеристик. Однако в условиях импортозамещения найти качественные аналоги зарубежных сварочных материалов на Российском рынке довольно сложно.

Целью выпускной квалификационной работы является усовершенствование технологии изготовления балки продольной автогрейдера ДЗ-98 путем замены зарубежных сварочных материалов на отечественные и изменение способа сварки применением сварочного робота и специальной оснастки.

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

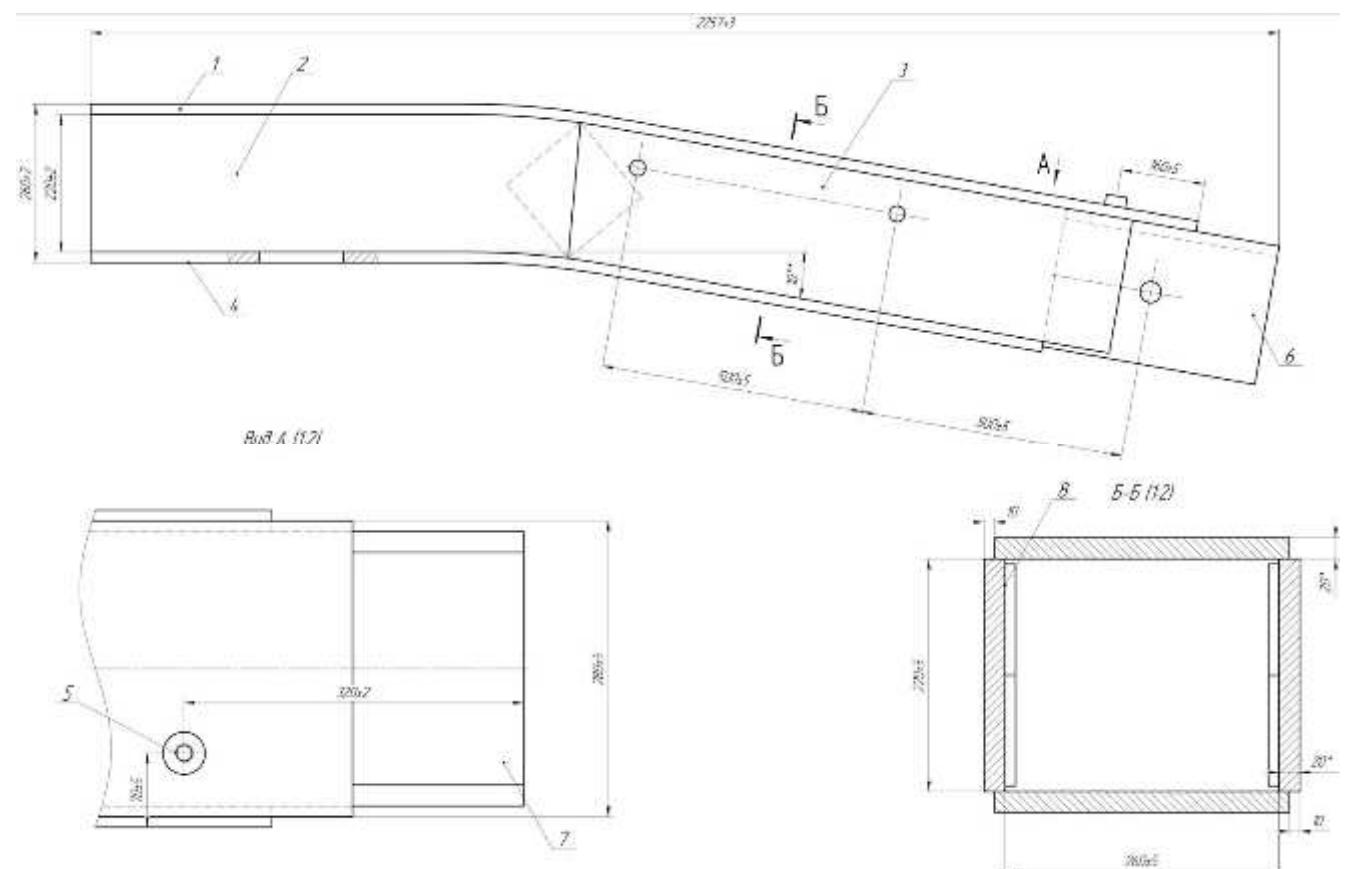
15.03.01.2017.103.00 ПЗ

Лист

1 ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

1.1 Описание рассматриваемой конструкции

В выпускной квалификационной работе рассматривается балка продольная автогрейдера ДЗ-98. Она предназначена для крепления на нее рамы, на которую устанавливается кабина, а также для крепления хребтовой балки, на которой устанавливается сгребающий ковш. Общий вид балки продольной показан на рисунке 1.1.



1 – Лист верхний; 2 – Боковина короткая; 3 – Боковина длинная; 4 – Лист нижний; 5 – Втулка; 6 – Стенка переходная; 7 – Крышка; 8 – Квадрат усиливающий

Рисунок 1.1 – Общий вид балки продольной

Балка продольная испытывает на себе основные виды нагрузок, воспринимаемые автогрейдером. Так, на нее действует избыточный изгибающий момент, вибрационная нагрузка, крутящий момент.

					Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	15.03.01.2017.103.00 ПЗ

Балка является цельносварной конструкцией, состоящей из листовых и трубчатых элементов. Сечение конструкции коробчатое.

Общий вид листа верхнего показан на рисунке 1.2.

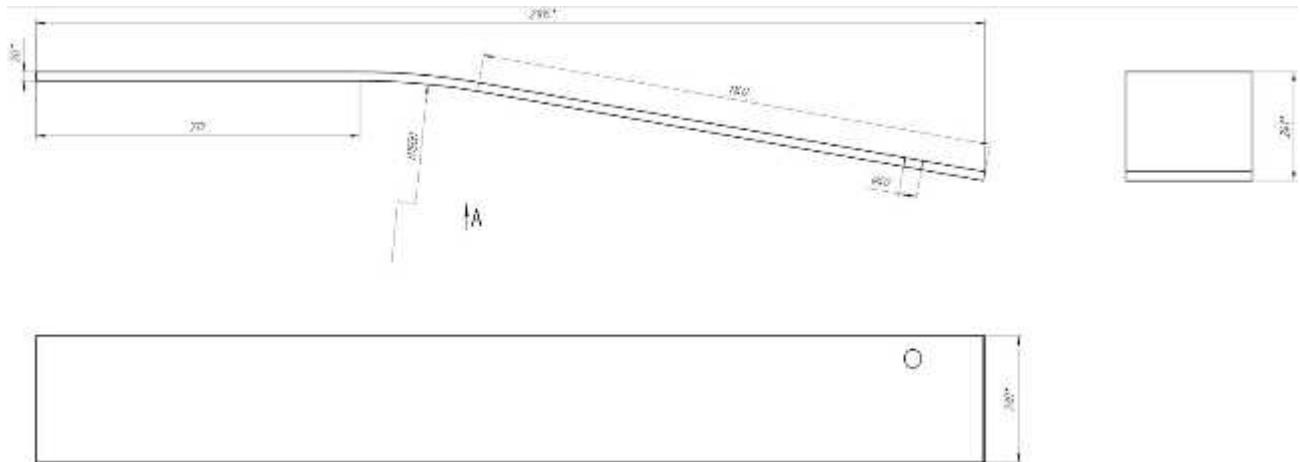


Рисунок 1.2 – Общий вид листа верхнего

Общий вид боковины короткой показан на рисунке 1.3.

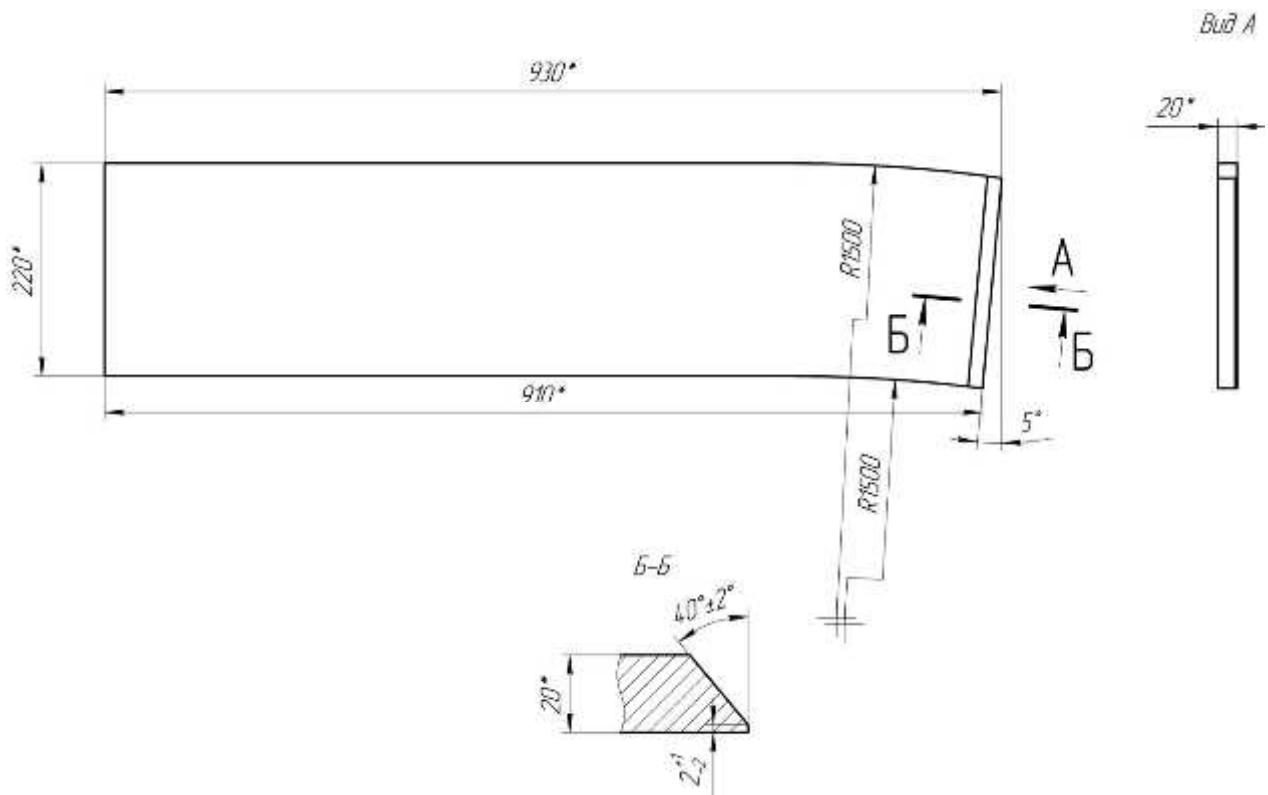


Рисунок 1.3 – Общий вид боковины короткой

Общий вид боковины длинной показан на рисунке 1.4.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

15.03.01.2017.103.00 ПЗ

Лист

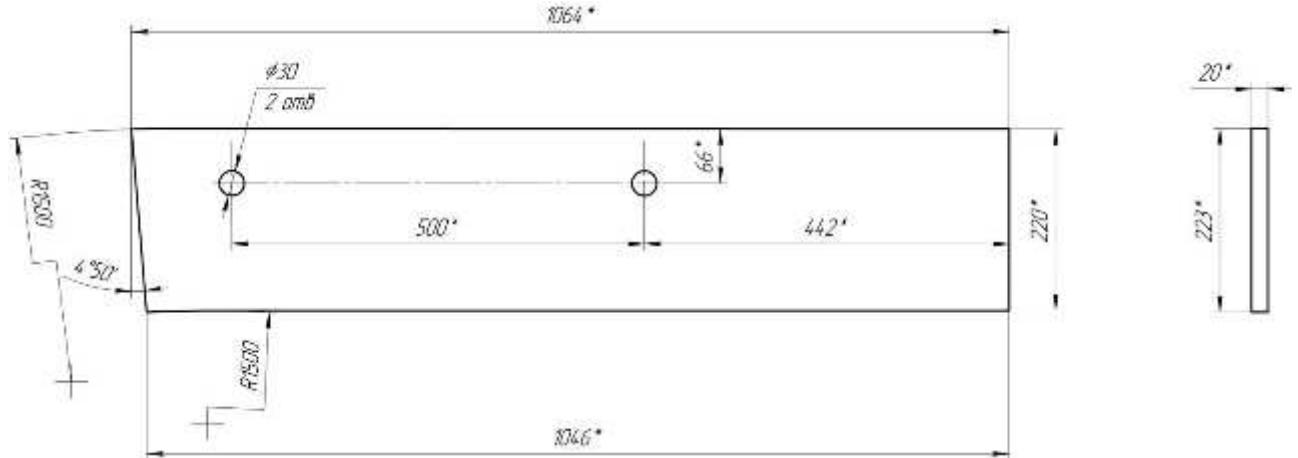


Рисунок 1.4 – Общий вид боковины длинной

Общий вид листа нижнего показан на рисунке 1.5.

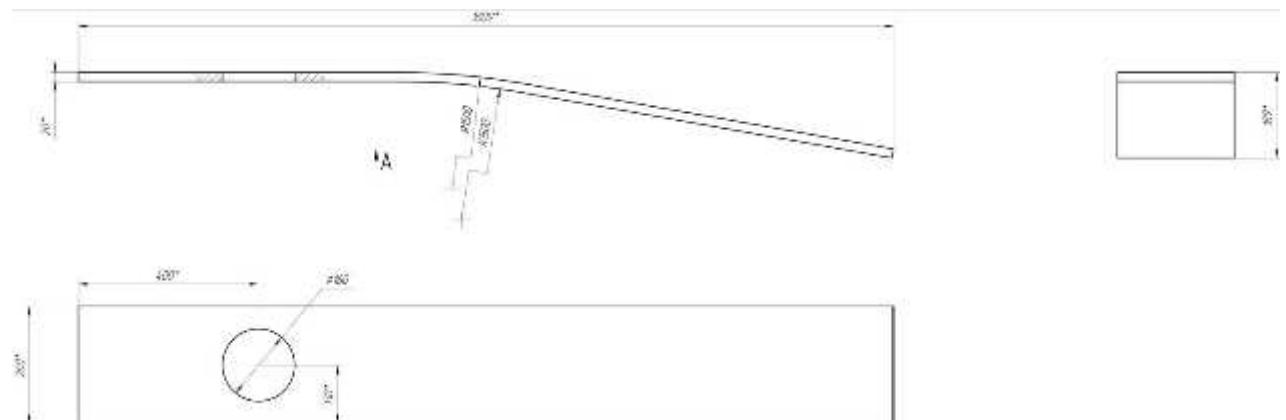


Рисунок 1.5 – Общий вид листа нижнего

Общий вид втулки показан на рисунке 1.6.

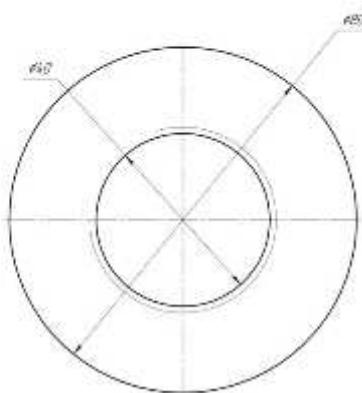
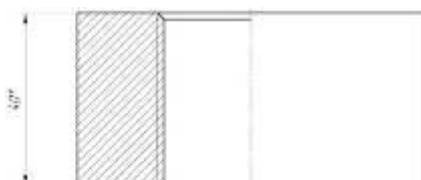


Рисунок 1.6 – Общий вид втулки

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

15.03.01.2017.103.00 ПЗ

Лист

10

Общий вид стенки переходной показан на рисунке 1.7.

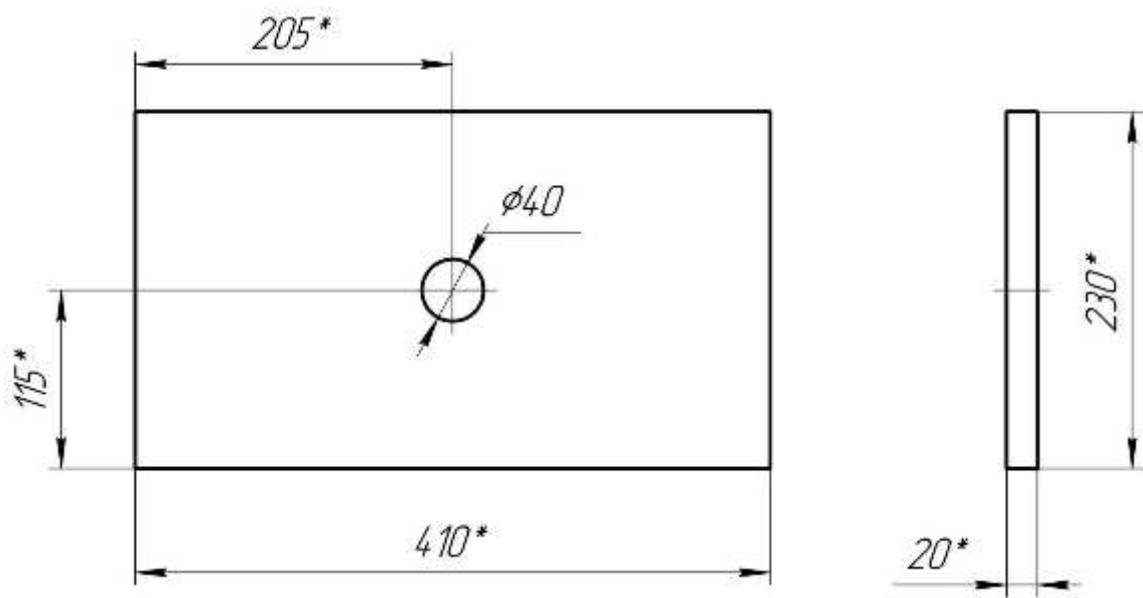


Рисунок 1.7 – Общий вид стенки переходной

Общий вид крышки показан на рисунке 1.8.

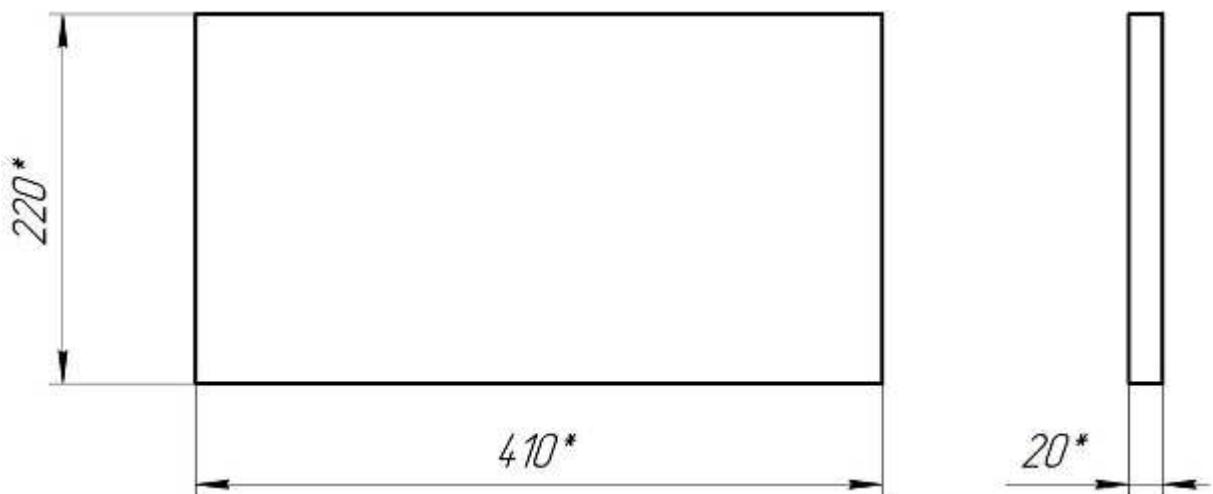


Рисунок 1.8 – Общий вид крышки

Общий вид квадрата усиливающего показан на рисунке 1.9.

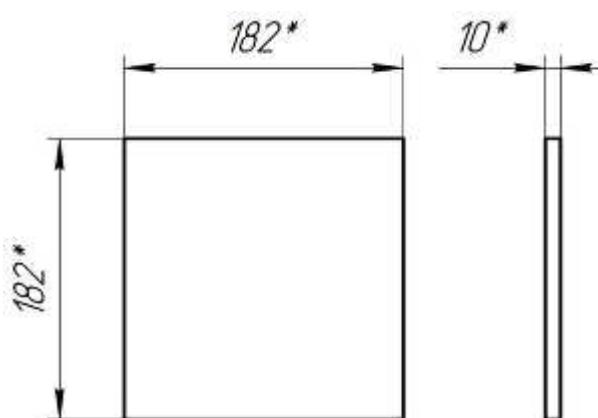


Рисунок 1.9 – Общий вид квадрата усиливающего

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

Схема расположения сварных швов показана на рисунке 1.10.

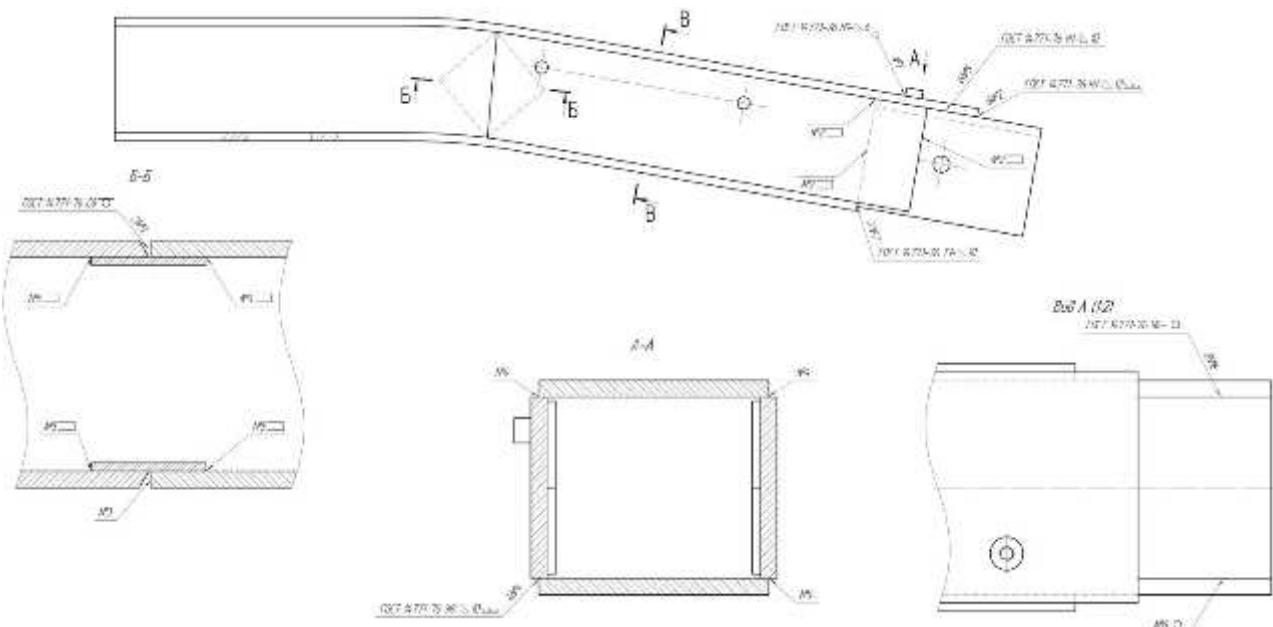


Рисунок 1.10 – Схема расположения сварных швов

Основным материалом при изготовлении балки продольной служит низкоуглеродистая низколегированная сталь марки 15ХСНД, поставляемая в виде листов согласно ГОСТ 19281-2014. Основным материалом для изготовления квадратов усиливающих применяется Ст3, поставляемая в виде листов согласно ГОСТ 380-94.

Химический состав стали 15ХСНД приведен в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Химический состав стали 15ХСНД [2]

В процентах

C	Si	Mn	Cr	Ni	Cu	S	P
0,12 – 0,18	0,4 – 0,7	0,4 – 0,7	0,6 – 0,9	0,3 – 0,6	0,2 – 0,4	≤0,035	

Механические свойства стали 15ХСНД приведены в таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Механические свойства стали 15ХСНД [2]

Толщина, мм	Класс прочности	Предел текучести σ_t , МПа	Предел прочности σ_b , МПа	Относительное удлинение δ_5 , %
8-32	345	345	490-685	21

Расчет свариваемости стали проводится по значению эквивалентного содержания углерода по химическому составу стали. Он проводится для определения применения предварительного подогрева перед сваркой. Определим эквивалентное содержание углерода стали 15ХСНД по формуле [2]

$$C_{\vartheta} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Si}{24} + \frac{Cr}{5} + \frac{V}{14} + \frac{Ni}{40} + \frac{Cu}{13} + \frac{P}{2}, \quad (1)$$

где C_{ϑ} – эквивалентное содержание углерода в стали, %;

C , Mn , Si , Cr , V , Ni , Cu , P – массовые доли углерода, марганца, кремния, хрома, никеля, меди, ванадия и фосфора по результатам плавочного анализа (ковшовой пробы), %. Для расчета свариваемости примем максимально возможные значения указанных элементов.

Тогда, по формуле (1) получим, что

$$C_{\vartheta} = 0,18 + \frac{0,7}{6} + \frac{0,7}{24} + \frac{0,9}{5} + \frac{0,6}{40} + \frac{0,4}{13} + \frac{0,035}{2} = 0,57 \%$$

Так как $C_{\vartheta} = 0,57 \%$ превышает допустимое 0,43%, то предварительный подогрев необходимо применять.

Определим температуру предварительного подогрева по формуле [2]

$$T_0 = 350 \cdot (|C|_{\vartheta} - 0,25)^{0,5}, \quad (2)$$

где C_{ϑ} – полный эквивалент углерода, %.

Полный эквивалент углерода $|C|_{\vartheta}$ рассчитывается по формуле

$$|C|_{\vartheta} = |C|_x + |C|_p, \quad (3)$$

где $|C|_x$ – химический эквивалент углерода, %;

$|C|_p$ – размерный эквивалент углерода, %.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

15.03.01.2017.103.00 ПЗ

Лист

13

Рассчитаем химический эквивалент углерода $|C|_X$

$$|C|_X = C + \frac{Mn+Cr}{9} + \frac{Ni}{18} + \frac{7Mo}{90}, \quad (4)$$

где С, Mn, Cr, Mo, Ni – массовые доли в стали углерода (С), марганца (Mn), хрома (Cr), молибдена (Mo), никеля (Ni) по результатам ковшовой пробы, %.

Подставим принятые значения содержания химических элементов в формулу (4) и получим, что химический эквивалент углерода $|C|_X$

$$|C|_X = 0,18 + \frac{0,7+0,9}{9} + \frac{0,6}{18} = 0,39 \%$$

Рассчитаем размерный эквивалент углерода $|C|_P$ по следующей формуле

$$|C|_P = 0,005S|C|_X, \quad (5)$$

где S = 20 – толщина свариваемых деталей, мм.

Тогда, по формуле (5) получим, что

$$|C|_P = 0,005 \cdot 20 \cdot 0,39 = 0,04 \%$$

Подставляя полученные значения $|C|_X$ и $|C|_P$ в формулу (3) получим, что полный эквивалент углерода $|C|_{\Theta}$

$$|C|_{\Theta} = 0,39 + 0,04 = 0,43 \%$$

Таким образом, температура предварительного подогрева T_0 равна

$$T_0 = 350 \cdot (0,43 - 0,25)^{0,5} = 148,5 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

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

15.03.01.2017.103.00 ПЗ

Лист

Примем, что минимальная температура предварительного подогрева при сварке стали 15ХСНД составляет 150 °С. Полученное значение температуры рассчитано исходя из максимального содержания химических элементов в стали.

Химический состав стали Ст3 приведен в таблице 1.3.

Таблица 1.3 – Химический состав стали Ст3 (по ГОСТ 380-94)

В процентах

C	Si	Mn
0,14 – 0,22	0,15 – 0,3	0,4 – 0,65

Механические свойства стали Ст3 приведены в таблице 1.4.

Таблица 1.4 – Механические свойства стали Ст3 (по ГОСТ 535-88)

Толщина, мм	Предел текучести σ_t , МПа	Предел прочности σ_b , МПа	Относительное удлинение δ_5 , %
10	245	370	26

Необходимость предварительного подогрева определяется по формуле (1).

Тогда

$$C_{\vartheta} = 0,22 + \frac{0,65}{6} + \frac{0,3}{24} = 0,34 \text{ \%}$$

Так как значение $C_{\vartheta} = 0,34 \text{ \%}$ не превышает требуемого значения, равного 0,43%, то предварительный подогрев перед проведением сварки не требуется.

1.2 Описание технологии изготовления

В начале, весь листовой и сортовой прокат проходит входной контроль. При входном контроле проверяются сертификатные данные на лист, геометрические размеры листа, сведения о проведении на заводе-изготовителе листового проката 100% ультразвукового контроля все поверхности. Это проводится с целью

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Лист
					15.03.01.2017.103.00 ПЗ

выяснить, имеется ли расслой в основном металле. Также от одного листа от каждой партии отбирается проба для лабораторного исследования химического состава и проверки механических свойств.

После проведения входного контроля весь листовой прокат проходит операцию дробеметной очистки для удаления прокатной окалины, грата, нагартовки и прочих загрязнений. Операция проводится на дробеметной установке проходного типа марки Gostol P-2000x500. Общий вид дробеметной установки Gostol P-2000x500 показан на рисунке 1.11.



Рисунок 1.11 – Общий вид дробеметной установки Gostol P-2000x500

Технические характеристики дробеметной установки Gostol P-2000x500 приведены в таблице 1.5.

Таблица 1.5 – Технические характеристики дробеметной установки Gostol P-2000x500 [11]

Характеристика	Значение
Максимальная рабочая ширина листов, мм	2000
Максимальная рабочая ширина профилей, мм	1200
Максимальная рабочая высота профилей, мм	500

Продолжение таблицы 1.5.

Минимальная толщина листа, мм	6
Максимальная толщина листа, мм	60
Скорость подачи обрабатываемых изделий, м/мин	0,5...2,5
Габаритные размеры установки, мм	23000×4000×12000

После проведения операции очистки, каждый листы складируются на площадке хранения очищенных листов, которая оснащена стендом для проведения осмотра изделий после очистки. Каждый лист осматривается на наличие недопустимых дефектов таких как:

- отслоения;
- коррозия;
- раковины.

Обнаруженные дефекты ремонтируются. При невозможности их отремонтировать листы бракуются.

Далее очищенные листы направляются на операцию раскряя. Для раскряя листов используется порталная машина термической резки марки «Параллель». Общий вид порталной машины термической резки марки «Параллель» показан на рисунке 1.12.



Рисунок 1.12 – Общий вид порталной машины термической резки марки «Параллель»

Технические характеристики машины «Параллель» приведены в таблице 1.6.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Лист
					15.03.01.2017.103.00 ПЗ 17

Таблица 1.6 – Технические характеристики машины «Параллель» [11]

Характеристика	Значение
Размер обрабатываемых листов, м	От $1,5 \times 3$ до $3,6 \times 12$
Толщина разрезаемого листа, мм: пластмассовая технология газовая технология	1...70 1...150
Скорость резания, мм/мин	50...6000
Скорость перемещения машины, мм/мин	20000
Количество резаков, шт	1...8
Точность воспроизведения заданного контура по ГОСТ 5614-74, мм	$\pm 0,35$
Питание	220 В/50 Гц
Потребляемая мощность, не более, Вт	400

Вырезанные заготовки проходят операцию текущего контроля и проверяются по геометрическим параметрам. Заготовки складируются на площадке складирования готовых деталей. На этой же площадке производится зачистка кромок разрезанных деталей от шлака. Параллельно производится притупление острых кромок.

После вырезки заготовок деталей поз. 2 и 7 производится заготовка фаски на участке термической резки. Резка производится вручную аппаратом ручной пластмассовой резки марки Powermax 85. Общий вид аппарата Powermax 85 показан на рисунке 1.13.



Рисунок 1.13 – Общий вид аппарата Powermax 85

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Лист
					15.03.01.2017.103.00 ПЗ

Технические характеристики аппарата Powermax 85 приведены в таблице 1.7.

Таблица 1.7 – Технические характеристики аппарата Powermax 85 [9]

Характеристика	Значение
Значение входного напряжения, В	400
Частота питающей сети, Гц	50/60
Выходной ток, А	20...85
Номинальное выходное напряжение, В	143
Напряжение холостого хода, В	270
Максимальная толщина реза, мм	40
Габаритные размеры, мм	500×234×455
Масса, кг	20

Резка в рассматриваемом цехе производится только листового проката. В свою очередь, втулки поставляются готовыми по кооперации.

Для гибки деталей поз. 1 и поз. 4 применяется листогибочный пресс с ЧПУ марки АНК D CNC 31160. Общий вид пресса АНК D CNC 31160 показан на рисунке 1.14.



Рисунок 1.14 – Общий вид пресса АНК D CNC 31160

Технические характеристики пресса АНК D CNC 31160 приведены в таблице 1.8.

Таблица 1.8 – Технические характеристики пресса АНК D CNC 31160 [11]

Характеристика	Значение
Длина отбортовки, мм	3050
Длина регулировки заднего упора, мм	200...700
Расстояние между опорами, мм	2050
Длина хода, мм	200
Скоростьгибы, мм/с	9
Скоростьвозврата, мм/с	86
Создаваемое давление, т	160
Габаритные размеры, мм	4200×1500×2700
Масса, кг	9000

Радиус загиба проверяется шаблонами на площадке складирования готовых деталей. Также проверяется расстояние до начала гиба.

После проведения всех заготовительных операций детали отправляются на операцию сборки и сварки. Сборка осуществляется на сборочной плите при помощи системы прижимов, струбцин и упоров.

Первым этапом производится сборка между собой деталей поз. 2 и поз. 3 (рисунок 1.1). Детали укладываются на плиту и прижимаются по бокам струбцинами для снижения вероятности появления остаточных деформаций. Устанавливаются две прихватки по краямстыка.

Режимы сварки прихваток показаны в таблице 1.9.

Таблица 1.9 – Режимы сварки прихваток

I _{СВ} , А	U _Д , В	d _Э , мм
130 – 150	22 – 24	1,2

Длина каждой отдельной прихватки не менее 40 мм. После остывания прихваток, струбцины разжимаются и собранный узел отправляется на сварку.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Лист
					15.03.01.2017.103.00 ПЗ

При сварке узел фиксируется при помощи прижимов на сварочном столе. Сварка механизированная в среде 100% углекислого газа. При сварке и при сборке применяется сварочная проволока марки OK Aristorod 12.50 диаметром 1,2 мм производства фирмы Esab. Химический состав проволоки OK Aristorod 12.50 приведен в таблице 1.10.

Таблица 1.10 – Химический состав проволоки OK Aristorod 12.50

В процентах

C	Si	Mn	Cu	S	P
Не более					
0,06 – 0,14	0,8 – 1,0	1,4 – 1,6	0,15	0,025	0,025

Механические свойства шва, наплавленного проволокой OK Aristorod 12.50, показаны в таблице 1.11.

Таблица 1.11 – Механические свойства шва, наплавленного проволокой OK Aristorod 12.50

Заштитный газ	Предел текучести σ_t , МПа, не менее	Предел прочности σ_b , МПа	Относительное удлинение δ_5 , %
100% CO ₂	440	540	25

Склонность сварного соединения к образованию горячих трещин определяется по формуле [3]

$$HCS = \frac{C \left(S + P + \frac{Si}{25} + 0,01Ni \right) 10^3}{3Mn + Cr + Mo + V}, \quad (6)$$

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

Тогда, по формуле (6)

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

15.03.01.2017.103.00 ПЗ

Лист

$$HCS = \frac{0,14 \cdot \left(0,025 + 0,025 + \frac{1}{25}\right) \cdot 10^3}{3 \cdot 1,6} = 2,6, \text{ ед.}$$

Так как $2,6 < 4$, то сварное соединение не склонно к образованию горячих трещин.

Согласно рисунку 1.10, для сварки рассматриваемого узла применяется шов №3 типа С8, выполняемый согласно ГОСТ 14771-76. Общий вид шва показан на рисунке 1.15.

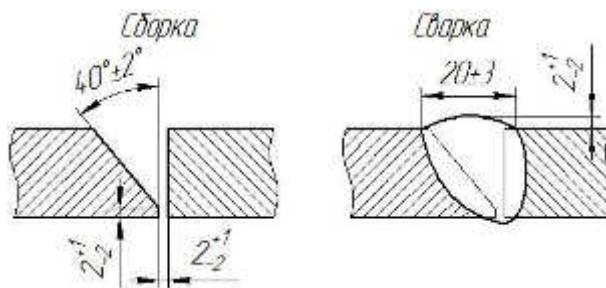


Рисунок 1.15 – Общий вид шва №3 (согласно рисунку 1.10)

Сварка данного шва производится на режимах, указанных в таблице 1.12.

Таблица 1.12 – Режимы сварки шва №3 (согласно рисунку 1.10)

Наименование прохода	I_{CB} , А	U_d , В	d_\varnothing , мм	V_{CB} , см/с
Корневой	180 – 200	24 – 26	1,2	0,5
Заполняющие (6 шт)	220 – 240	24 – 28	1,2	0,3
Облицовочный	220 – 240	26 – 30	1,2	0,3

После сварки узел должен остывть. В процессе остывания производится зачистка шва и околошовной зоны на величину не менее 50 мм для проведения ультразвукового контроля шва. Далее осматривается визуально шов, потом он переворачивается и обратный валик зачищается заподлицо с основным металлом. После зачистки узел проверяется ультразвуковым контролем.

После проведения УЗК узел очищается от остатков контактной жидкости и на сварочном столе производится сборка сваренного узла с деталями поз. 8 (рисунок 1.1). В процессе сборки устанавливаются по две диаметрально расположенные прихватки на режимах, указанных в таблице 1.9. Длина каждой отдельной

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Лист
					15.03.01.2017.103.00 ПЗ

прихватки не менее 10 мм. После этого производится сварка шва №5 (тип шва Н1 с катетом 10 мм по ГОСТ 14771-76) согласно рисунку 1.10. Общий вид шва №5 показан на рисунке 1.16.

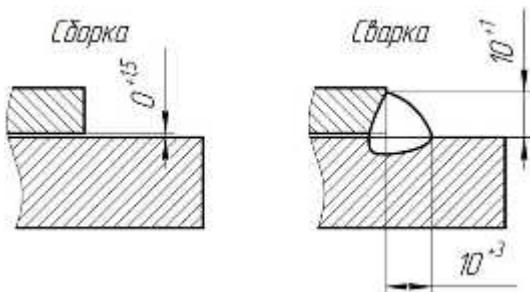


Рисунок 1.16 – Общий вид шва №5

Сварка шва №5 производится на режимах, указанных в таблице 1.13.

Таблица 1.13 – Режимы сварки шва №5 (согласно рисунку 1.10)

Наименование прохода	I_{CB} , А	U_d , В	d_e , мм	V_{CB} , см/с
Первый	180 – 200	24 – 26	1,2	0,5
Второй	220 – 240	24 – 28	1,2	0,3

После сварки производится зачистка шва и околошовной зоны от шлака и брызг металла. После этого швы осматриваются визуально.

Параллельно с ранее рассмотренными операциями по сварке узла, состоящего из деталей поз. 2, поз. 3 и поз. 8 (согласно рисунку 1.1) производится сборка узла из деталей поз. 6 и поз. 7 (рисунок 1.1). Сборка также производится на сборочном столе. После выставления размером и установки распорок производится сварка прихваток по режимам, указанным в таблице 1.9. Длина каждой отдельной прихватки не должна быть менее 20 мм. После сборки узел также перемещается на сварочный стол и производится сварка шва №6 (тип шва У6 по ГОСТ 14771-76). Общий вид шва №6 показан на рисунке 1.17.

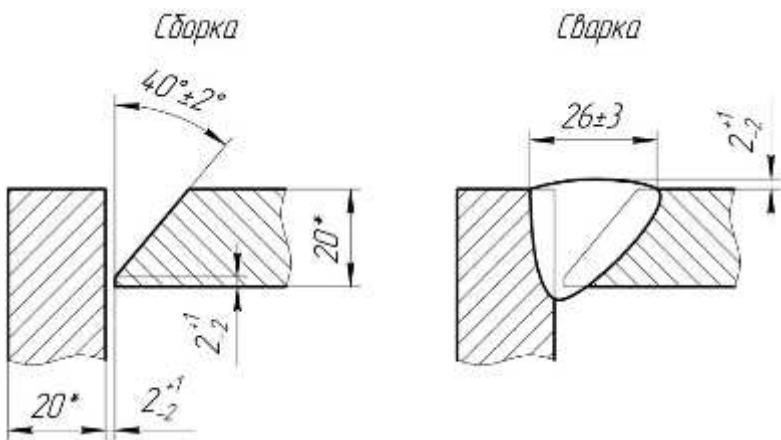


Рисунок 1.17 – Общий вид шва №6

Параметры режима сварки шва №6 приведены в таблице 1.12. Шов №6, также как и шов №3 варится за четыре прохода. После сварки производится снятие наружного усиления сварного шва заподлицо с основным металлом. После снятия усиления производится УЗК сварного шва №6.

После сварки и контроля качества двух сборочных узлов производится укрупнительная сборка изделия. Сборка также производится на сборочном столе. В первую очередь, на стол устанавливается деталь поз. 1 (рисунок 1.1) «хребтом» вниз. Закрепляется при помощи струбцин. Далее на нее устанавливаются по требуемым геометрическим размерам ранее сваренные узлы. В первую очередь, ставятся узлы, состоящие из стенок, то есть те, которые формируют коробчатое сечение балки. Между ними ставятся распорки для фиксации расстояния между ними. После этого, устанавливается второй узел. Вся сборка закрепляется при помощи прихваток. Режимы сварки прихваток были приведены ранее в таблице 1.9. Затем собранный узел устанавливается в цепной кантователь и начинается его обварка.

Общий вид кантователя цепного показан на рисунке 1.18.

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

15.03.01.2017.103.00 ПЗ

Лист

24



Рисунок 1.18 – Общий вид кантователя цепного

В первую очередь, варятся швы №4 (рисунок 1.10). Тип данных швов У8 согласно ГОСТ 14771-76. Катет шва 10 мм. Общий вид шва №4 показан на рисунке 1.19.

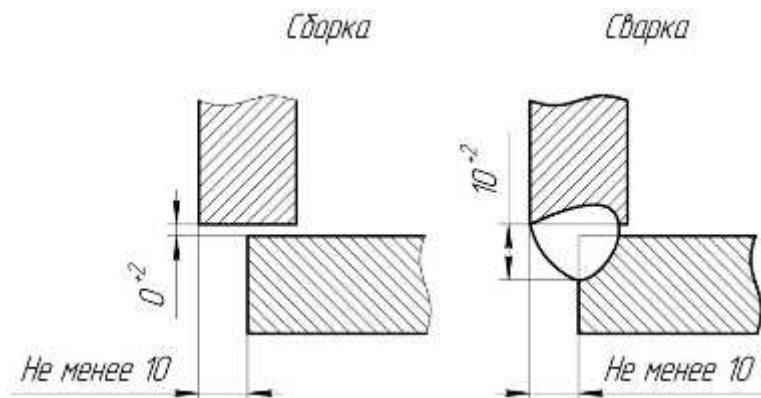


Рисунок 1.19 – Общий вид шва №4

Режимы сварки шва №4 аналогичны режимам сварки шва №5 и приведены в таблице 1.13.

После выполнения шва №4 производится сварка швов №2 (Н1 с катетом 12 мм по ГОСТ 14771-76) и №5 (Н1 с катетом 10 мм по ГОСТ 14771-76). Режимы сварки шва №2 соответствуют режимам сварки шва №5 и приведены в таблице 1.13.

После сварки собранного узла изделие поворачивается в цепном кантователе «хребтом» вниз. Далее производится сборка узла с деталью поз. 4 (рисунок 1.1). Устанавливаются прихватки на режимах, приведенных в таблице 1.9.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

15.03.01.2017.103.00 ПЗ

Лист

25

Производится сварка шва №4 (режимы сварки приведены в таблице 1.13).

После этого узел переворачивается в положение «хребтом» вверх. Производится сборка узла с деталью поз. 5 (рисунок 1.1). Производится сварка шва №1 (Н1 с катетом 5 мм по ГОСТ 14771-76) и шва №7 (Т1 с катетом 10 мм по ГОСТ 14771-76). Общий вид шва №1 показан на рисунке 1.20.

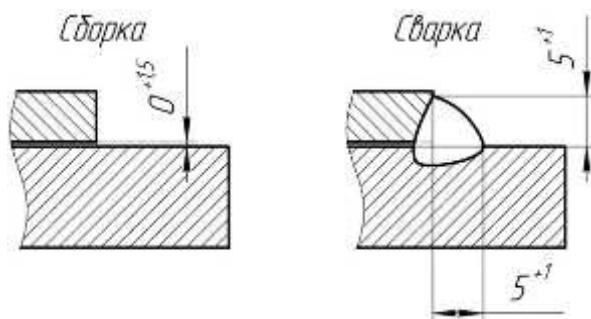


Рисунок 1.20 – Общий вид шва №1

Общий вид шва №7 показан на рисунке 1.21.

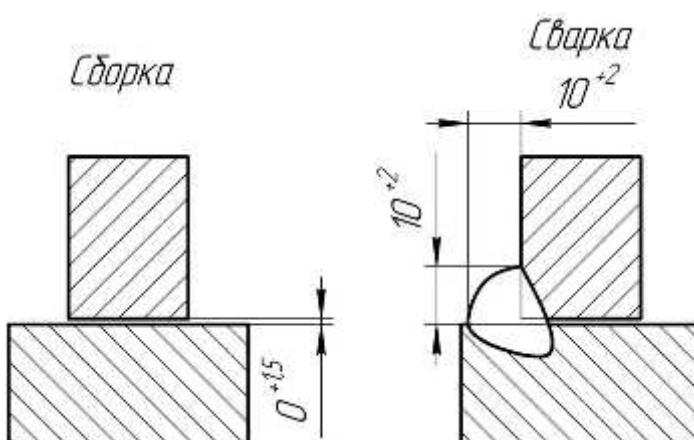


Рисунок 1.21 – Общий вид шва №7

Режимы сварки швов №1 и №7 показаны в таблице 1.13.

По окончании сварки готовое изделие снимается с кантователя и перемещается на участок слесарной очистки и окончательного контроля. Все сварные швы проверяются визуальным и измерительным контролем в объеме 100%. Сварные швы №4 и №6 также подлежат проверке ультразвуковым контролем качества.

В качестве источника питания используется инверторный выпрямитель марки Unistep 3500 XP производства фирмы Selco. Общий вид выпрямителя Unistep 3500 XP показан на рисунке 1.22.

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

15.03.01.2017.103.00 ПЗ

Лист

26



Рисунок 1.22 – Общий вид выпрямителя Unistep 3500 XP

Технические характеристики выпрямителя Unistep 3500 XP приведены в таблице 1.14.

Таблица 1.14 – Технические характеристики выпрямителя Unistep 3500 XP [9]

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
Габаритные размеры, мм	600×220×440
Вес, кг	17,8

Существующая технология изготовления позволяет производить примерно 300 балок за один год.

В ходе рассмотрения применяемой технологии изготовления балки продольной автогрейдера ДЗ-98 были выявлены следующие недостатки:

1. Малая степень механизации основных процессов сборки и сварки;
2. Невысокая производительность;
3. Прямое влияние человеческого фактора на процесс сварки, что приводит к снижению производительности и повышению вероятности образования дефектов сварных швов;
4. При закреплении изделия в кантователе при сварке образуются остаточные деформации, так как нет жесткого закрепления изделия.

Для устранения выявленных несоответствий возможно применение следующих мероприятий:

1. Заменить применяемую сварочную проволоку ОК Aristorod 13.09 диаметром 1,2 мм на сварочную проволоку марки Св-08Г2С диаметром 2 мм. Это позволит снизить себестоимость изготовления балки продольной, повысить производительность, а также механические свойства наплавленного металла. В то же время в условиях импортозамещения применение проволок отечественного производителя предпочтительнее;
2. Применить для сварки роботизированный сварочный комплекс;
3. Заменить применяемый 100% CO₂ на газовую смесь марки K18. Это позволит снизить разбрызгивание при сварке, улучшить качество и внешний вид сварного шва.

1.3 Общие положения предлагаемой технологии

В проекте предлагаемой технологии требуется внести изменения на этапе процесса сборки и сварки, поэтому заготовительное оборудование остается прежним. Предлагаемую технологию начнем рассматривать с операции сборки.

В существующей технологии изготовления балки продольной операции при

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Лист	28
					15.03.01.2017.103.00 ПЗ	

сборке и сварке узлов проводятся параллельно на двух сборочных столах. Поэтому, при применении предлагаемой технологии это учитывается. Так, на этапе укрупнения узлов параллельно (т.е. одновременно) проводятся следующие операции:

- сборка и сварка между собой деталей поз. 2 и поз. 3 (рисунок 1.1), а также сборка и сварка узла, состоящего из деталей поз. 2 и поз. 3 с деталями поз. 8. В процессе этой операции производится сварка швов №3 и №5;
- сборка и сварка узла, состоящего из деталей поз. 6 и поз. 7 (рисунок 1.1). В процессе этой операции производится сварка швов №6.

После изготовления сборочных узлов производится укрупнительная сборка изделия. Она производится на сборочном столе. Порядок сборки следующий:

- установка детали поз. 1 на сборочный стол в положении «хребтом» вниз;
- закрепление детали;
- установка узлов, состоящих из деталей поз. 2 и поз. 3;
- установка распорок;
- сварка прихваток;
- установка узла, состоящего из деталей поз. 6 и поз. 7;
- сварка прихваток;
- закрепление в сварочном приспособлении.

После сборки и закрепления узла в сборочном приспособлении производится сварка швов №4, №2, №5.

После сварки изделие поворачивается в положение «хребтом» вниз и сваренный узел собирается с деталью поз. 4. После этого ставятся прихватки и варится шов №4. Затем изделие кантуется и производится сборка с деталью поз. 5. Ставятся прихватки и варятся швы № 1 и №7.

По окончании сварки готовое изделие снимается с кантователя и перемещается на участок слесарной очистки и окончательного контроля. Все сварные швы проверяются визуальным и измерительным контролем в объеме 100%. Сварные швы №4 и №6 также подлежат проверке ультразвуковым контролем качества.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Лист	29
					15.03.01.2017.103.00 ПЗ	

Отличием применяемой технологии от предлагаемой является то, что сварка производится на роботизированном сварочном комплексе, в состав которого входят:

- два сварочных робота;
- три сборочных стола;
- сварочное приспособление, состоящее из сварочных вращателей;
- иное оборудование.

Оборудование, применяемое при сборке остается прежним, т.е. сборка производится при помощи инверторного выпрямителя марки Unistep 3500 XP производства фирмы Selco.

При сварке предлагается применить сварочные роботы двух марок:

- Fanuc Arc Mate 100iC;
- Fanuc AM 120iB/20T.

Общий вид сварочного робота Fanuc Arc Mate 100iC показан на рисунке 1.23.



Рисунок 1.23 – Общий вид сварочного робота Fanuc Arc Mate 100iC

Технические характеристики робота сварочного робота Fanuc Arc Mate 100iC приведены в таблице 1.15.

Таблица 1.15 – Технические характеристики робота сварочного робота Fanuc Arc Mate 100iC [9]

Характеристика					Значение
Принцип конструкции					Шарнирно-рычажная, 6 осей
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	15.03.01.2017.103.00 ПЗ
					Лист 30

Продолжение таблицы 1.15.

Повторяемость, мм	0,08
Вес механической части, кг	130
Грузоподъемность, кг	10
Точность воспроизведения позиции, мм	0,1
Форма рабочей зоны	полушаровая
Радиус действия, мм	1420
Высота рабочей зоны, мм	3170
Площадь установки, мм	500×515

Общий вид сварочного робота Fanuc AM 120iB/20T показан на рисунке 1.24.



Рисунок 1.24 – Общий вид сварочного робота Fanuc AM 120iB/20T

Технические характеристики робота сварочного робота Fanuc AM 120iB/20T приведены в таблице 1.16.

Таблица 1.16 – Технические характеристики робота сварочного робота Fanuc AM 120iB/20T [9]

Характеристика	Значение
Принцип конструкции	Шарнирно-рычажная, 6 осей
Повторяемость, мм	0,1
Вес механической части, кг	135
Грузоподъемность, кг	10

Продолжение таблицы 1.16.

Точность воспроизведения позиции, мм	0,1
Форма рабочей зоны	круговая
Радиус действия, мм	1735

В качестве источника питания при сварке роботами Fanuc Fanuc Arc Mate 100iC и Fanuc AM 120iB/20T предлагается использовать инверторный выпрямитель марки Power Wave 455 R производства фирмы Lincoln Electric. Общий вид инверторного выпрямителя Power Wave 455 R показан на рисунке 1.25.



Рисунок 1.25 – Общий вид инверторного выпрямителя Power Wave 455 R

Технические характеристики инверторного выпрямителя Power Wave 455 R приведены в таблице 1.17.

Таблица 1.17 – Технические характеристики инверторного выпрямителя Power Wave 455 R [9]

Характеристика	Значение
Пределы регулирования сварочного тока, А	5...570
Напряжение холостого хода, В	42
Сетевое напряжение, В	3×380
Потребляемая из сети мощность, кВА	15,9

Продолжение таблицы 1.17.

Габаритные размеры, мм	663×505×835
Вес, кг	121

Сварка производится в среде защитных газов. В качестве мероприятий для улучшения технологии сварки предлагается заменить 100% CO₂ на газовую смесь марки К18 (18%CO₂ + 82%Ar). Применение аргона в газовой смеси позволяет снизить разбрызгивание металла при сварке, стабилизировать дугу (благодаря тому, что аргон является инертным газом), улучшить формирование шва и повысить качество (защита сварочной ванны в среде аргона выше, чем в среде 100% CO₂) [4].

В качестве присадочного материала предлагается использовать сварочную проволоку марки Св-08Г2С диаметром 2 мм. Химический состав проволоки Св-08Г2С приведен в таблице 1.18.

Таблица 1.18 – Химический состав проволоки Св-08Г2С

В процентах

C	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 таблице 1.19.

Таблица 1.19 – Механические свойства шва, наплавленного проволокой Св-08Г2С

Предел текучести σ_t , МПа, не менее	Предел прочности σ_b , МПа	Относительное удлинение δ_5 , %
464	580	26

Склонность сварного соединения к образованию горячих трещин определяется по формуле (6). Так для проволоки Св-08Г2С склонность к образованию горячих

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Лист
					15.03.01.2017.103.00 ПЗ

трещин

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

Так как $1,6 < 4$, то сварное соединение не склонно к образованию горячих трещин. Значение HCS для проволоки Св-08Г2С меньше, чем у проволоки ОК Aristorod 12.50, следовательно, при сварке данной проволокой меньше вероятность появления горячих трещин.

1.4 Расчет режимов сварки

Назначаем сварочный ток постоянный обратной полярности, так при этом стабильность горения дуги и ее технологические свойства повышаются. Сварка автоматическая в среде защитных газов проволокой Св-08Г2С диаметром 2 мм.

1.4.1 Расчет параметров режима сварки шва №1

Тип шва Н1 согласно ГОСТ 14771-76 с катетом 5 мм. Общий вид сварного шва №1 показан на рисунке 1.20. Вылет электродной проволоки примем равным 20 мм. Расход газа примем равным 20 л/мин.

Определим площадь наплавленного металла по формуле [2]

$$F_H = \frac{K^2}{2}, \text{ мм}^2, \quad (7)$$

где $K = 5$ – величина катета сварного шва, мм.

Тогда, по формуле (7) получим, что

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

15.03.01.2017.103.00 ПЗ

Лист

34

$$F_H = \frac{5^2}{2} = 12,5 \text{ мм}^2.$$

Максимальная площадь металла при однопроходной сварке должна составлять не более 35 мм^2 . Следовательно, сварка шва №1 ведется за один проход.

Так как сварка автоматическая, то сила сварочного тока задается в зависимости от диаметра проволоки и плотности сварочного тока. Примем, что сила сварочного тока составляет 420 А.

Плотность принятого сварочного тока при диаметре электродной проволоки 2 мм рассчитывается по формуле [1]

$$j = \frac{4I_{CB}}{\pi d_E^2} = \frac{4 \cdot 420}{3,14 \cdot 2^2} = 133,8 \frac{\text{А}}{\text{мм}^2}. \quad (8)$$

где $I_{CB} = 420$ – сила тока, А;

$d_E = 2$ – диаметр электродной проволоки, мм.

При диаметре электрода 2 мм и при сварке шва с тавровым типом плотность сварочного тока находится в интервале $60 \dots 150 \text{ А/мм}^2$ [2]. Полученное значение входит в указанный интервал.

Рассчитаем напряжение на дуге по формуле [2]

$$U_D = 20 + \frac{0,05}{\sqrt{d_E}} I_{CB} \pm 1, \text{ В}, \quad (9)$$

где $d_E = 2$ – диаметр электродной проволоки, мм;

$I_{CB} = 420$ – сила сварочного тока, А.

Тогда, по формуле (9) получим, что

$$U_D = 20 + \frac{0,05}{\sqrt{2}} \cdot 420 \pm 1 \approx 35 \pm 1 \text{ В.}$$

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

15.03.01.2017.103.00 ПЗ

Лист

35

Рассчитаем скорость сварки при выбранных параметрах режима по формуле [2]

$$V_{CB} = \frac{V_{\text{ПОД}}}{F_H} \cdot F_{\text{ЭЛ}}, \frac{\text{см}}{\text{с}}, \quad (10)$$

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

$F_H = 0,125$ – площадь поперечного сечения наплавленного металла, см^2 ;

$F_{\text{Э}} = 0,031$ – площадь сечения электродной проволоки, см^2 .

Рассчитаем скорость подачи электродной проволоки $V_{\text{ПОД}}$ по формуле [2]

$$V_{\text{ПОД}} = \frac{\alpha_P I_{CB}}{3600 F_{\text{ЭЛ}} \gamma}, \frac{\text{см}}{\text{с}}, \quad (11)$$

где α_P – коэффициент расплавления, г/Ач;

$F_{\text{ЭЛ}} = 0,031$ – площадь сечения электродной проволоки, см^2 ;

$\gamma = 7,85$ – плотность металла, г/ см^3 .

Определим коэффициент расплавления по формуле [2]

$$\alpha_P = \alpha'_P + \Delta \alpha_P, \quad (12)$$

где α'_P – составляющая, обусловленная тепловложением дуги, г/Ач;

$\Delta \alpha_P$ – составляющая, зависящая от тепловложения вследствие предварительного нагрева вылета электрода протекающим током, г/Ач.

Составляющая, обусловленная тепловложением дуги α'_P при постоянном токе обратной полярности равняется $11,6 \pm 0,4$ г/Ач.

Составляющая, зависящая от тепловложения вследствие предварительного нагрева вылета электрода протекающим током $\Delta \alpha_P$ определяется из условия [2]

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

15.03.01.2017.103.00 ПЗ

Лист

$$\Delta \alpha_p = \frac{3600 Q_{\text{пп}}}{q_{\vartheta} I_{\text{CB}}}, \quad (13)$$

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

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

Рассчитаем значение $Q_{\text{пп}}$ по следующей формуле [2]

$$Q_{\text{пп}} = 0,1884 j^2 \rho_0 d_{\vartheta}^2 \left(\frac{V_{\vartheta}}{a \alpha \beta} (e^{-p_2 l} - 1) - \frac{\alpha (T_{\text{пл}} - T_0)}{p_1} \right), \quad (14)$$

где $j = 13380$ – плотность тока в электроде, А/см²;

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

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

V_{ϑ} – условная скорость подачи электрода, см/с;

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

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

β – коэффициент, ед;

$l = 2,5$ – вылет электродной проволоки, см;

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

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

p_1 и p_2 – коэффициенты, ед.

Определим коэффициент β по следующей формуле [2]

$$\beta = \frac{0,24 j^2 \rho_0}{a c \gamma} = \frac{0,24 \cdot 13380^2 \cdot 0,000014}{0,08 \cdot 1,25} = 6015,2 \text{ ед.} \quad (15)$$

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

15.03.01.2017.103.00 ПЗ

Лист

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

Определим условную скорость подачи проволоки по формуле [2]

$$V_{\vartheta} = \frac{4a' I_{CB}}{3600\pi\gamma d_{\vartheta}^2} = \frac{4 \cdot 12 \cdot 420}{3600 \cdot 3,14 \cdot 7,85 \cdot 0,2^2} = 5,7 \text{ см/с.} \quad (16)$$

Определим коэффициенты p_1 и p_2 исходя из условия [2]

$$\begin{cases} p_1 = -\frac{V_{\vartheta}}{2a} - \sqrt{\frac{V_{\vartheta}^2}{4a^2} - \alpha\beta} = -\frac{5,7}{2 \cdot 0,08} - \sqrt{\frac{5,7^2}{4 \cdot 0,08^2} - 0,0083 \cdot 6015,2} = -70,5 \text{ ед;} \\ p_2 = -\frac{V_{\vartheta}}{2a} + \sqrt{\frac{V_{\vartheta}^2}{4a^2} - \alpha\beta} = -\frac{5,7}{2 \cdot 0,08} + \sqrt{\frac{5,7^2}{4 \cdot 0,08^2} - 0,0083 \cdot 6015,2} = -0,71 \text{ ед.} \end{cases} \quad (17)$$

Тогда, по формуле (14) получим, что

$$Q_{\text{пп}} = 0,1884 \cdot 13380^2 \cdot 0,000014 \cdot 0,2^2 \cdot \left(\frac{5,7}{0,08 \cdot 0,0083 \cdot 6015,2} (e^{-0,71 \cdot 2,5} - 1) - \frac{0,0083 \cdot (1500 - 20)}{-70,5} \right) = \\ = 135,4 \text{ кал.}$$

Следовательно, по формуле (13)

$$\Delta\alpha_P = \frac{3600 \cdot 135}{325 \cdot 420} = 3,6 \frac{\Gamma}{\text{Ач}}.$$

Тогда, по формуле (12) коэффициент расплавления

$$\alpha_P = 12 + 3,6 = 15,6 \text{ г/Ач.}$$

Следовательно, по формуле (11) получим, что скорость подачи $V_{\text{под}}$

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

15.03.01.2017.103.00 ПЗ

Лист

$$V_{\text{ПОД}} = \frac{15,6 \cdot 420}{3600 \cdot 0,031 \cdot 7,8} = 7,5 \frac{\text{см}}{\text{с}}.$$

Тогда, по формуле (10) получим, что скорость сварки $V_{\text{СВ}}$

$$V_{\text{СВ}} = \frac{7,5}{0,125} \cdot 0,031 = 1,86 \frac{\text{см}}{\text{с}}.$$

Рассчитаем погонную энергию при сварке по формуле [2]

$$q_{\text{ПОГ}} = \frac{0,24 U_d I_{\text{СВ}} \eta}{V_{\text{СВ}}} \frac{\text{кал}}{\text{см}}, \quad (18)$$

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

Тогда, по формуле (18) получим, что

$$q_{\text{ПОГ}} = \frac{0,24 \cdot 35 \cdot 420 \cdot 0,85}{1,86} = 1612 \frac{\text{кал}}{\text{см}}.$$

Для стали 15ХСНД скорость охлаждения металла в околосшовной зоне при наименьшей устойчивости аустенита имеет интервал $1,8 - 9,0 \text{ }^{\circ}\text{C}/\text{с}$.

Определим мгновенную скорость охлаждения металла по формуле [2]

$$\omega = \bar{\omega} 2\pi \lambda \frac{(T_M - T_0)^2}{k_1 q_{\text{ПОГ}}} \frac{\text{ }^{\circ}\text{C}}{\text{с}}, \quad (19)$$

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.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Лист
					15.03.01.2017.103.00 ПЗ 39

Безразмерный критерий процесса $\bar{\omega}$ зависит от другого безразмерного критерия, который определяется по формуле [2]

$$\frac{1}{\theta} = \frac{2k_1 q_{\text{ПОГ}}}{\pi(\delta k_2)^2 c \gamma (T_M - T_0)} = \frac{2 \cdot 2 \cdot 1612}{3 \cdot 3,14 \cdot (2 \cdot 1)^2 \cdot 1,25 \cdot (500 - 150)} = 0,4. \quad (20)$$

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

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

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

Тогда, по формуле (19) получим, что

$$\omega = 1 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 0,1 \cdot \frac{3 \cdot (500 - 150)^2}{2 \cdot 1612} = 71,6 \frac{\text{°C}}{\text{с}}.$$

Полученное значение мгновенной скорости охлаждения не входит в требуемый интервал мгновенных скоростей охлаждения для стали 15ХСНД. Следовательно, для уменьшения мгновенной скорости охлаждения нужен подогрев. Примем, что температура предварительного подогрева составляет 370°C. Тогда:

- $1/\theta = 1,1$;
- $\bar{\omega} = 0,72$;
- $\omega = 7,1 \frac{\text{°C}}{\text{с}}$.

Условие выполняется.

1.4.2 Расчет параметров режима сварки шва №2

Тип шва Н1 согласно ГОСТ 14771-76 с катетом 12 мм. Вылет электродной проволоки принимается равным 20 мм. Расход газа примем равным 20 л/мин.

Определим площадь наплавленного металла по формуле (7) с учетом того, что катет равен 12 мм. Тогда

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Лист
					15.03.01.2017.103.00 ПЗ 40

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

Максимальная площадь металла при однопроходной сварке должна составлять не более 35 мм^2 . Следовательно, сварка шва №2 ведется за два прохода. При этом:

- площадь наплавленного металла при первом проходе составляет $30 \text{ мм}^2 = 0,3 \text{ см}^2$;
- площадь наплавленного металла второго прохода составляет $42 \text{ мм}^2 = 0,42 \text{ см}^2$.

Так как сварка автоматическая, то сила сварочного тока задается в зависимости от диаметра проволоки и плотности сварочного тока.

Произведем расчет параметров режима сварки шва №2 при первом проходе. Примем, что сила сварочного тока составляет 400 А. Плотность принятого сварочного тока при диаметре электродной проволоки 2 мм рассчитывается по формуле (8) и составляет

$$j = \frac{4I_{CB}}{\pi d^2} = \frac{4 \cdot 400}{\pi \cdot 2^2} = 127,4 \frac{\text{А}}{\text{мм}^2}.$$

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

Рассчитаем напряжение на дуге по формуле (9)

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

Рассчитаем скорость сварки при выбранных параметрах режима по формуле (10) с учетом формул (11)...(17). Тогда получим, что:

- составляющая, обусловленная тепловложением дуги $\alpha'_p = 12 \text{ г/Ач}$;
- условная скорость подачи проволоки $V_\vartheta = 5,4 \text{ см/с}$;

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Лист
					15.03.01.2017.103.00 ПЗ

- коэффициент $\beta = 5454$;
- коэффициент $p_1 = -66,8$, $p_2 = -0,7$;
- количество теплоты, расходуемое на предварительный подогрев вылета электродной проволоки протекающим по нему током $Q_{\text{ПП}} = 124,6$ кал;
- составляющая, зависящая от тепловложения вследствие предварительного нагрева вылета электрода протекающим током $\Delta\alpha_p = 3,5$ г/Ач;
- коэффициент расплавления $\alpha_p = 15,5$ г/Ач;
- скорость подачи проволоки $V_{\text{ПОД}} = 7,1$ см/с;
- скорость сварки $V_{\text{СВ}} = 0,73$ см/с.

Далее по формуле (18) определяем погонную энергию

$$q_{\text{ПОГ}} = \frac{0,24 \cdot 34,1 \cdot 400 \cdot 0,85}{0,73} = 3812 \frac{\text{кал}}{\text{см}}.$$

Определим мгновенную скорость охлаждения металла по формуле (19) с учетом формулы (20). Следовательно, по формуле (20) получим, что

$$\frac{1}{\theta} = \frac{2k_1 q_{\text{ПОГ}}}{\pi(\delta k_2)^2 c \gamma (T_M - T_0)} = \frac{2 \cdot 2 \cdot 3812}{3 \cdot 3,14 \cdot (2 \cdot 1)^2 \cdot 1,25 \cdot (500 - 150)} = 0,93.$$

При значении безразмерного критерия 0,93 величина $\bar{\omega} = 0,84$. Тогда, по формуле (19) получим, что

$$\omega = 0,84 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 0,1 \cdot \frac{3 \cdot (500 - 150)^2}{2 \cdot 3812} = 25,43 \frac{\text{°C}}{\text{с}}.$$

Полученное значение мгновенной скорости охлаждения не входит в требуемый интервал мгновенных скоростей охлаждения для стали 15ХСНД. Следовательно, можно увеличить температуру предварительного подогрева до 270 °C. Тогда:

– $1/\theta = 1,4$;

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

15.03.01.2017.103.00 ПЗ

Лист

– $\bar{\omega} = 0,53$;

– $\omega = 6,9 \text{ }^{\circ}\text{C/c}$.

Условие выполняется.

Произведем расчет параметров режима сварки при втором проходе. Примем, что площадь поперечного сечения наплавленного металла должна быть $0,42 \text{ см}^2$. Зададим значение силы сварочного тока 400 А. Сварка производится на постоянном токе прямой полярности.

Плотность принятого сварочного тока при диаметре электродной проволоки 2,4 мм рассчитывается по формуле (8) и составляет

$$j = \frac{4I_{CB}}{\pi d_E^2} = \frac{4 \cdot 400}{3,14 \cdot 2^2} = 127,4 \frac{\text{А}}{\text{мм}^2}.$$

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

Рассчитаем напряжение на дуге по формуле (9)

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

Рассчитаем скорость сварки при выбранных параметрах режима по формуле (10) с учетом формул (11)...(17).

Так как при заполнении была изменена полярность тока с обратной на прямую, то составляющая, обусловленная тепловложением дуги a'_p , определяется из условия [2]

$$a'_p = 6,3 + \frac{0,0702 I_{CB}}{d_E^{1,035}} = 6,3 + \frac{0,0702 \cdot 400}{2^{1,035}} = 20 \text{ г/Ач.} \quad (21)$$

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

15.03.01.2017.103.00 ПЗ

Лист

43

Тогда получим, что:

- условная скорость подачи проволоки $V_{\mathcal{E}} = 9$ см/с;
- коэффициент $\beta = 5454$;
- коэффициент $p_1 = -112,1$, $p_2 = -0,4$;
- количество теплоты, расходуемое на предварительный подогрев вылета электродной проволоки протекающим по нему током $Q_{\text{ПП}} = 75$ кал;
- составляющая, зависящая от тепловложения вследствие предварительного нагрева вылета электрода протекающим током $\Delta \alpha_p = 2,1$ г/Ач;
- коэффициент расплавления $\alpha_p = 22,1$ г/Ач;
- скорость подачи проволоки $V_{\text{ПОД}} = 10,1$ см/с;
- скорость сварки $V_{\text{СВ}} = 0,75$ см/с.

Далее по формуле (18) определяем погонную энергию

$$q_{\text{ПОГ}} = \frac{0,24 \cdot 34,1 \cdot 400 \cdot 0,85}{0,75} = 3710 \frac{\text{кал}}{\text{см}}.$$

Для стали 15ХСНД скорость охлаждения металла в околосшовной зоне при наименьшей устойчивости аустенита имеет интервал $1,8 - 9,0$ °C/с.

Определим мгновенную скорость охлаждения металла по формуле [2]

$$\omega = \bar{\omega} 2\pi \lambda \frac{(T_M - T_0)^2}{q_{\text{ПОГ}}} \frac{\text{°C}}{\text{с}}, \quad (22)$$

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

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

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

$T_0 = 150$ – начальная температура изделия, °C.

Безразмерный критерий процесса $\bar{\omega}$ зависит от другого безразмерного критерия, который определяется по формуле [2]

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

15.03.01.2017.103.00 ПЗ

Лист

44

$$\frac{1}{\theta} = \frac{2q_{\text{ПОГ}}}{\pi(\delta)^2 c \gamma (T_M - T_0)} = \frac{2 \cdot 3710}{3,14 \cdot (2 \cdot 1)^2 \cdot 1,25 \cdot (500 - 200)} = 1,6. \quad (23)$$

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

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

Тогда, по формуле (22) получим, что

$$\omega = 0,44 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 0,1 \cdot \frac{(500-200)^2}{3710} = 6,7 \frac{\text{°C}}{\text{s}}.$$

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

1.4.3 Расчет параметров режима сварки шва №3

Тип шва С8 согласно ГОСТ 14771-76. Вылет электродной проволоки принимается равным 20 мм. Расход газа примем равным 20 л/мин.

Определим площадь наплавленного металла по формуле [2]

$$F_H = Sb + h^2 \operatorname{tg} \alpha + 0,73Bq, \quad (24)$$

где $S = 20$ – толщина соединяемых элементов, мм;

$b = 2$ – величина зазора, мм;

$h = 18$ – высота разделки, мм;

$\alpha = 40$ – угол разделки, град;

$B = 20$ – ширина сварного шва, мм;

$q = 2$ – высота валика усиления сварного шва, мм.

Тогда, по формуле (24) получим, что площадь наплавленного металла

$$F_H = 20 \cdot 2 + 18^2 \operatorname{tg} 40 + 0,73 \cdot 20 \cdot 2 = 340 \text{ мм}^2 = 3,4 \text{ см}^2.$$

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Лист
					15.03.01.2017.103.00 ПЗ

Максимальная площадь металла при первом проходе должна составлять не более 35 мм². Тогда примем, что:

- площадь наплавленного металла при первом проходе составляет 30 мм² = 0,3 см²;
- площадь наплавленного металла при последующих проходах составляет 70 мм² = 0,7 см²;
- требуемая площадь наплавленного металла при сварке облицовочного слоя шва составляет 0,3 см².

Таким образом, сварку шва №3 будем вести за шесть проходов.

Рассчитаем параметры режима сварки шва №3 при первом проходе.

Примем, что сила сварочного тока составляет 400 А.

Плотность принятого сварочного тока при диаметре электродной проволоки 2 мм рассчитывается по формуле (8) и составляет

$$j = \frac{4I_{CB}}{\pi d_E^2} = \frac{4 \cdot 400}{3,14 \cdot 2^2} = 127,4 \frac{A}{mm^2}.$$

При диаметре электрода 2 мм и при сварке стыкового шва плотность сварочного тока находится в интервале 60...200 А/мм². Полученное значение входит в указанный интервал.

Рассчитаем напряжение на дуге по формуле (9)

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

Рассчитаем скорость сварки при выбранных параметрах режима по формуле (10) с учетом формул (11)...(17). Тогда получим, что:

- составляющая, обусловленная тепловложением дуги $\alpha'_P = 12 \text{ г/Ач}$;
- условная скорость подачи проволоки $V_E = 5,4 \text{ см/с}$;
- коэффициент $\beta = 5454$;

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

15.03.01.2017.103.00 ПЗ

Лист

46

- коэффициент $p_1 = -66,8$, $p_2 = -0,7$;
- количество теплоты, расходуемое на предварительный подогрев вылета электродной проволоки протекающим по нему током $Q_{\text{ПП}} = 124,6$ кал;
- составляющая, зависящая от тепловложения вследствие предварительного нагрева вылета электрода протекающим током $\Delta\alpha_p = 3,5$ г/Ач;
- коэффициент расплавления $\alpha_p = 15,5$ г/Ач;
- скорость подачи проволоки $V_{\text{ПОД}} = 7,1$ см/с;
- скорость сварки $V_{\text{СВ}} = 0,73$ см/с.

Далее по формуле (18) определяем погонную энергию

$$q_{\text{ПОГ}} = \frac{0,24 \cdot 34,1 \cdot 400 \cdot 0,85}{0,73} = 3812 \frac{\text{кал}}{\text{см}}.$$

Определим мгновенную скорость охлаждения металла по формуле (19) с учетом формулы (20).

Коэффициенты приведения при указанном типе шва рассчитываются по формуле [2]

$$k_1 = k_2 = \frac{180^\circ}{180^\circ - \alpha} = \frac{180}{180 - 40} = 1,3 \text{ ед.} \quad (25)$$

где $\alpha = 40$ – угол разделки кромок, град.

Следовательно, по формуле (20) получим, что

$$\frac{1}{\theta} = \frac{2k_1 q_{\text{ПОГ}}}{\pi(\delta k_2)^2 c \gamma (T_M - T_0)} = \frac{2 \cdot 1,3 \cdot 3812}{3,14 \cdot (2 \cdot 1,3)^2 \cdot 1,25 \cdot (500 - 150)} = 1,1.$$

При значении безразмерного критерия 1,1 величина $\bar{\omega} = 0,72$. Тогда, по формуле (19) получим, что

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

15.03.01.2017.103.00 ПЗ

Лист

$$\omega = 0,72 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 0,1 \cdot \frac{(500-150)^2}{1,3 \cdot 3812} = 11,2 \frac{\text{°C}}{\text{с}}.$$

Полученное значение мгновенной скорости охлаждения не входит в требуемый интервал мгновенных скоростей охлаждения для стали 15ХСНД. Следовательно, можно увеличить температуру предварительного подогрева до 200 °C. Тогда:

- $1/\theta = 1,3;$
- $\bar{\omega} = 0,59;$
- $\omega = 6,7 \text{ °C/c}.$

Условие выполняется.

Произведем расчет параметров режима сварки при заполнении. Примем ,что требуемая площадь поперечного сечения наплавленного металла должна быть 0,7 см². Зададим значение силы сварочного тока 500 А. Сварка производится на постоянном токе прямой полярности.

Плотность принятого сварочного тока при диаметре электродной проволоки 2 мм рассчитывается по формуле (8) и составляет

$$j = \frac{4I_{CB}}{\pi d_{\Theta}^2} = \frac{4 \cdot 500}{3,14 \cdot 2^2} = 159,2 \frac{\text{A}}{\text{мм}^2}.$$

При диаметре электрода 2 мм и при сварке стыкового шва плотность сварочного тока находится в интервале 60...200 А/мм². Полученное значение входит в указанный интервал.

Рассчитаем напряжение на дуге по формуле (9)

$$U_d = 20 + \frac{0,05}{\sqrt{2}} \cdot 500 \approx 37,7 \pm 1 \text{ В.}$$

Рассчитаем скорость сварки при выбранных параметрах режима по формуле

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Лист
					15.03.01.2017.103.00 ПЗ

(10) с учетом формул (11)...(17).

Так как при заполнении была изменена полярность тока с обратной на прямую, то составляющая, обусловленная тепловложением дуги α'_p , определяется из условия (21)

$$\alpha'_p = 6,3 + \frac{0,0702I_{CB}}{d_3^{1,035}} = 6,3 + \frac{0,0702 \cdot 500}{2^{1,035}} = 23,5 \text{ г/Ач.}$$

Тогда получим, что:

- условная скорость подачи проволоки $V_\vartheta = 13,2 \text{ см/с}$;
- коэффициент $\beta = 8515,8$;
- коэффициент $p_1 = -164,6$, $p_2 = -0,43$;
- количество теплоты, расходуемое на предварительный подогрев вылета электродной проволоки протекающим по нему током $Q_{\text{пп}} = 122,5 \text{ кал}$;
- составляющая, зависящая от тепловложения вследствие предварительного нагрева вылета электрода протекающим током $\Delta\alpha_p = 2,7 \text{ г/Ач}$;
- коэффициент расплавления $\alpha_p = 22,2 \text{ г/Ач}$;
- скорость подачи проволоки $V_{\text{под}} = 15 \text{ см/с}$;
- скорость сварки $V_{CB} = 0,66 \text{ см/с}$.

Далее по формуле (18) определяем погонную энергию

$$q_{\text{пог}} = \frac{0,24 \cdot 37,7 \cdot 500 \cdot 0,85}{0,66} = 5826 \frac{\text{кал}}{\text{см}}.$$

Произведем расчет параметров режима сварки при выполнении облицовочного шва. При сварке облицовочного слоя требуется получить валик шириной $20 \pm 3 \text{ мм}$ и высотой $0 \dots 3 \text{ мм}$. Требуемая площадь поперечного сечения наплавленного металла должна быть $0,3 \text{ см}^2$. Зададим значение силы сварочного тока 500 А. Сварка производится на постоянном токе прямой полярности. Получим следующие значения параметров режима сварки:

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

15.03.01.2017.103.00 ПЗ

Лист

49

- плотность тока $j = 159,2 \text{ А/мм}^2$;
- напряжение на дуге $U_d = 37,7 \text{ В}$;
- составляющая, обусловленная тепловложением дуги $\alpha'_p = 23,5 \text{ г/Ач}$;
- условная скорость подачи проволоки $V_\vartheta = 13,2 \text{ см/с}$;
- коэффициент $\beta = 8515,8$;
- коэффициент $p_1 = -164,6, p_2 = -0,43$;
- количество теплоты, расходуемое на предварительный подогрев вылета электродной проволоки протекающим по нему током $Q_{\text{пп}} = 122,5 \text{ кал}$;
- составляющая, зависящая от тепловложения вследствие предварительного нагрева вылета электрода протекающим током $\Delta\alpha_p = 2,7 \text{ г/Ач}$;
- коэффициент расплавления $\alpha_p = 26,2 \text{ г/Ач}$;
- скорость подачи проволоки $V_{\text{под}} = 15 \text{ см/с}$;
- скорость сварки $V_{\text{СВ}} = 1,55 \text{ см/с}$;
- погонная энергия при сварке $q_p = 2481 \text{ кал/см}$;
- коэффициент $k' = 1,12$;
- коэффициент формы провара $\psi_B = 2,3$;
- глубина провара $h = 0,54 \text{ см}$;
- ширина шва $B = 1,242 \text{ см}$;
- высота валика составляет $C = 0,331 \text{ см}$;
- общая высота шва $D = 1,573 \text{ см}$.

Полученные геометрические параметры сварного шва не соответствуют требуемым, следовательно, нужно скорректировать параметры режима сварки. Примем, что скорость сварки составляет $0,9 \text{ см/с}$, напряжение на дуге 42 В . Тогда:

- $q_p = 4760 \text{ кал/см}$;
- $\psi_{\text{пр}} = 2,6$;
- $h = 0,71 \text{ см}$;
- $B = 1,836 \text{ см}$;
- $C = 0,22 \text{ см}$.

Требования к стыковому шву выполняются.

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

15.03.01.2017.103.00 ПЗ

Лист

50

Определим мгновенную скорость охлаждения металла по формуле (22) с учетом формулы (23). Тогда, по формуле (23) получим, что

$$\frac{1}{\theta} = \frac{2q_{\text{ПОГ}}}{\pi(\delta)^2 c \gamma (T_M - T_0)} = \frac{2 \cdot 4760}{3,14 \cdot (2)^2 \cdot 1,25 \cdot (500 - 150)} = 1,7.$$

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

При значении безразмерного критерия 1,7 величина $\bar{\omega} = 0,4$. Тогда, по формуле (22) получим, что

$$\omega = 0,4 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 0,1 \cdot \frac{(500 - 150)^2}{4760} = 6,5 \frac{\text{°C}}{\text{с}}.$$

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

1.4.4 Расчет параметров режима сварки швов №4, №5, №7

Типы рассматриваемых швов:

- шов №4 У8 согласно ГОСТ 14771-76 с катетом 10 мм;
- шов №5 Н1 согласно ГОСТ 14771-76 с катетом 10 мм;
- шов №7 Т1 согласно ГОСТ 14771-76 с катетом 10 мм.

Вылет электродной проволоки принимается равным 25 мм. Расход газа примем равным 20 л/мин.

Определим площадь наплавленного металла по формуле (7) с учетом того, что катет равен 10 мм. Тогда

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

Сварку швов будем вести за один проход в положении в симметричную

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Лист
					15.03.01.2017.103.00 ПЗ

«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 (8) и составляет

$$j = \frac{4I_{CB}}{\pi d^2} = \frac{4 \cdot 450}{3,14 \cdot 2^2} = 143,3 \frac{A}{mm^2}.$$

При диаметре электрода 2 мм и при сварке таврового шва плотность сварочного тока находится в интервале 60...150 A/mm². Полученное значение входит в указанный интервал.

Рассчитаем напряжение на дуге по формуле (9) и получим, что

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

Рассчитаем скорость сварки при выбранных параметрах режима по формуле (10) с учетом формул (11)...(17). Тогда получим, что:

- составляющая, обусловленная тепловложением дуги $\alpha'_P = 11,6 \text{ г/Ач}$;
- условная скорость подачи проволоки $V_E = 5,883 \text{ см/с}$;
- коэффициент $\beta = 6899,7$;
- коэффициент $p_1 = -72,75$, $p_2 = -0,787$;
- количество теплоты, расходуемое на предварительный подогрев вылета электродной проволоки протекающим по нему током $Q_{PP} = 110,1 \text{ кал}$;
- составляющая, зависящая от тепловложения вследствие предварительного нагрева вылета электрода протекающим током $\Delta\alpha_P = 2,71 \text{ г/Ач}$;
- коэффициент расплавления $\alpha_P = 14,31 \text{ г/Ач}$;
- скорость подачи проволоки $V_{ПОД} = 7,4 \text{ см/с}$;
- скорость сварки $V_{CB} = 0,46 \text{ см/с}$.

Далее по формуле (18) определяем погонную энергию

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

15.03.01.2017.103.00 ПЗ

Лист

52

$$q_{\text{ПОГ}} = \frac{0,24 \cdot 35,9 \cdot 450 \cdot 0,85}{0,46} = 7164 \frac{\text{кал}}{\text{см}}.$$

Определим мгновенную скорость охлаждения металла по формуле (19) с учетом формулы (20). Так, по формуле (20)

$$\frac{1}{\theta} = \frac{2k_1 q_{\text{ПОГ}}}{\pi (\delta k_2)^2 c \gamma (T_M - T_0)} = \frac{2 \cdot 2 \cdot 10990}{3 \cdot 3,14 \cdot (2 \cdot 1)^2 \cdot 1,25 \cdot (500 - 180)} = 2,92.$$

При значении безразмерного критерия 2,92 величина $\bar{\omega}$ рассчитывается по формуле

$$\bar{\omega} = \frac{2}{\pi \cdot 1/\theta} = \frac{2}{3,14 \cdot 2,92} = 0,218. \quad (26)$$

Тогда, по формуле (20) получим, что

$$\omega = 0,218 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 0,1 \cdot \frac{3 \cdot (500 - 180)^2}{2 \cdot 10990} = 1,9 \frac{\text{°C}}{\text{с}}.$$

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

1.4.5 Расчет параметров режима сварки шва №6

Тип шва У6 согласно ГОСТ 14771-76. Вылет электродной проволоки принимается равным 20 мм. Расход газа примем равным 20 л/мин.

Определим площадь наплавленного металла по формуле [2]

$$F_H = Sb + h^2 \operatorname{tg} \alpha + 0,73Bq, \quad (27)$$

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

15.03.01.2017.103.00 ПЗ

Лист

53

где $S = 20$ – толщина соединяемых элементов, мм;

$b = 2$ – величина зазора, мм;

$h = 18$ – высота разделки, мм;

$\alpha = 40$ – угол разделки, град;

$B = 26$ – ширина сварного шва, мм;

$q = 2$ – высота валика усиления сварного шва, мм.

Тогда, по формуле (27) получим, что площадь наплавленного металла

$$F_H = 20 \cdot 2 + 18^2 \operatorname{tg} 40 + 0,73 \cdot 26 \cdot 2 = 350 \text{ мм}^2 = 3,5 \text{ см}^2.$$

Максимальная площадь металла при первом проходе должна составлять не более 35 мм^2 . Тогда примем, что:

- площадь наплавленного металла при первом проходе составляет $30 \text{ мм}^2 = 0,3 \text{ см}^2$;
- площадь наплавленного металла при заполняющих проходах составляет $70 \text{ мм}^2 = 0,7 \text{ см}^2$;
- требуемая площадь наплавленного металла при облицовочном проходе $40 \text{ мм}^2 = 0,4 \text{ см}^2$.

Таким образом, шов №6 варится за 6 проходов.

Рассчитаем параметры режима сварки шва №6 при первом проходе.

Примем, что сила сварочного тока составляет 400 А.

Плотность принятого сварочного тока при диаметре электродной проволоки 2 мм рассчитывается по формуле (8) и составляет

$$j = \frac{4I_{CB}}{\pi d_E^2} = \frac{4 \cdot 400}{3,14 \cdot 2^2} = 127,4 \frac{\text{А}}{\text{мм}^2}.$$

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

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

15.03.01.2017.103.00 ПЗ

Лист

54

Рассчитаем напряжение на дуге по формуле (9)

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

Рассчитаем скорость сварки при выбранных параметрах режима по формуле (10) с учетом формул (11)...(17). Тогда получим, что:

- составляющая, обусловленная тепловложением дуги $\alpha'_p = 12 \text{ г/Ач}$;
- условная скорость подачи проволоки $V_\vartheta = 5,4 \text{ см/с}$;
- коэффициент $\beta = 5454$;
- коэффициент $p_1 = -66,8$, $p_2 = -0,7$;
- количество теплоты, расходуемое на предварительный подогрев вылета электродной проволоки протекающим по нему током $Q_{\text{пп}} = 124,6 \text{ кал}$;
- составляющая, зависящая от тепловложения вследствие предварительного нагрева вылета электрода протекающим током $\Delta\alpha_p = 3,5 \text{ г/Ач}$;
- коэффициент расплавления $\alpha_p = 15,5 \text{ г/Ач}$;
- скорость подачи проволоки $V_{\text{под}} = 7,1 \text{ см/с}$;
- скорость сварки $V_{\text{СВ}} = 0,73 \text{ см/с}$.

Далее по формуле (18) определяем погонную энергию

$$q_{\text{ПОГ}} = \frac{0,24 \cdot 34,1 \cdot 400 \cdot 0,85}{0,73} = 3812 \frac{\text{кал}}{\text{см}}.$$

Определим мгновенную скорость охлаждения металла по формуле (19) с учетом формулы (20).

Коэффициенты приведения при указанном типе шва рассчитываются по формуле (25)

$$k_1 = k_2 = \frac{180^\circ}{180^\circ - \alpha} = \frac{180}{180 - 40} = 1,3 \text{ ед.}$$

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

15.03.01.2017.103.00 ПЗ

Лист

где $\alpha = 40$ – угол разделки кромок, град.

Следовательно, по формуле (19) получим, что

$$\frac{1}{\theta} = \frac{2k_1 q_{\text{ПОГ}}}{\pi(\delta k_2)^2 c \gamma (T_M - T_0)} = \frac{2 \cdot 1,3 \cdot 3812}{3,14 \cdot (2 \cdot 1,3)^2 \cdot 1,25 \cdot (500 - 150)} = 1,1.$$

При значении безразмерного критерия 1,1 величина $\bar{\omega} = 0,72$. Тогда, по формуле (20) получим, что

$$\omega = 0,72 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 0,1 \cdot \frac{(500 - 150)^2}{1,3 \cdot 3812} = 11,2 \frac{\text{°C}}{\text{с}}.$$

Полученное значение мгновенной скорости охлаждения не входит в требуемый интервал мгновенных скоростей охлаждения для стали 15ХСНД. Следовательно, можно увеличить температуру предварительного подогрева до 200 °C. Тогда:

- $1/\theta = 1,3$;
- $\bar{\omega} = 0,59$;
- $\omega = 6,7 \text{ °C/c}$.

Условие выполняется.

Произведем расчет параметров режима сварки при заполнении. Примем, что требуемая площадь поперечного сечения наплавленного металла должна быть 0,7 см². Зададим значение силы сварочного тока 450 А. Сварка производится на постоянном токе прямой полярности.

Плотность принятого сварочного тока при диаметре электродной проволоки 2 мм рассчитывается по формуле (8) и составляет

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

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

15.03.01.2017.103.00 ПЗ

Лист

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

Рассчитаем напряжение на дуге по формуле (9)

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

Рассчитаем скорость сварки при выбранных параметрах режима по формуле (10) с учетом формул (11)...(17).

Так как при заполнении была изменена полярность тока с обратной на прямую, то составляющая, обусловленная тепловложением дуги α'_p , определяется из условия (21)

$$\alpha'_p = 6,3 + \frac{0,0702I_{CB}}{d_3^{1,035}} = 6,3 + \frac{0,0702 \cdot 450}{2^{1,035}} = 21,7 \text{ г/Ач.}$$

Тогда получим, что:

- условная скорость подачи проволоки $V_\vartheta = 11 \text{ см/с}$;
- коэффициент $\beta = 6900$;
- коэффициент $p_1 = -137,1$, $p_2 = -0,42$;
- количество теплоты, расходуемое на предварительный подогрев вылета электродной проволоки протекающим по нему током $Q_{ПП} = 98,6 \text{ кал}$;
- составляющая, зависящая от тепловложения вследствие предварительного нагрева вылета электрода протекающим током $\Delta\alpha_p = 2,43 \text{ г/Ач}$;
- коэффициент расплавления $\alpha_p = 24,13 \text{ г/Ач}$;
- скорость подачи проволоки $V_{под} = 12,4 \text{ см/с}$;
- скорость сварки $V_{CB} = 0,55 \text{ см/с}$.

Далее по формуле (18) определяем погонную энергию

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

15.03.01.2017.103.00 ПЗ

Лист

57

$$q_{\text{ПОГ}} = \frac{0,24 \cdot 35,9 \cdot 450 \cdot 0,85}{0,55} = 5992 \frac{\text{кал}}{\text{см}}.$$

Произведем расчет параметров режима сварки при выполнении облицовочного шва. При сварке облицовочного слоя требуется получить валик шириной 26 ± 3 мм и высотой 0...3 мм. Требуемая площадь поперечного сечения наплавленного металла должна быть $0,4 \text{ см}^2$. Зададим значение силы сварочного тока 500 А. Сварка производится на постоянном токе прямой полярности. Получим следующие значения параметров режима сварки:

- плотность тока $j = 159,2 \text{ А/мм}^2$;
- напряжение на дуге $U_d = 37,7 \text{ В}$;
- составляющая, обусловленная тепловложением дуги $\alpha'_p = 23,5 \text{ г/Ач}$;
- условная скорость подачи проволоки $V_\vartheta = 13,2 \text{ см/с}$;
- коэффициент $\beta = 8515,8$;
- коэффициент $p_1 = -164,6$, $p_2 = -0,43$;
- количество теплоты, расходуемое на предварительный подогрев вылета электродной проволоки протекающим по нему током $Q_{\text{ПП}} = 122,5 \text{ кал}$;
- составляющая, зависящая от тепловложения вследствие предварительного нагрева вылета электрода протекающим током $\Delta\alpha_p = 2,7 \text{ г/Ач}$;
- коэффициент расплавления $\alpha_p = 26,2 \text{ г/Ач}$;
- скорость подачи проволоки $V_{\text{ПОД}} = 15 \text{ см/с}$;
- скорость сварки $V_{\text{СВ}} = 1,2 \text{ см/с}$;
- погонная энергия при сварке $q_p = 3204 \text{ кал/см}$;
- коэффициент $k' = 1,12$;
- коэффициент формы провара $\psi_{\text{ПР}} = 2,4$;
- глубина провара $h = 0,6 \text{ см}$;
- ширина шва $B = 1,44 \text{ см}$;
- высота валика составляет $C = 0,38 \text{ см}$;
- общая высота шва $D = 0,98 \text{ см}$.

Полученные геометрические параметры сварного шва не соответствуют

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

15.03.01.2017.103.00 ПЗ

Лист

58

требуемым, следовательно, нужно скорректировать параметры режима сварки. Примем, что скорость сварки составляет 0,5 см/с, напряжение на дуге 42 В. Тогда:

$$- q_{\text{П}} = 8568 \text{ кал/см};$$

$$- \psi_{\text{ПР}} = 2,6;$$

$$- h = 0,95 \text{ см};$$

$$- B = 2,47 \text{ см};$$

$$- C = 0,22 \text{ см}.$$

Требования к шву выполняются.

Определим мгновенную скорость охлаждения металла по формуле (22) с учетом формулы (23). Тогда, по формуле (23) получим, что

$$\frac{1}{\theta} = \frac{2q_{\text{ПОГ}}}{\pi(\delta)^2 c \gamma (T_M - T_0)} = \frac{2 \cdot 8568}{3,14 \cdot (2)^2 \cdot 1,25 \cdot (500 - 150)} = 3,2.$$

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

При значении безразмерного критерия 3,2 величина $\bar{\omega}$ определяется по формуле (26)

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

Тогда, по формуле (22) получим, что

$$\omega = 0,2 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 0,1 \cdot \frac{(500 - 150)^2}{8568} = 1,8 \frac{\text{°C}}{\text{с}}.$$

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

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

15.03.01.2017.103.00 ПЗ

Лист

59

1.5 Контроль качества

В процессе изготовления балок с коробчатым сечением присутствуют остаточные деформации после сварки. Они имеют различный характер, а также вид деформации. Следовательно, после операции сварки и контроля геометрических параметров требуется, при необходимости, производить исправление. При правке общих деформаций типа саблевидности и продольного изгиба должны соблюдаться следующие положения:

– при проведении нагрева полос или клиньев, расположенных на широких поясах коробчатых элементов, рекомендуется применять одновременно две горелки (по одной на стенку), порядок перемещения которых показан на рисунке 1.26.

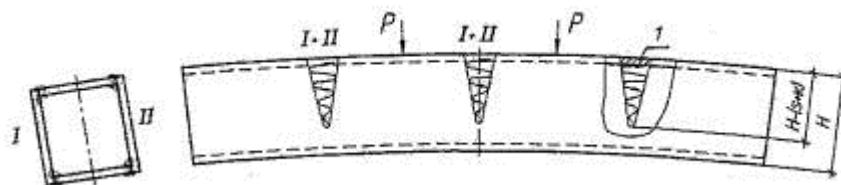


Рисунок 1.26 – Порядок правки балки коробчатого сечения

где I, II – газовые горелки, работающие в каждом сечении;

1 – ширина полосы нагрева горизонтального листа;

P – дополнительные нагрузки.

– при продольном изгибе сечения в двух взаимно перпендикулярных плоскостях, правка производится раздельно на каждый выгиб сначала в одной плоскости, затем в другой. Контроль правки осуществляется только после полного остывания зоны нагрева. При отсутствии исправления назначаются дополнительные зоны нагрева с применением дополнительных нагрузок;

– при наличии винтообразности в коробчатых элементах можно сделать вывод о том, она появляется из-за неправильной технологии сборки конструкции, недостаточно жесткого закрепления проектного положения деталей при сборке в некачественной оснастке. Последующая сварка только закрепляет неправильно собранную конструкцию. Термическая правка винтообразности жестких коробчатых элементов экономически нецелесообразна и практически невозможна.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

15.03.01.2017.103.00 ПЗ

Лист

60

Неправильно собранный и сваренный коробчатый элемент бракуется производится раскрой по сварным угловым соединениям посредством газокислородной резки и узел заново собирается.

К местным деформациям относятся:

- волнистость;
- перегибы и загибы кромок, не выправленные на машинах при механической правке или деформированные в процессе изготовления, транспортировки и монтажа металлоконструкций;
- выпучивания («хлопуны») в стенках балочных и коробчатых сечений сплошностенчатых конструкций, которые получены в замкнутых контурах, ограниченных ребрами жесткости и поясами, а также выходящие на свободные кромки;
- угловые деформации (домики) в сварных стыковых соединениях.

При правке местных деформаций должны выполняться следующие положения:

- волнистость, загибы, перегибы листов и угловые деформации (домики) стыковых сварных соединений подвергаются правке нагревом полос шириной не более $1,5S$ (где S – толщина листа, ед). Если ширина полосы нагрева больше $1,5S$, то после остывания металла появляется выпучивание непосредственно в зоне нагрева в противоположную сторону, а это является недопустимым. Нагрев полос ведется с выпуклой стороны, при этом начало идет от основания выгиба и последовательно нагреваются полосы к его вершине. Параллельно с этим рекомендуется прикладывать механические усилия (так называемая термомеханическая правка) в процессе нагрева полос. Усилие допускается оставлять на конструкции до ее полного остывания. Приложение дополнительных активных усилий (например, от домкратов) после остывания металла ниже 600°C является не допустимым. Количество нагреваемых полос назначается поэтапно с замерами на каждом этапе остаточной величины деформации после полного остывания металла и снятия нагрузки;
- правка выпучивания («хлопуна») начинается с замера стрелы. Замер

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Лист
					15.03.01.2017.103.00 ПЗ

производится с любой (выпуклой или вогнутой) стороны. При замере происходит определение границы основания и вершины (центра) «хлопуна». Разметка выполняется мелом с выпуклой стороны. Внутренние остаточные напряжения в «хлопуне», который образован в замкнутом контуре стенки между ребрами и поясами, обычно, не превышают значения предела текучести. Но при этом они могут быть близкими к нему. В таком случае, переход металла в пластическое состояние при нагреве выше 600°C приводит к увеличению деформации выпучивания. Для того, чтобы этого избежать производится нагрев намеченных зон только после установки на выпуклую сторону специальных приспособлений, которые препятствуют росту пластических деформаций. Величина механического усилия, прикладываемого к «хлопуну», и площадь распределения его подбирается опытным путем до начала операции правки. Выпучивание («хлопун») следует править нагревом с выпуклой стороны полос, которые параллельны друг другу и направлены вдоль большого основания выпучины. При сферической (круглой) форме направление полос нагрева принимают параллельно ребрам жесткости;

– ромбовидность в элементах с коробчатым сечением исправляется термомеханическим способом. Для этого внутри сечения по меньшей диагонали устанавливаются винтовые или гидравлические домкраты и в них создаются усилия. Полосы нагрева должны быть отмечены снаружи и, по возможности, внутри. При нагреве полос регулируется усилие на домкратах до полного исправления ромбовидности. Для того, чтобы избежать появления деформаций ромбовидности должна использоваться технология с измененным порядком технологических операций.

Контроль качества сварных соединений является обязательной операцией и состоит из следующих видов: визуально-измерительный и ультразвуковой. Радиографический метод не используется из-за сложных элементов металлоконструкций.

Визуально-измерительный контроль проводится до проведения ультразвукового. При проведении визуально-измерительного контроля используются следующие инструменты (приборы):

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Лист	62
					15.03.01.2017.103.00 ПЗ	

- лупа 10×-кратного увеличения;
- штангенциркуль;
- линейка металлическая;
- рулетка;
- универсальные шаблоны сварщика УШС №2, УШС №3.

При визуально-измерительном методе контроля качества проверяется:

- внешний вид швов – гладкая или равномерно чешуйчатая поверхность с плавным переходом к основному металлу;
- отсутствие наплывов и подрезов;
- отсутствие поверхностных трещин;
- отсутствие поверхностных непроваров, несплавлений, прожогов;
- смещение кромок не более 1 мм;
- отсутствие незаваренных кратеров в сварных швах.

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

Для того, чтобы определить наличие возможных дефектов внутри сварного шва, используется ультразвуковой метод контроля качества. Данным методом можно обнаружить следующие недопускаемые дефекты:

- внутренние поры размером более 1 мм;
- шлаковые включения размером более 1 мм;
- внутренние поры допустимых размеров при расстоянии между ними менее 45 мм;
- шлаковые включения допустимых размеров при расстоянии между ними менее 45 мм;
- внутренние поры допустимых размеров и расстояния между ними при общем их количестве более четырех на участке сварного шва длиной 400 мм;
- шлаковые включения допустимых размеров и расстояния между ними при общем их количестве более четырех на участке сварного шва длиной 400 мм.

Для проведения ультразвукового метода контроля качества применяется

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Лист
					15.03.01.2017.103.00 ПЗ

ультразвуковой дефектоскоп УД2-102 «Пеленг».

Технические характеристики ультразвукового дефектоскопа УД2-102 «Пеленг» приведены в таблице 1.20.

Таблица 1.20 – Технические характеристики ультразвукового дефектоскопа УД2-102 «Пеленг»

Характеристика	Значение
Количество ультразвуковых каналов, шт	1
С использованием мультиплексора, шт	128
Выходной импульс, В	50...200, изменяемый с шагом 10
Частота используемых датчиков, МГц	1,25; 1,8; 2,5; 5
Амплитуда электрических колебаний при возбуждении УЗК, В	5...160
Усиление, дБ	0-80, с шагом 0,5
Частота выборки, МГц	50...100
Габаритные размеры, мм	140×220×42
Вес, кг	0,72

Исправление обнаруженных дефектов производится по следующим технологиям:

- исправление дефектов зачисткой без применения сварки;
- исправление дефектов зачисткой с последующей подваркой;
- полное удаление дефектов с последующей заваркой выбранного участка.

Исправление производится на ремонтной площадке сваркой в среде защитных газов.

Вывод по разделу 1:

В разделе 1 рассматривается технология изготовления балки продольной автогрейдера ДЗ-98. Рассмотрена конструкция, сборочные элементы, применяемая при сборке и при сварке оснастка. Также рассмотрены применяемые сварочные материалы, оборудование и общая технология. По результатам анализа были выявлены недостатки, которые предложено устранить заменой сварочных

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Лист	64
					15.03.01.2017.103.00 ПЗ	

материалов, применяемой оснастки, технологии производства работ. Также рассчитаны режимы сварки и описаны методы контроля качества и недопускаемые дефекты.

2 КОНСТРУКТОРСКИЙ РАЗДЕЛ

Для того, чтобы провести усовершенствование технологии сборки и сварки балки продольной автогрейдера ДЗ-98 требуется изменить состав участка сборки и сварки. Так, на участок вместо цепного кантователя установим специальную оснастку, помогающую максимально автоматизировать технологию.

Для сварки деталей первой очереди сборки укомплектуем сварочный участок роботом Fanuc Arc Mate 100iC с горизонтальным сварочным вращателем и сборочно-сварочным столом. Общий вид узлов первой очереди сборки показан на рисунках 2.1 и 2.2.

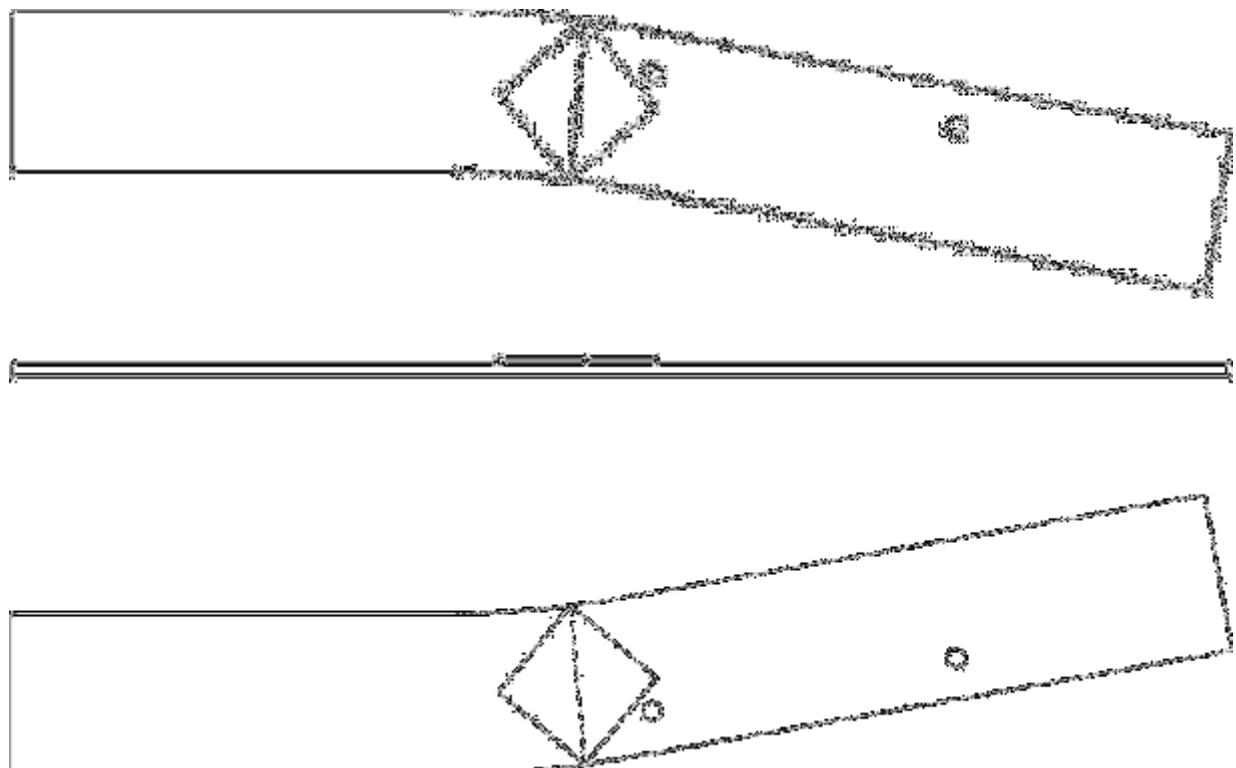


Рисунок 2.1 – Общий вид узла, состоящего из деталей поз. 2, 3, 8

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

15.03.01.2017.103.00 ПЗ

Лист

65

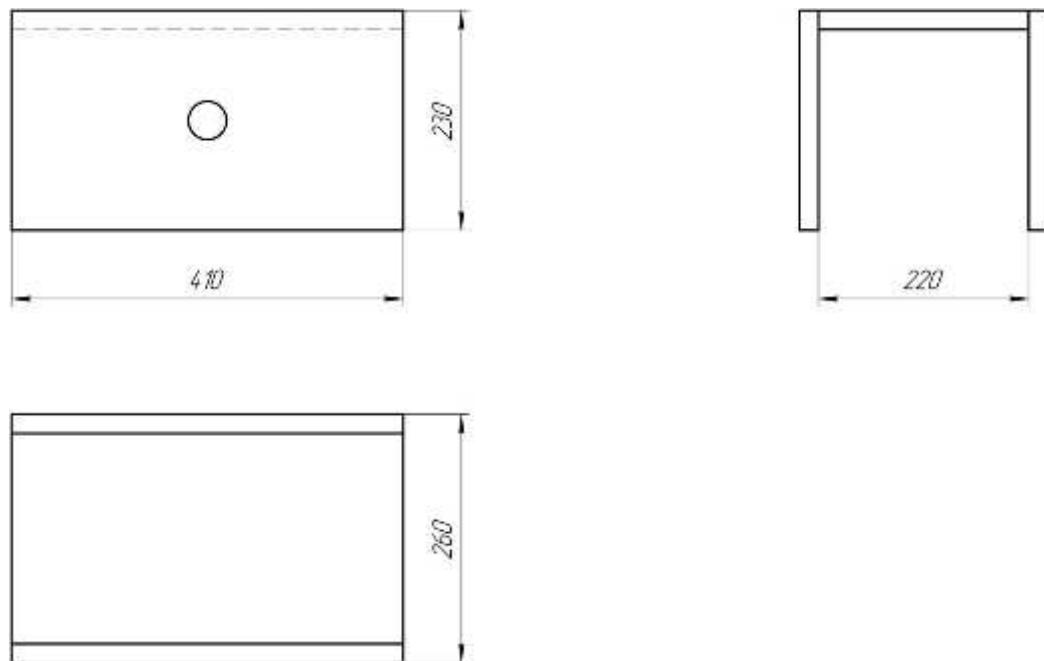


Рисунок 2.2 – Общий вид узла, состоящего из деталей поз. 6 и 7

Сборку деталей поз. 2 и 3 предлагается осуществить в сборочной рамке, которая позволит закрепить указанные детали во вращателе. Общий вид рамки показан на рисунке 2.3.

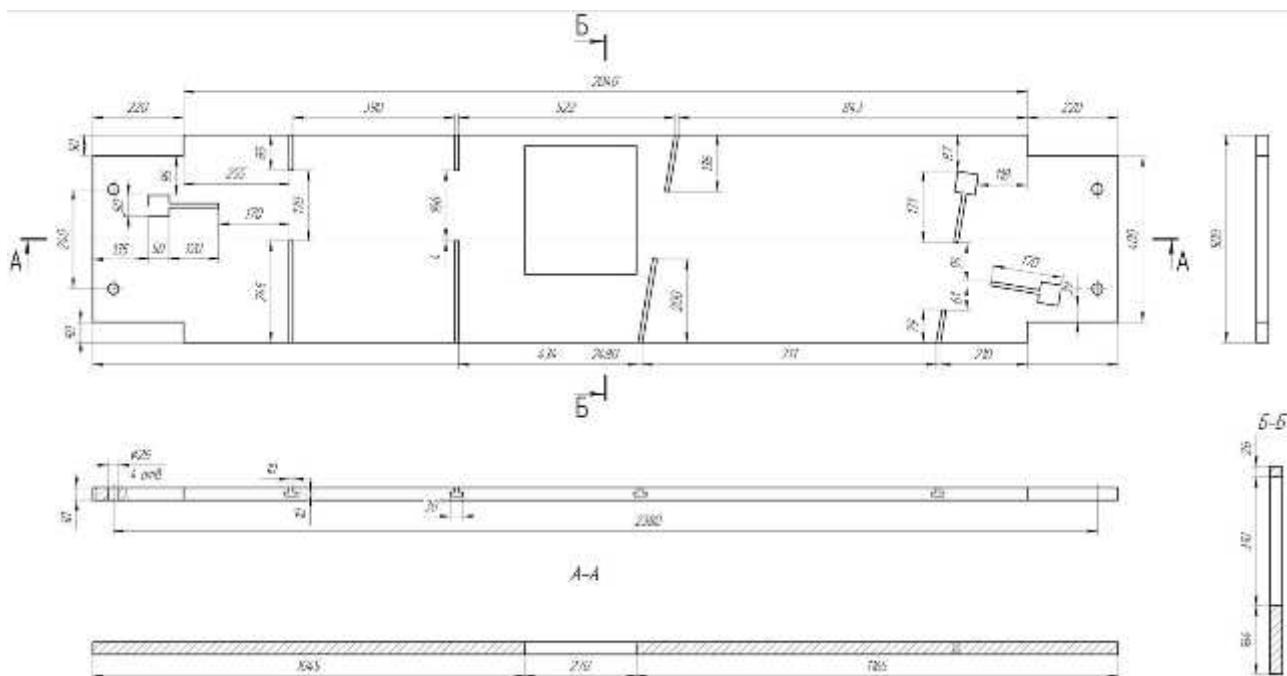


Рисунок 2.3 – Общий вид рамки

Схема закрепления детали в рамке показана на рисунке 2.4.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

15.03.01.2017.103.00 ПЗ

Лист

66

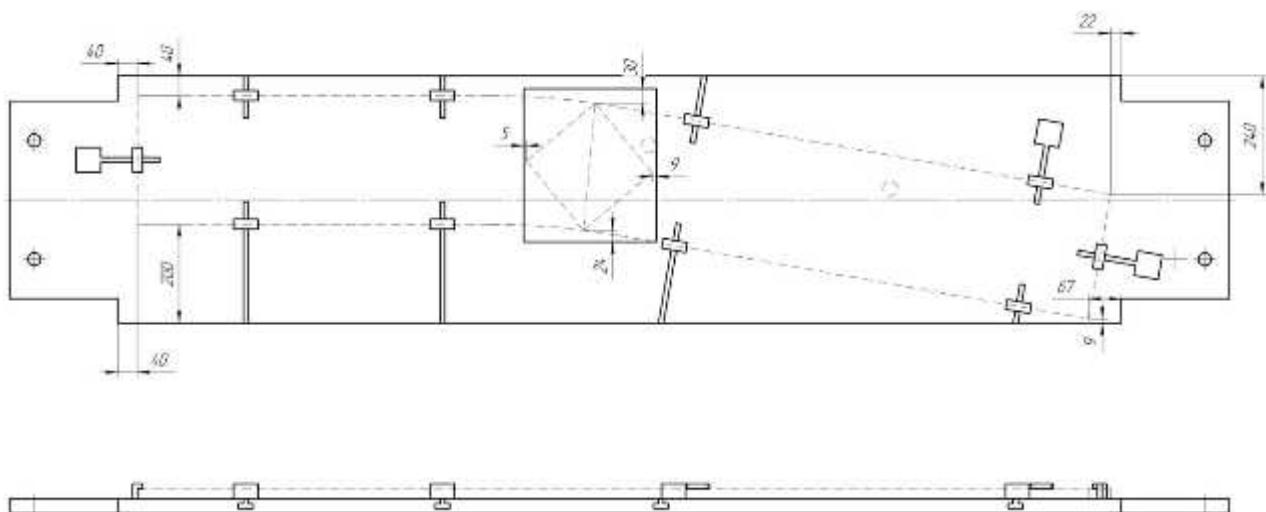


Рисунок 2.4 – Схема закрепления детали в рамке

Закрепление детали во вращателе производится при помощи прижимов, которые вставляются в специальные пазы рамки.

Для сборки и сварки указанного узла предлагается применить сварочный вращатель, показанный на рисунке 2.5.

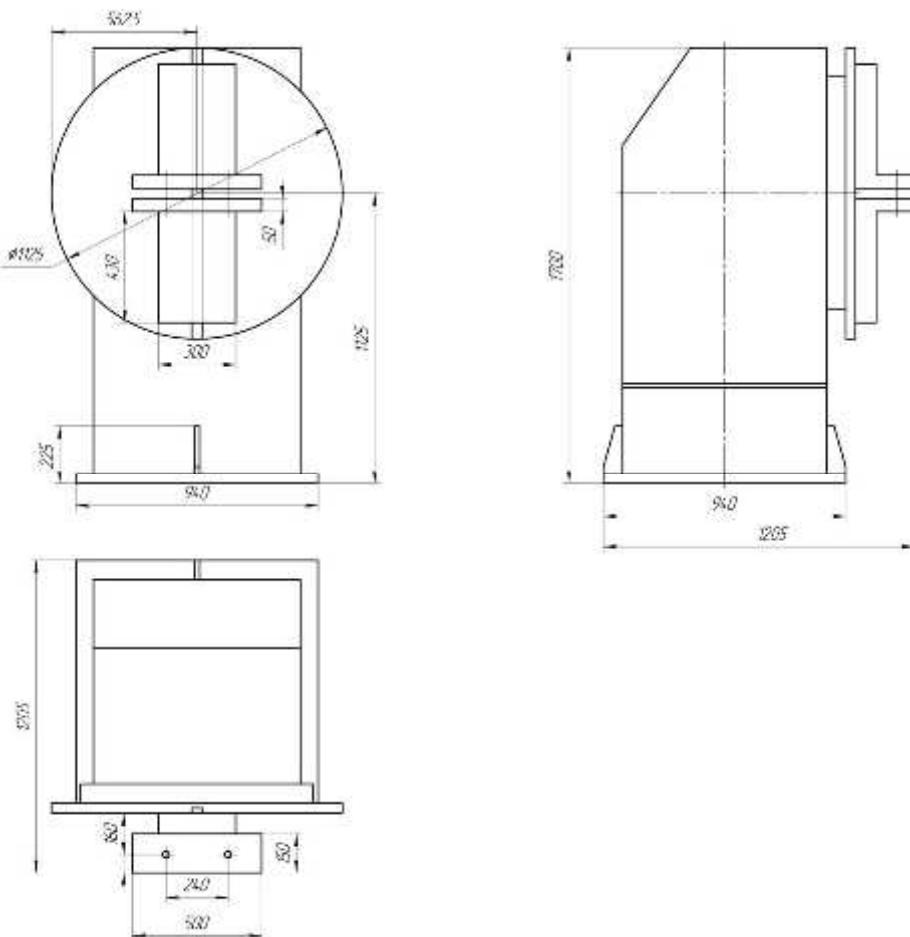


Рисунок 2.5 – Общий вид вращателя сварочного

Технические характеристики вращателя сварочного показаны в таблице 2.1.

<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>

15.03.01.2017.103.00 ПЗ

Лист

67

Таблица 2.1 – Технические характеристики вращателя сварочного

Характеристика	Значение
Максимальная грузоподъемность, кг	600
Скорость вращения, об/мин	20
Максимальный вращающий момент, Нм	650

Схема установки рамки во вращателе показана на рисунке 2.6.

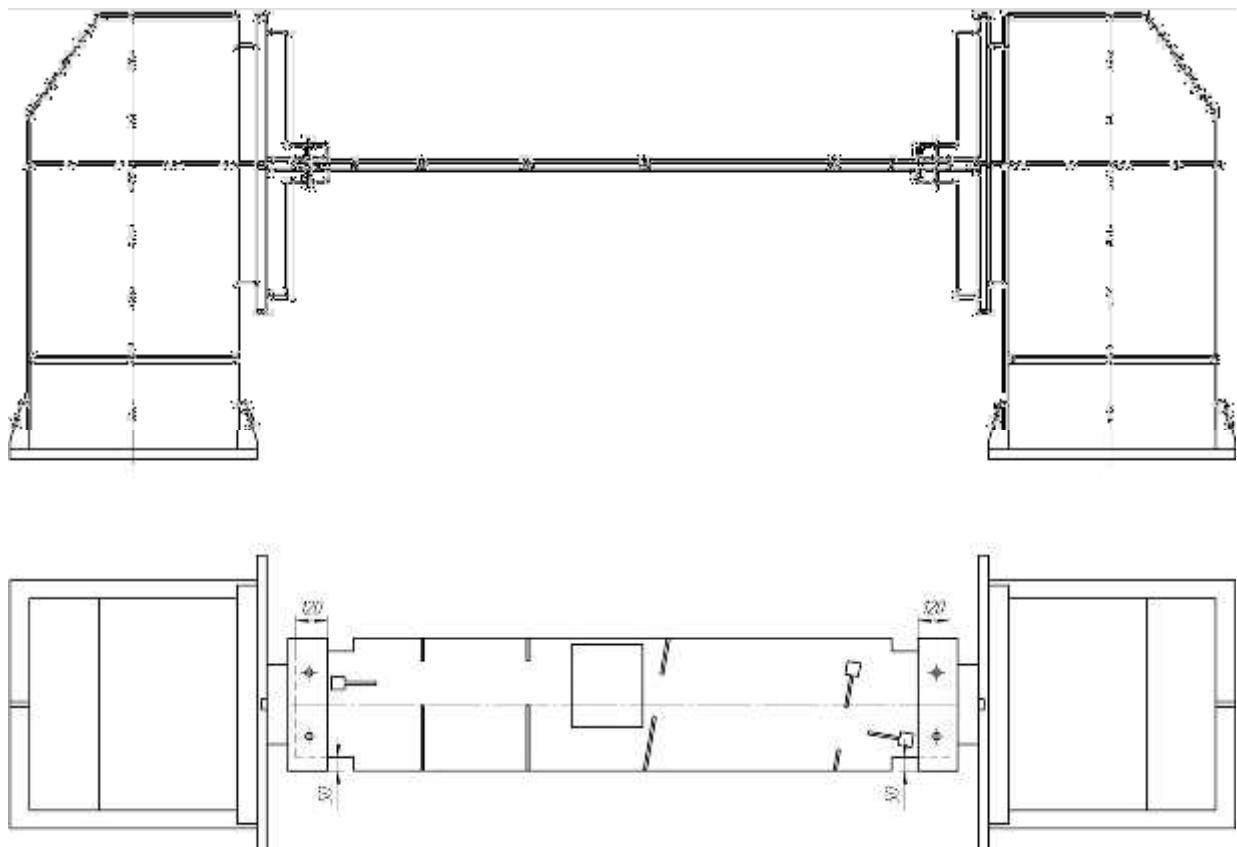


Рисунок 2.6 – Схема установки рамки во вращателе

Рамка во вращателе устанавливается при помощи болтов M24x150 мм. Гайки и шайбы, фиксирующие болты M24.

Сборка и сварка деталей поз. 6 и 7 производится на сборочном столе. Общий вид стола сборочно-сварочного показан на рисунке 2.7.

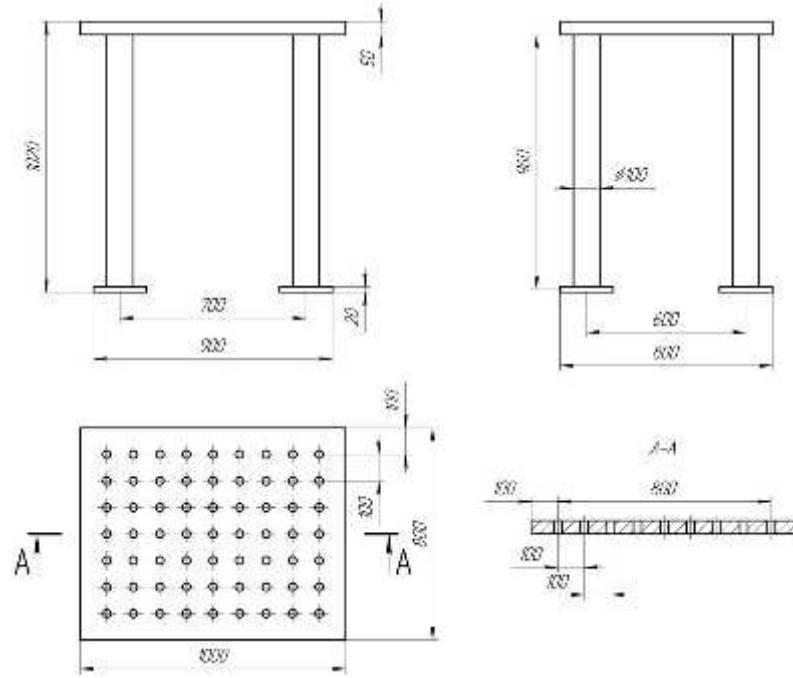


Рисунок 2.7 – Общий вид стола сборочно-сварочного

Установка деталей поз. 6 и 7 на столе производится при помощи кондуктора, который закреплен на столе при помощи болтом M27x80. Гайки и шайбы, фиксирующие болты M27. Общий вид кондуктора показан на рисунке 2.8.

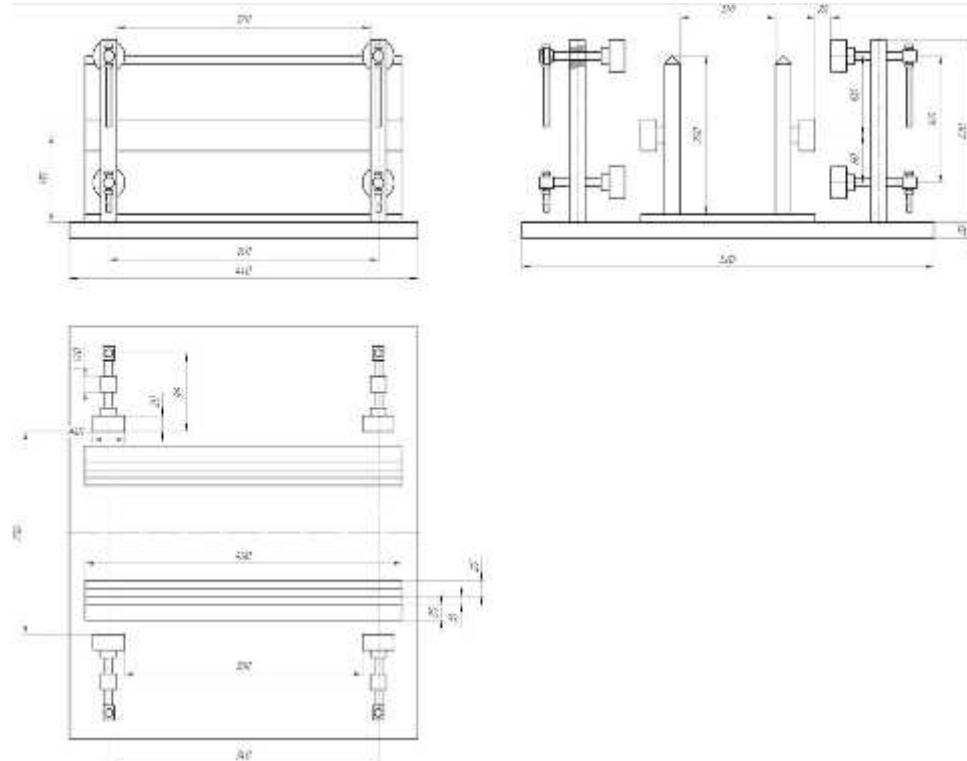


Рисунок 2.8 – Общий вид кондуктора

Схема закрепления деталей поз. 6 и 7 в кондукторе показана на рисунке 2.9.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

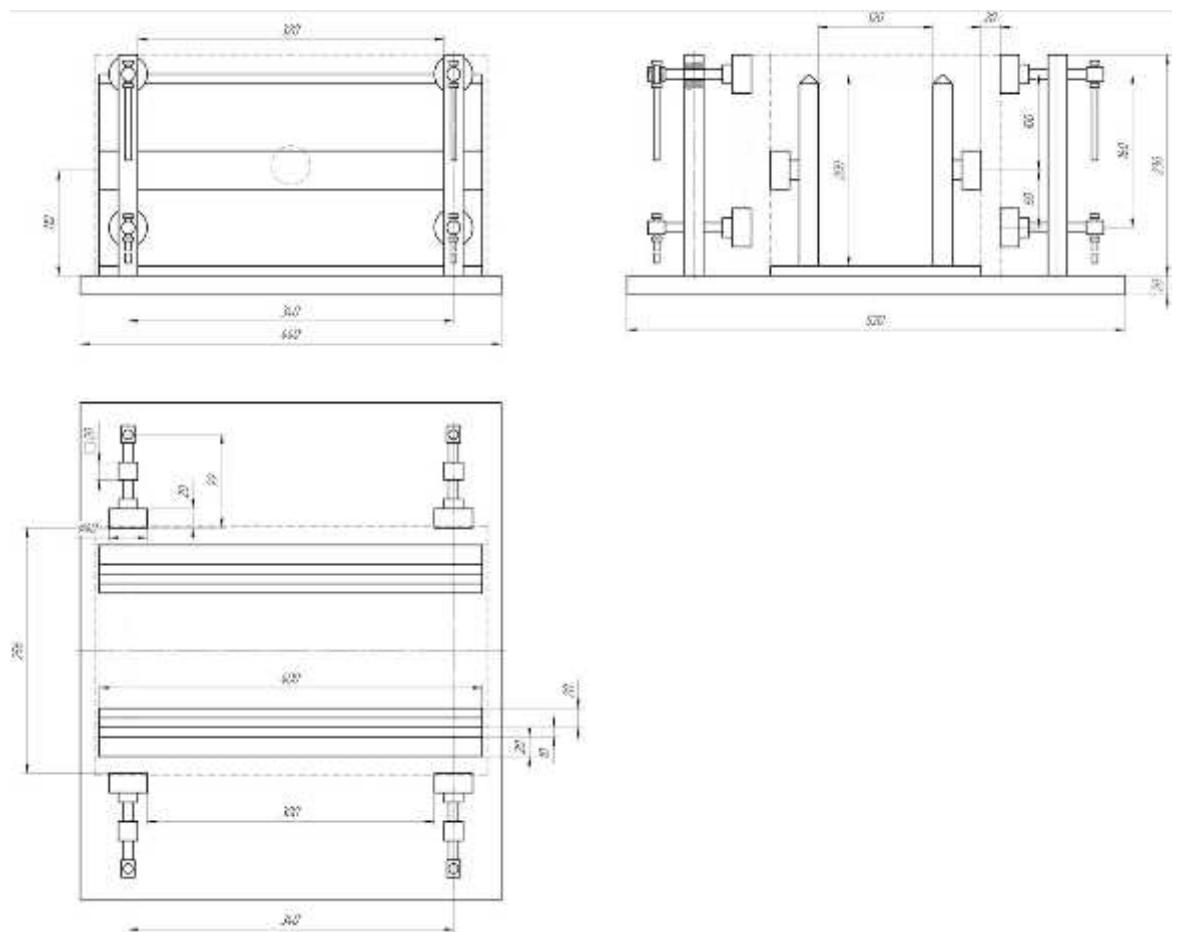


Рисунок 2.9 – Схема закрепления деталей поз. 6 и 7 в кондукторе

Для сборки и сварки при укрупнении конструкции предлагается использовать поворотный стол с установленными на него сварочными вращателями. Общий вид стола поворотного показан на рисунке 2.10.

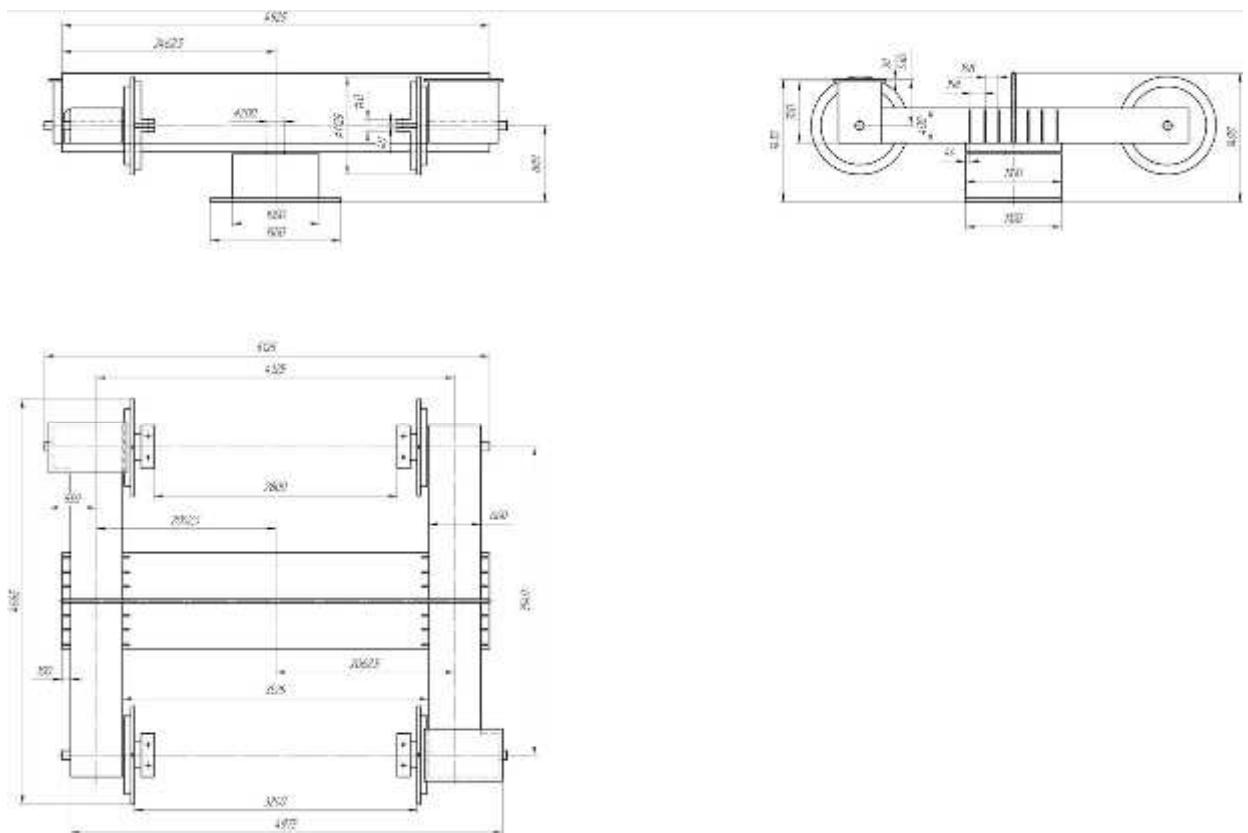


Рисунок 2.10 – Общий вид стола поворотного

Технические характеристики стола поворотного приведены в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Технические характеристики стола поворотного

Характеристика	Значение
Максимальная грузоподъемность, кг	3500
Скорость вращения, об/мин	0,2...0,5
Максимальный вращающий момент, Нм	12600
Максимальная грузоподъемность вращателей, кг	1700
Скорость вращения, об/мин	0,5...2

Выводы по разделу 2:

В конструкторском разделе рассмотрена применяемая и предлагаемая оснастка, которая применяется при изготовлении.

3 ТЕХНИЧЕСКОЕ НОРМИРОВАНИЕ

3.1 Расчет фондов рабочего времени

Производительности при изготовлении балки продольной автогрейдера ДЗ-98 определяется через определение номинального фонда рабочего времени. Эта величина зависит от следующих факторов:

- количество выходных дней;
- количество праздничных дней;
- количество предпраздничных дней.

Тогда номинальный фонд рабочего времени можно определить из условия [4, 6]

$$F_H = \frac{D_{\Gamma} t_H}{D_H}, \quad (28)$$

где $D_{\Gamma} = 365$ – количество рабочих дней в текущем году, шт;

$D_H = 7$ – количество рабочих дней недели, шт;

$t_H = 168$ – продолжительность рабочей недели, ч.

Тогда, по формуле (28) получим, что

$$F_H = \frac{365 \cdot 168}{7} = 8760 \text{ ч.}$$

При расчете номинального фонда рабочего времени также учитывается фонд времени работы оборудования, который учитывает сменность работы оборудования и потери по времени, связанные с ремонтом. Его возможно определить по следующей формуле [4, 6]

$$F_D = F_H \left(1 - \frac{P}{100} \right), \quad (29)$$

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

15.03.01.2017.103.00 ПЗ

Лист

72

где $F_H = 8760$ – номинальный годовой фонд рабочего времени, ч;

$P = 3,8$ – процент, учитывающий потери времени на ремонт оборудования, %.

Тогда, по формуле (29) получим, что действительный годовой фонд времени при работе оборудования

$$F_D = 8760 \cdot \left(1 - \frac{3,8}{100}\right) = 8427 \text{ ч.}$$

Рассматриваемое предприятие работает в круглосуточном режиме. Изготовление балок продольных осуществляется четырьмя бригадами. Фонд рабочего времени одной бригады при работе в одну смену можно определить по следующей формуле [4, 6]

$$F_{H.BP} = \frac{F_H}{n}, \quad (30)$$

где $F_H = 8760$ – номинальный годовой фонд рабочего времени, ч;

$n = 4$ – количество бригад, занятых на объекте, шт.

Тогда, по формуле (30) получим, что

$$F_{H.BP} = \frac{8760}{4} = 2190 \text{ ч.}$$

При вычете из фондов времени планируемых дневных и внутрисменных фондов потерь времени можно определить эффективный фонд времени для одной бригады при работе в одну смену. К таким потерям времени относятся:

- основной и дополнительный отпуск всех видов;
- болезни;
- выполнение государственных обязанностей;
- сокращение рабочего дня в соответствии с действующим законодательством.

При расчете эффективного фонда времени работы одного рабочего

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

15.03.01.2017.103.00 ПЗ

Лист

73

воспользуемся формулой [4, 6]:

$$F_{ДР} = F_{Н.БР.} \cdot [1 - 0,01(P_H + P_O + P_{ОТП} + P_P)], \quad (31)$$

где $F_{Н.БР.} = 2190$ – номинальный фонд рабочего времени одной бригады, ч;

$P_H = 4$ – планируемый процент невыхода на работу, %;

$P_O = 6$ – процент перерывов на отдых, %;

$P_{ОТП} = 6$ – процент невыхода на работу в связи с отпуском, %;

$P_P = 3$ – процент потерь времени, связанных с ремонтом оборудования в рабочее время, %.

Тогда, по формуле (31), эффективный фонд времени работы одного рабочего

$$F_{ДР} = 2190 \cdot [1 - 0,01 \cdot (4 + 6 + 6 + 3)] = 1774 \text{ ч.}$$

3.2 Расчет норм штучного времени

Время на операцию обработки фасок, осмотр, зачистку прикромочной зоны и исправление обнаруженных визуально дефектов составляет 10 мин.

При расчете норм времени для автоматической сварки примем серийный тип производства. Сварка при укрупнении производится стационарным сварочным роботом с напольным размещением. Сварка при общей обварке узла производится подвесным роботом. Установка и поворот изделий относительно оси при подготовке под сварку производится с участием электросварщика. Настройку автоматического оборудования производит электросварщик.

Для продолжения дальнейших расчетов по организации и нормированию требуется рассчитать подготовительно-заключительное время. Оно представляет собой сумму времени по следующим технологическим операциям [7]:

1. Получение производственного задания – 6 мин;
2. Ознакомление с работой – 6 мин;
3. Установка величины сварочного тока – 0,3 мин;

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Лист
					15.03.01.2017.103.00 ПЗ

4. Установка скорости сварки – 0,2 мин;
5. Установка скорости подачи проволоки – 0,3 мин;
6. Установка оптимального расхода газа – 0,5 мин;
7. Подготовка рабочего места в начале и конце смены – 10 мин;
8. Сдача работы – 3 мин.

Следовательно, время на сварку подготовительно-заключительное можно определить по следующей формуле [7]

$$T_{ПЗ} = \sum t_{пз}, \quad (32)$$

где $t_{пз}$ – сумма времени на технологических операциях при подготовке и завершении работ, мин.

Тогда, по формуле (32)

$$T_{ПЗ}=6+6+0,3+0,2+0,3+0,5+10+3=26,3 \text{ мин.}$$

Расчет основного времени сварки, в период которого непосредственно горит сварочная дуга при автоматической сварке, определяется по формуле [7]

$$T_O = 60 \cdot \frac{Ln}{V_{CB}}, \quad (33)$$

где L – длина сварного шва за один проход, м

n – количество проходов, шт;

V_{CB} – скорость сварки, м/ч.

Рассчитаем основное время сварки для следующих швов согласно формуле (33):

– шов №1

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

15.03.01.2017.103.00 ПЗ

Лист

$$T_O=60 \cdot \frac{0,1257 \cdot 1}{66,96} = 0,11 \text{ мин.}$$

– шов №2:

а) при первом проходе

$$T_O=60 \cdot \frac{1,44 \cdot 1}{26,3} = 3,3 \text{ мин.}$$

б) при втором проходе

$$T_O=60 \cdot \frac{1,44 \cdot 1}{27} = 3,2 \text{ мин.}$$

Таким образом, суммарное операционное время на сварку всех швов №2 составляет 6,5 мин.

– шов №3:

а) при первом проходе

$$T_O=60 \cdot \frac{0,44 \cdot 1}{26,3} = 1 \text{ мин.}$$

б) при заполняющих проходах

$$T_O=60 \cdot \frac{0,44 \cdot 4}{23,76} = 4,44 \text{ мин.}$$

в) при облицовочном проходе

$$T_O=60 \cdot \frac{0,44 \cdot 1}{32,4} = 0,82 \text{ мин.}$$

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

15.03.01.2017.103.00 ПЗ

Лист

Таким образом, суммарное операционное время на сварку всех швов №3 составляет 6,26 мин.

– шов №4

$$T_O = 60 \cdot \frac{7,64 \cdot 1}{16,56} = 27,7 \text{ мин.}$$

– шов №5

$$T_O = 60 \cdot \frac{1,71 \cdot 1}{16,56} = 6,2 \text{ мин.}$$

– шов №6:

а) при первом проходе

$$T_O = 60 \cdot \frac{0,82 \cdot 1}{26,3} = 1,87 \text{ мин.}$$

б) при заполняющих проходах

$$T_O = 60 \cdot \frac{0,82 \cdot 4}{19,8} = 9,94 \text{ мин.}$$

в) при облицовочном проходе

$$T_O = 60 \cdot \frac{0,82 \cdot 1}{18} = 2,73 \text{ мин.}$$

Таким образом, суммарное операционное время на сварку всех швов №6 составляет 14,54 мин.

– шов №7

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

15.03.01.2017.103.00 ПЗ

Лист

$$T_O = 60 \cdot \frac{0,04 \cdot 1}{16,56} = 0,2 \text{ мин.}$$

Основным параметром, определяющим производительность, является штучное время на изготовление. Произведем расчет штучного времени на операцию сварки по следующей формуле [7]

$$T_{\text{ШТ}} = (T_{\text{НШ}} + T_{\text{ВИ}})k_{1-n}, \quad (34)$$

где $T_{\text{НШ}}$ – неполное штучное время на длину шва, мин;

$T_{\text{ВИ}}$ – вспомогательное время, связанное с изделием и типом оборудования, включающее в себя затраты на следующие операции:

- на клеймовку шва;
- на снятие и установку щитов для защиты от сварочной дуги;
- на операции, связанные с изделием (закрепление, перемещение, установку, снятие и поворот изделий);

k_{1-n} – поправочные коэффициенты на измененные условия работы.

Определим неполное штучное время на длину шва $T_{\text{НШ}}$ по формуле [7]

$$T_{\text{НШ}} = (T_O + T_{\text{ВШ}})k, \quad (35)$$

где T_O – основное время сварки, мин;

$T_{\text{ВШ}}$ – вспомогательное время, связанное со сваркой шва, мин;

$k = 1,12$ – коэффициент к оперативному времени, учитывающий время на обслуживание.

Вспомогательное время, связанное со сваркой шва $T_{\text{ВШ}}$ включает в себя следующие операционные переделы [7]:

- зачистка сварного шва от окисной пленки после каждого прохода (на 1 м шва за один проход):
 - а) для шва №1 – 0,32 мин;

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

15.03.01.2017.103.00 ПЗ

Лист

78

- б) для шва №2 – 0,53 мин на каждый проход;
- в) для шва №3 – 0,58 мин на каждый проход;
- г) для шва №4 – 0,36 мин;
- д) для шва №5 – 0,32 мин;
- е) для шва №6 – 0,55 мин на каждый проход;
- ж) для шва №7 – 0,33 мин;
- осмотр и промер шва (на 1 м шва за один проход):
- а) для шва №1 – 0,22 мин;
- б) для шва №2 – 0,22 мин на каждый проход;
- в) для шва №3 – 0,2 мин на каждый проход;
- г) для шва №4 – 0,25 мин;
- д) для шва №5 – 0,22 мин;
- е) для шва №6 – 0,2 мин на каждый проход;
- ж) для шва №7 – 0,3 мин;
- подтягивание проводов, откусывание и удаление остатков проволоки, подача проволоки в головку автомата (выбирается в зависимости от диаметра сварочной проволоки) – 0,25 мин для диаметра проволоки 1,6 мм;
- обмазка раствором поверхности металла околошовной зоны (в зависимости от пространственного положения шва при сварке на 1 м сварного шва):
- а) для шва №1 – 0,35 мин;
- б) для шва №2 – 0,35 мин;
- в) для шва №3 – 0,35 мин;
- г) для шва №4 – 0,43 мин;
- д) для шва №5 – 0,35 мин;
- е) для шва №6 – 0,35 мин;
- ж) для шва №7 – 0,43 мин;
- зачистка околошовной зоны от брызг расплавленного металла ручным инструментом (время зависит от наличия обмазки, пространственного положения шва при сварке и указано на 1 м шва):
- а) для шва №1 – 0,71 мин;

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

15.03.01.2017.103.00 ПЗ

Лист

79

б) для шва №2 – 0,71 мин;

в) для шва №3 – 0,56 мин;

г) для шва №4 – 0,71 мин;

д) для шва №5 – 0,71 мин;

е) для шва №6 – 0,56 мин;

ж) для шва №7 – 0,71 мин;

– зачистка кромок перед сваркой от налета ржавчины или окисной пленки механизированным инструментом (время зависит от типа шва, наличия разделки кромок и указано на 1 м шва):

а) для шва №1 – 0,56 мин;

б) для шва №2 – 0,56 мин;

в) для шва №3 – 0,56 мин;

г) для шва №4 – 0,56 мин;

д) для шва №5 – 0,56 мин;

е) для шва №6 – 0,56 мин;

ж) для шва №7 – 0,56 мин

Таким образом, вспомогательное время, связанное со сваркой шва Т_{вш}:

– для шва №1 при общей длине 0,1257 м

$$T_{вш} = (0,32 + 0,22 + 0,35 + 0,71 + 0,56) \cdot 0,1257 + 0,25 = 0,52 \text{ мин.}$$

– для шва №2 при общей длине 1,44 м

$$T_{вш} = ((0,53 + 0,22) \cdot 2 + 0,35 + 0,71 + 0,56) \cdot 1,44 + 0,25 = 4,7 \text{ мин.}$$

– для шва №3 при общей длине 0,44 м

$$T_{вш} = ((0,58 + 0,2) \cdot 6 + 0,35 + 0,56 + 0,56) \cdot 0,44 + 0,25 = 3 \text{ мин.}$$

– для шва №4 при общей длине 7,64 м

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Лист
					15.03.01.2017.103.00 ПЗ 80

$$T_{ВШ} = (0,36+0,25+0,43+0,71+0,56) \cdot 7,64 + 0,25 = 17,9 \text{ мин.}$$

– для шва №5 при общей длине 1,71 м

$$T_{ВШ} = (0,32+0,22+0,35+0,71+0,56) \cdot 1,71 + 0,25 = 3,9 \text{ мин.}$$

– для шва №6 при общей длине 0,82 м

$$T_{ВШ} = ((0,55+0,2) \cdot 6 + 0,35 + 0,56 + 0,56) \cdot 0,82 + 0,25 = 5,2 \text{ мин.}$$

– для шва №7 при общей длине 0,04 м

$$T_{ВШ} = (0,33+0,3+0,43+0,71+0,56) \cdot 0,04 + 0,25 = 0,4 \text{ мин.}$$

Тогда, неполное штучное время $T_{шт}$ определяется по формуле (35) при сварке:

– шва №1

$$T_{НШ} = (0,11+0,52) \cdot 1,12 = 0,71 \text{ мин.}$$

– для шва №2

$$T_{НШ} = (6,5+4,7) \cdot 1,12 = 12,54 \text{ мин.}$$

– для шва №3

$$T_{НШ} = (6,26+3) \cdot 1,12 = 10,4 \text{ мин.}$$

– для шва №4

$$T_{НШ} = (27,7+17,9) \cdot 1,12 = 51,1 \text{ мин.}$$

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Лист
					15.03.01.2017.103.00 ПЗ 81

– для шва №5

$$T_{\text{НШ}} = (6,2 + 3,9) \cdot 1,12 = 11,3 \text{ мин.}$$

– для шва №6

$$T_{\text{НШ}} = (14,54 + 5,2) \cdot 1,12 = 22,11 \text{ мин.}$$

– для шва №7

$$T_{\text{НШ}} = (0,2 + 0,4) \cdot 1,12 = 0,67 \text{ мин.}$$

Вспомогательное время, связанное с изделием и типом оборудования $T_{\text{ви}}$, включает в себя затраты на следующие операции [7]:

- на клеймовку шва – 0,21 мин на каждый шов;
- на снятие и установку щитов для защиты от сварочной дуги – 1,19 мин;
- на операции, связанные с изделием (закрепление, перемещение, установку, снятие и поворот изделий) – 25 мин. При этом указанное время суммируется с общим штучным временем на изготовление изделия в целом.

Примем, что значения поправочных коэффициентов на измененные условия работы составляют:

- коэффициент, учитывающий условия проведения работ и вид сварки – 1;
- коэффициент, учитывающий положение шва в пространстве – 1,5;
- коэффициент, учитывающий вид сварки, шва и его длину – 1,32.

Следовательно, по формуле (34) получим, что:

– при сварке шва №1

$$T_{\text{ШТ}} = (0,71 + 1,4) \cdot 1 \cdot 1,5 \cdot 1,32 = 4,2 \text{ мин.}$$

– при сварке шва №2

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Лист
					15.03.01.2017.103.00 ПЗ

$$T_{\text{ШТ}} = (12,54 + 1,4) \cdot 1 \cdot 1,5 \cdot 1,32 = 27,6 \text{ мин.}$$

– при сварке шва №3

$$T_{\text{ШТ}} = (10,4 + 1,4) \cdot 1 \cdot 1,5 \cdot 1,32 = 23,4 \text{ мин.}$$

– при сварке шва №4

$$T_{\text{ШТ}} = (51,1 + 1,4) \cdot 1 \cdot 1,5 \cdot 1,32 = 103,95 \text{ мин.}$$

– при сварке шва №5

$$T_{\text{ШТ}} = (11,3 + 1,4) \cdot 1 \cdot 1,5 \cdot 1,32 = 25,2 \text{ мин.}$$

– при сварке шва №6

$$T_{\text{ШТ}} = (22,11 + 1,4) \cdot 1 \cdot 1,5 \cdot 1,32 = 46,6 \text{ мин.}$$

– при сварке шва №7

$$T_{\text{ШТ}} = (0,67 + 1,4) \cdot 1 \cdot 1,5 \cdot 1,32 = 4,1 \text{ мин.}$$

Суммарное штучное время на изготовление одного изделия в разрезе операций сборки и сварки составляет

$$T_{\text{ШТ}}^I = (4,2 + 27,6 + 23,4 + 103,95 + 25,2 + 46,6 + 4,1) + 25 = 260,1 \text{ мин.}$$

Рассчитаем штучное время на операции контроля качества по следующей формуле:

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

15.03.01.2017.103.00 ПЗ

Лист

83

$$T_{\text{ШТ}}^{\text{Кон}} = (T_O + t_{\text{всп}})k, \quad (36)$$

где T_O – время для проведения контроля, мин;

$t_{\text{всп}}$ – время, затрачиваемое на подготовку оборудования и детали, мин;

$k=1,19$ – коэффициент, учитывающий затраты времени на обслуживание рабочего места, на отдых и естественные надобности, ед.

Время для проведения контроля определим по следующей формуле

$$T_O = \frac{L}{V_K}, \quad (37)$$

где $L_{\text{Ш}}$ – длина контролируемого сварного шва, м;

V_K – скорость проведения контроля, м/мин. Примем, что при визуальном контроле скорость составляет 0,8 м/мин, при ультразвуковом контроле скорость составляет 0,4 м/мин.

Тогда, по формуле (37) получим, что основное время для операции контроля при проверке:

– шва №1

$$T_O = \frac{0,1257}{0,8} = 0,16 \text{ мин.}$$

– шва №2

$$T_O = \frac{1,44 \cdot 2}{0,8} + \frac{1,028}{0,4} = 6,2 \text{ мин.}$$

– шва №3

$$T_O = \frac{0,44 \cdot 6}{0,8} + \frac{0,44}{0,4} = 4,4 \text{ мин.}$$

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

15.03.01.2017.103.00 ПЗ

Лист

– шва №4

$$T_O = \frac{7,64}{0,8} = 9,6 \text{ мин.}$$

– шва №5

$$T_O = \frac{1,71}{0,8} + \frac{0,123}{0,4} = 2,5 \text{ мин.}$$

– шва №6

$$T_O = \frac{0,82 \cdot 6}{0,8} + \frac{0,82}{0,4} = 8,2 \text{ мин.}$$

– шва №7

$$T_O = \frac{0,04}{0,8} = 0,05 \text{ мин.}$$

Таким образом, общее операционное время на контроль качества составляет

$$T_O^{\text{общ}} = 0,16 + 6,2 + 4,4 + 9,6 + 2,5 + 8,2 + 0,05 = 31,1 \text{ мин.}$$

Тогда, по формуле (36) получим, что

$$T_{\text{ШТ}}^{\text{кон}} = (31,1 + 2) \cdot 1,19 = 39,4 \text{ мин.}$$

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

15.03.01.2017.103.00 ПЗ

Лист

3.3 Организация производства

Требуемое количество оборудования, которое применяется при изготовлении балки продольной автогрейдера ДЗ-98, рассчитывается в зависимости от трудозатрат и действительного фонда времени работы оборудования.

Загрузка оборудования рассчитывается по формуле [7]

$$C_p = \frac{T_{шт}N}{60F_D K_{вн}n}, \quad (38)$$

где $T_{шт}$ – время штучное при проведении операции для одного изделия, мин;

$N = 300$ – годовая программа выпуска балок продольных, шт;

$F_D = 8427$ – действительный фонд времени оборудования при двухсменном графике в сутки, ч;

$K_{вн} = 1,1$ – коэффициент выполнения норм выработки;

$n = 2$ – количество смен.

Полученное значение C_p должно быть округлено до ближайшего целого числа $C_{пр}$, являющимся принятым количеством оборудования.

Коэффициент загрузки оборудования определяется по формуле [7]

$$K_3 = \frac{C_p}{C_{пр}}, \quad (39)$$

где C_p – расчетное количество оборудования, шт;

$C_{пр}$ – принятое количество оборудования, шт.

Расчет количества применяемого оборудования показан в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Количество применяемого оборудования

Наименование операции	$T_{шт}$, мин	C_p	$C_{пр}$	K_3
Автоматическая сварка в среде защитных газов	260,1	0,07	1	0,07

Продолжение таблицы 3.1.

Контроль качества	39,4	0,011	1	0,011
-------------------	------	-------	---	-------

По результатам расчетов можно сделать вывод, что низкий коэффициент загрузки оборудования компенсируется применением этого оборудования на других операциях.

Численность основных производственных рабочих меняется в зависимости от трудоемкости работ, норм выработки или нормам обслуживания оборудования.

Количество рабочих рассчитывается по формуле [7]:

$$R_p = \frac{T_{шт}N}{60F_{дР}K_B S}, \quad (40)$$

где $T_{шт}$ – штучное время проведения операции для одного изделия, мин;

$N = 300$ – годовая программа изготовления систем запирания, шт;

$F_{дР} = 1774$ – действительный годовой фонд времени работы при двухсменном графике в сутки, час/год;

$S = 2$ – количество смен работы оборудования, шт;

$K_B = 1,1$ – коэффициент выполнения норм выработки, ед.

Полученное значение R_p должно быть округлено до ближайшего целого числа $R_{пр}$, являющимся принятым количеством оборудования.

Коэффициент занятости рабочего [7]:

$$K_3 = \frac{R_p}{R_{пр}}, \quad (41)$$

где R_p – расчетное количество рабочих, чел;

$R_{пр}$ – принятое количество рабочих, чел.

Расчеты численности основных производственных рабочих и их занятости сведены в таблицу 3.2.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Лист	87
					15.03.01.2017.103.00 ПЗ	

Таблица 3.2 – Численность рабочих

Наименование операции	Профессия / специальность	T _{ШТ} , мин	R _P	R _{ПР}	K ₃
Автоматическая сварка в среде защитных газов	Сварщик	260,1	0,33	1	0,33
Контроль качества	Контролер	39,4	0,05	1	0,05

3.4 Расчет расхода материалов и энергоносителей

Расчет норм расхода материалов и энергоносителей зависит от количества наплавленного на изделие металла. Вес металла, который наплавлен на изделие, определяется по формуле [3]:

$$Q_3 = Q_H k, \quad (42)$$

где $k = 1,2$ – безразмерный коэффициент, который учитывает потери на угар и разбрзгивание при автоматической сварке в среде защитных газов, ед;

Q_H – вес металла, который наплавлен на одно изделие, кг.

Вес наплавленного металла определим по формуле [3]

$$Q_H = F_H L \gamma, \quad (43)$$

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

L – длина рассматриваемого шва, см;

$\gamma = 7,85$ – плотность наплавленного металла, г/см^3 .

Тогда, по формуле (43):

– при сварке шва №1

$$Q_H = 0,125 \cdot 12,57 \cdot 7,85 = 12,3 \text{ г.}$$

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Лист
					15.03.01.2017.103.00 ПЗ

– при сварке шва №2

$$Q_H = 0,72 \cdot 144 \cdot 7,85 = 814 \text{ г.}$$

– при сварке шва №3

$$Q_H = 3,4 \cdot 44 \cdot 7,85 = 1174 \text{ г.}$$

– при сварке шва №4

$$Q_H = 0,5 \cdot 7,64 \cdot 7,85 = 3000 \text{ г.}$$

– при сварке шва №5

$$Q_H = 0,5 \cdot 1,71 \cdot 7,85 = 671,2 \text{ г.}$$

– при сварке шва №6

$$Q_H = 3,5 \cdot 82 \cdot 7,85 = 2253 \text{ г.}$$

– при сварке шва №7

$$Q_H = 0,5 \cdot 4 \cdot 7,85 = 15,7 \text{ г.}$$

Суммарная масса наплавленного металла составляет

$$Q_{H\text{ ОБЩ}} = 15,7 + 12,3 + 814 + 1174 + 3000 + 671,2 + 2253 = 7940,2 \text{ г.}$$

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

15.03.01.2017.103.00 ПЗ

Лист

89

Следовательно, согласно формуле (42), вес наплавленного металла на одно изделие составляет

$$Q_{\Theta} = 7940,2 \cdot 1,2 = 9528 \text{ г.}$$

Расход электродной проволоки на годовую программу определяется по формуле [3]

$$Q_{\Theta \text{ общ}} = Q_{\Theta} N, \quad (44)$$

где Q_{Θ} – вес наплавленного металла, г;

$N = 300$ – количество систем запирания, шт.

Тогда, по формуле (44) получим, что:

$$Q_{\Theta \text{ общ}} = 9,528 \cdot 300 = 2858,4 \text{ кг.}$$

Расход газа на одно изделие определяется по формуле [3]:

$$Q_{\text{ГАЗ}} = Q_{\Theta} k, \quad (45)$$

где $k = 1,2$ – коэффициент расхода газа, ед.

Тогда, по формуле (45) получим, что

$$Q_{\text{ГАЗ}} = 9,528 \cdot 1,2 = 11,43 \text{ кг.}$$

Расход защитного газа, потраченного на сварку, на годовую программу выпуска изделий составляет

$$Q_{\text{ГАЗ общ}} = 11,43 \cdot 300 = 3429 \text{ кг.}$$

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

15.03.01.2017.103.00 ПЗ

Лист

90

Расход энергоносителей для обеспечения работы сварочных машин и аппаратов в общем виде может быть определен по техническим характеристикам оборудования и потерям энергии. Воспользуемся методикой для дуговых способов сварки, основанной на учете массы наплавленного металла и удельных расходах энергии. Расход энергоносителей при сварке на годовую программу находится из выражения [3]

$$Q_{ЭЛ} = Q_{Э\text{ общ}} g_{Э}, \quad (46)$$

где $g_{Э} = 2,5$ – удельный расход электроэнергии, кВт/кг.

Тогда, по формуле (46) получим, что

$$Q_{ЭЛ} = 2858,4 \cdot 2,5 = 7146 \text{ кВт.}$$

Выводы по разделу 3:

В разделе 3 произведены расчеты основных фондов времени. Произведен расчет штучного времени при изготовлении изделия в разрезе на каждый шов и балку в общем. Произведен расчет затрат сварочных материалов, а также рассчитано необходимое количество сварочного оборудования и оборудования для контроля. Также рассчитана необходимая численность персонала.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

15.03.01.2017.103.00 ПЗ

Лист

91

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В выпускной квалификационной работе рассматривается технология изготовления балки продольной автогрейдера ДЗ-98. В технологическом разделе проанализирована сама конструкция, описан основной материал, применяемый при изготовлении (стали 15ХСНД и Ст3). Рассчитана их свариваемость и сделан вывод о необходимости проведения предварительного подогрева. Описанная технология изготовления, которая принята на предприятии имеет недостатки, указанные в разделе 1. Для их устранения была предложена новая технология, позволяющая максимально автоматизировать процесс изготовления. Для нее были рассчитаны режимы сварки, выбраны сварочные материалы и сварочное оборудование. В существующем варианте сварка производилась механизированным способом. Предлагаемая технология позволяет при сварке применить роботизированный комплекс, что позволяет повысить производительность при изготовлении, снизить влияние человеческого фактора и повысить качество сварных соединений.

В конструкторском разделе описана применяемая и предлагаемая сварочная оснастка.

В разделе технического нормирования произведены расчеты основных фондов времени. Произведен расчет штучного времени при изготовлении изделия в разрезе на каждый шов и балку в общем. Произведен расчет затрат сварочных материалов, а также рассчитано необходимое количество сварочного оборудования и оборудования для контроля. Также рассчитана необходимая численность персонала.

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

15.03.01.2017.103.00 ПЗ

Лист

92

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. 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.
2. Зайцев, Н. Л. Теоретические основы сварки плавлением: учебное пособие/ Н.Л. Зайцев. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2014. – 78 с.
3. Шахматов, М. В. Технология изготовления и расчет сварных оболочек/ М. В. Шахматов, В. В. Ерофеев, В. В. Коваленко – Уфа: Полиграфкомбинат, 1999. – 272 с.
4. Николаев, Г.А. Сварные конструкции. Расчет и проектирование: Учеб. для вузов/ Г. А. Николаев, В. А. Винокуров/Под ред. Г. А. Николаева – М.: Высш.шк., 1990. – 446 с.
5. Куркин, С. А. Сварные конструкции. Технология изготовления, механизация, автоматизация и контроль качества в сварочном производстве: Учебник для студентов вузов/ С. А. Куркин, Г. А. Николаев – М.: Высш. шк., 1991. – 398 с., ил.
6. Технология электрической сварки металлов и сплавов плавлением/ Под. ред. Б. Е. Патона. – М.: «Машиностроение», 1974. – 768 с., ил.
7. Общемашиностроительные укрупненные нормативы времени на дуговую сварку в среде защитных газов. Изд. Экономика. – Москва, 1989. – 150 с., ил.
8. 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.
9. <http://uraltermosvar.ru>
10. <http://www.npfets.ru>
11. <http://t-ndt.ru>
12. ГОСТ 19281-2014. Прокат повышенной прочности. Общие технические условия, 2015. – 47 с.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Лист
					15.03.01.2017.103.00 ПЗ 93