

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

Факультет «Заочный»

Кафедра «Оборудование и технология сварочного производства»

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

Заведующий кафедрой

_____ М.А. Иванов

« ____ » _____ 2019 г.

Тема: Совершенствование технологии сборки и сварки соединительных узлов магистральных газопроводов в условиях АО «Трубодеталь».

**ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ
ЮУрГУ-15.03.01.2019.183.00 ПЗ ВКР**

Руководитель работы

Должность

_____ А.М. Осипов

Подпись

« ____ » _____ 2019 г.

Автор работы

студент группы ПЗ-540

_____ К.А. Потёмкин

Подпись

« ____ » _____ 2019 г.

Нормоконтролёр

старший преподаватель

_____ Ю.В. Безганс

Подпись

« ____ » _____ 2019 г.

Челябинск, 2019

ОГЛАВЛЕНИЕ

| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | Лист |
|------|------|----------|---------|------|------|
| | | | | | 5 |

15.03.01.2019.183.00 ПЗ

| | |
|--|-----|
| ВВЕДЕНИЕ..... | 7 |
| 1 КОНСТРУКТОРСКИЙ РАЗДЕЛ..... | 8 |
| 1.1 Анализ конструкции изделия..... | 8 |
| 1.2 Материалы, применяемые при изготовлении узла | 14 |
| 1.3 Условия эксплуатации узла газораспределительного | 19 |
| 2 ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ | 20 |
| 2.1 Базовый вариант технологии изготовления | 20 |
| 2.2 Проектируемый вариант технологического процесса..... | 39 |
| 2.2.1 Выбор способа сварки | 39 |
| 2.2.2 Описание предлагаемой технологии | 41 |
| 2.2.3 Выбор сварочных материалов..... | 45 |
| 2.3 Расчет режимов сварки | 47 |
| 2.3.1 Расчет режимов сварки шва №1 | 47 |
| 2.3.2 Расчет режимов сварки шва №2 | 63 |
| 2.3.3 Расчет режимов сварки шва №3 | 68 |
| 2.3.4 Расчет режимов сварки шва №4 | 78 |
| 2.3.5 Расчет режимов сварки шва №5 | 89 |
| 2.4 Выбор сварочного оборудования | 95 |
| 2.5 Выбор сборочной оснастки..... | 97 |
| 3 КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА | 99 |
| 3.1 Способы и средства контроля качества..... | 99 |
| 3.2 Допустимые и недопустимые дефекты | 101 |
| 3.3 Оборудование для контроля качества | 109 |
| 3.4 Методика контроля..... | 113 |
| 3.4.1 Визуальный и измерительный контроль..... | 113 |
| 3.4.2 Ультразвуковой контроль | 114 |
| 3.4.3 Радиографический контроль..... | 115 |
| 3.4.4 Капиллярный контроль | 117 |

| | |
|---|-----|
| 3.4.5 Пневматические испытания | 118 |
| 4 БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ | 119 |
| 4.1 Анализ вредных и опасных производственных факторов | 119 |
| 4.2 Техника безопасности при производстве сварочных работ | 120 |
| 4.2.1 Обеспечение санитарно-гигиенических условий труда..... | 120 |
| 4.2.2 Обеспечение электрической безопасности..... | 121 |
| 4.2.3 Обеспечение пожарной безопасности | 123 |
| 4.3 Безопасность при работе с подъемными устройствами | 124 |
| 4.4 Планировка оборудования и рабочих мест участка | 124 |
| ЗАКЛЮЧЕНИЕ | 127 |
| БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК..... | 128 |
| ПРИЛОЖЕНИЕ | 129 |

ВВЕДЕНИЕ

Современное развитие технологических обвязок компрессорных и газоперекачивающих станций газопромысловых сооружений требует усложнения конструкции для учета многих факторов работы. Так, при проведении технического перевооружения на газоперекачивающей станции требуется большее количество переходных и распределительных узлов для ответвлений. При этом узлы изготавливаются из деталей и вставок в различном сочетании.

Производство этих деталей на месте проведения работ является достаточно сложной задачей из-за повышенных требований к изготовлению, большой трудоемкости, низкой производительности. Повысить объем выпуска узлов ответвлений возможно лишь при их изготовлении в цеховых условиях.

В выпускной квалификационной работе рассматривается технология изготовления узла газораспределительного. Он предназначен для изменения направления движения сжиженного газа или для изменения диаметра присоединяемого трубопровода, заглушки свободных концов труб, а также для присоединения труб с другими трубами.

При изготовлении узла газораспределительного при существующем варианте технологии изготовления применяется ручная дуговая сварка, а сборка производится на наружном центраторе с применением прихваток.

Целью работы является усовершенствование технологии изготовления узла путем изменения технологии сварки с ручной дуговой на автоматическую двумя орбитальными головками в среде защитных газов и механизированную в среде защитных газов. При сборке предлагается заменить наружный центратор на внутренний для отказа от сварки прихваток.

Применение предлагаемого варианта технологии изготовления позволит увеличить качество и производительность.

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-------------------------|------|
| | | | | | 15.03.01.2019.183.00 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 8 |

1 КОНСТРУКТОРСКИЙ РАЗДЕЛ

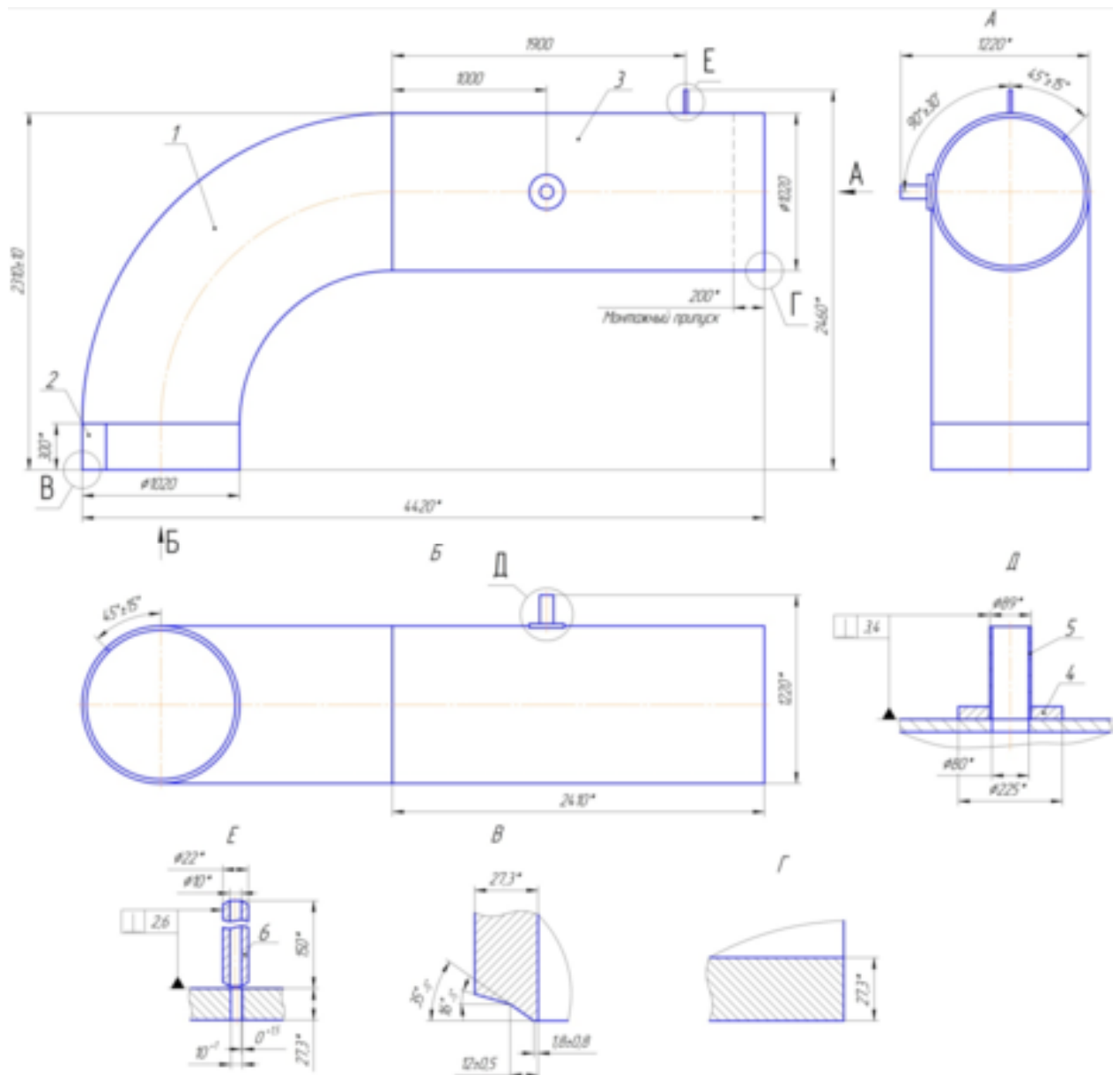
1.1 Анализ конструкции изделия

В выпускной квалификационной работе рассматривается технология проведения сборочных и сварочных работ при изготовлении узла газораспределительного, который является составной частью линейного магистрального газопровода.

Узел применяется для транспортировки сжиженного природного газа по магистральным газопроводам под давлением не более 15 МПа в том случае, когда на линейной части газопровода производится изменение направления транспортировки среды. Давление транспортируемой среды в газопроводах является довольно большим, следовательно, к качеству материалов и сварных соединений предъявляются высокие требования.

Общий вид узла газораспределительного приведен на рисунке 1.1.

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-------------------------|------|
| | | | | | 15.03.01.2019.183.00 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 9 |



- 1 – Отвод; 2 – Кольцо переходное; 3 – Катушка; 4 – Накладка; 5 – Патрубок;
6 – Патрубок

Рисунок 1.1 – Эскиз узла газораспределительного

Узел газораспределительный является цельносварной металлической конструкцией. Сборочные единицы, входящие в состав узла газораспределительного показаны на рисунках 1.2...1.7.

Эскиз отвода показан на рисунке 1.2.

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

15.03.01.2019.183.00 ПЗ

Лист

10

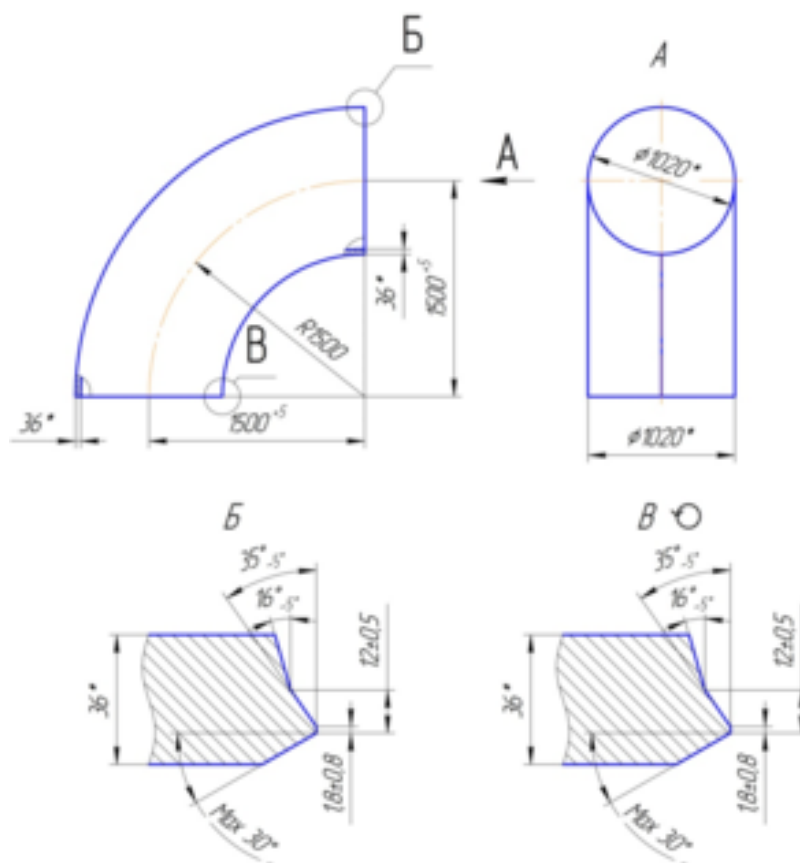


Рисунок 1.2 – Эскиз отвода

Отвод ОГ-1020(36)-90° изготавливается из заготовки из трубы 1020×36 методом горячего гнутья.

Эскиз кольца переходного показан на рисунке 1.3.

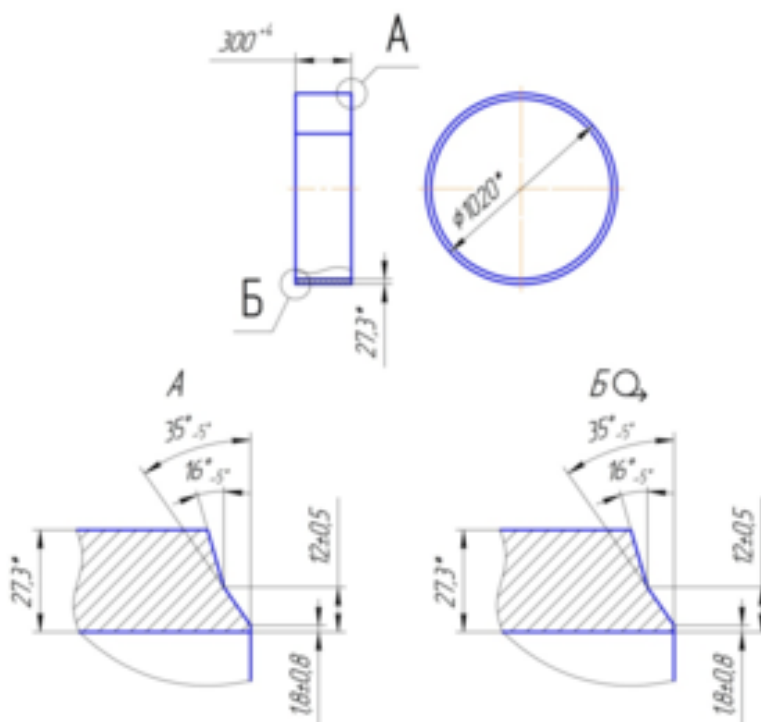


Рисунок 1.3 – Эскиз кольца переходного

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

15.03.01.2019.183.00 ПЗ

Лист

11

Кольцо переходное изготавливается из заготовки трубы 1020×27,3 методом токарной обработки.

Эскиз катушки показан на рисунке 1.4.

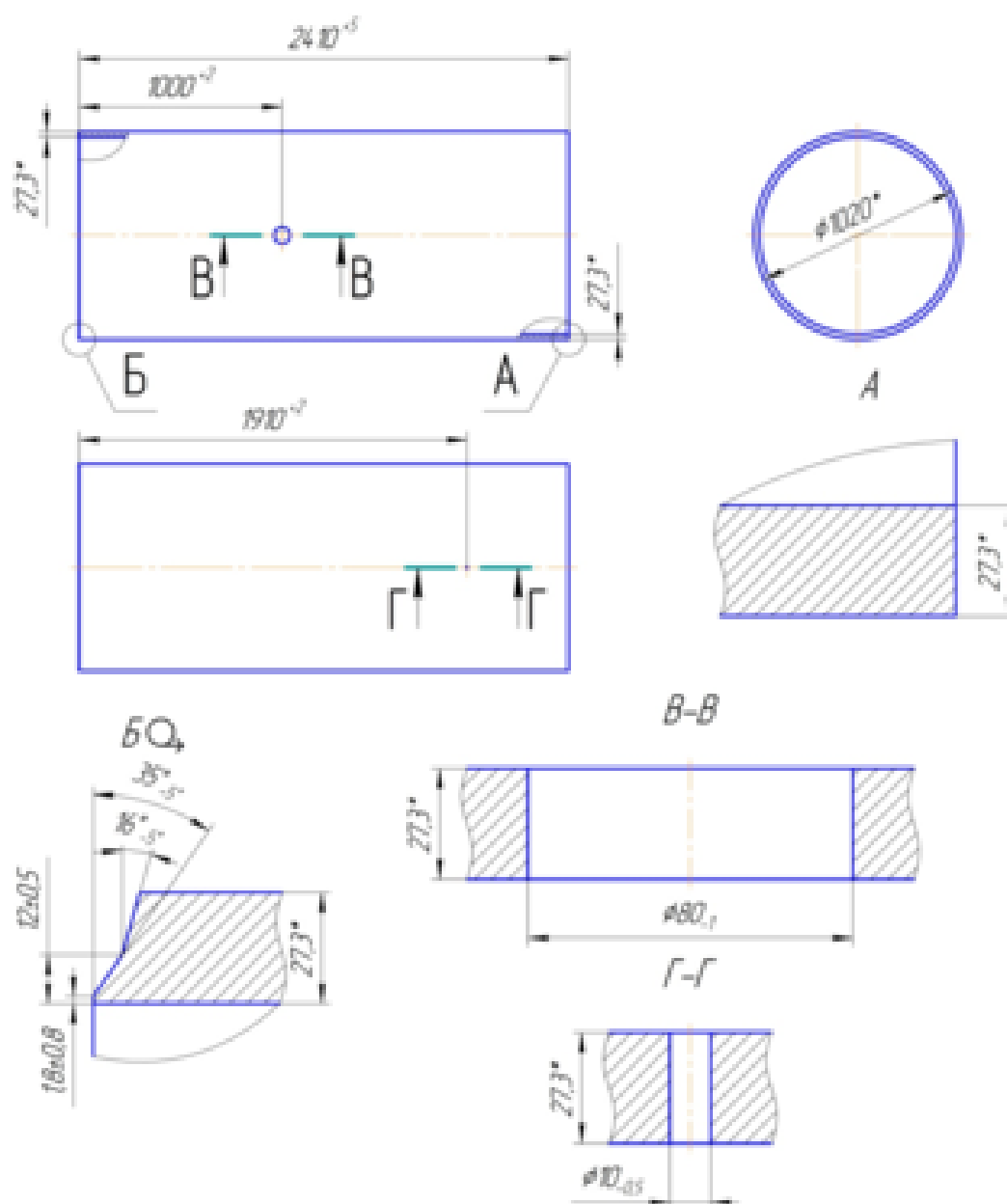


Рисунок 1.4 – Эскиз катушки

Катушка изготавливается из заготовки трубы 1020×27,3 методом токарной обработки. Отверстие в катушке диаметром 80,1 мм вырезано плазменным методом резки и обработано сверлением. Отверстие диаметром 10,05 мм изготовлено сверлением.

Эскиз накладки показан на рисунке 1.5.

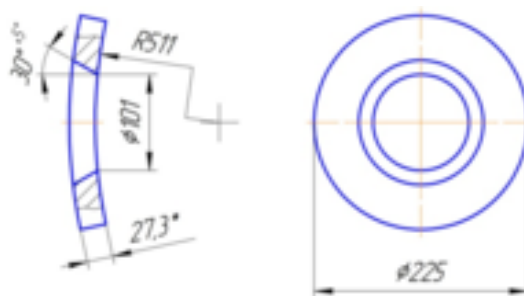


Рисунок 1.5 – Эскиз накладки

Накладка изготавливается методом плазменной резки листового проката и давлением.

Эскиз патрубка показан на рисунке 1.6.

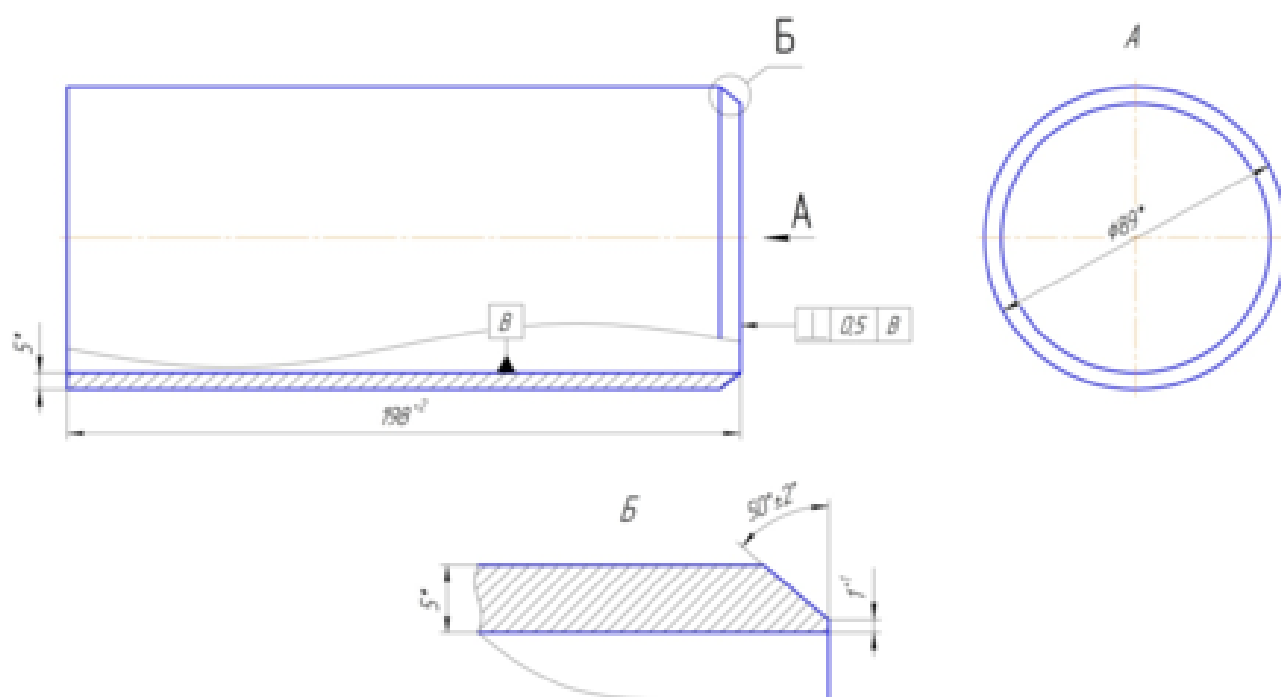


Рисунок 1.6 – Эскиз патрубка

Патрубок изготавливается из трубного проката 89×5 методом токарной обработки.

Эскиз патрубка показан на рисунке 1.7.

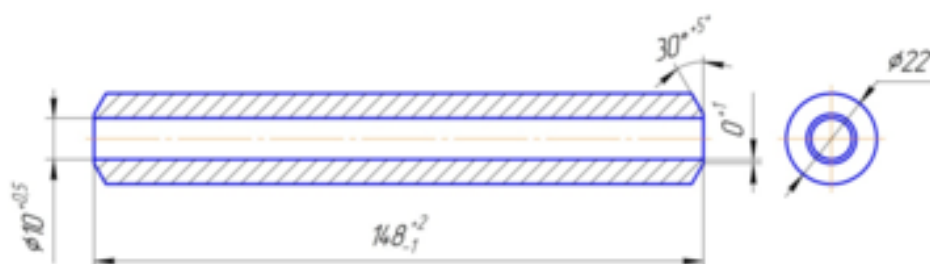


Рисунок 1.7 – Эскиз патрубка

Патрубок изготавливается из трубного проката 22×5,5, методом токарной

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-------------------------|------|
| | | | | | 15.03.01.2019.183.00 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 13 |

обработки.

Схема расположения и вид сварных швов показаны на рисунке 1.8.

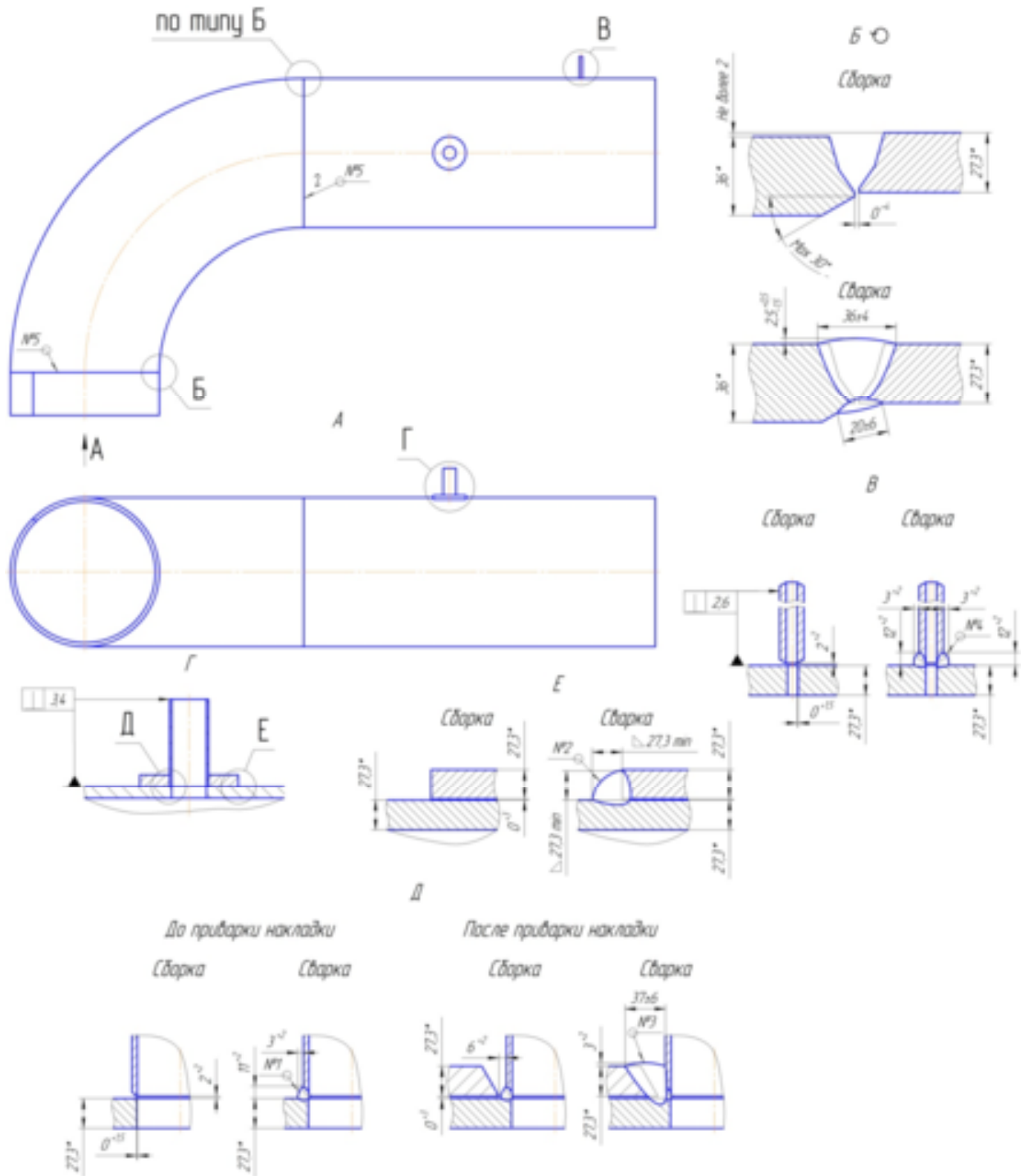


Рисунок 1.8 – Схема расположения и вид сварных швов

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

15.03.01.2019.183.00 ПЗ

Лист

14

1.2 Материалы, применяемые при изготовлении узла

При изготовлении узла газораспределительного для производства его составляющих элементов применяются следующие материалы:

1. Для изготовления отвода, кольца переходного, катушки, накладки применяется конструкционная легированная сталь марки 10Г2ФБЮ, поставляемая в виде листового проката согласно требованиям [1]. Данная сталь предназначена для изготовления электросварных прямошовных труб класса прочности К60 для магистральных газопроводов, нефтепроводов и нефтепродуктопроводов.

Химический состав стали 10Г2ФБЮ представлен в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Химический состав стали 10Г2ФБЮ [1]

В процентах

| С | Si | Mn | V | Al | Nb | Ti | Cu | Cr | Ni | S | P |
|-----------------|-----------------|---------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|----------|-----|-----|-------|------|
| | | | | | | | Не более | | | | |
| 0,08... 0,13 | 0,15... 0,35 | 1,6... 1,8 | 0,05... 0,12 | 0,02... 0,05 | 0,02... 0,06 | 0,01... 0,035 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,035 | 0,03 |

Механические свойства стали 10Г2ФБЮ представлены в таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Механические свойства стали 10Г2ФБЮ [1]

| σ_B , МПа | σ_T , МПа | δ_5 , % |
|------------------|------------------|----------------|
| Не менее | | |
| 590 | 460 | 19 |

В настоящее время, оценку склонности стали к образованию холодных трещин при приемке металлопроката производят по нескольким методикам. Наиболее широко применяется методика оценки свариваемости через расчет углеродного эквивалента. Расчет углеродного эквивалента для сталей, предназначенных для изготовления труб производится по формуле (1.1) из [1]:

$$C_{\text{Э}} = C + \frac{\text{Mn}}{6} + \frac{\text{Cr} + \text{Mo} + \text{V}}{5} + \frac{\text{Cu} + \text{Ni}}{15}, \quad (1.1)$$

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

При расчете в формулу всегда подставляются фактические значения содержания элементов, указанные в сертификатах качества. При отсутствии таких значений в формулу (1.1) подставляются максимальные значения содержания элементов. Рассчитаем значение $C_{\text{Э}}$ для стали 10Г2ФБЮ:

$$C_{\text{Э}} = 0,13 + \frac{1,8}{6} + \frac{0,3 + 0,12}{5} + \frac{0,3 + 0,3}{15} = 0,55 \text{ \%}.$$

Для конструкционных легированных сталей, предназначенных для изготовления труб предельное значение эквивалента углерода $C_{\text{Э}}$, при котором не применяется предварительный подогрев, составляет 0,43%. Полученное значение эквивалента углерода для стали 10Г2ФБЮ превышает требуемое, поэтому перед сваркой требуется проводить предварительный подогрев.

Температура предварительного подогрева T_0 рассчитывается по формуле (1.2) из [4]:

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

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

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

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

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

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

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

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-------------------------|------|
| | | | | | 15.03.01.2019.183.00 ПЗ | Лист |
| | | | | | | 16 |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | |

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

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

Подставим принятые значения содержания химических элементов в формулу (1.4) и получим, что химический эквивалент углерода $|C|_X$

$$|C|_X = 0,13 + \frac{1,8+0,3}{9} + \frac{0,3}{18} = 0,38 \text{ \%}.$$

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

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

где $S = 36$ – максимальная толщина свариваемых деталей, мм.

Подставим принятые значения содержания химических элементов и толщины в формулу (1.5) и получим, что размерный эквивалент углерода $|C|_P$

$$|C|_P = 0,005 \cdot 36 \cdot 0,38 = 0,07 \text{ \%}.$$

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

$$|C|_Э = 0,38 + 0,07 = 0,45 \text{ \%}.$$

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

| | | | | | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-------------------------|--|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | | Лист |
| | | | | | | | | | | 17 |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | 15.03.01.2019.183.00 ПЗ | | | | | |

$$T_0 = 350 \cdot (0,45 - 0,25)^{0,5} = 156,5 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Полученное значение температуры является наиболее оптимальным для того, чтобы избежать появления холодных трещин. В то же время, данное значение температуры получено расчетом по максимально возможному содержанию химических элементов. Фактически, при сварке деталей из стали 10ГФБЮ предварительный подогрев не применяется.

2. Для изготовления патрубков применяется сталь марки 40, поставляемая в виде трубного проката согласно [2]. Сталь 40 применяется при изготовлении следующих деталей:

- трубы;
- поковки;
- крепежные детали;
- валы;
- диски;
- роторы;
- фланцы;
- зубчатые колеса;
- втулки для длительной и весьма длительной службы при температурах до 425 °С.

Химический состав стали 40 представлен в таблице 1.3.

Таблица 1.3 – Химический состав стали 40 [2]

В процентах

| C | Si | Mn | Cr | Cu | Ni | S | P |
|-------------|-------------|-----------|----------|-----|------|-------|-------|
| | | | Не более | | | | |
| 0,37...0,45 | 0,17...0,37 | 0,5...0,8 | 0,25 | 0,3 | 0,25 | 0,035 | 0,035 |

Механические свойства стали 40 представлены в таблице 1.4.

Таблица 1.4 – Механические свойства стали 40 [2]

| σ_B , МПа | σ_T , МПа | δ_5 , % |
|------------------|------------------|----------------|
| Не менее | | |
| 570 | 335 | 19 |

Рассчитаем химический эквивалент углерода $|C|_X$ по формуле (1.4)

$$|C|_X = 0,45 + \frac{0,8 + 0,25}{9} + \frac{0,25}{18} = 0,58 \%$$

Рассчитаем размерный эквивалент углерода $|C|_P$ по формуле (1.5)

$$|C|_P = 0,005 \cdot 5,5 \cdot 0,58 = 0,016 \%$$

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

$$|C|_D = 0,58 + 0,016 = 0,596 \%$$

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

$$T_0 = 350 \cdot (0,596 - 0,25)^{0,5} = 205,9 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Полученное значение температуры является наиболее оптимальным для того, чтобы избежать появления холодных трещин. В то же время, данное значение температуры получено расчетом по максимально возможному содержанию химических элементов. Однако, при сварке стали 40 высокое значение углерода может приводить к появлению закалочных структур. Следовательно, предварительный подогрев при приварке патрубков к остальным деталям узла

газораспределительного применяется.

1.3 Условия эксплуатации узла газораспределительного

Узлы являются одними из важных элементов трубопроводной системы. Благодаря их использованию в составе магистральных трубопроводов, возможно изменить направление транспортировки среды, обойти участки с неблагоприятными грунтами. Узлы испытывают на себе те же нагрузки, что и прямые участки трубопроводов с той разницей, что из-за геометрии на них увеличиваются некоторые виды нагружений, а также появляется вероятность гидроудара. В процессе эксплуатации узлы воспринимают следующие виды нагружений:

- растяжение;
- сжатие;
- изгиб;
- кручение;
- влияние на основной металл агрессивных сред;
- внутреннее давление.

Совокупность данных нагрузок требует при конструировании узлов уделять особое внимание их работоспособности, прочности, долговечности и надежности в целом.

Выводы по разделу 1:

В разделе 1 рассматривается конструкция узла газораспределительного. Описан сам узел, детали, из которых он состоит, а также их геометрические размеры. Рассмотрены материалы, из которых изготовлен узел, их химический состав и механические свойства, а также определена свариваемость и необходимость предварительного подогрева. Рассмотрены основные нагрузки, которые испытывает узел в составе газопровода.

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-------------------------|------|
| | | | | | 15.03.01.2019.183.00 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 20 |

2 ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

2.1 Базовый вариант технологии изготовления

Изготовление узла газораспределительного начинается с входного контроля. На данном этапе проверяются по данным сертификатов и по геометрическим параметрам следующие детали:

1. Отвод;
2. Патрубки;
3. Трубы, предназначенные для изготовления кольца и катушки;
4. Листы для изготовления накладок.

На данной операции кроме контроля геометрии и сертификатных данных производится осмотр наружных и внутренних поверхностей для исключения наличия задигов, раковин и иных повреждений поверхности. При их обнаружении и при возможности исправления, производится зачистка шлифовальной машинкой и контроль остаточной толщины стенки. При глубине дефекта с вероятностью уменьшить толщину стенки свыше пределов допуска деталь помещается в изолятор брака, на нее составляется акт и вызывается комиссия для установления возможности исправления и запуска в дальнейшее производство.

Патрубки изготавливаются по кооперации в механическом цехе. Отвод изготавливается в рассматриваемом цехе на механическом участке.

Изготовление накладок производится плазменной резкой из листового проката с последующим нарезанием фаски и приданием накладке требуемой кривизны. Плазменная резка производится при помощи портальной машины марки «Параллель». Общий вид портальной машины термической резки марки «Параллель» показан на рисунке 2.1.

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-------------------------|------|
| | | | | | 15.03.01.2019.183.00 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 21 |



Рисунок 2.1 – Общий вид портальной машины термической резки марки «Параллель» [9]

Технические характеристики машины «Параллель» приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Технические характеристики машины «Параллель» [9]

| Характеристика | Значение |
|--|--------------------|
| Размер обрабатываемых листов, м | От 1,5×3 до 3,6×12 |
| Толщина разрезаемого листа, мм: | |
| – плазменная технология | 1...70 |
| – газовая технология | 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 | ±0,35 |
| Питание, В/Гц | 220/50 |
| Потребляемая мощность, не более, Вт | 400 |

После вырезки контролируются размеры заготовки. После контроля накладки производится резка внутренней фаски. Резка производится плазменной дугой при помощи аппарата для плазменной резки марки TCC Pro Cut-40, показанном на рисунке 2.2.



Рисунок 2.2 – Аппарат ТСС Pro Cut-40 [9]

Технические характеристики аппарата ТСС Pro Cut-40 показаны в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Технические характеристики аппарата ТСС Pro Cut-40 [9]

| Характеристика | Значение |
|---|-------------|
| Напряжение питающей сети, В | 220±15% |
| Потребляемая мощность максимальная, кВА | 5,4 |
| Пределы регулирования тока резки, А | 20...40 |
| Напряжение холостого хода, В | 210 |
| Рабочее напряжение максимальное, В | 96 |
| Толщина реза максимальная, мм | 12 |
| Расход воздуха, л/мин | 170...200 |
| Давление воздуха сжатого, атм | 3,5...5 |
| Масса, кг | 8 |
| Размеры габаритные, мм | 410×160×270 |

Резка фаски производится за три прохода, каждый из которых снимает определенный слой фаски. После резки производится зачистка фаски от шлака до металлического блеска и контроль угла скоса и внутреннего диаметра.

После нарезания фаски накладки отправляют на гибку для придания им

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-------------------------|------|
| | | | | | 15.03.01.2019.183.00 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 23 |

«радиусности». Гибка производится при помощи прессы марки CPS-200, показанного на рисунке 2.3.

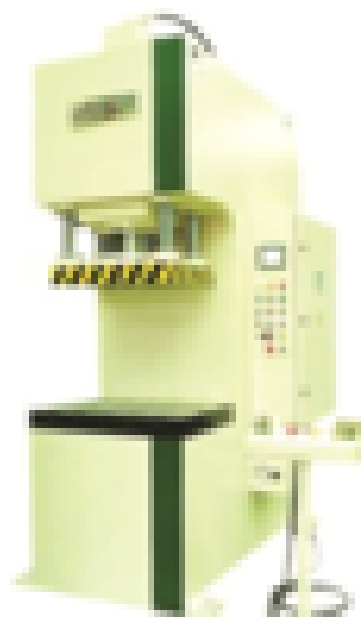


Рисунок 2.3 – Пресс CPS-200 [9]

Технические характеристики прессы CPS-200 показаны в таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Технические характеристики прессы CPS-200 [9]

| Характеристика | Значение |
|------------------------------------|----------|
| Максимальное усилие, т | 200 |
| Размер плиты подштамповой, мм | 1000×700 |
| Размер ползуна, мм | 800×600 |
| Закрытая высота, мм | 700 |
| Ход ползуна, мм | 500 |
| С-зев, мм | 400 |
| Скорость ползуна вверх, мм/с | 130 |
| Скорость ползуна вниз, мм/с | 130 |
| Скорость ползуна прессования, мм/с | 8 |

После прессования производится контроль радиусагиба при помощи шаблона.

Катушка и кольцо изготавливаются из трубы методом точения, то есть отрезанием механическим способом. При этом, разрезаемая труба укладывается

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-------------------------|------|
| | | | | | 15.03.01.2019.183.00 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 24 |

на призмы, затем на трубу устанавливается портативный навесной токарный труборез марки Supercutter. Общий вид трубореза Supercutter показан на рисунке 2.4.



Рисунок 2.4 – Общий вид трубореза Supercutter [9]

Технические характеристики трубореза Supercutter приведены в таблице 2.4.

Таблица 2.4 – Технические характеристики трубореза Supercutter [9]

| Характеристика | Значение |
|--------------------------------|----------|
| Мощность гидропривода, Вт | 15 |
| Давление рабочее, МПа | 10...12 |
| Полезная мощность, Вт | 8 |
| Расход масла, л/мин | 40 |
| Радиальная скорость подачи, мм | 0,2 |
| Подача резца, мм | 60 |

После изготовления катушки и кольца производится контроль их геометрии, а также проводится ультразвуковой контроль продольного сварного шва, а также торцов деталей на наличие несплошностей, таких как расслоения. Для контроля несплошностей, которые могут выйти на поверхность обработанного торца, применяется цветная капиллярная дефектоскопия.

Проконтролированные детали поставляются на участок сборки и сварки.

Перед сборкой производится осмотр кромок свариваемых деталей на отсутствие из забоин. При их обнаружении производится устранение дефектов зашлифовкой либо повторной токарной резкой. Также производится осмотр

свариваемых деталей на предмет отсутствия царапин, рисок, задиров, размеры которых при измерении не попадают в допускаемый интервал.

Порядок сборки объемных соединительных деталей с количеством кольцевых стыковых швов более 2, производится не сразу, а методом поузловой сборки.

В первую очередь, производится сборка и сварка патрубка (позиция 5 рисунок 1) и катушки (позиция 3 рисунок 1). Схема сборки и сварки патрубка с катушкой показана на рисунке 2.5.

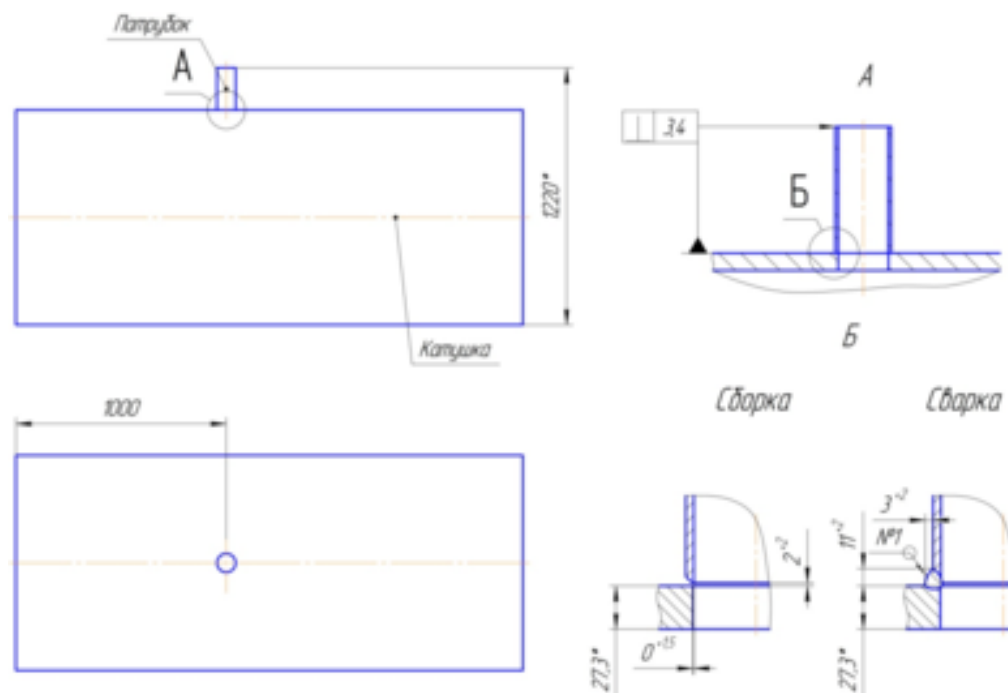


Рисунок 2.5 – Схема сборки и сварки патрубка с катушкой

Сборка производится при помощи двух прихваток в диаметрально противоположных местах. Режимы сварки прихваток представлены в таблице 2.5.

Таблица 2.5 – Режимы сварки прихваток

| И _{св} , А | U _д , В |
|---------------------|--------------------|
| 80...100 | 19...21 |

После сварки прихваток производится предварительный подогрев однопламенной горелкой до температуры не менее 150 °С.

После проведения предварительного подогрева производится сварка шва №1. Сборка и сварка производятся электродами марки Lb-52U диаметром 2,6 мм. Количество проходов при сварке не менее 2. Режимы сварки шва №1 приведены в

таблице 2.6.

Таблица 2.6 – Режимы сварки шва №1

| И _{св} , А | U _д , В |
|---------------------|--------------------|
| 90...120 | 20...23 |

После сварки шва №1 производится его зачистка и визуальный контроль на соответствие геометрических размеров. После проведения визуального и измерительного контроля сварной шов проходит операцию радиографического контроля в специальной камере для проведения радиографического контроля.

Принятый по результатам контроля узел отправляется на участок сборки и сварки. Следующим этапом сборки и сварки является сборка катушки с накладкой и с патрубком. Схема сборки и сварки катушки с патрубком и накладкой показана на рисунке 2.7.

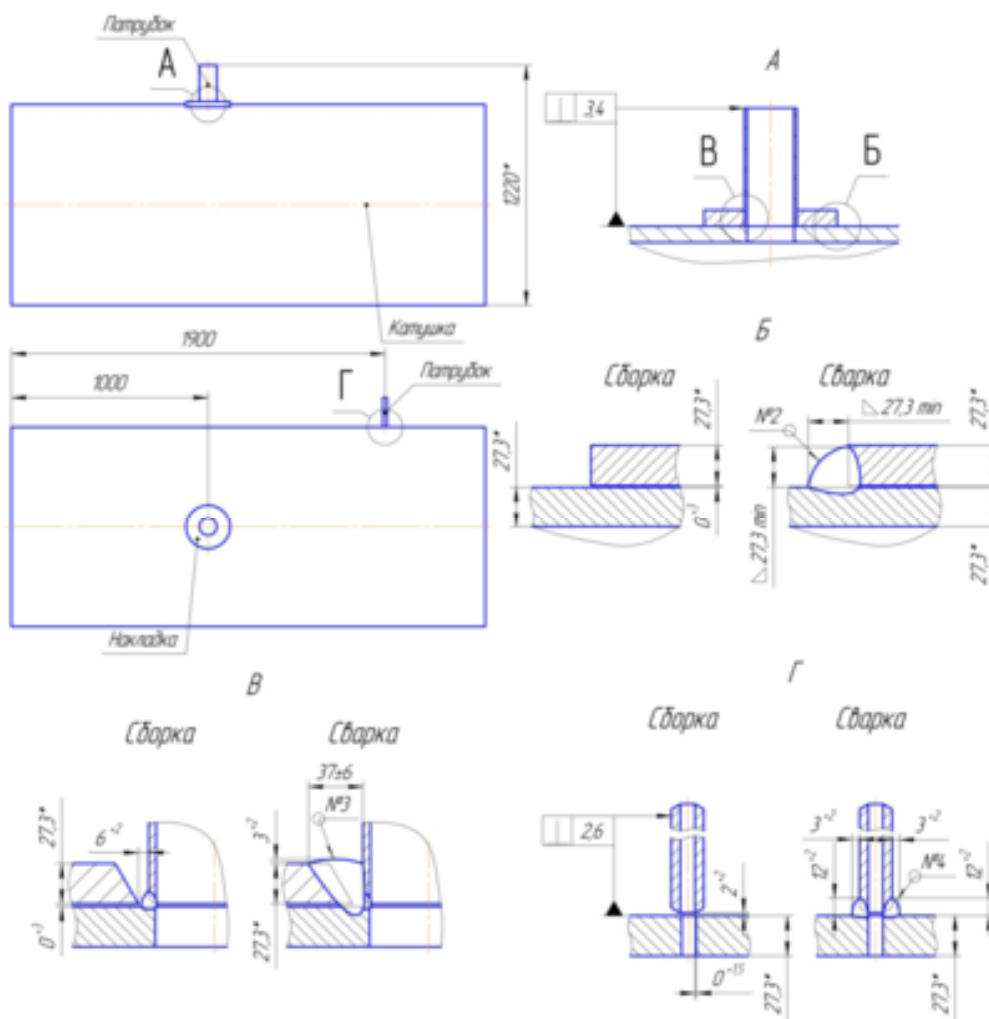


Рисунок 2.7 – Схема сборки и сварки катушки с патрубком и накладкой

Сборка катушки с патрубком производится при помощи двух прихваток в диаметрально противоположных местах. Аналогично производится сборка катушки с накладкой. Режимы сварки прихваток приведены в таблице 2.5.

После сварки прихваток производится предварительный подогрев однопламенной горелкой до температуры не менее 150 °С.

После проведения предварительного подогрева производится сварка швов №4. Сборка и сварка катушки с патрубком производится электродами марки Lb-52U диаметром 2,6 мм. Количество проходов не менее 2.

После сварки шва №4 (приварка патрубка к катушке) производится его визуальный и радиографический контроль.

Сборка катушки с накладкой производится электродами марки Lb-52U диаметром 2,6 мм, а сварка производится сварочной проволокой марки Pipeweld 70S-6 Plus диаметром 1,2 мм. В первую очередь сваривается шов №3, затем шов №4.

Режимы сварки швов №2, №3, №4 показаны в таблице 2.7.

Таблица 2.7 – Режимы сварки швов №2, №3, №4

| Номер шва | d _э , мм | I _{св} , А | U _д , В | V _{св} , см/с |
|-----------|---------------------|---------------------|--------------------|------------------------|
| 2 | 1,2 | 180...280 | 26...30 | 0,2...0,35 |
| 3 | | 200...300 | 28...32 | 0,2...0,35 |
| 4 | 2,6 | 90...120 | 20...23 | — |

По окончании сварки швы зачищаются, а затем производится их визуальный и измерительный контроль. Дополнительно проводится пневматический контроль швов №2 и №3.

Проконтролированный узел отправляют на участок сборки и сварки для укрупнения в узел.

Сборка узла производится в следующей последовательности:

- сборка и сварка отвода с кольцом;
- сборка и сварка отвода с катушкой.

Сборка производится при помощи наружного центратора ЦЗН-1021,

показанном на рисунке 2.8.



Рисунок 2.8 – Общий вид центратора ЦЗН-1021 [10]

В первую очередь, отвод укладывается в призмы, закрепленные на позиционном поле, показанном на рисунке 2.9.

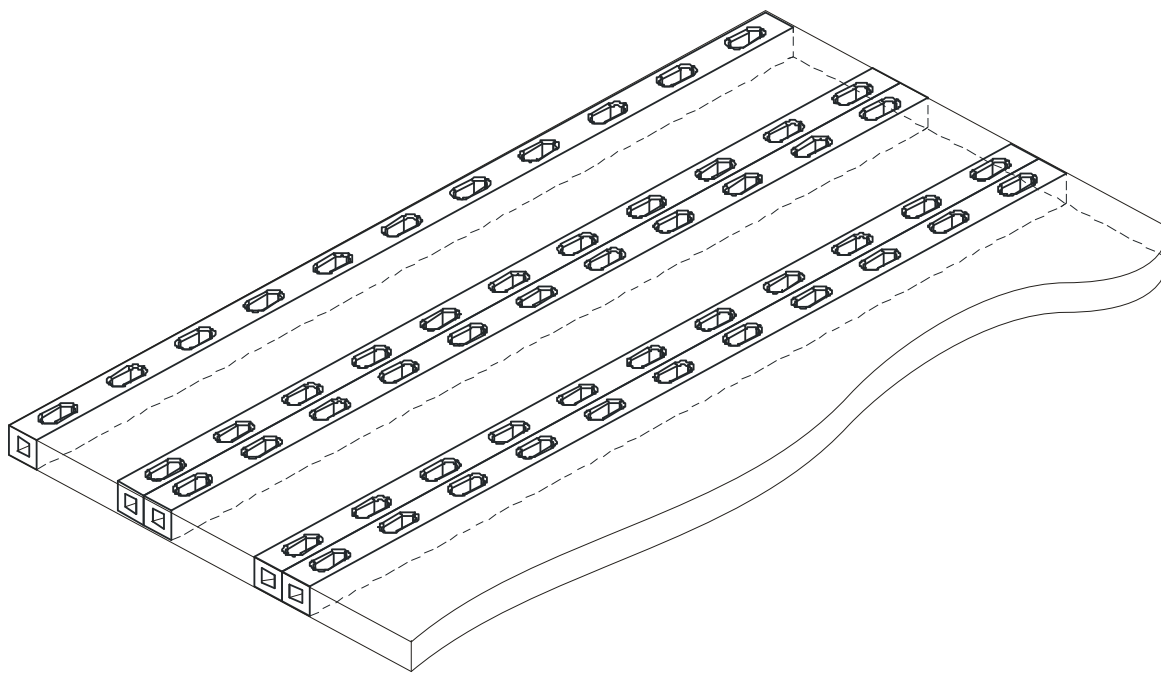


Рисунок 2.9 – Позиционное поле [10]

Позиционное поле представляет собой плоскость шириной 5 метров, длиной 13,8 метра, на которой от нулевого уровня вмонтированы направляющие. На направляющих с шагом 350 мм имеются пазы для крепления призм. Позиционное поле оснащено буквенной и цифровой системой координат.

После укладывания отвода на призмы, на него устанавливаются направляющий пояс и сварочную головку. Далее на торце устанавливают центратор и собирают отвод с кольцом.

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

15.03.01.2019.183.00 ПЗ

Лист

29

После установки центриатора и после выставления требуемого зазора между кромками кольца и отвода производится сварка прихваток. Количество прихваток составляет не менее 4 штук длиной 150...200 мм, при этом они должны располагаться равномерно по всей длине стыка. Режимы сварки прихваток показаны в таблице 2.5. Схема сборки и сварки отвода с кольцом показана на рисунке 2.10.

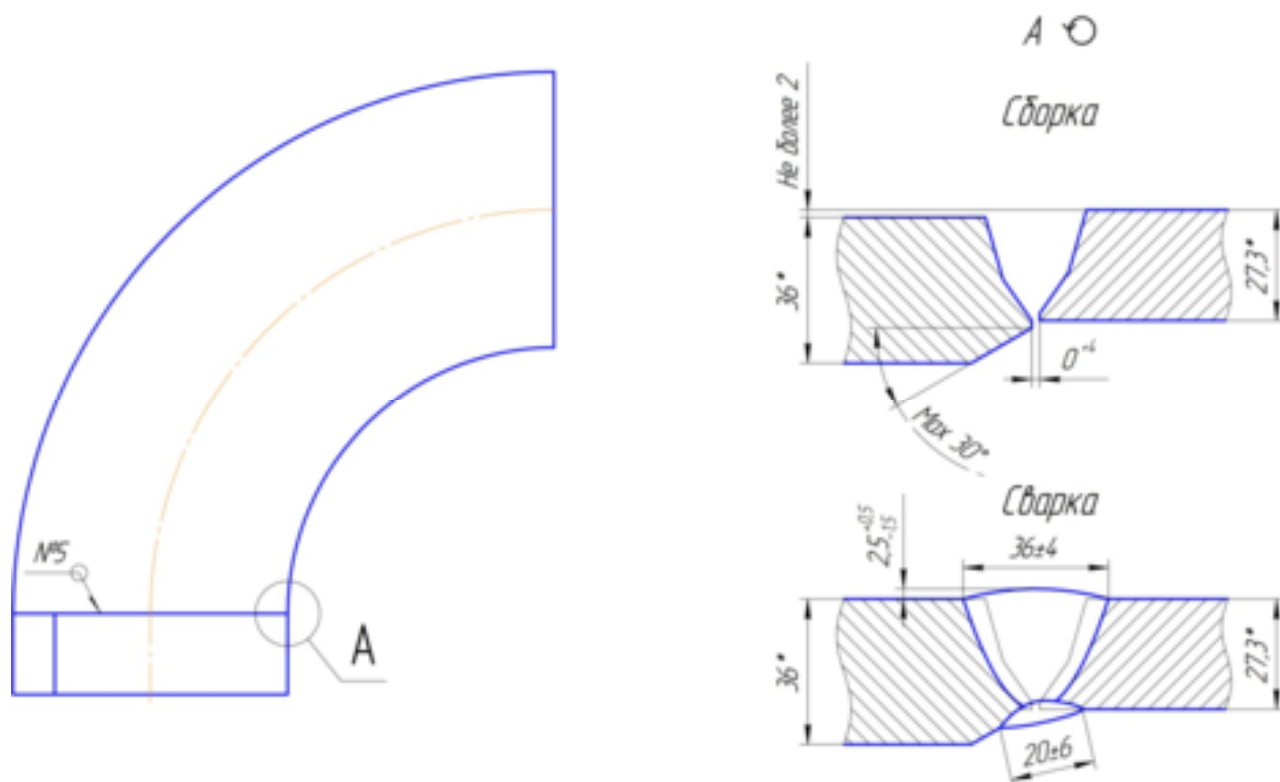


Рисунок 2.10 – Схема сборки и сварки отвода с кольцом

После сварки прихваток их следует зачистить. Начальный и конечный участки каждой прихватки следует обработать шлифовальным кругом. Прихватки следует сваривать на расстояние не ближе 100 мм от продольных швов катушки и отвода.

После контроля производится сварка корневого слоя шва. Корневой слой шва сваривается ручной сваркой электродами марки Lb-52U диаметром 2,6 мм.

Химический состав электродов Lb-52U приведен в таблице 2.8.

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

Таблица 2.8 – Химический состав электродов Lb-52U [13]

В процентах

| C | Si | Mn | Cr | Cu | Ni | S | P |
|------|------|----|-----------|----------|------|-------|-------|
| | | | | Не более | | | |
| 0,06 | 0,52 | 1 | 0,8...1,1 | 0,03 | 0,01 | 0,005 | 0,011 |

Типичные механические свойства металла, сваренного электродами Lb-52U, представлены в таблице 2.9.

Таблица 2.9 – Типичные механические свойства металла, сваренного электродами Lb-52U [13]

| σ_B , МПа | σ_T , МПа | δ_5 , % |
|------------------|------------------|----------------|
| Не менее | | |
| 546 | 441 | 31 |

Сварка производится за 1 проход. Стык неповоротный. Схема сварки корневого прохода показана на рисунке 2.11.

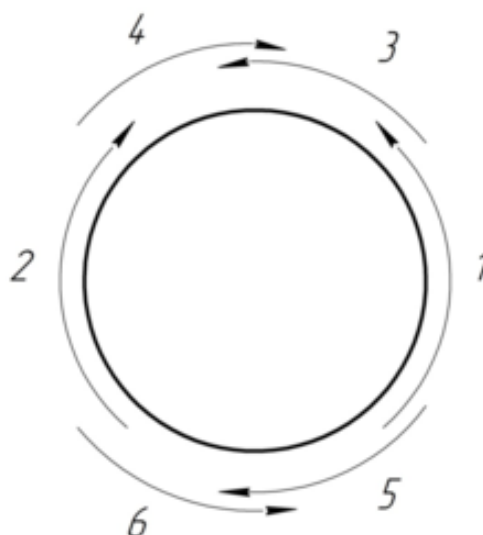


Рисунок 2.11 – Схема сварки корневого прохода

В первую очередь, сваривается первый проход вертикальных швов методом «на подъем» одновременно двумя сварщиками. Затем, после зачистки первого слоя и зачистки начальных и конечных участков швов производится сварка первого прохода корневого слоя шва в нижнем и потолочном положениях.

После сварки корневого слоя шва с внутренней стороны производится удаление воздушно-дуговой строжкой обратного валика с выполнением U-образной разделки. Место строжки следует зачистить до металлического блеска шлифовальной машинкой.

Далее производится сварка подварочного слоя шва электродами марки ОК 53.70 диаметром 3 мм.

Химический состав электродов ОК 53.70 приведен в таблице 2.10.

Таблица 2.10 – Химический состав электродов ОК 53.70 [13]

В процентах

| С | Si | Mn | S | P |
|------|------|-----|----------|-------|
| | | | Не более | |
| 0,06 | 0,05 | 1,2 | 0,015 | 0,015 |

Типичные механические свойства металла, сваренного электродами ОК 53.70, представлены в таблице 2.11.

Таблица 2.11 – Типичные механические свойства металла, сваренного электродами ОК 53.70 [13]

| σ_B , МПа | σ_T , МПа | δ_5 , % |
|------------------|------------------|----------------|
| Не менее | | |
| 530 | 440 | 30 |

Сварка производится за 1 проход по схеме, показанной на рисунке 2.11.

После сварки подварочного прохода на стык устанавливается автоматическая сварочная головка Esab Railtrac Orbital, показанная на рисунке 2.12.

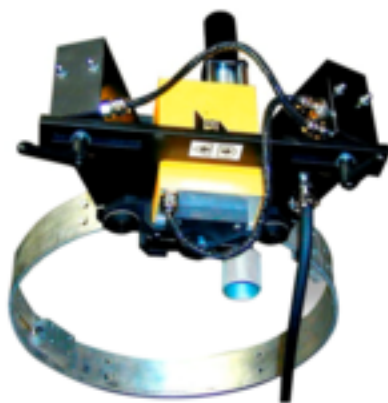


Рисунок 2.12 – Сварочная головка Esab Railtrac Orbital [13]

Технические характеристики сварочной головки Esab Railtrac Orbital показаны в таблице 2.12.

Таблица 2.12 – Технические характеристики Esab Railtrac Orbital [13]

| Характеристика | Значение |
|--|-------------|
| Габаритные размеры каретки, мм | 312×327×181 |
| Масса головки, кг | 8 |
| Ширина направляющего пояса, мм | 124 |
| Диапазон диаметров свариваемых труб, мм | 219...1420 |
| Диапазон толщин стенки трубы, мм | 9,5...50 |
| Скорость перемещения каретки, см/мин | 5...99 |
| Скорость колебаний горелки, мм/с | 6...60 |
| Диаметр сварочной проволоки, мм | 0,76...1,98 |
| Амплитуда поперечных колебаний горелки, мм | 1...30 |
| Регулировка постоянных углов наклона горелки: продольного, град поперечного, град | ± 15 |
| Время задержки на кромках, с | 0...9,9 |
| Диапазон рабочих температур, °С | -40...+70 |
| Допустимая сила тока, А, при ПВ=100% | 400 |
| Напряжение питания цепей управления постоянным током, В | 36...46 |

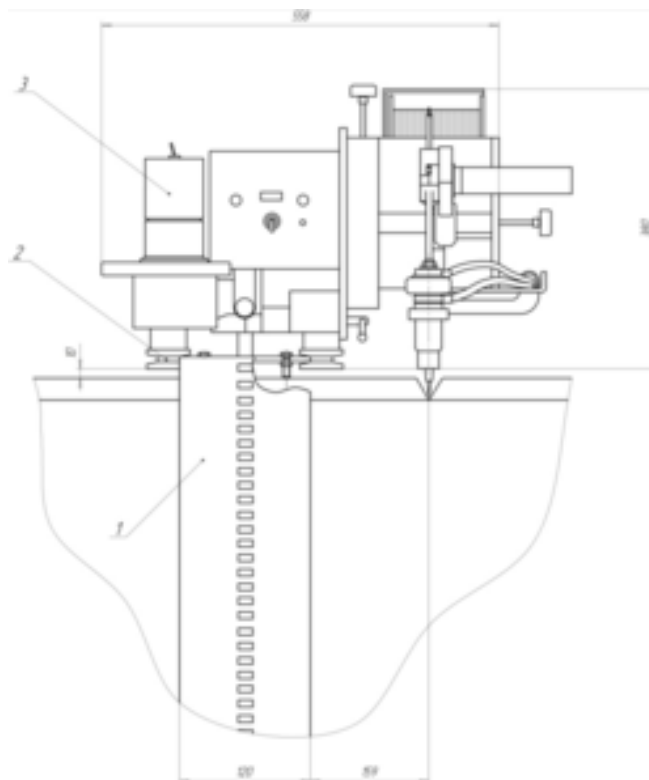
| | | | | |
|------|------|----------|---------|------|
| | | | | |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |

15.03.01.2019.183.00 ПЗ

Лист

33

Схема установки сварочной головки на стык показана на рисунке 2.13.



1 – Пояс направляющий; 2 – Ролики крепежные; 3 – Головка сварочная

Рисунок 2.13 – Схема установки сварочной головки

Далее на головке устанавливаются требуемые параметры режима сварки и начинается сварка «горячего прохода», заполняющих и облицовочных слоев. Сварка производится сварочной порошковой проволокой PipeWeld 70S-6 Plus диаметром 1,2 мм. Сварка производится в среде смеси газов 82%Ar+18%CO₂.

Типичный химический состав металла, сваренного проволокой PipeWeld 70S-6 Plus в среде смеси газов 82%Ar+18%CO₂ приведен в таблице 2.13.

Таблица 2.13 – Типичный химический состав металла, сваренного проволокой PipeWeld 70S-6 Plus в среде смеси газов 82%Ar+18%CO₂ [13]

В процентах

| Si | Mn | Ni | C | S | P |
|------------|------------|---------|----------|------|------|
| | | | Не более | | |
| 0,35...0,6 | 1,2...1,75 | 0,6...1 | 0,07 | 0,01 | 0,01 |

Типичные механические свойства металла, сваренного проволокой PipeWeld 70S-6 Plus в среде смеси газов 82%Ar+18%CO₂, представлены в таблице 2.14.

| | | | | | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-------------------------|--|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | | Лист |
| | | | | | | | | | | |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | 15.03.01.2019.183.00 ПЗ | | | | | 34 |

Таблица 2.14 – Типичные механические свойства металла, сваренного проволокой PipeWeld 70S-6 Plus в среде смеси газов 82%Ar+18%CO₂ [13]

| σ_B , МПа | σ_T , МПа | δ_5 , % |
|------------------|------------------|----------------|
| Не менее | | |
| 590 | 480 | 21 |

Каждый слой шва зачищается до металлического блеска шлифовальными машинками. Режимы сварки шва №5 представлены в таблице 2.15.

Таблица 2.15 – Режимы сварки шва №5

| Тип слоя | $d_э$, мм | $I_{св}$, А | U_D , В | $V_{св}$, см/с |
|--------------|------------|--------------|-------------|-----------------|
| Корневой | 2,6 | 70...90 | — | — |
| Подварочный | 3 | 80...120 | — | — |
| «Горячий» | 1,2 | 190...220 | 20,5...22,5 | 0,4...0,5 |
| Заполняющий | | 220...250 | 21...23 | 0,13...0,28 |
| Облицовочный | | 190...215 | 20...22 | 0,12...0,23 |

После сварки отвода с кольцом производится сборка отвода с катушкой. Схема сборки и сварки отвода с катушкой показана на рисунке 2.14.

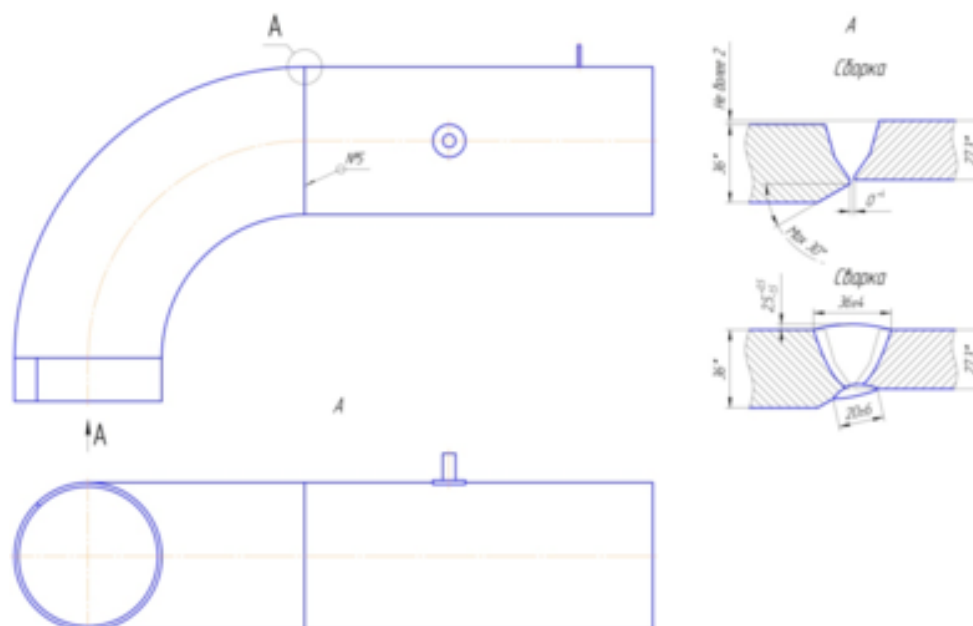


Рисунок 2.14 – Схема сборки и сварки отвода с катушкой

Технология сборки и сварки отвода с катушкой аналогична технологии сборки

и сварки отвода с кольцом.

После сварки швы зачищаются и контролируются визуальным и измерительным контролем. По окончании визуального и измерительного контроля швы №5 проверяются ультразвуковым и радиографическим методами контроля.

По окончании контроля узел подлежит термообработке. В качестве термообработки применяется высокий отпуск с нагревом до температуры 530...570 °С с временем нагрева не менее 60 мин, выдержкой не менее 60...65 мин и охлаждением на воздухе.

После термообработки швы №5 повторно проверяются ультразвуковым контролем.

После ультразвукового контроля производится обработка фасок до требуемых размеров, а также проводится их повторный контроль цветной капиллярной дефектоскопией и ультразвуковым контролем торцов на расстоянии не менее 50 мм от торца на расстрой.

Для автоматической сварки в среде защитных газов применяется источник питания марки Wega 400, показанный на рисунке 2.15.



Рисунок 2.15 – Источник питания Wega 400 [13]

Технические характеристики источника питания Wega 400 показаны в таблице 2.16.

Таблица 2.16 – Технические характеристики источника питания Wega 400 [13]

| Характеристика | Значение |
|--|--------------------|
| Сварочный ток, А | 50...400 |
| Напряжение дуги, В | 16,5...34 |
| Сварочный ток, А, при ПВ% и T=20°C: – ПВ 52,5% – ПВ 70% – ПВ 100% | 400 345 290 |
| Напряжение холостого хода, В | 16,5...45 |
| Напряжение питающей сети, В | 3×400 /50 |
| Количество ступеней напряжения | 24 |
| Расход газа, л/мин | 6...25 |
| Диаметр сварочной проволоки, мм | 0,8...1,6 |
| Скорость подачи проволоки, м/мин | 0,5...20 |
| Потребляемая мощность, кВт не более | 18 |
| Охлаждение горелки | газовое/жидкостное |
| Габариты, мм | 960×560×885 |
| Вес, кг, не более | 150 |

Для ручной дуговой сварки применяется выпрямитель многопостовой марки ВДМ-6303С с балластным реостатом РБ-406, показанных на рисунках 2.16 и 2.17 соответственно.



Рисунок 2.16 – Выпрямитель ВДМ-6303С [13]



Рисунок 2.17 – Реостат балластный РБ-406 [13]

Технические характеристики выпрямителя ВДМ-6303С приведены в таблице 2.17.

Таблица 2.17 – Технические характеристики выпрямителя ВДМ-6303С [13]

| Характеристика | Значение |
|---|----------|
| Напряжение питающей сети, В | 3×380 |
| Частота питающей сети, Гц | 50 |
| Номинальный сварочный ток, А при ПВ=100% | 630 |
| Номинальный сварочный ток одного поста, А | 315 |
| Коэффициент одновременности работы постов, не более | 0,5 |

Продолжение таблицы 2.17.

| | |
|---|-------------|
| Номинальное рабочее напряжение, В | 60 |
| Напряжение холостого хода, В не более | 75 |
| Потребляемая мощность при номинальном токе, кВА, не более | 46 |
| Диаметр электрода, мм | 2,5...6 |
| Габаритные размеры, мм, не более | 700×600×630 |
| Масса, кг, не более | 196 |

Основными недостатками существующей технологии изготовления узла газораспределительного являются:

– низкая производительность при ручной дуговой сварке корневого прохода и подварочного прохода кольцевых швов;

– при сварке одной сварочной головкой наблюдается низкая производительность, а также, большая длина сварочной ванны при сварке в потолочном положении;

– высокая стоимость сварки швов №2 и №3 порошковой проволокой.

Устранение указанных недостатков предлагается произвести путем внедрения следующих мероприятий:

– заменить наружный центратор на внутренний, что приведет к отмене сварки прихваток;

– усовершенствование технологии сварки корневого прохода путем отказа от подварочного слоя шва;

– рассмотреть возможность и необходимость изменения технологии при сварке заполняющих и облицовочного проходов кольцевых сварных швов;

– изменить способ сварки патрубков и накладки к катушке;

– заменить сварочные материалы при сварке корневого прохода и патрубков с накладкой.

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-------------------------|------|
| | | | | | 15.03.01.2019.183.00 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 39 |

2.2 Проектируемый вариант технологического процесса

2.2.1 Выбор способа сварки

Одним из пунктов мероприятий по устранению выявленных недостатков является возможность замены способа сварки кольцевых швов при заполнении и облицовке. По существующей технологии сварка производится в следующем порядке:

- сварка корневого шва ручной дуговой сваркой;
- сварка подварочного шва ручной дуговой сваркой;
- автоматическая сварка в среде защитных газов порошковой проволокой одной сварочной головкой.

Существующее развитие сварочного производства основывается на двух наиболее широко применяемых способах сварки [11, 12]:

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

Преимуществами сварки под слоем флюса являются [11]:

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

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

Основными недостатками при сварке под слоем флюса являются:

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-------------------------|------|
| | | | | | 15.03.01.2019.183.00 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 40 |

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

Сварка в среде защитных газов обладает меньшей производительностью, по сравнению со сваркой под слоем флюса. Однако, применяется в промышленности довольно широко. Производительность сварки возможно повысить путем механизации и автоматизации процесса. Улучшение защиты сварочной ванны от воздействия атмосферного воздуха достигается путем применения не однокомпонентного защитного газа, а смеси газов: углекислота с аргоном, углекислота с аргоном и кислородом, углекислота с гелием, гелий с аргоном. Различные сочетания предназначены для различных условий и зависят также от стоимости.

Достоинствами сварки в среде защитных газов являются [12]:

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

Рассмотрев существующие способы сварки, можно сделать вывод о том, что существующий вариант сварки кольцевых швов (автоматическая в защитных газах) обеспечивает требуемое качество и соответствует требованиям производства, так как при изменении способа сварки требуется приобретение дорогостоящего оборудования, а также длительный процесс отработки новой технологии. При этом, для повышения производительности требуется приобрести еще одну сварочную головку.

Сравнивая существующие способы сварки также предлагается изменить способ ручной дуговой сварки (корневой и подварочный проходы) на

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-------------------------|------|
| | | | | | 15.03.01.2019.183.00 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 41 |

автоматическую сварку в среде защитных газов сварочными головками. При этом предлагается применить программный комплекс сварки корневого прохода, называемый STT (Surface tension transfer). Данный метод позволит производить сварку стыковых кольцевых швов с одной стороны с принудительным формированием обратного валика.

Для сварки патрубков с катушкой и с накладкой предлагается заменить ручную дуговую сварку на механизированную в среде защитных газов, так как небольшие габаритные размеры патрубков и накладки, а также положение их при сварке не позволяет применить сварку под слоем флюса.

2.2.2 Описание предлагаемой технологии

Заготовительные операции не изменяются при внесении изменений в технологию, поэтому, в данном разделе не рассматриваются.

При сборке и при сварке патрубков с катушкой, а также накладки с катушкой в базовом варианте применяется ручная дуговая сварка штучными электродами. Данный процесс предлагается заменить на механизированную сварку в среде защитных газов.

После проведения всех заготовительных операций, отвод укладывается на сборочные призмы. На него устанавливается направляющий пояс для сварочных головок. В данном варианте технологии изготовления предлагается применить вместо наружного внутренний центратор.

Далее краном устанавливается специальная дорожка для внутреннего центратора.

Следующим этапом является установка центратора на дорожку.

После этого краном к месту стыка транспортируют кольцо и устанавливают его на призму. Далее подводится центратор и выставляется необходимая геометрия стыка. Вид собранного стыка показан на рисунке 2.18.

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-------------------------|------|
| | | | | | 15.03.01.2019.183.00 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 42 |

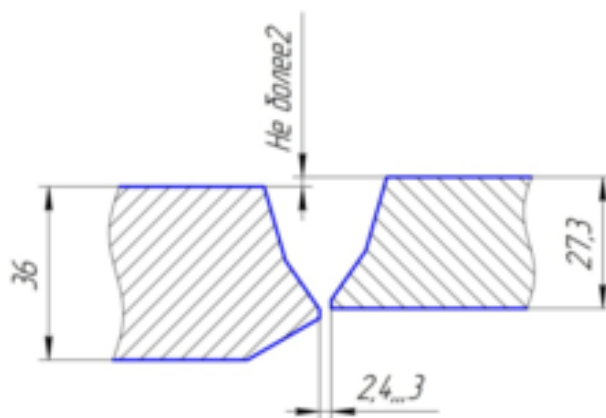


Рисунок 2.18 – Вид собранного стыка

Прихватки в данном случае не устанавливаются, поэтому, после сборки к месту стыка отвода с кольцом требуется подвести направляющий пояс с головками.

Далее устанавливаются требуемые режимы сварки и начинается сварка корневого прохода. Сварка производится с применением специального оборудования, поддерживающего программный комплекс STT (Surface Tension Transfer). Программа основана на переносе электродного металла за счет укорачивания сварочной дуги. Благодаря этому, сварка корневого прохода шва производится с наружной стороны. Эта программа сразу решает несколько проблем: сварка корневого шва производится при повышенных зазорах, не требуется сваривать подварочный шов и исключается влияние человеческого фактора.

Данный программный комплекс позволяет за один проход заварить слой металла, который по размерам соответствует двум проходам. Благодаря этому сокращается время сварки. Зачистку проходов также допускается не производить из-за легкой делимости шлака.

Программное обеспечение STT основано на цифровом контроле параметров на сварочном аппарате [11].

Принцип работы программного обеспечения STT основывается на разделении цикла сварки на два разных периода:

- период короткого замыкания;
- период горения дуги.

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

В период короткого замыкания сварочная проволока замыкается коротко на сварочную ванну, ток резко увеличивается и поддерживается на заданном уровне. В начале периода короткого замыкания имеет место короткий резкий скачок сварочного тока в момент контакта кончика проволоки со сварочной ванной.

В течение периода короткого замыкания резкий скачок тока до заданного уровня завершается отщепляющей силой, отделяющей каплю металла с конца сварочной проволоки. Плавное отделение капли обеспечивается медленным уменьшением сварочного тока. В момент переноса капли в сварочную ванну начинается второй период роста тока, и происходит зажигание дуги. Управление процессом точно показывает момент отделения капли и зажигания дуги. Точный контроль времени роста и снижения тока гарантирует отсутствие брызг при переходе от короткого замыкания к горению дуги.

В период горения дуги формируется сварочная ванна и обеспечивается необходимое проплавление корня шва. Эти два периода роста тока следуют друг за другом, в конце каждого из них ток устанавливается и держится на заданном значении. Точно выставленная и удерживаемая базовая сила тока гарантирует перенос каждой следующей капли в течение периода короткого замыкания.

Интенсивный и точный контроль сварочного тока в сочетании с точной формой волны в процессе сварки обеспечивают бесперебойное отделение капель и их перенос в сварочную ванну практически без брызг. Это гарантирует стабильность дуги и простоту управления процессом сварки.

Цикл горения дуги при использовании технологии STT показан на рисунке 2.19.

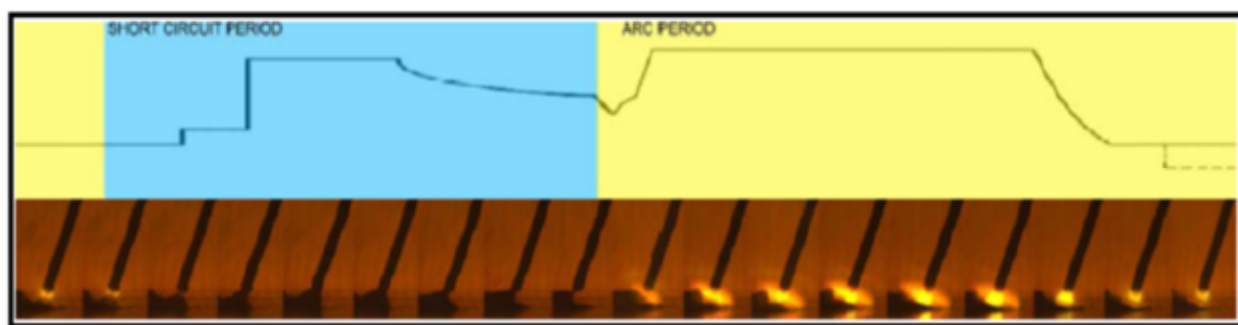


Рисунок 2.19 – Цикл горения дуги [11]

Сварка производится проволокой сплошного сечения в среде защитных газов 75%Ar+25%CO₂.

После начала сварки первого полупериметра стыка, как только сварочная головка займет положение «9 ч», требуется зачистить начальный участок. Начало сварки второго полуметра стыка требуется начинать после зачистки начального участка при сварке первого полупериметра.

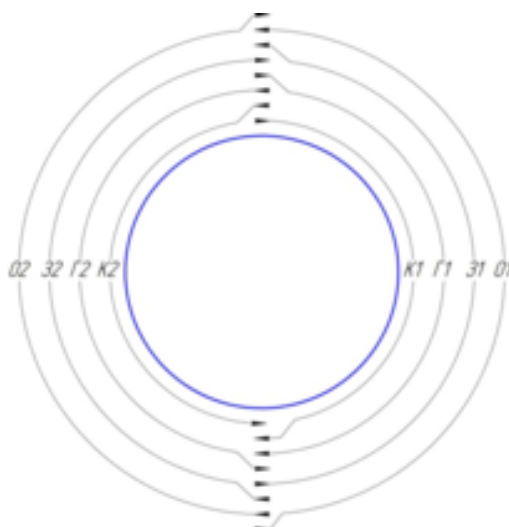
После сварки корневого прохода производится зачистка начального и конечного участков полупериметра.

В процессе сварки второго полупериметра стыка на первой сварочной головке производится замена сварочной проволоки со сплошной на порошковую и настройка режимов сварки.

После сварки корневого прохода производится его визуальный осмотр и, при необходимости, исправление дефектов механическим способом.

После осмотра начинается сварка «горячего прохода». Сварка производится методом «на спуск». По окончании сварки «горячего прохода» производится зачистка начального и конечного участка. Сварка второго полупериметра начинается только после того, как проварен участок первого полупериметра длиной не менее 1 м.

Далее свариваются заполняющие и облицовочные проходы методом «на подъем». Схема сварки стыка показана на рисунке 2.20.



K1, K2, Г1, Г2, 31, 32, O1, O2 – Порядок и наименование проходов

Рисунок 2.20 – Схема сварки стыка

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-------------------------|------|
| | | | | | 15.03.01.2019.183.00 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 45 |

При сварке заполняющих и облицовочных проходов методом «на подъем» стык разбивается на 4 сектора. В первую очередь свариваются сектора «3 ч...0 ч», затем «6 ч...3 ч». Сварка производится поочередно.

После сварки производится осмотр облицовочных валиков и, при необходимости, их доработка.

Общий вид сварного шва, полученного при сварке по предлагаемой технологии аналогичен тому, который применялся в базовом варианте, так как не производилось изменение разделки кромок, а также технологии сварки заполняющих и облицовочного слоев.

Сварку кольцевого шва катушки с отводом предлагается осуществлять также по предлагаемому варианту.

2.2.3 Выбор сварочных материалов

В предлагаемом варианте технологического процесса сборки и сварки узла предлагается заменить способ сварки патрубков с катушкой, а также патрубков с накладкой и катушкой с ручной дуговой на механизированную в среде защитных газов. В качестве присадочного материала выберем сварочную проволоку марки Св-08ХГ2С диаметром 1,2 мм, поставляемую согласно [3].

Данная проволока благодаря добавлению хрома (Cr) позволяет повысить коррозионную стойкость сварного соединения без ухудшения механических и пластических свойств. Дополнительное добавление меди (Cu) в покрытие проволоки также положительно влияет на коррозионную стойкость.

Химический состав металла, наплавленного проволокой Св-08ХГ2С, приведен в таблице 2.18.

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-------------------------|------|
| | | | | | 15.03.01.2019.183.00 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 46 |

Таблица 2.18 – Химический состав металла, наплавленного проволокой Св-08ХГ2С [3]

В процентах

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

Механические свойства шва, наплавленного проволокой Св-08ХГ2С, показаны в таблице 2.19.

Таблица 2.19 – Механические свойства шва, наплавленного проволокой Св-08ХГ2С [3]

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

При сварке кольцевого стыкового шва предлагается заменить способ сварки корневого прохода и подварочного с ручной дуговой штучными электродами на автоматическую в среде защитных газов. При этом требуется заменить сварочные материалы.

Для сварки корневого прохода предлагается применить сварочную проволоку сплошного сечения марки SuperArc L56 диаметром 1,14 мм, производства фирмы Lincoln Electric.

Химический состав металла, наплавленного проволокой SuperArc L56, приведен в таблице 2.20.

Таблица 2.20 – Химический состав металла, наплавленного проволокой SuperArc L56 [13]

В процентах

| C | Mn | Cr | Si | Cu | S | P |
|-------------|-----------|-------------|-------------|-------------|-----------------------|------|
| | | | | | Не превышает значений | |
| 0,08...0,09 | 1,42..1,6 | 0,01...0,05 | 0,81...0,87 | 0,17...0,22 | 0,01 | 0,01 |

Механические свойства металла, наплавленного проволокой SuperArc L56 в среде защитных газов 75%Ar+25%CO₂, приведены в таблице 2.21.

Таблица 2.21 – Механические свойства металла, наплавленного проволокой SuperArc L56 в среде защитных газов 75%Ar+25%CO₂ [13]

| σ_T , МПа | σ_B , МПа | δ_5 , % |
|--------------------|------------------|----------------|
| Не меньше значений | | |
| 460 | 565 | 27 |

2.3 Расчет режимов сварки

2.3.1 Расчет режимов сварки шва №1

Общий вид сварного шва №1 показан на рисунке 2.21. Сварка механизированная в среде защитных газов проволокой диаметром 1,2 мм.

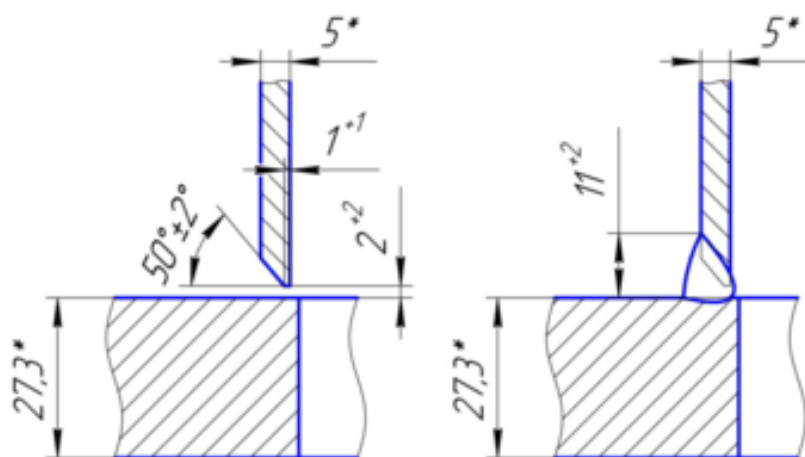


Рисунок 2.21 – Общий вид сварного шва №1

Рассчитаем площадь поперечного сечения наплавленного металла по формуле (2.1) из [6]:

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

где $S = 5$ – толщина свариваемых деталей, мм;

$p = 2$ – величина зазора, мм;

$c = 2$ – величина притупления, мм;

$\alpha = 50$ – угол разделки, град;

$B = 11$ – ширина шва, мм;

$g = 3$ – высота усиления, мм.

Тогда, по формуле (2.1) получим, что

$$F_H = 5 \cdot 2 + \frac{(5-2)^2}{2} \operatorname{tg}50 + 0,73 \cdot 11 \cdot 3 = 40 \text{ мм}^2 = 0,4 \text{ см}^2.$$

Сварка производится за два прохода, так как тип соединения не позволяет сварить данный шов за один проход. Площадь сечения шва при первом проходе примем равной $F_{H1} = 0,15 \text{ см}^2$, а площадь второго прохода $F_{H2} = 0,25 \text{ см}^2$.

Рассчитаем режимы сварки при первом проходе. В первую очередь, рассчитаем режимы сварки при условии отсутствия зазора и разделки кромок.

Ток постоянный прямой полярности. Вылет проволоки $L = 15$ мм. Сила тока $I_{CB} = 150$ А.

Плотность принятого сварочного тока при диаметре электродной проволоки 1,2 мм рассчитывается по формуле (2.2) из [4]:

$$j = \frac{4I_{CB}}{\pi d_3^2} = \frac{4 \cdot 150}{3,14 \cdot 1,2^2} = 132,7 \frac{\text{А}}{\text{мм}^2}. \quad (2.2)$$

где $I_{CB} = 150$ – сила тока, А;

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-------------------------|------|
| | | | | | 15.03.01.2019.183.00 ПЗ | Лист |
| | | | | | | 49 |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | |

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

При диаметре электрода 1,2 мм и при сварке шва углового типа плотность сварочного тока находится в интервале 90...250 А/мм². Полученное значение входит в указанный интервал.

Рассчитаем напряжение на дуге ($U_{\text{Д}}$) по формуле (2.3) из [4, 5]:

$$U_{\text{Д}} = 20 + \frac{0,05}{\sqrt{d_{\text{Э}}}} I_{\text{СВ}} \pm 1, \text{ В}, \quad (2.3)$$

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

$I_{\text{СВ}} = 150$ – сила сварочного тока, А.

Тогда, по формуле (2.3) получим, что

$$U_{\text{Д}} = 20 + \frac{0,05}{\sqrt{1,2}} \cdot 150 \pm 1 \approx 26,8 \pm 1 \text{ В}.$$

Рассчитаем скорость сварки ($V_{\text{СВ}}$) по формуле (2.4) из [4]:

$$V_{\text{СВ}} = \frac{V_{\text{ПОД}}}{F_{\text{Н}}} \cdot F_{\text{ЭЛ}}, \frac{\text{см}}{\text{с}}, \quad (2.4)$$

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

$F_{\text{Н}} = 0,15$ – площадь наплавленного металла, см²;

$F_{\text{Э}} = 0,0113$ – площадь сечения электрода, см².

Рассчитаем скорость подачи электродной проволоки ($V_{\text{ПОД}}$) по формуле (2.5) из [4]:

$$V_{\text{ПОД}} = \frac{\alpha_{\text{Р}} I_{\text{СВ}}}{3600 F_{\text{ЭЛ}} \gamma}, \frac{\text{см}}{\text{с}}, \quad (2.5)$$

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

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-------------------------|------|
| | | | | | 15.03.01.2019.183.00 ПЗ | Лист |
| | | | | | | 50 |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | |

$F_{ЭЛ} = 0,0113$ – площадь сечения электродной проволоки, $см^2$;

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

Рассчитаем коэффициент расплавления α_p по формуле (2.6) из [4, 5, 6]:

$$\alpha_p = \alpha'_p + \Delta\alpha_p, \quad (2.6)$$

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

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

Рассчитаем составляющую α'_p , при сварке в среде защитных газов на постоянном токе прямой полярности по формуле (2.7) из [4]:

$$\alpha'_p = 6,3 + \frac{0,0702 I_{СВ}}{d_{Э}^{1,035}} = 6,3 + \frac{0,0702 \cdot 150}{1,2^{1,035}} = 15 \frac{г}{Ач}. \quad (2.7)$$

Рассчитаем составляющую $\Delta\alpha_p$ по формуле (2.8) из [4]:

$$\Delta\alpha_p = \frac{3600 Q_{ПП}}{q_{Э} I_{СВ}}, \quad (2.8)$$

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

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

Рассчитаем количество теплоты ($Q_{ПП}$) по формуле (2.9) из [4]:

$$Q_{ПП} = 0,1884 j^2 \rho_0 d_{Э}^2 \left(\frac{V_{Э}}{\alpha \beta} (e^{-P_2 l} - 1) - \frac{\alpha (T_{ПЛ} - T_0)}{p_1} \right), \quad (2.9)$$

где $j = 13270$ – плотность тока в электроде, $А/см^2$;

| | | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|--|-------------------------|------|
| | | | | | | 15.03.01.2019.183.00 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | | 51 |

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

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

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

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

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

β – коэффициент, ед;

$l = 1,5$ – вылет электродной проволоки, см;

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

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

r_1 и r_2 – коэффициенты, ед.

Рассчитаем коэффициент β по формуле (2.10) из [4]:

$$\beta = \frac{0,24j^2 \rho_0}{a\gamma} = \frac{0,24 \cdot 13270^2 \cdot 0,000014}{0,08 \cdot 1,25} = 5916,7 \text{ ед.} \quad (2.10)$$

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

Рассчитаем условную скорость подачи проволоки $V_{\text{Э}}$ по формуле (2.11) из [4]:

$$V_{\text{Э}} = \frac{4\alpha_p I_{\text{СВ}}}{3600\pi\gamma d_{\text{Э}}^2} = \frac{4 \cdot 15 \cdot 150}{3600 \cdot 3,14 \cdot 7,85 \cdot 0,12^2} = 7 \frac{\text{см}}{\text{с}}. \quad (2.11)$$

Рассчитаем коэффициенты r_1 и r_2 по формуле (2.12) из [4, 6]:

$$\begin{cases} r_1 = -\frac{V_{\text{Э}}}{2a} - \sqrt{\frac{V_{\text{Э}}^2}{4a^2} - \alpha\beta} = -\frac{7}{2 \cdot 0,08} - \sqrt{\frac{7^2}{4 \cdot 0,08^2} - 0,0083 \cdot 5916,7} = -86,9 \text{ ед;} \\ r_2 = -\frac{V_{\text{Э}}}{2a} + \sqrt{\frac{V_{\text{Э}}^2}{4a^2} - \alpha\beta} = -\frac{7}{2 \cdot 0,08} + \sqrt{\frac{7^2}{4 \cdot 0,08^2} - 0,0083 \cdot 5916,7} = -0,6 \text{ ед.} \end{cases} \quad (2.12)$$

Тогда, по формуле (2.9) получим, что

$$Q_{\text{III}} = 0,1884 \cdot 13270^2 \cdot 14 \cdot 10^{-6} \cdot 0,12^2 \cdot \left(\frac{7}{0,08 \cdot 0,0083 \cdot 5916,7} (e^{-0,6 \cdot 1,5} - 1) - \frac{0,0083 \cdot (1500 - 20)}{-86,9} \right) =$$
$$= 17,5 \text{ кал.}$$

Следовательно, по формуле (2.8)

$$\Delta \alpha_p = \frac{3600 \cdot 17,5}{325 \cdot 150} = 1,3 \frac{\text{Г}}{\text{Ач}}.$$

Тогда, по формуле (2.6) получим, что

$$\alpha_p = 15 + 1,3 = 16,3 \frac{\text{Г}}{\text{Ач}}.$$

Следовательно, по формуле (2.5) получим, что скорость подачи $V_{\text{ПОД}}$

$$V_{\text{ПОД}} = \frac{16,3 \cdot 150}{3600 \cdot 0,0113 \cdot 7,85} = 7,7 \frac{\text{см}}{\text{с}}.$$

Рассчитаем коэффициент потерь по формуле (2.13) из [4]:

$$\psi_{\text{II}} = -4,72 + 0,176j - 0,000448j^2, \quad (2.13)$$

где $j = 132,7$ – плотность тока, А/мм².

Тогда, по формуле (2.13) получим, что

$$\psi_{\text{II}} = -4,72 + 0,176 \cdot 132,7 - 0,000448 \cdot 132,7^2 = 10,7 \% = 0,107 \text{ ед.}$$

| | | | | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-------------------------|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | Лист |
| | | | | | | | | | 53 |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | 15.03.01.2019.183.00 ПЗ | | | | |

Тогда, по формуле (2.4) получим, что скорость сварки

$$V_{CB} = \frac{7,7}{0,15} \cdot 0,0113 = 0,53 \frac{\text{см}}{\text{с}}.$$

Рассчитаем погонную энергию по формуле (2.14) из [4]:

$$q_{\text{ПОГ}} = \frac{0,24 U_{\text{Д}} I_{\text{СВ}} \eta}{V_{\text{СВ}}}, \frac{\text{кал}}{\text{см}}, \quad (2.14)$$

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

Тогда, по формуле (2.14) получим, что

$$q_{\text{ПОГ}} = \frac{0,24 \cdot 26,8 \cdot 150 \cdot 0,85}{0,53} = 1547,3 \frac{\text{кал}}{\text{см}}.$$

Рассчитаем глубину провара по формуле (2.15) из [4]:

$$h = 0,0165 \sqrt{\frac{q_{\text{П}}}{\Psi_{\text{ПР}}}}, \quad (2.15)$$

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

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

Рассчитаем коэффициент формы шва по формуле (2.16) из [4]:

$$\Psi_{\text{ПР}} = \frac{k'(19 - 0,01 I_{\text{СВ}}) d_{\text{Э}} U_{\text{Д}}}{I_{\text{СВ}}}, \quad (2.16)$$

где $k' = 1,12$ – коэффициент, зависящий от плотности и полярности тока, ед.

Тогда, по формуле (2.16) получим, что

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-------------------------|------|
| | | | | | 15.03.01.2019.183.00 ПЗ | Лист |
| | | | | | | 54 |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | |

$$\Psi_{\text{ПР}} = \frac{1,12 \cdot (19 - 0,01 \cdot 150) \cdot 1,2 \cdot 26,8}{150} = 4,2 \text{ ед.}$$

Тогда, по формуле (2.15) глубина провара составляет

$$h = 0,0165 \cdot \sqrt{\frac{1547,3}{4,2}} = 0,32 \text{ см.}$$

Рассчитаем ширину шва по формуле (2.17) из [4]:

$$B = \Psi_{\text{ПР}} h = 4,2 \cdot 0,32 = 1,34 \text{ см.} \quad (2.17)$$

Рассчитаем высоту валика по формуле (2.18) из [4]:

$$C = \frac{F_{\text{Н}}}{0,73B} = \frac{0,15}{0,73 \cdot 1,34} = 0,15 \text{ см.} \quad (2.18)$$

Рассчитаем общую высоту шва по формуле (2.19) из [4]:

$$D = h + C = 3,2 + 1,5 = 4,7 \text{ мм.} \quad (2.19)$$

Проведем расчет размеров шва для случая наличия зазора и разделки.

Высота шва при наличии разделки кромок и зазора при многопроходной сварке определяется по формуле (2.20) из [4]:

$$C_2 = \sqrt{\frac{F_{\text{Н}} - D_{\text{р}}}{\text{tg}\alpha}} = \frac{\sqrt{0,15 - 0,47 \cdot 0,2}}{1,2} = 2,2 \text{ мм} = 0,22 \text{ см.} \quad (2.20)$$

Рассчитаем полученную глубину проплавления по формуле (2.21) из [4]:

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-------------------------|------|
| | | | | | 15.03.01.2019.183.00 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 55 |

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

(2.21)

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-------------------------|------|
| | | | | | 15.03.01.2019.183.00 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 56 |

Полученное значение глубины проплавления может привести к прожогу, поэтому, требуется скорректировать режимы сварки. Примем, что скорость сварки $V_{СВ} = 1 \text{ см/с}$, скорость подачи проволоки $V_{ПОД} = 15 \text{ см/с}$. Тогда:

– погонная энергия

$$q_{\text{ПОГ}} = \frac{0,24 U_{\text{Д}} I_{\text{СВ}} \eta}{V_{\text{СВ}}} = \frac{0,24 \cdot 26,8 \cdot 150 \cdot 0,85}{1} = 820,1 \frac{\text{кал}}{\text{см}}$$

– глубина провара при условии отсутствия разделки кромок и зазора

$$h = 0,0165 \sqrt{\frac{q_{\text{П}}}{\psi_{\text{ПР}}}} = 0,0165 \cdot \sqrt{\frac{820,1}{4,2}} = 0,23 \text{ см.}$$

– ширина шва

$$B = \psi_{\text{ПР}} h = 4,2 \cdot 0,23 = 0,97 \text{ см.}$$

– высота валика

$$C = \frac{F_{\text{Н}}}{0,73B} = \frac{0,15}{0,73 \cdot 0,97} = 0,21 \text{ см.}$$

– высота шва

$$D = h + C = 2,3 + 2,1 = 4,4 \text{ мм.}$$

– высота валика при условии наличия разделки и зазора

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-------------------------|------|
| | | | | | 15.03.01.2019.183.00 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 57 |

$$C_2 = \sqrt{\frac{F_H - D_p}{\operatorname{tg} \alpha}} = \frac{\sqrt{0,15 - 0,44 \cdot 0,2}}{1,2} = 2,3 \text{ мм} = 0,23 \text{ см.}$$

– глубина провара при наличии разделки и зазора

$$H_2 = D - C_2 = 4,4 - 2,3 = 2,1 \text{ мм.}$$

Рассчитаем мгновенную скорость охлаждения металла по формуле (2.22) из [4]:

$$\omega = \bar{\omega} 2\pi\lambda \frac{(T_M - T_0)^2}{k_1 q_{\text{ПОГ}}}, \frac{^\circ\text{C}}{\text{с}}, \quad (2.22)$$

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

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

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

$T_0 = 210$ – начальная температура изделия, °С;

k_1 – коэффициент приведения для первого слоя шва, ед.

Безразмерный критерий процесса $\bar{\omega}$ зависит от другого безразмерного критерия, который определяется по формуле (2.23) из [4]:

$$\frac{1}{\theta} = \frac{2k_1 q_{\text{ПОГ}}}{\pi(\delta k_2)^2 c_V (T_M - T_0)} = \frac{2 \cdot 2 \cdot 1224}{3 \cdot 3,14 \cdot (0,5 \cdot 1)^2 \cdot 1,25 \cdot (500 - 20)} = 3,46. \quad (2.23)$$

где $c_V = 1,25$ – объемная теплоемкость, кал/см³°С;

k_2 – коэффициент приведения для первого слоя шва, ед.

Рассчитаем коэффициенты k_1 и k_2 по формуле (2.24) из [4]:

$$k_1 = k_2 = \frac{180^\circ}{180^\circ - \alpha} = \frac{180^\circ}{180^\circ - 50^\circ} = 1,4. \quad (2.24)$$

| | | | | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-------------------------|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | Лист |
| | | | | | | | | | 58 |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | 15.03.01.2019.183.00 ПЗ | | | | |

Тогда, по формуле (2.23) получим, что

$$\frac{1}{\theta} = \frac{2k_1 q_{\text{ПОГ}}}{\pi(\delta k_2)^2 c \gamma (T_M - T_0)} = \frac{2 \cdot 1,4 \cdot 820,1}{3,14 \cdot (0,5 \cdot 1,4)^2 \cdot 1,25 \cdot (500 - 210)} = 4,1.$$

При значении безразмерного критерия 4,1 величина $\bar{\omega}$ рассчитывается по формуле (2.25) из [4]:

$$\bar{\omega} = \frac{2}{\pi \cdot 1/\theta} = \frac{2}{3,14 \cdot 4,11} = 0,16. \quad (2.25)$$

Тогда, по формуле (2.22) получим, что

$$\omega = 0,16 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 0,1 \cdot \frac{(500 - 210)^2}{1,4 \cdot 820,1} = 7,4 \frac{^\circ\text{C}}{\text{с}}.$$

Полученное значение мгновенной скорости охлаждения превышает максимальное для стали 40 (2,4...5 °C/с), поэтому, при сварке требуется применить предварительный подогрев до температуры 250 °C.

Тогда, по формуле (2.23) получим, что

$$\frac{1}{\theta} = \frac{2k_1 q_{\text{ПОГ}}}{\pi(\delta k_2)^2 c \gamma (T_M - T_0)} = \frac{2 \cdot 1,4 \cdot 820,1}{3,14 \cdot (0,5 \cdot 1,4)^2 \cdot 1,25 \cdot (500 - 250)} = 4,8.$$

Следовательно, по формуле (2.25)

$$\bar{\omega} = \frac{2}{\pi \cdot 1/\theta} = \frac{2}{3,14 \cdot 4,8} = 0,13.$$

По формуле (2.22) получим, что

| | | | | | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-------------------------|--|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | | Лист |
| | | | | | | | | | | 59 |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | 15.03.01.2019.183.00 ПЗ | | | | | |

$$\omega = 0,13 \cdot 2,3,14 \cdot 0,1 \cdot \frac{(500-250)^2}{1,4 \cdot 820,1} = 4,4 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{с}}$$

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

Рассчитаем режимы сварки шва №1 при втором проходе. Площадь поперечного сечения шва составляет $25 \text{ мм}^2 = 0,25 \text{ см}^2$.

Примем, что для диаметра 1,2 мм сила сварочного тока составляет 250 А. Ток постоянный прямой полярности.

Рассчитаем режимы сварки:

– плотность тока по формуле (2.2):

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

– напряжение на дуге по формуле (2.3):

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

– составляющая, обусловленная тепловложением дуги по формуле (2.7):

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

– условная скорость подачи проволоки по формуле (2.11):

$$V_{\text{Э}} = \frac{4\alpha'_{\text{р}} I_{\text{СВ}}}{3600 \pi \gamma d_{\text{Э}}^2} = \frac{4 \cdot 20,8 \cdot 250}{3600 \cdot 3,14 \cdot 7,85 \cdot 0,012^2} = 16,3 \frac{\text{см}}{\text{с}}$$

| | | | | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-------------------------|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | Лист |
| | | | | | | | | | 60 |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | 15.03.01.2019.183.00 ПЗ | | | | |

- коэффициент $\beta = 16440,3$ ед;
- коэффициент $p_1 = -203,1$ ед, $p_2 = -0,7$ ед;
- количество теплоты, расходуемое на предварительный подогрев вылета электродной проволоки протекающим по нему током $Q_{III} = 55,7$ кал;
- составляющая, зависящая от тепловложения вследствие предварительного нагрева вылета электрода протекающим током по формуле (2.8):

$$\Delta\alpha_p = \frac{3600Q_{III}}{q_{\text{Э}}I_{\text{СВ}}} = \frac{3600 \cdot 55,7}{325 \cdot 250} = 2,5 \frac{\text{г}}{\text{Ач}}.$$

- коэффициент расплавления по формуле (2.7):

$$\alpha_p = \alpha'_p + \Delta\alpha_p = 20,8 + 2,5 = 23,3 \frac{\text{г}}{\text{Ач}}.$$

- скорость подачи проволоки по формуле (2.5):

$$V_{\text{ПОД}} = \frac{\alpha_p I_{\text{СВ}}}{3600 F_{\text{Э}} \gamma} = \frac{23,3 \cdot 250}{3600 \cdot 0,012 \cdot 7,85} = 18,4 \frac{\text{см}}{\text{с}}.$$

- скорость сварки по формуле (2.4):

$$V_{\text{СВ}} = \frac{V_{\text{ПОД}}}{F_{\text{H2}}} \cdot F_{\text{Э}} = \frac{18,4}{0,25} \cdot 0,0113 = 0,72 \frac{\text{см}}{\text{с}}.$$

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

- погонная энергия по формуле (2.13):

$$q_{\text{П}} = \frac{0,24 U_{\text{Д}} I_{\text{СВ}} \eta}{V_{\text{СВ}}} = \frac{0,24 \cdot 31,4 \cdot 250 \cdot 0,85}{0,72} = 2224,2 \frac{\text{кал}}{\text{см}}.$$

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

– коэффициент формы провара по формуле (2.16):

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

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

$$h = 0,0165 \sqrt{\frac{q_{\text{П}}}{\psi_{\text{ПР}}}} = 0,0165 \cdot \sqrt{\frac{2224,2}{2,8}} = 4,7 \text{ мм} = 0,47 \text{ см.}$$

– ширина усиления шва по формуле (2.17):

$$B = \psi_{\text{ПР}} h = 2,8 \cdot 0,47 = 1,32 \text{ см} = 13,2 \text{ мм.}$$

– высота усиления шва определяется по формуле (2.18):

$$C = \frac{F_{\text{Н}}}{0,73B} = \frac{0,25}{0,73 \cdot 1,32} = 0,26 \text{ см} = 2,6 \text{ мм.}$$

Полученное значение ширины шва превышает требуемое для облицовочного слоя шва №1, поэтому, требуется скорректировать режимы сварки. Примем, что напряжение на дуге $U_{\text{Д}} = 28 \text{ В}$. Тогда:

– погонная энергия по формуле (2.13):

$$q_{\text{П}} = \frac{0,24U_{\text{Д}}I_{\text{СВ}}\eta}{V_{\text{СВ}}} = \frac{0,24 \cdot 28 \cdot 250 \cdot 0,85}{0,72} = 1983,3 \frac{\text{кал}}{\text{см}}.$$

| | | | | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-------------------------|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | Лист |
| | | | | | | | | | 62 |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | 15.03.01.2019.183.00 ПЗ | | | | |

– коэффициент, зависящий от рода и полярности тока $k'=1,12$, так как плотность $j>120$ А/мм².

– коэффициент формы провара по формуле (2.16):

$$\psi_{\text{ПР}} = \frac{k'(19-0,01I_{\text{СВ}})d_{\text{Э}}U_{\text{Д}}}{I_{\text{СВ}}} = \frac{1,12 \cdot (19-0,01 \cdot 250) \cdot 1,2 \cdot 28}{250} = 2,5.$$

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

$$h = 0,0165 \sqrt{\frac{q_{\text{П}}}{\psi_{\text{ПР}}}} = 0,0165 \cdot \sqrt{\frac{1983,3}{2,5}} = 4,6 \text{ мм} = 0,46 \text{ см.}$$

– ширина усиления шва по формуле (2.17):

$$B = \psi_{\text{ПР}} h = 2,5 \cdot 0,46 = 1,15 \text{ см} = 11,5 \text{ мм.}$$

– высота усиления шва определяется по формуле (2.18):

$$C = \frac{F_{\text{Н}}}{0,73B} = \frac{0,25}{0,73 \cdot 1,15} = 0,3 \text{ см} = 3 \text{ мм.}$$

Рассчитаем мгновенную скорость охлаждения при сварке второго слоя шва №1 по формуле (2.26) из [4]:

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

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

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

| | | | | | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-------------------------|--|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | | Лист |
| | | | | | | | | | | 63 |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | 15.03.01.2019.183.00 ПЗ | | | | | |

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

$T_0 = 210$ – температура щита перед сваркой, °С.

Безразмерный критерий процесса $\bar{\omega}$ зависит от другого безразмерного критерия, который рассчитывается по формуле (2.27) из [4]:

$$\frac{1}{\theta} = \frac{2q_{\text{ПОГ}}}{\pi \delta^2 c \gamma (T_M - T_0)} = \frac{2 \cdot 1983,3}{3,14 \cdot 0,5^2 \cdot 1,25 \cdot (500 - 210)} = 13,9. \quad (2.27)$$

Следовательно, по формуле (2.25)

$$\bar{\omega} = \frac{2}{\pi \cdot 1/\theta} = \frac{2}{3,14 \cdot 13,9} = 0,05.$$

Тогда, по формуле (2.26) получим, что

$$\omega = 0,05 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 0,1 \cdot \frac{(500 - 210)^2}{1983,3} = 3,2 \frac{^\circ\text{C}}{\text{с}}.$$

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

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-------------------------|------|
| | | | | | 15.03.01.2019.183.00 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 64 |

2.3.2 Расчет режимов сварки шва №2

Общий вид сварного шва №2 показан на рисунке 2.22. Сварка механизированная в среде защитных газов проволокой диаметром 1,2 мм.

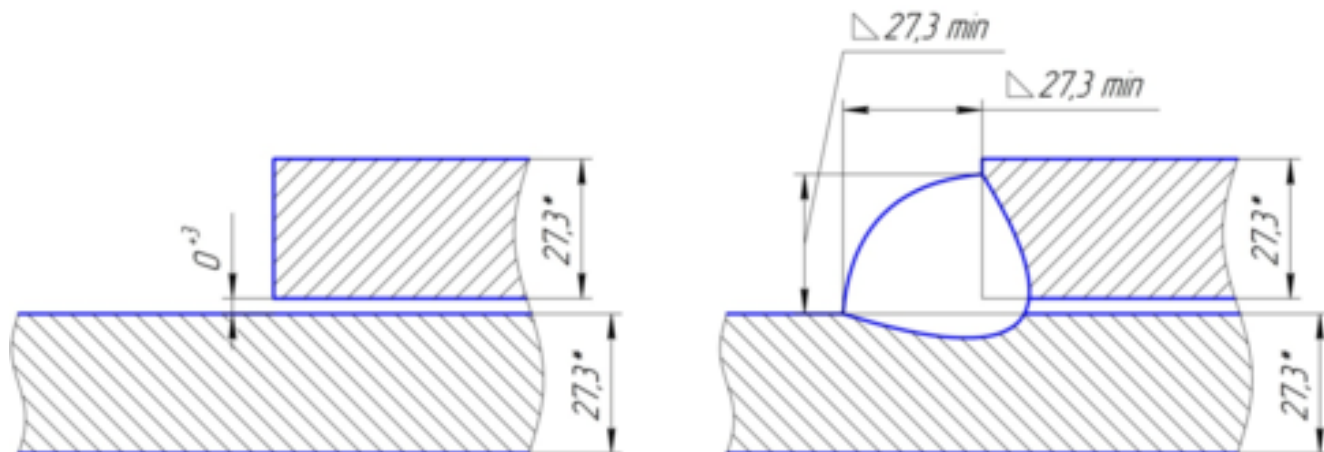


Рисунок 2.22 – Общий вид сварного шва №2

Рассчитаем площадь наплавленного металла по формуле (2.28) из [6]:

$$F_H = \frac{K^2}{2} = \frac{27,3^2}{2} = 380 \text{ мм}^2 = 3,8 \text{ см}^2, \quad (2.28)$$

где $K = 27,3$ – минимальный катет сварного шва, мм.

Так как площадь наплавленного металла превышает 100 мм^2 , то сварку будем производить за несколько проходов. Примем, что площадь сечения первого прохода составляет $F_{H1} = 30 \text{ мм}^2 = 0,3 \text{ см}^2$. Площадь сечения остальных проходов составляет $F_{H2} = 50 \text{ мм}^2 = 0,5 \text{ см}^2$. Таких проходов будет 7 штук.

Примем, что сила сварочного тока составляет 280 А.

– плотность тока по формуле (2.2):

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

– напряжение на дуге по формуле (2.3):

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

– составляющая, обусловленная тепловложением дуги по формуле (2.7):

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

– условная скорость подачи проволоки по формуле (2.11):

$$V_{\text{э}} = \frac{4\alpha'_{\text{р}} I_{\text{СВ}}}{3600\pi\gamma d_{\text{э}}^2} = \frac{4 \cdot 22,6 \cdot 280}{3600 \cdot 3,14 \cdot 7,85 \cdot 0,012^2} = 19,8 \frac{\text{см}}{\text{с}}.$$

– коэффициент $\beta = 16440,3$ ед;

– коэффициент $p_1 = -246,8$ ед, $p_2 = -0,7$ ед;

– количество теплоты, расходуемое на предварительный подогрев вылета электродной проволоки протекающим по нему током $Q_{\text{ПП}} = 67,6$ кал;

– составляющая, зависящая от тепловложения вследствие предварительного нагрева вылета электрода протекающим током по формуле (2.8):

$$\Delta\alpha_{\text{р}} = \frac{3600 Q_{\text{ПП}}}{q_{\text{э}} I_{\text{СВ}}} = \frac{3600 \cdot 67,6}{325 \cdot 280} = 2,7 \frac{\text{г}}{\text{Ач}}.$$

– коэффициент расплавления по формуле (2.7):

$$\alpha_{\text{р}} = \alpha'_{\text{р}} + \Delta\alpha_{\text{р}} = 22,6 + 2,7 = 25,3 \frac{\text{г}}{\text{Ач}}.$$

– скорость подачи проволоки по формуле (2.5):

| | | | | | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-------------------------|--|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | | Лист |
| | | | | | | | | | | 66 |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | 15.03.01.2019.183.00 ПЗ | | | | | |

$$V_{\text{ПОД}} = \frac{\alpha_P I_{\text{СВ}}}{3600 F_{\text{Э}\gamma}} = \frac{25,3 \cdot 280}{3600 \cdot 0,012 \cdot 7,85} = 22,2 \frac{\text{см}}{\text{с}}.$$

– скорость сварки по формуле (2.4):

$$V_{\text{СВ}} = \frac{V_{\text{ПОД}}}{F_{\text{H2}}} \cdot F_{\text{Э}} = \frac{22,2}{0,3} \cdot 0,0113 = 0,75 \frac{\text{см}}{\text{с}}.$$

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

– погонная энергия по формуле (2.13):

$$q_{\text{П}} = \frac{0,24 U_{\text{Д}} I_{\text{СВ}} \eta}{V_{\text{СВ}}} = \frac{0,24 \cdot 32,8 \cdot 280 \cdot 0,85}{0,75} = 2498 \frac{\text{кал}}{\text{см}}.$$

Тогда, по формуле (2.27) получим, что

$$\frac{1}{\theta} = \frac{2k_1 q_{\text{ПОГ}}}{\pi(\delta k_2)^2 c \gamma (T_{\text{М}} - T_0)} = \frac{2 \cdot 2 \cdot 2498}{3 \cdot 3,14 \cdot (2,73 \cdot 1)^2 \cdot 1,25 \cdot (500 - 210)} = 0,4.$$

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

Тогда, по формуле (2.26) получим, что

$$\omega = 1 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 0,1 \cdot \frac{3 \cdot (500 - 210)^2}{2 \cdot 2498} = 31,7 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{с}}.$$

Полученное значение мгновенной скорости охлаждения превышает максимальное для стали 10Г2ФБЮ (1...15 °C/с), поэтому, при сварке требуется применить предварительный подогрев до температуры 310 °C.

Тогда, по формуле (2.27) получим, что

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-------------------------|------|
| | | | | | 15.03.01.2019.183.00 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 67 |

$$\frac{1}{\theta} = \frac{2k_1 q_{\text{ПОГ}}}{\pi(\delta k_2)^2 c \gamma (T_M - T_0)} = \frac{2 \cdot 2 \cdot 2498}{3 \cdot 3,14 \cdot (2,73 \cdot 1)^2 \cdot 1,25 \cdot (500 - 310)} = 0,6.$$

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

Тогда, по формуле (2.26) получим, что

$$\omega = 0,97 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 0,1 \cdot \frac{3 \cdot (500 - 310)^2}{2 \cdot 2498} = 13,61 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{с}}.$$

Полученное значение мгновенной скорости охлаждения входит в требуемый интервал скоростей охлаждения для стали 10Г2ФБЮ (1...15 °С/с).

Рассчитаем режимы сварки остальных проходов. Площадь поперечного сечения наплавленного металла за один проход составляет $50 \text{ мм}^2 = 0,5 \text{ см}^2$.

Примем, что сила сварочного тока составляет 280 А.

– плотность тока по формуле (2.2):

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

– напряжение на дуге по формуле (2.3):

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

– составляющая, обусловленная тепловложением дуги по формуле (2.7):

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

– условная скорость подачи проволоки по формуле (2.11):

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-------------------------|------|
| | | | | | 15.03.01.2019.183.00 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 68 |

$$V_{\text{Э}} = \frac{4\alpha'_p I_{\text{СВ}}}{3600\pi\gamma d_{\text{Э}}^2} = \frac{4 \cdot 22,6 \cdot 280}{3600 \cdot 3,14 \cdot 7,85 \cdot 0,012^2} = 19,8 \frac{\text{см}}{\text{с}}.$$

– коэффициент $\beta = 16440,3$ ед;

– коэффициент $p_1 = -246,8$ ед, $p_2 = -0,7$ ед;

– количество теплоты, расходуемое на предварительный подогрев вылета электродной проволоки протекающим по нему током $Q_{\text{ПП}} = 67,6$ кал;

– составляющая, зависящая от тепловложения вследствие предварительного нагрева вылета электрода протекающим током по формуле (2.8):

$$\Delta\alpha_p = \frac{3600Q_{\text{ПП}}}{q_{\text{Э}} I_{\text{СВ}}} = \frac{3600 \cdot 67,6}{325 \cdot 280} = 2,7 \frac{\text{г}}{\text{Ач}}.$$

– коэффициент расплавления по формуле (2.7):

$$\alpha_p = \alpha'_p + \Delta\alpha_p = 22,6 + 2,7 = 25,3 \frac{\text{г}}{\text{Ач}}.$$

– скорость подачи проволоки по формуле (2.5):

$$V_{\text{ПОД}} = \frac{\alpha_p I_{\text{СВ}}}{3600F_{\text{Э}}\gamma} = \frac{25,3 \cdot 280}{3600 \cdot 0,012 \cdot 7,85} = 22,2 \frac{\text{см}}{\text{с}}.$$

– скорость сварки по формуле (2.4):

$$V_{\text{СВ}} = \frac{V_{\text{ПОД}}}{F_{\text{Н2}}} \cdot F_{\text{Э}} = \frac{22,2}{0,5} \cdot 0,0113 = 0,44 \frac{\text{см}}{\text{с}}.$$

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

– погонная энергия по формуле (2.13):

| | | | | | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-------------------------|--|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | | Лист |
| | | | | | | | | | | |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | 15.03.01.2019.183.00 ПЗ | | | | | 69 |

$$q_{\Pi} = \frac{0,24 U_{\text{Д}} I_{\text{СВ}} \eta}{V_{\text{СВ}}} = \frac{0,24 \cdot 32,8 \cdot 280 \cdot 0,85}{0,44} = 4258 \frac{\text{кал}}{\text{см}}$$

Безразмерный критерий процесса $\bar{\omega}$ зависит от другого безразмерного критерия, который рассчитывается по формуле (2.27)

$$\frac{1}{\theta} = \frac{2q_{\text{ПОГ}}}{\pi \delta^2 c \gamma (T_{\text{М}} - T_0)} = \frac{2 \cdot 4258}{3,14 \cdot 2,73^2 \cdot 1,25 \cdot (500 - 210)} = 1.$$

При значении безразмерного критерия 1 значение $\bar{\omega} = 0,79$.

Рассчитаем мгновенную скорость охлаждения при сварке второго слоя шва №1 по формуле (2.26)

$$\omega = \bar{\omega} 2\pi\lambda \frac{(T_{\text{М}} - T_0)^2}{q_{\text{ПОГ}}} = 0,79 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 0,1 \cdot \frac{(500 - 210)^2}{4258} = 7,9 \frac{\text{°С}}{\text{с}}$$

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

2.3.3 Расчет режимов сварки шва №3

Сварной шов №3 показан на рисунке 2.23. Сварка механизированная в среде защитных газов проволокой диаметром 1,2 мм.

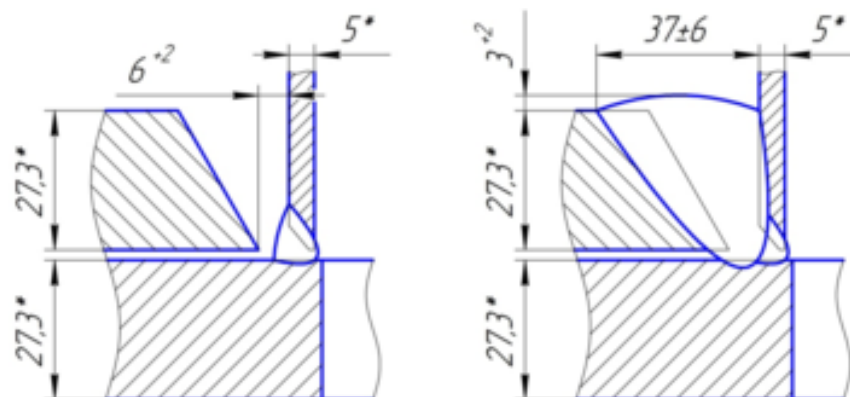


Рисунок 2.23 – Сварной шов №3

| | | | | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-------------------------|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | Лист |
| | | | | | | | | | 70 |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | 15.03.01.2019.183.00 ПЗ | | | | |

Общая площадь поперечного сечения наплавленного металла составляет 4,7 см². Экспериментально установлено, что оптимальная площадь поперечного сечения наплавленного металла при первом проходе составляет 30...35 мм²=0,3...0,35 см². Примем, что $F_{Н1} = 30 \text{ мм}^2 = 0,3 \text{ см}^2$.

При заполняющих проходах примем, что поперечного сечения металла за один проход составляет $F_{Н2} = 50 \text{ мм}^2 = 0,5 \text{ см}^2$. Количество таких проходов 7 шт.

Для облицовочного прохода примем, что площадь поперечного сечения наплавленного металла за один проход составляет $F_{Н3} = 45 \text{ мм}^2 = 0,45 \text{ см}^2$. Количество таких проходов 2 шт.

Рассчитаем режимы сварки при первом проходе. В первую очередь, рассчитаем режимы сварки при условии отсутствия зазора и разделки кромок.

Ток постоянный прямой полярности. Вылет проволоки $L = 15 \text{ мм}$. Сила тока $I_{СВ} = 250 \text{ А}$.

Рассчитаем режимы сварки при условии отсутствия разделки кромок и зазора. Тогда:

– плотность тока по формуле (2.2):

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

– напряжение на дуге по формуле (2.3):

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

– составляющая, обусловленная тепловложением дуги по формуле (2.7):

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

| | | | | | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-------------------------|--|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | | Лист |
| | | | | | | | | | | |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | 15.03.01.2019.183.00 ПЗ | | | | | 71 |

– условная скорость подачи проволоки по формуле (2.11):

$$V_{\text{Э}} = \frac{4\alpha'_p I_{\text{СВ}}}{3600\pi\gamma d_{\text{Э}}^2} = \frac{4 \cdot 20,8 \cdot 250}{3600 \cdot 3,14 \cdot 7,85 \cdot 0,012^2} = 16,3 \frac{\text{см}}{\text{с}}.$$

– коэффициент $\beta = 16440,3$ ед;

– коэффициент $p_1 = -203,1$ ед, $p_2 = -0,7$ ед;

– количество теплоты, расходуемое на предварительный подогрев вылета электродной проволоки протекающим по нему током $Q_{\text{ПП}} = 55,7$ кал;

– составляющая, зависящая от тепловложения вследствие предварительного нагрева вылета электрода протекающим током по формуле (2.8):

$$\Delta\alpha_p = \frac{3600Q_{\text{ПП}}}{q_{\text{Э}} I_{\text{СВ}}} = \frac{3600 \cdot 55,7}{325 \cdot 250} = 2,5 \frac{\text{г}}{\text{Ач}}.$$

– коэффициент расплавления по формуле (2.7):

$$\alpha_p = \alpha'_p + \Delta\alpha_p = 20,8 + 2,5 = 23,3 \frac{\text{г}}{\text{Ач}}.$$

– скорость подачи проволоки по формуле (2.5):

$$V_{\text{ПОД}} = \frac{\alpha_p I_{\text{СВ}}}{3600F_{\text{Э}}\gamma} = \frac{23,3 \cdot 250}{3600 \cdot 0,012 \cdot 7,85} = 18,2 \frac{\text{см}}{\text{с}}.$$

– скорость сварки по формуле (2.4):

$$V_{\text{СВ}} = \frac{V_{\text{ПОД}}}{F_{\text{Н2}}} \cdot F_{\text{Э}} = \frac{18,2}{0,3} \cdot 0,0113 = 0,6 \frac{\text{см}}{\text{с}}.$$

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

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-------------------------|------|
| | | | | | 15.03.01.2019.183.00 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 72 |

– погонная энергия по формуле (2.13):

$$q_{\Pi} = \frac{0,24 U_{\text{Д}} I_{\text{СВ}} \eta}{V_{\text{СВ}}} = \frac{0,24 \cdot 31,4 \cdot 250 \cdot 0,85}{0,6} = 2669 \frac{\text{кал}}{\text{см}}.$$

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

– коэффициент формы провара по формуле (2.16):

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

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

$$h = 0,0165 \sqrt{\frac{q_{\Pi}}{\psi_{\text{ПР}}}} = 0,0165 \cdot \sqrt{\frac{2669}{2,8}} = 5,1 \text{ мм} = 0,51 \text{ см}.$$

– ширина усиления шва по формуле (2.17):

$$B = \psi_{\text{ПР}} h = 2,8 \cdot 0,51 = 1,43 \text{ см} = 14,3 \text{ мм}.$$

– высота усиления шва определяется по формуле (2.18):

$$C = \frac{F_{\text{Н}}}{0,73 B} = \frac{0,3}{0,73 \cdot 1,43} = 0,29 \text{ см} = 2,9 \text{ мм}.$$

– коэффициенты k_1 и k_2 по формуле (2.24)

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-------------------------|------|
| | | | | | 15.03.01.2019.183.00 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 73 |

$$k_1=k_2=\frac{180^\circ}{180^\circ-\alpha}=\frac{180^\circ}{180^\circ-30^\circ}=1,2.$$

– безразмерный критерий по формуле (2.27)

$$\frac{1}{\theta}=\frac{2k_1q_{\text{ПОГ}}}{\pi(\delta k_2)^2 c \gamma (T_M-T_0)}=\frac{2 \cdot 1,2 \cdot 2669}{3,14 \cdot (2,73 \cdot 1,2)^2 \cdot 1,25 \cdot (500-210)}=0,5.$$

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

Тогда, по формуле (2.26) получим, что

$$\omega=0,97 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 0,1 \cdot \frac{(500-210)^2}{1,2 \cdot 2669}=16,2 \frac{^\circ\text{C}}{\text{с}}.$$

Полученное значение мгновенной скорости охлаждения превышает максимальное для стали 10Г2ФБЮ (1...15 °C/с), поэтому, при сварке требуется применить предварительный подогрев до температуры 230 °C.

Тогда, по формуле (2.27) получим, что

$$\frac{1}{\theta}=\frac{2k_1q_{\text{ПОГ}}}{\pi(\delta k_2)^2 c \gamma (T_M-T_0)}=\frac{2 \cdot 1,2 \cdot 2669}{3,14 \cdot (2,73 \cdot 1,2)^2 \cdot 1,25 \cdot (500-230)}=0,6.$$

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

Тогда, по формуле (2.26) получим, что

$$\omega=0,97 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 0,1 \cdot \frac{(500-310)^2}{1,2 \cdot 2669}=13,87 \frac{^\circ\text{C}}{\text{с}}.$$

Полученное значение мгновенной скорости охлаждения входит в требуемый интервал скоростей охлаждения для стали 10Г2ФБЮ (1...15 °C/с).

Рассчитаем режимы сварки заполняющих проходов. Площадь поперечного

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-------------------------|------|
| | | | | | 15.03.01.2019.183.00 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 74 |

сечения наплавленного металла за один проход составляет $50 \text{ мм}^2 = 0,5 \text{ см}^2$.

Примем, что сила сварочного тока составляет 280 А.

Тогда:

– плотность тока по формуле (2.2):

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

– напряжение на дуге по формуле (2.3):

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

– составляющая, обусловленная тепловложением дуги по формуле (2.7):

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

– условная скорость подачи проволоки по формуле (2.11):

$$V_{\text{Э}} = \frac{4\alpha'_{\text{р}} I_{\text{СВ}}}{3600 \pi \gamma d_{\text{Э}}^2} = \frac{4 \cdot 22,6 \cdot 280}{3600 \cdot 3,14 \cdot 7,85 \cdot 0,012^2} = 19,8 \frac{\text{см}}{\text{с}}.$$

– коэффициент $\beta = 20615,4$ ед;

– коэффициент $p_1 = -246,8$ ед, $p_2 = -0,7$ ед;

– количество теплоты, расходуемое на предварительный подогрев вылета электродной проволоки протекающим по нему током $Q_{\text{ПП}} = 67,6$ кал;

– составляющая, зависящая от тепловложения вследствие предварительного нагрева вылета электрода протекающим током по формуле (2.8):

| | | | | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-------------------------|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | Лист |
| | | | | | | | | | 75 |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | 15.03.01.2019.183.00 ПЗ | | | | |

$$\Delta\alpha_p = \frac{3600Q_{III}}{q_{\text{Э}}I_{\text{СВ}}} = \frac{3600 \cdot 67,6}{325 \cdot 280} = 2,7 \frac{\text{г}}{\text{Ач}}.$$

– коэффициент расплавления по формуле (2.7):

$$\alpha_p = \alpha'_p + \Delta\alpha_p = 22,6 + 2,7 = 25,3 \frac{\text{г}}{\text{Ач}}.$$

– скорость подачи проволоки по формуле (2.5):

$$V_{\text{ПОД}} = \frac{\alpha_p I_{\text{СВ}}}{3600 F_{\text{Э}} \gamma} = \frac{25,3 \cdot 280}{3600 \cdot 0,012 \cdot 7,85} = 22,2 \frac{\text{см}}{\text{с}}.$$

– скорость сварки по формуле (2.4):

$$V_{\text{СВ}} = \frac{V_{\text{ПОД}}}{F_{\text{H2}}} \cdot F_{\text{Э}} = \frac{22,2}{0,5} \cdot 0,0113 = 0,44 \frac{\text{см}}{\text{с}}.$$

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

– погонная энергия по формуле (2.13):

$$q_{\text{II}} = \frac{0,24 U_{\text{д}} I_{\text{СВ}} \eta}{V_{\text{СВ}}} = \frac{0,24 \cdot 32,8 \cdot 280 \cdot 0,85}{0,44} = 4258 \frac{\text{кал}}{\text{см}}.$$

Рассчитаем режимы сварки облицовочных проходов. Площадь поперечного сечения наплавленного металла за один проход составляет $45 \text{ мм}^2 = 0,45 \text{ см}^2$.

Примем, что сила сварочного тока составляет 250 А.

Тогда:

– плотность тока по формуле (2.2):

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

– напряжение на дуге по формуле (2.3):

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

– составляющая, обусловленная тепловложением дуги по формуле (2.7):

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

– условная скорость подачи проволоки по формуле (2.11):

$$V_{\text{Э}} = \frac{4\alpha'_{\text{р}} I_{CB}}{3600 \pi \gamma d_{\text{Э}}^2} = \frac{4 \cdot 20,8 \cdot 250}{3600 \cdot 3,14 \cdot 7,85 \cdot 0,012^2} = 16,3 \frac{\text{см}}{\text{с}}.$$

– коэффициент $\beta = 16440,3$ ед;

– коэффициент $p_1 = -203,1$ ед, $p_2 = -0,7$ ед;

– количество теплоты, расходуемое на предварительный подогрев вылета электродной проволоки протекающим по нему током $Q_{\text{ПП}} = 55,7$ кал;

– составляющая, зависящая от тепловложения вследствие предварительного нагрева вылета электрода протекающим током по формуле (2.8):

$$\Delta\alpha_{\text{р}} = \frac{3600 Q_{\text{ПП}}}{q_{\text{Э}} I_{CB}} = \frac{3600 \cdot 55,7}{325 \cdot 250} = 2,5 \frac{\text{г}}{\text{Ач}}.$$

– коэффициент расплавления по формуле (2.7):

| | | | | | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-------------------------|--|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | | Лист |
| | | | | | | | | | | 77 |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | 15.03.01.2019.183.00 ПЗ | | | | | |

$$\alpha_p = \alpha'_p + \Delta\alpha_p = 20,8 + 2,5 = 23,3 \frac{\Gamma}{\text{Ач}}.$$

– скорость подачи проволоки по формуле (2.5):

$$V_{\text{ПОД}} = \frac{\alpha_p I_{\text{СВ}}}{3600 F_{\text{Э}} \gamma} = \frac{23,3 \cdot 250}{3600 \cdot 0,012 \cdot 7,85} = 18,2 \frac{\text{см}}{\text{с}}.$$

– скорость сварки по формуле (2.4):

$$V_{\text{СВ}} = \frac{V_{\text{ПОД}}}{F_{\text{НЗ}}} \cdot F_{\text{Э}} = \frac{18,2}{0,45} \cdot 0,0113 = 0,4 \frac{\text{см}}{\text{с}}.$$

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

– погонная энергия по формуле (2.13):

$$q_{\text{П}} = \frac{0,24 U_{\text{Д}} I_{\text{СВ}} \eta}{V_{\text{СВ}}} = \frac{0,24 \cdot 31,4 \cdot 250 \cdot 0,85}{0,4} = 4003,5 \frac{\text{кал}}{\text{см}}.$$

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

– коэффициент формы провара по формуле (2.16):

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

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

$$h = 0,0165 \sqrt{\frac{q_{\text{П}}}{\psi_{\text{ПР}}}} = 0,0165 \cdot \sqrt{\frac{4003,5}{2,8}} = 6,2 \text{ мм} = 0,62 \text{ см}.$$

| | | | | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-------------------------|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | Лист |
| | | | | | | | | | 78 |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | 15.03.01.2019.183.00 ПЗ | | | | |

– ширина усиления шва по формуле (2.17):

$$B = \psi_{\text{ПР}} h = 2,8 \cdot 0,62 = 1,74 \text{ см} = 17,4 \text{ мм.}$$

– высота усиления шва определяется по формуле (2.18):

$$C = \frac{F_H}{0,73B} = \frac{0,45}{0,73 \cdot 1,74} = 0,35 \text{ см} = 3,5 \text{ мм.}$$

– безразмерный критерий процесса $\bar{\omega}$ зависит от другого безразмерного критерия, который рассчитывается по формуле (2.27)

$$\frac{1}{\theta} = \frac{2q_{\text{ПОГ}}}{\pi \delta^2 c \gamma (T_M - T_0)} = \frac{2 \cdot 4003,5}{3,14 \cdot 2,73^2 \cdot 1,25 \cdot (500 - 210)} = 0,94.$$

При значении безразмерного критерия 0,94 значение $\bar{\omega} = 0,8$.

– мгновенная скорость охлаждения при сварке облицовочного прохода шва №3 по формуле (2.26)

$$\omega = \bar{\omega} 2\pi\lambda \frac{(T_M - T_0)^2}{q_{\text{ПОГ}}} = 0,8 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 0,1 \cdot \frac{(500 - 210)^2}{4003,5} = 10,55 \frac{^\circ\text{C}}{\text{с}}$$

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

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-------------------------|------|
| | | | | | 15.03.01.2019.183.00 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 79 |

2.3.4 Расчет режимов сварки шва №4

Вид шва №4 показан на рисунке 2.24. Сварка механизированная в среде защитных газов проволокой диаметром 1,2 мм.

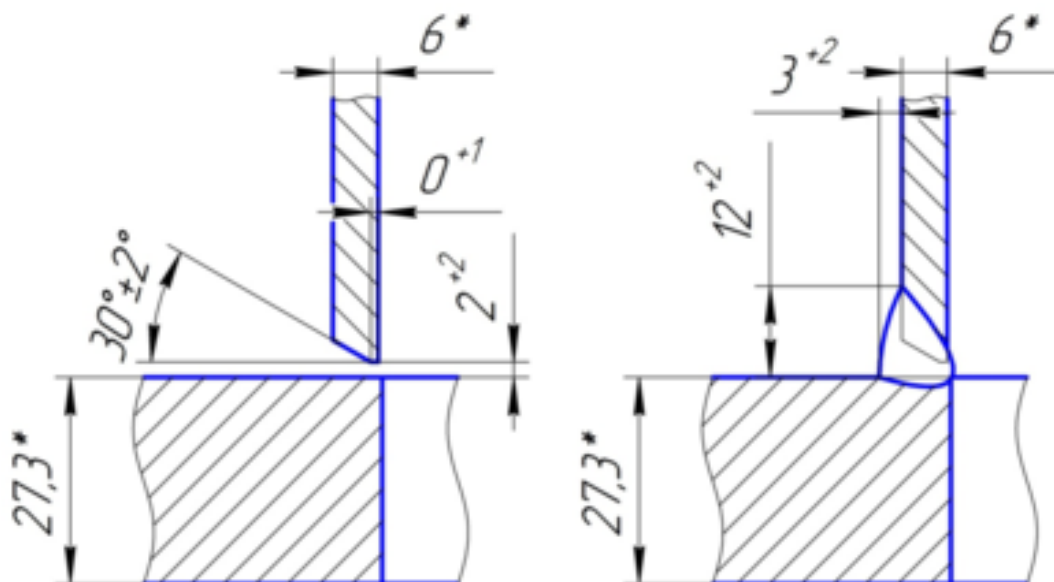


Рисунок 2.24 – Вид шва №4

Рассчитаем площадь поперечного сечения наплавленного металла по формуле (2.1)

$$F_H = Sp + \frac{(S-c)^2}{2} \operatorname{tg}\alpha + 0,73Bg = 6 \cdot 2 + \frac{(6-1)^2}{2} \operatorname{tg}30 + 0,73 \cdot 12 \cdot 3 = 45,5 \text{ мм}^2 = 0,46 \text{ см}^2.$$

где $S = 6$ – толщина свариваемых деталей, мм;

$p = 2$ – величина зазора, мм;

$c = 1$ – величина притупления, мм;

$\alpha = 30$ – угол разделки, град;

$B = 12$ – ширина шва, мм;

$g = 3$ – высота усиления, мм.

Сварка производится за два прохода, так как тип соединения не позволяет сварить данный шов за один проход. Площадь сечения шва при первом проходе примем равной $F_{H1} = 0,2 \text{ см}^2$, а площадь второго прохода $F_{H2} = 0,26 \text{ см}^2$.

Рассчитаем режимы сварки при первом проходе. В первую очередь,

| | | | | | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-------------------------|--|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | | Лист |
| | | | | | | | | | | 80 |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | 15.03.01.2019.183.00 ПЗ | | | | | |

рассчитаем режимы сварки при условии отсутствия зазора и разделки кромок.

Ток постоянный прямой полярности. Вылет проволоки $L = 15$ мм. Сила тока $I_{CB} = 150$ А.

Тогда:

– плотность тока по формуле (2.2):

$$j = \frac{4I_{CB}}{\pi d_{\Theta}^2} = \frac{4 \cdot 150}{3,14 \cdot 1,2^2} = 132,7 \frac{\text{А}}{\text{мм}^2}.$$

– напряжение на дуге по формуле (2.3):

$$U_{\text{д}} = 20 + \frac{0,05}{\sqrt{d_{\Theta}}} I_{CB} \pm 1 = 20 + \frac{0,05}{\sqrt{1,2}} \cdot 150 \pm 1 = 26,8 \pm 1 \text{ В.}$$

– составляющая, обусловленная тепловложением дуги по формуле (2.7):

$$\alpha'_p = 6,3 + \frac{0,0702 I_{CB}}{d_{\Theta}^{1,035}} = 6,3 + \frac{0,0702 \cdot 150}{1,2^{1,035}} = 15 \text{ г/Ач.}$$

– условная скорость подачи проволоки по формуле (2.11):

$$V_{\Theta} = \frac{4\alpha'_p I_{CB}}{3600\pi\gamma d_{\Theta}^2} = \frac{4 \cdot 15 \cdot 150}{3600 \cdot 3,14 \cdot 7,85 \cdot 0,012^2} = 7 \frac{\text{см}}{\text{с}}.$$

– коэффициент $\beta = 5916,7$ ед;

– коэффициент $p_1 = -86,9$ ед, $p_2 = -0,6$ ед;

– количество теплоты, расходуемое на предварительный подогрев вылета электродной проволоки протекающим по нему током $Q_{\text{III}} = 17,5$ кал;

– составляющая, зависящая от тепловложения вследствие предварительного нагрева вылета электрода протекающим током по формуле (2.8):

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-------------------------|------|
| | | | | | 15.03.01.2019.183.00 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 81 |

$$\Delta\alpha_p = \frac{3600Q_{III}}{q_{\Theta}I_{CB}} = \frac{3600 \cdot 17,5}{325 \cdot 150} = 1,3 \frac{\Gamma}{\text{Ач}}.$$

– коэффициент расплавления по формуле (2.7):

$$\alpha_p = \alpha'_p + \Delta\alpha_p = 15 + 1,3 = 16,3 \frac{\Gamma}{\text{Ач}}.$$

– скорость подачи проволоки по формуле (2.5):

$$V_{\text{ПОД}} = \frac{\alpha_p I_{CB}}{3600 F_{\Theta} \gamma} = \frac{16,3 \cdot 150}{3600 \cdot 0,012 \cdot 7,85} = 7,7 \frac{\text{см}}{\text{с}}.$$

– скорость сварки по формуле (2.4):

$$V_{CB} = \frac{V_{\text{ПОД}}}{F_{H2}} \cdot F_{\Theta} = \frac{7,7}{0,2} \cdot 0,0113 = 0,38 \frac{\text{см}}{\text{с}}.$$

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

– погонная энергия по формуле (2.13):

$$q_{II} = \frac{0,24 U_D I_{CB} \eta}{V_{CB}} = \frac{0,24 \cdot 26,8 \cdot 150 \cdot 0,85}{0,38} = 2158,1 \frac{\text{кал}}{\text{см}}.$$

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

– коэффициент формы провара по формуле (2.16):

$$\psi_{II} = \frac{k'(19 - 0,01 I_{CB}) d_{\Theta} U_D}{I_{CB}} = \frac{1,12 \cdot (19 - 0,01 \cdot 150) \cdot 1,2 \cdot 26,8}{150} = 4,2.$$

| | | | | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|--|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | Лист |
| | | | | | | | | | 82 |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | | | | |

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

$$h=0,0165 \sqrt{\frac{q_{\text{П}}}{\psi_{\text{ПР}}}}=0,0165 \cdot \sqrt{\frac{2158,1}{4,2}}=3,7 \text{ мм}=0,37 \text{ см.}$$

– ширина усиления шва по формуле (2.17):

$$B=\psi_{\text{ПР}}h=4,2 \cdot 0,37=1,55 \text{ см}=15,5 \text{ мм.}$$

– высота усиления шва определяется по формуле (2.18):

$$C=\frac{F_{\text{H}}}{0,73B}=\frac{0,2}{0,73 \cdot 1,55}=0,3 \text{ см}=3 \text{ мм.}$$

– высота шва

$$D = h + C = 3,7 + 3 = 6,7 \text{ мм.}$$

– высота валика при условии наличия разделки и зазора

$$C_2=\sqrt{\frac{F_{\text{H}}-Dp}{\text{tg}\alpha}}=\frac{\sqrt{0,2-0,67 \cdot 0,2}}{0,58}=3,4 \text{ мм}=0,34 \text{ см.}$$

– глубина провара при наличии разделки и зазора

$$H_2 = D - C_2 = 6,7 - 3,4 = 3,3 \text{ мм.}$$

Полученное значение глубины проплавления превышает величину

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-------------------------|------|
| | | | | | 15.03.01.2019.183.00 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 83 |

притупления патрубка (0^{+1} мм), что может привести к прожогу. Для того, чтобы этого избежать, требуется скорректировать режимы сварки. Примем, что скорость сварки $V_{СВ} = 0,9$ см/с, скорость подачи проволоки $V_{ПОД} = 18$ см/с. Тогда:

– погонная энергия по формуле (2.13):

$$q_{\Pi} = \frac{0,24 U_{Д} I_{СВ} \eta}{V_{СВ}} = \frac{0,24 \cdot 26,8 \cdot 150 \cdot 0,85}{0,9} = 911,2 \frac{\text{кал}}{\text{см}}$$

– коэффициент, зависящий от рода и полярности тока $k'=1,12$, так как плотность $j > 120$ А/мм².

– коэффициент формы провара по формуле (2.16):

$$\psi_{\Pi P} = \frac{k'(19-0,01 I_{СВ}) d_{\Theta} U_{Д}}{I_{СВ}} = \frac{1,12 \cdot (19-0,01 \cdot 150) \cdot 1,2 \cdot 26,8}{150} = 4,2.$$

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

$$h = 0,0165 \sqrt{\frac{q_{\Pi}}{\psi_{\Pi P}}} = 0,0165 \cdot \sqrt{\frac{911,2}{4,2}} = 2,4 \text{ мм} = 0,24 \text{ см}.$$

– ширина усиления шва по формуле (2.17):

$$B = \psi_{\Pi P} h = 4,2 \cdot 0,24 = 1,01 \text{ см} = 10,1 \text{ мм}.$$

– высота усиления шва определяется по формуле (2.18):

$$C = \frac{F_{H}}{0,73 B} = \frac{0,2}{0,73 \cdot 1,01} = 0,3 \text{ см} = 3 \text{ мм}.$$

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-------------------------|------|
| | | | | | 15.03.01.2019.183.00 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 84 |

– ВЫСОТА ШВА

$$D = h + C = 2,4 + 3 = 5,4 \text{ мм.}$$

– высота валика при условии наличия разделки и зазора

$$C_2 = \sqrt{\frac{F_H - D_p}{\text{tg}\alpha}} = \frac{\sqrt{0,2 - 0,54 \cdot 0,2}}{0,58} = 4 \text{ мм} = 0,4 \text{ см.}$$

– глубина провара при наличии разделки и зазора

$$H_2 = D - C_2 = 5,4 - 4 = 1,4 \text{ мм.}$$

– коэффициенты k_1 и k_2 по формуле (2.24)

$$k_1 = k_2 = \frac{180^\circ}{180^\circ - \alpha} = \frac{180^\circ}{180^\circ - 30^\circ} = 1,2.$$

– безразмерный критерий по формуле (2.27)

$$\frac{1}{\theta} = \frac{2k_1 q_{\text{ПОГ}}}{\pi(\delta k_2)^2 c \gamma (T_M - T_0)} = \frac{2 \cdot 1,2 \cdot 911,2}{3,14 \cdot (0,6 \cdot 1,2)^2 \cdot 1,25 \cdot (500 - 210)} = 3,7.$$

– безразмерный критерий по формуле (2.25)

$$\bar{\omega} = \frac{2}{\pi \cdot 1/\theta} = \frac{2}{3,14 \cdot 3,7} = 0,17.$$

Тогда, по формуле (2.26) получим, что

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-------------------------|------|
| | | | | | 15.03.01.2019.183.00 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 85 |

$$\omega = 0,17 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 0,1 \cdot \frac{(500-210)^2}{1,2 \cdot 911,2} = 8,21 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{с}}$$

Полученное значение мгновенной скорости охлаждения превышает максимальное для стали 40 (2,4...5 °C/с), поэтому, при сварке требуется применить предварительный подогрев до температуры 260 °C.

Тогда, по формуле (2.23) получим, что

$$\frac{1}{\theta} = \frac{2k_1 q_{\text{ПОГ}}}{\pi(\delta k_2)^2 c \gamma (T_M - T_0)} = \frac{2 \cdot 1,2 \cdot 911,2}{3,14 \cdot (0,6 \cdot 1,2)^2 \cdot 1,25 \cdot (500-260)} = 4,5.$$

Следовательно, по формуле (2.25)

$$\bar{\omega} = \frac{2}{\pi \cdot 1/\theta} = \frac{2}{3,14 \cdot 4,5} = 0,14.$$

По формуле (2.22) получим, что

$$\omega = 0,14 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 0,1 \cdot \frac{(500-260)^2}{1,2 \cdot 911,2} = 4,63 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{с}}$$

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

Рассчитаем режимы сварки шва №4 при втором проходе. Площадь поперечного сечения шва составляет $26 \text{ мм}^2 = 0,26 \text{ см}^2$.

Примем, что для диаметра 1,2 мм сила сварочного тока составляет 250 А. Ток постоянный прямой полярности.

Рассчитаем режимы сварки:

– плотность тока по формуле (2.2):

| | | | | | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-------------------------|--|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | | Лист |
| | | | | | | | | | | 86 |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | 15.03.01.2019.183.00 ПЗ | | | | | |

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

– напряжение на дуге по формуле (2.3):

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

– составляющая, обусловленная тепловложением дуги по формуле (2.7):

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

– условная скорость подачи проволоки по формуле (2.11):

$$V_{\text{Э}} = \frac{4\alpha'_{\text{р}} I_{CB}}{3600 \pi \gamma d_{\text{Э}}^2} = \frac{4 \cdot 20,8 \cdot 250}{3600 \cdot 3,14 \cdot 7,85 \cdot 0,012^2} = 16,3 \frac{\text{см}}{\text{с}}.$$

– коэффициент $\beta = 16440,3$ ед;

– коэффициент $p_1 = -203,1$ ед, $p_2 = -0,7$ ед;

– количество теплоты, расходуемое на предварительный подогрев вылета электродной проволоки протекающим по нему током $Q_{\text{ПП}} = 55,7$ кал;

– составляющая, зависящая от тепловложения вследствие предварительного нагрева вылета электрода протекающим током по формуле (2.8):

$$\Delta\alpha_{\text{р}} = \frac{3600 Q_{\text{ПП}}}{q_{\text{Э}} I_{CB}} = \frac{3600 \cdot 55,7}{325 \cdot 250} = 2,5 \frac{\text{г}}{\text{Ач}}.$$

– коэффициент расплавления по формуле (2.7):

| | | | | | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-------------------------|--|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | | Лист |
| | | | | | | | | | | 87 |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | 15.03.01.2019.183.00 ПЗ | | | | | |

$$\alpha_p = \alpha'_p + \Delta\alpha_p = 20,8 + 2,5 = 23,3 \frac{\Gamma}{\text{Ач}}.$$

– скорость подачи проволоки по формуле (2.5):

$$V_{\text{ПОД}} = \frac{\alpha_p I_{\text{СВ}}}{3600 F_{\text{Э}} \gamma} = \frac{23,3 \cdot 250}{3600 \cdot 0,012 \cdot 7,85} = 18,2 \frac{\text{см}}{\text{с}}.$$

– скорость сварки по формуле (2.4):

$$V_{\text{СВ}} = \frac{V_{\text{ПОД}}}{F_{\text{H2}}} \cdot F_{\text{Э}} = \frac{18,2}{0,26} \cdot 0,0113 = 0,7 \frac{\text{см}}{\text{с}}.$$

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

– погонная энергия по формуле (2.13):

$$q_{\text{П}} = \frac{0,24 U_{\text{Д}} I_{\text{СВ}} \eta}{V_{\text{СВ}}} = \frac{0,24 \cdot 31,4 \cdot 250 \cdot 0,85}{0,7} = 2287,7 \frac{\text{кал}}{\text{см}}.$$

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

– коэффициент формы провара по формуле (2.16):

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

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

$$h = 0,0165 \sqrt{\frac{q_{\text{П}}}{\psi_{\text{ПР}}}} = 0,0165 \cdot \sqrt{\frac{2287,7}{2,8}} = 4,7 \text{ мм} = 0,47 \text{ см}.$$

| | | | | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-------------------------|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | Лист |
| | | | | | | | | | 88 |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | 15.03.01.2019.183.00 ПЗ | | | | |

– ширина усиления шва по формуле (2.17):

$$B = \psi_{\text{ПР}} h = 2,8 \cdot 0,47 = 1,32 \text{ см} = 13,2 \text{ мм.}$$

– высота усиления шва определяется по формуле (2.18):

$$C = \frac{F_{\text{Н}}}{0,73B} = \frac{0,26}{0,73 \cdot 1,32} = 0,27 \text{ см} = 2,7 \text{ мм.}$$

Полученное значение высоты валика менее требуемого для облицовочного слоя шва №4, поэтому, требуется скорректировать режимы сварки. Примем, что напряжение на дуге $U_{\text{Д}} = 29 \text{ В}$, скорость подачи проволоки $V_{\text{ПОД}} = 19 \text{ см/с}$, скорость сварки $V_{\text{СВ}} = 0,72 \text{ см/с}$. Тогда:

– погонная энергия по формуле (2.13):

$$q_{\text{П}} = \frac{0,24 U_{\text{Д}} I_{\text{СВ}} \eta}{V_{\text{СВ}}} = \frac{0,24 \cdot 29 \cdot 250 \cdot 0,85}{0,72} = 2054,2 \frac{\text{кал}}{\text{см}}.$$

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

– коэффициент формы провара по формуле (2.16):

$$\psi_{\text{ПР}} = \frac{k'(19 - 0,01 I_{\text{СВ}}) d_{\text{Э}} U_{\text{Д}}}{I_{\text{СВ}}} = \frac{1,12 \cdot (19 - 0,01 \cdot 250) \cdot 1,2 \cdot 29}{250} = 2,6.$$

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

$$h = 0,0165 \sqrt{\frac{q_{\text{П}}}{\psi_{\text{ПР}}}} = 0,0165 \cdot \sqrt{\frac{2054,2}{2,6}} = 4,6 \text{ мм} = 0,46 \text{ см.}$$

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-------------------------|------|
| | | | | | 15.03.01.2019.183.00 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 89 |

– ширина усиления шва по формуле (2.17):

$$B = \psi_{\text{IP}} h = 2,6 \cdot 0,46 = 1,2 \text{ см} = 12 \text{ мм.}$$

– высота усиления шва определяется по формуле (2.18):

$$C = \frac{F_H}{0,73B} = \frac{0,26}{0,73 \cdot 1,2} = 0,3 \text{ см} = 3 \text{ мм.}$$

– безразмерный критерий процесса по формуле (2.27)

$$\frac{1}{\theta} = \frac{2q_{\text{ПОГ}}}{\pi \delta^2 c \gamma (T_M - T_0)} = \frac{2 \cdot 2054,2}{3,14 \cdot 0,6^2 \cdot 1,25 \cdot (500 - 210)} = 10,03.$$

– безразмерный критерий по формуле (2.25)

$$\bar{\omega} = \frac{2}{\pi \cdot 1/\theta} = \frac{2}{3,14 \cdot 10,03} = 0,06.$$

– мгновенная скорость охлаждения по формуле (2.26)

$$\omega = 0,06 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 0,1 \cdot \frac{(500 - 210)^2}{2054,2} = 1,54 \frac{^\circ\text{C}}{\text{с}}.$$

Полученное значение мгновенной скорости охлаждения менее требуемого для стали 40 (2,4...5 °С/с), поэтому, при сварке требуется уменьшить температуру подогрева до 150 °С.

Тогда:

– безразмерный критерий процесса по формуле (2.27)

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-------------------------|------|
| | | | | | 15.03.01.2019.183.00 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 90 |

$$\frac{1}{\theta} = \frac{2q_{\text{ПОГ}}}{\pi \delta^2 c \gamma (T_M - T_0)} = \frac{2 \cdot 2054,2}{3,14 \cdot 0,6^2 \cdot 1,25 \cdot (500 - 150)} = 8,31.$$

– безразмерный критерий по формуле (2.25)

$$\bar{\omega} = \frac{2}{\pi \cdot 1/\theta} = \frac{2}{3,14 \cdot 8,31} = 0,08.$$

– мгновенная скорость охлаждения по формуле (2.26)

$$\omega = 0,08 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 0,1 \cdot \frac{(500 - 150)^2}{2054,2} = 3 \frac{^\circ\text{C}}{\text{с}}.$$

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

2.3.5 Расчет режимов сварки шва №5

Вид шва №5 показан на рисунке 2.25.

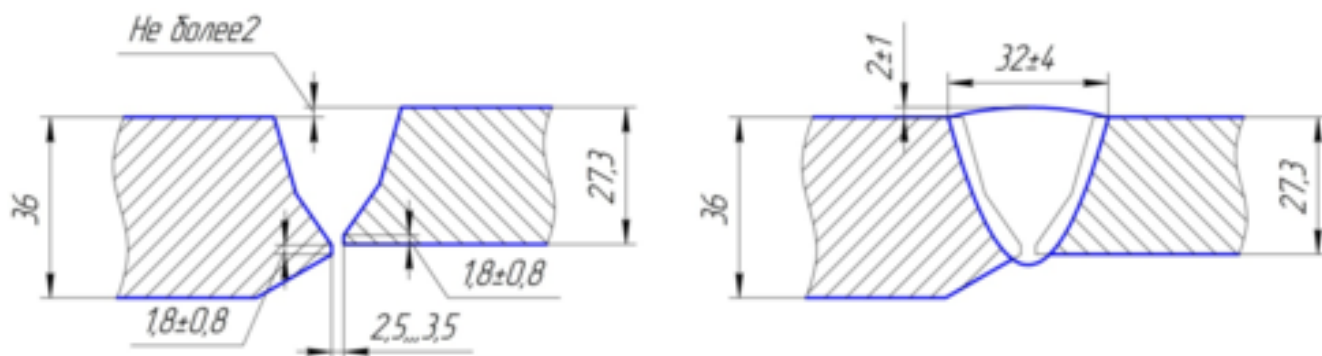


Рисунок 2.25 – Вид шва №5

При расчете режимов сварки шва №5 в предлагаемом варианте технологии изготовления изменяется только способ сварки корневого шва, а способ сварки при заполнении и облицовке остается прежним. Поэтому, достаточно произвести расчет режимов сварки корневого прохода, при заполняющих и облицовочных

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

проходах режимы сварки остаются прежними и указаны в таблице 2.15.

Общая площадь разделки составляет $F_p = 5,1 \text{ см}^2$.

Оптимальной площадью наплавленного металла при сварке корневого прохода является интервал $0,3 \dots 0,35 \text{ см}^2$. Для уточнения параметров режима при сварке корневого прохода примем, что площадь поперечного сечения наплавленного металла $F_H^K = 0,3 \text{ см}^2$. В первую очередь, произведем расчет при условии отсутствия зазора и разделки кромок.

Сила сварочного тока зависит от диаметра проволоки и плотности сварочного тока. Примем, что значение сварочного тока составляет 150 А.

– плотность тока по формуле (2.2):

$$j = \frac{4I_{CB}}{\pi d_{\text{Э}}^2} = \frac{4 \cdot 150}{3,14 \cdot 1,14^2} = 147 \frac{\text{А}}{\text{мм}^2}.$$

– напряжение на дуге по формуле (2.3):

$$U_D = 20 + \frac{0,05}{\sqrt{d_{\text{Э}}}} I_{CB} \pm 1 = 20 + \frac{0,05}{\sqrt{1,14}} \cdot 150 \pm 1 = 26,8 \pm 1 \text{ В}.$$

– составляющая, обусловленная тепловложением дуги по формуле (2.7):

$$\alpha'_p = 6,3 + \frac{0,0702 I_{CB}}{d_{\text{Э}}^{1,035}} = 6,3 + \frac{0,0702 \cdot 150}{1,14^{1,035}} = 15,5 \frac{\text{г}}{\text{Ач}}.$$

– условная скорость подачи проволоки по формуле (2.11):

$$V_{\text{Э}} = \frac{4\alpha'_p I_{CB}}{3600\pi\gamma d_{\text{Э}}^2} = \frac{4 \cdot 15,5 \cdot 150}{3600 \cdot 3,14 \cdot 7,85 \cdot 0,0114^2} = 8,1 \frac{\text{см}}{\text{с}}.$$

– коэффициент $\beta = 7260,6 \text{ ед}$;

| | | | | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|--|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | Лист |
| | | | | | | | | | 92 |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | | | | |

- коэффициент $p_1 = -100,7$ ед, $p_2 = -0,6$ ед;
- количество теплоты, расходуемое на предварительный подогрев вылета электродной проволоки протекающим по нему током $Q_{III} = 18,3$ кал;
- составляющая, зависящая от тепловложения вследствие предварительного нагрева вылета электрода протекающим током по формуле (2.8):

$$\Delta\alpha_p = \frac{3600Q_{III}}{q_{\text{Э}}I_{\text{СВ}}} = \frac{3600 \cdot 18,3}{325 \cdot 150} = 1,4 \frac{\text{Г}}{\text{Ач}}.$$

- коэффициент расплавления по формуле (2.7):

$$\alpha_p = \alpha'_p + \Delta\alpha_p = 15,5 + 1,4 = 16,9 \frac{\text{Г}}{\text{Ач}}.$$

- скорость подачи проволоки по формуле (2.5):

$$V_{\text{ПОД}} = \frac{\alpha_p I_{\text{СВ}}}{3600 F_{\text{Э}} \gamma} = \frac{16,9 \cdot 150}{3600 \cdot 0,0102 \cdot 7,85} = 8,8 \frac{\text{СМ}}{\text{С}}.$$

- скорость сварки по формуле (2.4):

$$V_{\text{СВ}} = \frac{V_{\text{ПОД}}}{F_{\text{НП}}} \cdot F_{\text{Э}} = \frac{8,8}{0,3} \cdot 0,0102 = 0,3 \frac{\text{СМ}}{\text{С}}.$$

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

$$q_{II} = \frac{0,24 U_{\text{Д}} I_{\text{СВ}} \eta}{V_{\text{СВ}}} = \frac{0,24 \cdot 26,8 \cdot 150 \cdot 0,85}{0,3} = 2733,6 \frac{\text{КАЛ}}{\text{СМ}}.$$

- коэффициент, зависящий от рода и полярности тока $k' = 1,12$, так как

| | | | | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-------------------------|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | Лист |
| | | | | | | | | | 93 |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | 15.03.01.2019.183.00 ПЗ | | | | |

плотность $j > 120 \text{ А/мм}^2$.

– коэффициент формы провара по формуле (2.16):

$$\Psi_{\text{ПР}} = \frac{k'(19-0,01I_{\text{СВ}})d_{\text{Э}}U_{\text{Д}}}{I_{\text{СВ}}} = \frac{1,12 \cdot (19-0,01 \cdot 150) \cdot 1,14 \cdot 26,8}{150} = 4.$$

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

$$h = 0,0165 \sqrt{\frac{q_{\text{П}}}{\Psi_{\text{ПР}}}} = 0,0165 \cdot \sqrt{\frac{2733,6}{4}} = 4,3 \text{ мм} = 0,43 \text{ см.}$$

– ширина усиления шва по формуле (2.17):

$$B = \Psi_{\text{ПР}} h = 4 \cdot 0,43 = 1,72 \text{ см} = 17,2 \text{ мм.}$$

– высота усиления шва определяется по формуле (2.18):

$$C = \frac{F_{\text{Н}}}{0,73B} = \frac{0,3}{0,73 \cdot 1,72} = 0,24 \text{ см} = 2,4 \text{ мм.}$$

– высота шва

$$D = h + C = 4,3 + 2,4 = 6,7 \text{ мм.}$$

– высота валика при условии наличия разделки и зазора

$$C_2 = \sqrt{\frac{F_{\text{Н}} - Dp}{\text{tg}\alpha}} = \frac{\sqrt{0,3 - 0,67 \cdot 0,3}}{0,7} = 3,8 \text{ мм} = 0,38 \text{ см.}$$

| | | | | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-------------------------|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | Лист |
| | | | | | | | | | 94 |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | 15.03.01.2019.183.00 ПЗ | | | | |

– глубина провара при наличии разделки и зазора

$$H_2 = D - C_2 = 6,7 - 3,8 = 2,9 \text{ мм.}$$

Полученное значение глубины провара может привести к прожогу, поэтому, требуется скорректировать режимы сварки. Примем, что напряжение на дуге $U_D=30$ В, скорость сварки $V_{СВ} = 0,51$ см/с, скорость подачи проволоки $V_{ПОД} = 15$ см/с. Тогда:

– погонная энергия по формуле (2.13):

$$q_{\Pi} = \frac{0,24 U_D I_{СВ} \eta}{V_{СВ}} = \frac{0,24 \cdot 30 \cdot 150 \cdot 0,85}{0,51} = 1800 \frac{\text{кал}}{\text{см}}.$$

– коэффициент, зависящий от рода и полярности тока $k'=1,12$, так как плотность $j > 120$ А/мм².

– коэффициент формы провара по формуле (2.16):

$$\Psi_{\Pi P} = \frac{k'(19 - 0,01 I_{СВ}) d_{\text{Э}} U_D}{I_{СВ}} = \frac{1,12 \cdot (19 - 0,01 \cdot 150) \cdot 1,14 \cdot 30}{150} = 4,5.$$

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

$$h = 0,0165 \sqrt{\frac{q_{\Pi}}{\Psi_{\Pi P}}} = 0,0165 \cdot \sqrt{\frac{1800}{4,5}} = 3,3 \text{ мм} = 0,33 \text{ см.}$$

– ширина усиления шва по формуле (2.17):

$$B = \Psi_{\Pi P} h = 4,5 \cdot 0,33 = 1,49 \text{ см} = 14,9 \text{ мм.}$$

| | | | | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-------------------------|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | Лист |
| | | | | | | | | | 95 |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | 15.03.01.2019.183.00 ПЗ | | | | |

– высота усиления шва определяется по формуле (2.18):

$$C = \frac{F_H}{0,73B} = \frac{0,3}{0,73 \cdot 1,49} = 0,28 \text{ см} = 2,8 \text{ мм.}$$

– высота шва

$$D = h + C = 3,3 + 2,8 = 6,1 \text{ мм.}$$

– высота валика при условии наличия разделки и зазора

$$C_2 = \frac{\sqrt{F_H - D_p}}{\sqrt{\operatorname{tg} \alpha}} = \frac{\sqrt{0,3 - 0,61 \cdot 0,3}}{0,7} = 4,1 \text{ мм} = 0,41 \text{ см.}$$

– глубина провара при наличии разделки и зазора

$$H_2 = D - C_2 = 6,1 - 4,1 = 2 \text{ мм.}$$

– коэффициенты k_1 и k_2 по формуле (2.24)

$$k_1 = k_2 = \frac{180^\circ}{180^\circ - \alpha} = \frac{180^\circ}{180^\circ - 70^\circ} = 1,64.$$

– безразмерный критерий по формуле (2.27)

$$\frac{1}{\theta} = \frac{2k_1 q_{\text{ПОГ}}}{\pi(\delta k_2)^2 c \gamma (T_M - T_0)} = \frac{2 \cdot 1,64 \cdot 1800}{3,14 \cdot (2,73 \cdot 1,64)^2 \cdot 1,25 \cdot (500 - 20)} = 0,2.$$

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

Тогда, по формуле (2.26) получим, что

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-------------------------|------|
| | | | | | 15.03.01.2019.183.00 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 96 |

$$\omega = 1 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 0,1 \cdot \frac{(500-20)^2}{1,64 \cdot 1800} = 49 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{с}}$$

Полученное значение мгновенной скорости охлаждения для стали 10Г2ФБЮ превышает требуемое (1...15 °С/с), поэтому, требуется применить предварительный подогрев. Примем, что температура предварительного подогрева составляет 250 °С. Тогда:

– безразмерный критерий по формуле (2.27)

$$\frac{1}{\theta} = \frac{2k_1 q_{\text{ПОГ}}}{\pi(\delta k_2)^2 c \gamma (T_M - T_0)} = \frac{2 \cdot 1,64 \cdot 1800}{3,14 \cdot (2,73 \cdot 1,64)^2 \cdot 1,25 \cdot (500-250)} = 0,3.$$

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

Тогда, по формуле (2.26) получим, что

$$\omega = 1 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 0,1 \cdot \frac{(500-250)^2}{1,64 \cdot 1800} = 13,3 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{с}}$$

Полученное значение мгновенной скорости охлаждения соответствует требуемому для стали 10Г2ФБЮ (1...15 °С/с), следовательно, параметры режима сварки рассчитаны правильно.

2.4 Выбор сварочного оборудования

При изменении технологии сварки корневого слоя для кольцевых швов №5 предлагается изменить источник питания. При применении специального программного комплекса STT предлагается приобрести инверторный выпрямитель марки Invertec STT II производства фирмы Lincoln Electric.

Общий вид выпрямителя Invertec STT II показан на рисунке 2.26.

| | | | | | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-------------------------|--|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | | Лист |
| | | | | | | | | | | 97 |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | 15.03.01.2019.183.00 ПЗ | | | | | |



Рисунок 2.26 – Общий вид выпрямителя Invertec STT II [14]

Технические характеристики источника питания Invertec STT II приведены в таблице 2.22.

Таблица 2.22 – Технические характеристики источника Invertec STT II [14]

| Характеристика | Значение |
|--|----------|
| Сила сварочного тока, В, при: | |
| – MMA | 5...225 |
| – Mig/Mag | 5...225 |
| Количество фаз питания, шт | 3 |
| Напряжение холостого хода, В | 85 |
| Максимальный сварочный ток при непрерывной работе, А | 200 |

Этот же источник питания будем использовать для сварки заполняющих и облицовочных слоев шва №5.

Для механизированной сварки в среде защитных газов будем использовать источник питания марки Wega 400, показанный на рисунке 2.15. Технические характеристики источника питания Wega 400 показаны ранее в таблице 2.16.

2.5 Выбор сборочной оснастки

Для сборки кольцевых стыковых швов №5 предлагается применить внутренний центратор для отказа от прихваток, а также для сварки корневого слоя шва №5 методом STT. Предлагаемый внутренний центратор показан на рисунке 2.27.

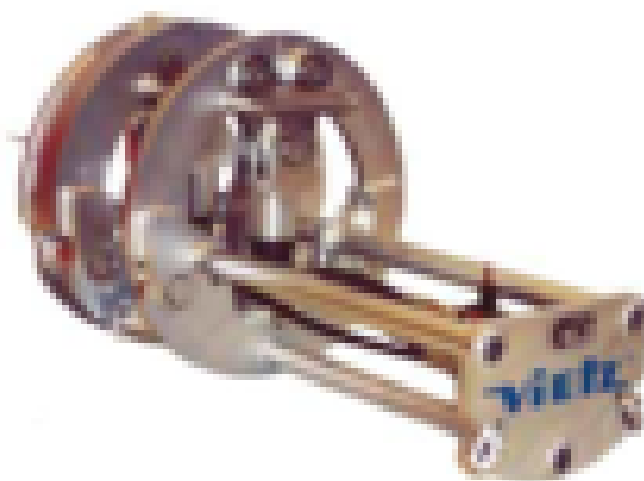


Рисунок 2.27 – Внутренний центратор [9]

Данный центратор предназначен для установления требуемых параметров стыков труб при сборке. Центратор обладает пневматическим приводом, который питается от сети 380 В, что позволяет уменьшить овальность собираемых заготовок, а также придает правильную форму окружности.

Характеристики центратора приведены в таблице 2.23.

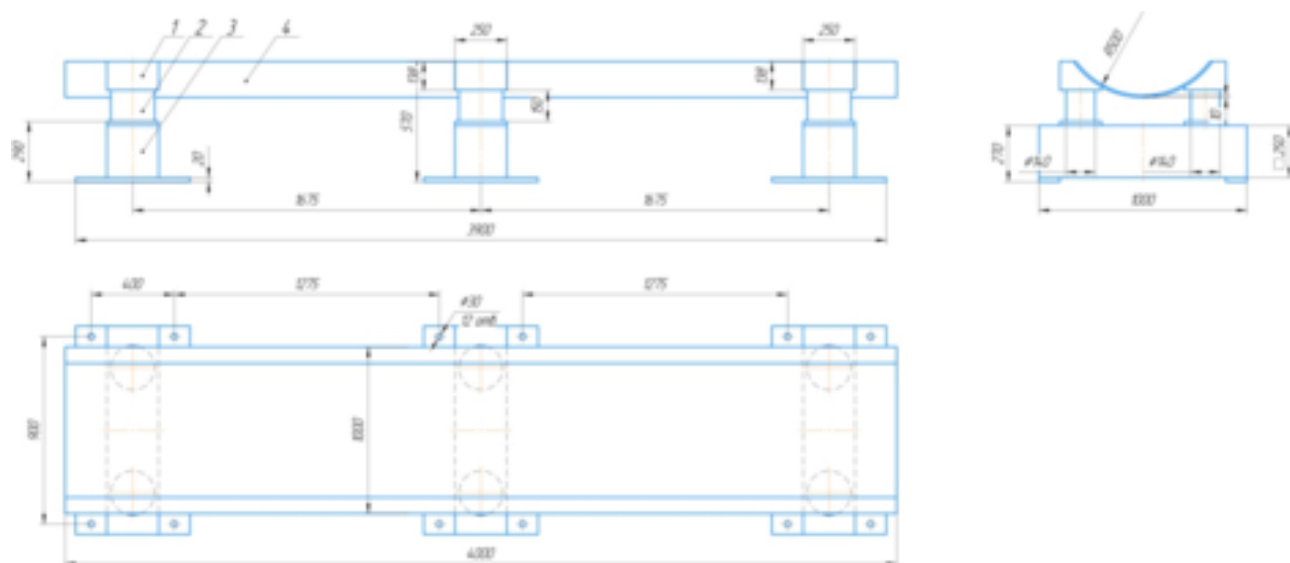
Таблица 2.23 – Характеристики центратора [9]

| Характеристика | Значение |
|--|----------|
| Диаметр соединяемых элементов, мм | 1020 |
| Толщина стенки, мм | 10...40 |
| Суммарное усилие, развиваемое одним центрирующим рядом, кН, не более | 1300 |
| Габаритные размеры, мм: | |
| – длина | 3500 |
| – диаметр | 1000 |

Продолжение таблицы 2.23.

| | |
|-------------------------------|------|
| Число жимков в одном ряду, шт | 24 |
| Число центрирующих рядов, шт | 2 |
| Масса, кг | 1100 |

Установку центратора предлагается осуществлять с применением гидравлической опоры, показанной на рисунке 2.28.



1 – Упор; 2 – Шток гидроцилиндра; 3 – Гидроцилиндр; 4 – Ложемент; 5 – Лапа

Рисунок 2.28 – Гидравлическая опора

Выводы по разделу 2:

В разделе 2 рассматривается базовый вариант технологического процесса изготовления узла газораспределительного. Описаны применяемые заготовительные, контрольные сборочные и сварочные операции, а также выявленные в процессе изготовления недостатки, которые предложено устранить применением комплекса мероприятий.

В предлагаемом варианте технологического процесса рассматриваются особенности предлагаемой технологии изготовления, проводится анализ возможных способов сварки узла. После того, как был выбран способ сварки, для него выбраны сварочные материалы и рассчитаны режимы сварки. Для предлагаемого варианта технологии изготовления подобрано требуемое вспомогательное оборудование.

3 КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА

3.1 Способы и средства контроля качества

Главными методами контроля качества сварных швов узла газораспределительного являются:

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

Проведение контроля качества регламентируется требованиями ТУ 1469-021-04834179-2010.

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

ВИК проводится на следующих операциях:

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

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

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

При проверке сварочных материалов контролируется наличие либо отсутствие:

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

| | | | | | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-------------------------|--|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | | Лист |
| | | | | | | | | | | 101 |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | 15.03.01.2019.183.00 ПЗ | | | | | |

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

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

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

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

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

Ультразвуковой метод контроля основан на прохождении ультразвуковых волн в материале контролируемого объекта. Если дефекты отсутствуют, то волна проходит напрямую до ближайшей границы. При наличии дефекта, волна отражается от его границы и фиксируется сигналом.

Для проведения УЗК применяются различные ультразвуковые дефектоскопы, предназначенные как для контроля сварных соединений, так и для контроля основного металла.

Для контроля наличия недопустимых поверхностных дефектов применяется капиллярный контроль (ЦКД). Данный метод контроля основан на выявлении на проявителе следов пенетранта, который при контроле заполняет полости и после очищения поверхности очистителем не удаляется из этих полостей.

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

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-------------------------|------|
| | | | | | 15.03.01.2019.183.00 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 102 |

- пенетрант;
- очиститель;
- проявитель.

Пневматические испытания проводятся для выявления сквозных дефектов в сварных швах и основном металле. Наличие таких дефектов показывается при нанесении на сварной шов мыльной эмульсии. При наличии сквозных дефектов при прохождении через них воздуха на мыльной эмульсии образуются пузырьки.

Пневматические испытания проводятся компрессором с заданным давлением в специальной камере.

3.2 Допустимые и недопустимые дефекты

Контролируемые параметры отвода показаны на рисунке 3.1.

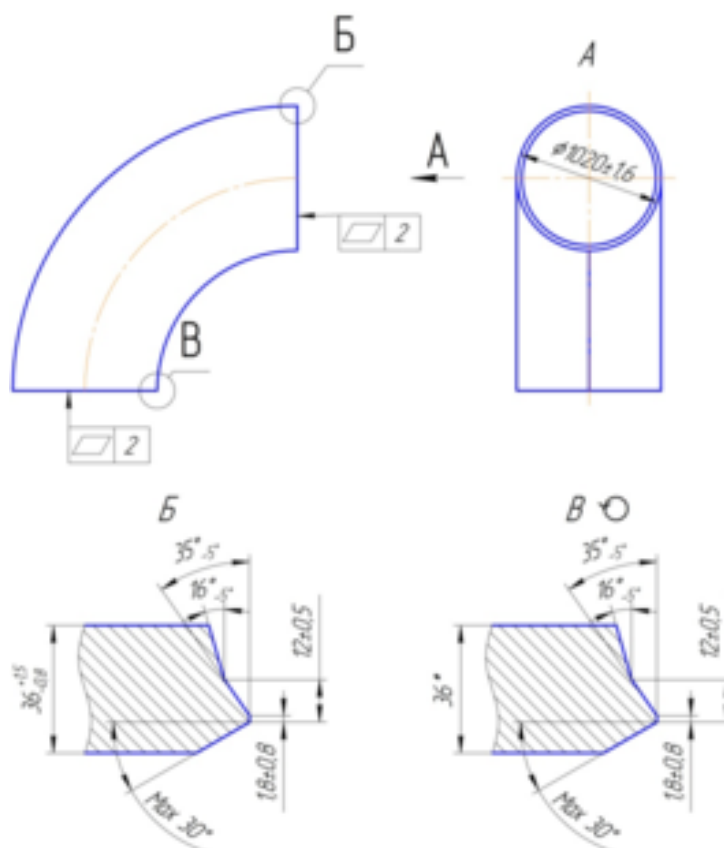


Рисунок 3.1 – Контролируемые параметры отвода

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

- маркировка отвода;

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-------------------------|------|
| | | | | | 15.03.01.2019.183.00 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 103 |

- сертификатные данные;
- диаметр отвода – $1020 \pm 1,6$ мм. Отклонение, превышающее требуемое значение или менее требуемого, является недопустимым;
- овальность отвода – максимальное значение 10,2 мм. Величина овальности более 10,2 мм является недопустимым дефектом;
- плоскостность торцевой поверхности – максимальное значение 2 мм. Превышение данного значения является недопустимым дефектом;
- толщина стенки отвода – $36_{-0,8}^{+1,5}$ мм. Толщина стенки менее допускаемой является недопустимым дефектом. При превышении толщины стенки более верхнего предела критичным дефектом не является и отвод может быть использован при изготовлении узла;
- углы скоса фаски – 35,5, 16,5, 30 градусов. Несоответствие угла скоса фаски является недопустимым дефектом;
- притупление фаски – $1,8 \pm 0,8$ мм. Несоответствие величины притупления является недопустимым дефектом;
- глубина разделки – $12 \pm 0,5$ мм. Несоответствие глубины разделки не является критичным дефектом и отвод может быть использован при изготовлении узла;
- высота усиления продольных швов отвода на концевых участках длиной 100 мм – $0^{+0,5}$. Превышение высоты усиления является недопустимым дефектом;
- качество поверхности – наличие поверхностных дефектов любой природы возникновения глубиной более 0,2 мм. Присутствие таких несоответствий является недопустимым дефектом.

При проведении ВИК на операции входного контроля труб (для изготовления катушек и колец переходных) проверяются следующие параметры:

- маркировка трубы;
- сертификатные данные;
- длина трубы – не регламентируется;
- диаметр трубы – $1020 \pm 1,6$ мм. Отклонение, превышающее требуемое значение или менее требуемого, является недопустимым;

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-------------------------|------|
| | | | | | 15.03.01.2019.183.00 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 104 |

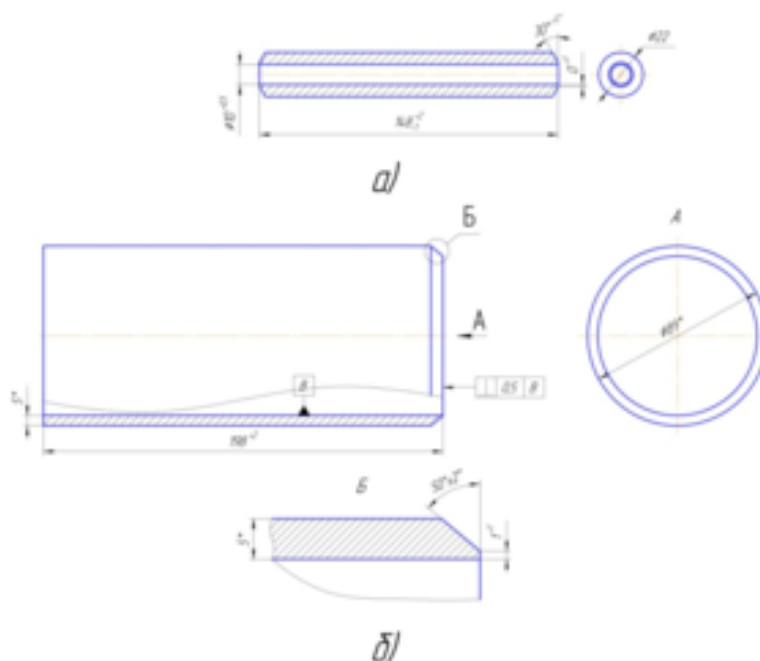
– овальность – максимальное значение 10,2 мм. Величина овальности более 10,2 мм является недопустимым дефектом;

– косина реза – максимальное значение 1,6 мм. Превышение данного параметра не является критичным дефектом и труба может быть использована при изготовлении узла;

– толщина стенки трубы – $27,3^{+1,5}_{-0,8}$ мм. Толщина стенки менее допускаемой является недопустимым дефектом. При превышении толщины стенки более верхнего предела критичным дефектом не является и труба может быть использована при изготовлении узла;

– качество поверхности – наличие поверхностных дефектов любой природы возникновения глубиной более 0,2 мм. Присутствие таких несоответствий является недопустимым дефектом.

Контролируемые параметры патрубков показаны на рисунке 3.2.



а) – Патрубок поз. 6; б) – Патрубок поз. 5

Рисунок 3.2 – Контролируемые параметры патрубков

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

– сертификатные данные на прокат;

– длина патрубков – 198^{+2} , 148^{+2}_{-1} мм. Несоответствие длины патрубков

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-------------------------|------|
| | | | | | 15.03.01.2019.183.00 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 105 |

является недопустимым дефектом;

– толщина стенки патрубков – 5, 6 мм. Несоответствие толщины стенки является недопустимым дефектом;

– диаметр патрубков – 22, 89 мм. Несоответствие диаметра патрубков является недопустимым дефектом;

– углы фасок патрубков – $50 \pm 2, 30^{+5}$ градусов. Несоответствие углов фасок патрубков является недопустимым дефектом;

– величина притупления – $1^{+1}, 0^{+1}$ мм. Несоответствие величины притупления является недопустимым дефектом;

– качество поверхности – наличие поверхностных дефектов любой природы возникновения глубиной более 0,2 мм. Присутствие таких несоответствий является недопустимым дефектом.

При проведении ВИК на операции входного контроля листов (для изготовления накладок) проверяются следующие параметры:

– сертификатные данные на прокат;

– длина листов – в соответствии с указанной в сертификате. Несоответствие длины листов является допустимым дефектом;

– ширина листов – в соответствии с указанной в сертификате. Несоответствие ширины листов является допустимым дефектом;

– толщина стенки листов – $27,3_{-0,8}^{+1,5}$ мм. Несоответствие толщины стенки является недопустимым дефектом;

– серповидность листов – 2 мм на каждый 1 м длины листа. Несоответствие серповидности является допустимым дефектом;

– качество поверхности – наличие поверхностных дефектов любой природы возникновения глубиной более 0,2 мм. Присутствие таких несоответствий является недопустимым дефектом.

Контролируемые параметры колец переходных показаны на рисунке 3.3.

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-------------------------|------|
| | | | | | 15.03.01.2019.183.00 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 106 |

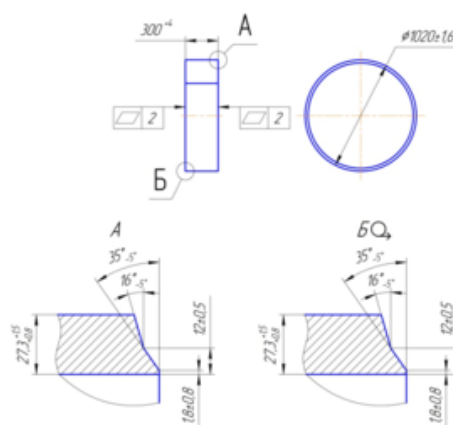


Рисунок 3.3 – Контролируемые параметры колец переходных

При проведении ВИК на заготовительных операциях при изготовлении колец переходных проверяются следующие параметры:

- длина кольца – 300^{+4} . Несоответствие длины кольца является недопустимым дефектом;

- углы скоса фаски – 35.5 , 16.5 . Несоответствие угла скоса фаски является недопустимым дефектом;

- притупление фаски – $1,8 \pm 0,8$ мм. Несоответствие величины притупления является недопустимым дефектом;

- глубина разделки – $12 \pm 0,5$ мм. Несоответствие глубины разделки не является критичным дефектом и кольцо может быть использовано при изготовлении узла;

- овальность кольца – максимальное значение $10,2$ мм. Величина овальности более $10,2$ мм является недопустимым дефектом;

- плоскостность торцевой поверхности – максимальное значение 2 мм. Превышение данного значения является недопустимым дефектом;

- качество поверхности – наличие поверхностных дефектов любой природы возникновения глубиной более $0,2$ мм. Присутствие таких несоответствий является недопустимым дефектом.

Контролируемые параметры катушек показаны на рисунке 3.4.

– качество поверхности – наличие поверхностных дефектов любой природы возникновения глубиной более 0,2 мм. Присутствие таких несоответствий является недопустимым дефектом.

Контролируемые параметры накладок показаны на рисунке 3.5.

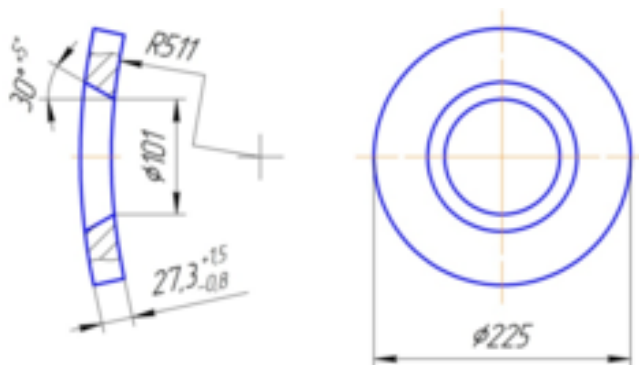


Рисунок 3.5 – Контролируемые параметры накладок

При проведении ВИК на заготовительных операциях при изготовлении накладок проверяются следующие параметры:

– диаметр заготовки – 225 мм. Несоответствие данного параметра является допустимым дефектом;

– угол скоса фаски – 30^{+5} градусов. Несоответствие данного параметра является допустимым дефектом;

– внутренний диаметр накладки – 101 мм. Несоответствие данного параметра является допустимым дефектом;

– радиусгиба накладки – 511 мм. Несоответствие данного параметра является допустимым дефектом;

– качество поверхности – наличие поверхностных дефектов любой природы возникновения глубиной более 0,2 мм. Присутствие таких несоответствий является недопустимым дефектом.

При проведении ВИК сборки и сварки проверяются следующие параметры:

– величина зазоров – 2^{+2} , 0^{+3} , 6^{+2} , $3 \pm 0,5$ мм. Несоответствие величины зазоров является недопустимым дефектом;

– смещение кромок кольцевого стыкового шва – не более 3 мм. Несоответствие величины смещения кромок является недопустимым дефектом;

– внешний вид швов – гладкая или равномерно чешуйчатая поверхность с

плавным переходом к основному металлу. Высота чешуек не должна быть более 1 мм. Несоответствие данного параметра является недопустимым дефектом;

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

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

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

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

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

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

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

– пор диаметром более 1,6 мм на оценочном участке в 100 мм;

– скоплений пор размером более 4% от величины сечения шва;

– трещин всех видов и направлений;

– непроваров;

– несплавлений.

Обнаруженные по результатам контроля дефекты подлежат ремонту в установленном порядке.

При проведении ЦКД выявляются и являются недопустимыми расслоения, выходящие на торцы контролируемых деталей размером более 3 мм в длину и раскрытием более 0,05 мм.

По результатам пневматических испытаний пузырьки воздуха на мыльной эмульсии в любом виде и количестве не допускаются.

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-------------------------|------|
| | | | | | 15.03.01.2019.183.00 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 110 |

3.3 Оборудование для контроля качества

При проведении ВИК применяются следующие инструменты [14]:

- для контроля линейных размеров: рулетка измерительная длиной 20 м, рулетка измерительная длиной 10 м, линейка металлическая 20 см;
- для контроля угловых размеров: угломер механический;
- для контроля диаметра отверстий и ширины стыковых швов: штангенциркуль ШЦ-1-125-0,1;
- для контроля зазоров при сборке: набор щупов №4;
- для контроля высоты и ширины угловых швов: уголок 100×160, линейка металлическая 20 см;
- для контроля величины притупления фасок: штангенциркуль ШЦ-1-125-0,1;
- для контроля толщины стенки: ультразвуковой толщиномер.

Для выявления возможных дефектов внутри сварного шва при УЗК применяется ультразвуковой дефектоскоп марки УД2-70, показанный на рисунке 3.6.



Рисунок 3.6 – Ультразвуковой дефектоскоп УД2-70 [14]

Ультразвуковой дефектоскоп УД2-70 предназначен для контроля продукции на наличие дефектов типа нарушения сплошности и однородности материалов, полуфабрикатов, готовых изделий и сварных соединений, для измерения глубины и координат их залегания, измерения отношений амплитуд сигналов от дефектов.

Характеристики ультразвукового дефектоскопа УД2-70 приведены в таблице 3.1.

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-------------------------|------|
| | | | | | 15.03.01.2019.183.00 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 111 |

Таблица 3.1 – Характеристики ультразвукового дефектоскопа УД2-70 [14]

| Характеристика | Значение |
|---|-----------------------------------|
| Диапазон толщин контролируемого материала, мм | 2...5000 |
| Рабочие частоты, МГц | 0,4; 1,25; 1,8; 2,5; 5,0; 10,0 |
| Частота зондирующих импульсов, Гц | 30; 60; 120; 250; 500; 1000 |
| Полярность зондирующего импульса | отрицательная |
| Амплитуда зондирующего импульса на нагрузке 50 Ом, не менее, В | 180 |
| Длительность зондирующего импульса, не более, нс | 80 |
| Диапазон регулировки усиления, дБ | 0...100 |
| Шаг регулировки усиления, дБ | 0,5 или 1,0 |
| Дискретность изменения усиления скачком "+дБ", дБ | 3...30 |
| Диапазон задержки развертки, мм | 2 ... 5000 |
| Диапазон измерения глубины залегания дефектов (сталь), мм | 2...5000 |
| Дискретность измерения глубины, мм | 0,1 |
| Погрешность измерения глубины, мм | $\pm (0,5 + 0,02$ Н) |
| Диапазон установки угла ввода ПЭП, град | 0...90 |
| Дискретность установки, град | 1 |
| Количество стробов АСД, шт | 2 |
| Диапазон установки скорости УЗК, м/с | 1000...15000 |
| Глубина регулировки ВРЧ, дБ | 80 |
| Отсечка линейная | 0...100% высоты экрана |
| Размер рабочей части экрана, не менее, пикселей | 320×240 |
| Диапазон рабочих температур, °С | -10...+50 |

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

15.03.01.2019.183.00 ПЗ

Лист

112

Продолжение таблицы.

| | |
|---|------------|
| Электрическое питание, В: – аккумуляторное | 12 |
| – сеть переменного тока, В при 50 Гц | 220 |
| Время непрерывной работы, не менее, ч | 8 |
| Габариты, не более, мм | 245×145×77 |
| Масса с аккумулятором, не более, кг | 3 |

При РК контроле применяется рентгеновский аппарат марки Eresco 65 MF4, показанный на рисунке 3.7.



Рисунок 3.7 – Рентгеновский аппарат марки Eresco 65 MF4 [14]

Характеристики рентгеновского аппарата Eresco 65 MF4 приведены в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Характеристики рентгеновского аппарата Eresco 65 MF4 [14]

| Характеристика | Значение |
|--|--------------|
| Направление излучения | направленное |
| Просвет по стали за 10 мин, мм | 65 |
| Диапазон высокого напряжения, кВ | 5...300 |
| Диапазон тока, мА | 0,5...6 |
| Ток при максимальном напряжении (300 кВ), мА | 3 |

Продолжение таблицы.

| | |
|--|-----------|
| Постоянный режим работы, Вт | 900 |
| Номинальное значение фокусного пятна, мм | 3 |
| Материал анода | Вольфрам |
| Угол наклона мишени, град | 20 |
| Угол выхода пучка, град | 40×60 |
| Фильтр рентгеновского излучения, мм | 0,8 ± 0,1 |
| Стабильность тока и напряжения, % | ± 1 |
| Вес блока излучения, кг | 40 |

При проведении ЦКД применяется набор для проведения капиллярной дефектоскопии марки Sherwin. В состав набора входит [14]:

- пенетрант красного цвета;
- очиститель;
- проявитель.

При пневматических испытаниях применяется специальная установка, состоящая из следующих элементов:

- компрессора, который обеспечивает заданное давление воздуха;
- манометров, один из которых подключен к компрессору, а второй подключен к ниппелю подачи воздуха к месту контроля.

В качестве эмульсии для определения сквозных дефектов применяется мыльный раствор.

3.4 Методика контроля

3.4.1 Визуальный и измерительный контроль

При проведении ВИК персонал, который осуществляет контроль, должен быть аттестован на уровень I, II, III согласно ПБ 03-440-02 «Правила аттестации персонала в области неразрушающего контроля». При этом заключение о годности выдается лишь специалистами II и III уровней.

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

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

Контроль угловых размеров осуществляется угломером механическим.

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

Контроль зазоров при сборке осуществляется набором щупов №4.

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

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

Контроль глубины поверхностных дефектов осуществляется глубиномером.

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-------------------------|------|
| | | | | | 15.03.01.2019.183.00 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 115 |

3.4.2 Ультразвуковой контроль

Перед проведением контроля требуется провести зачистку контролируемых швов лепестковым кругом до металлического блеска. При этом шероховатость поверхности не должна превышать Rz 40. Длина зачищаемого участка должна быть не менее 70 мм в обе стороны шва от стыка

До проведения УЗК производится настройка дефектоскопа с применением настроечных образцов. У таких образцов настройка производится по плоскодонным отражателям. После настройки дефектоскопа, производится его калибровка на образце, изготовленного из того же материала, что и контролируемая труба. Контрольными отражателями на образце являются:

- засечка в околошовной зоне длиной 15 мм с глубиной не более 0,8 мм – для настройки дефектоскопа на контроль радиальных трещин;
- отверстие в центре шва диаметром 1,6 мм – для настройки дефектоскопа на контроль продольных и поперечных дефектов;
- отверстие диаметром 6 мм на основном металле глубиной не менее 50% от толщины стенки – для настройки дефектоскопа на контроль расслоений.

Для проведения ультразвукового контроля используется эхо-импульсный метод. Схема проведения эхо-импульсного метода показана на рисунке 3.8.

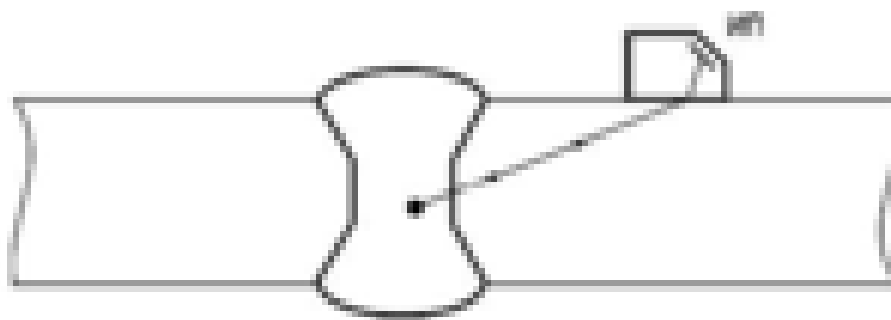


Рисунок 3.8 – Схема проведения эхо-импульсного метода

Метод основан на вводе ультразвуковой волны в металл и, при обнаружении дефектов, происходит отражение этой волны на датчик ПЭП.

Для проведения УЗК используются ПЭП с углом ввода 50°, с углом ввода 90° при контроле на расслой.

Схема контроля стыкового шва №5 показана на рисунке 3.9.

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-------------------------|------|
| | | | | | 15.03.01.2019.183.00 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 116 |

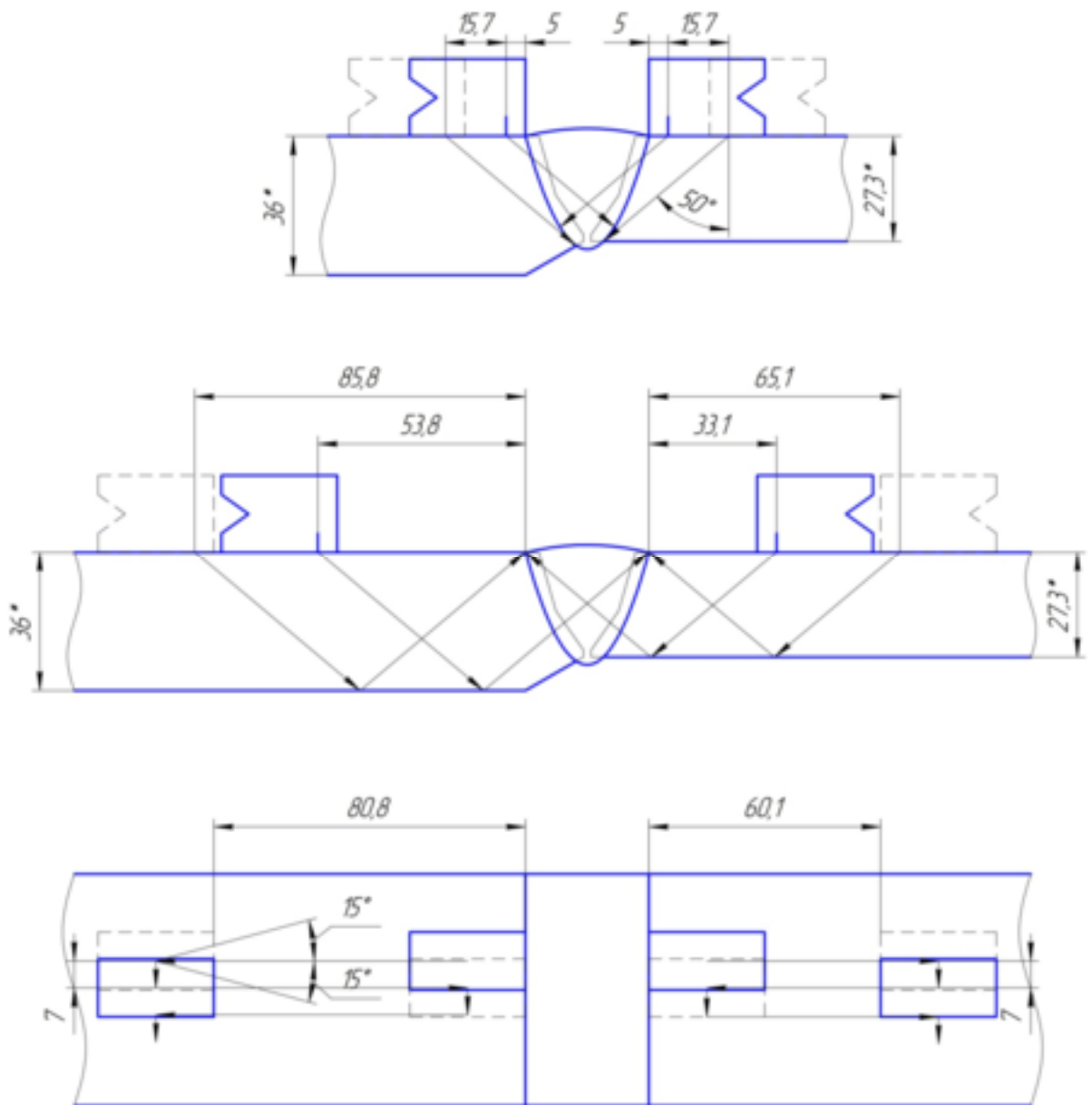


Рисунок 3.9 – Схема контроля стыкового шва №5

3.4.3 Радиографический контроль

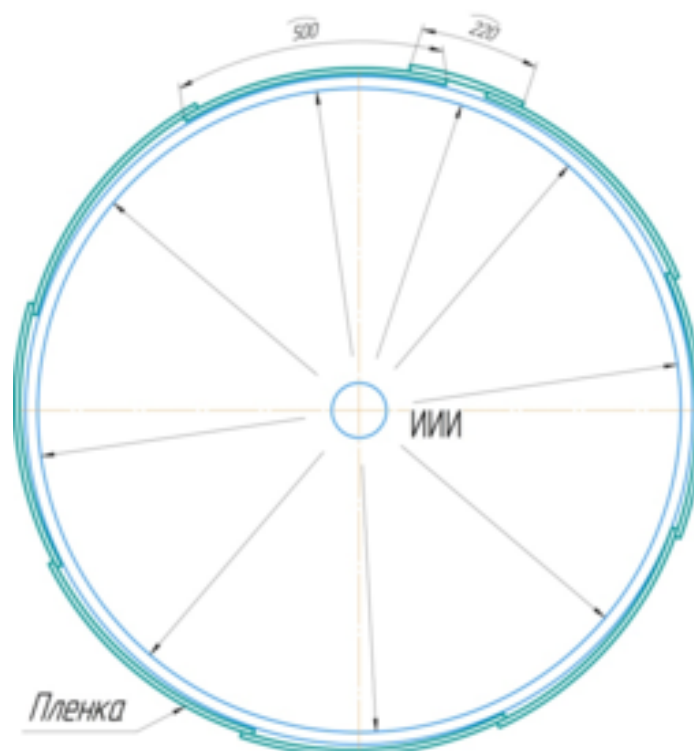
При проведении РК стыковых швов соединительных узлов большого диаметра наиболее часто используется панорамная схема сканирования. Контролируемый шов проверяется изнутри объекта контроля по всему диаметру.

Перед проведением контроля на каждый проверяемый стык устанавливается кассета с пленкой, при этом величина нахлеста снимков между собой не должна быть менее 100 мм. Также, при установке пленки рядом со снимком устанавливаются канавочные эталоны (либо проволочные), а также рядом с

каждым сегментом устанавливаются свинцовые маркировочные знаки с порядковым номером снимка и стрелка, указывающая направление контроля. Длина сегмента пленки составляет 500 мм. На участке, на котором длины пленки не хватает, устанавливается сегмент длиной 220 мм.

Перед контролем на оборудовании выставляются такие параметры контроля, как время экспозиции, фокусное расстояние, напряжение в трубке.

Схема радиографического контроля стыкового шва №5 показана на рисунке 3.10.



ИИИ – источник ионизирующего излучения

Рисунок 3.10 – Схема радиографического контроля стыкового шва №5

При РК угловых швов приварки патрубков применяется схема «через 2 стенки». Радиографическая пленка устанавливается с одной стороны объекта, а просвечивание производится изнутри с направлением на пленку. Схема контроля показана на рисунке 3.11.

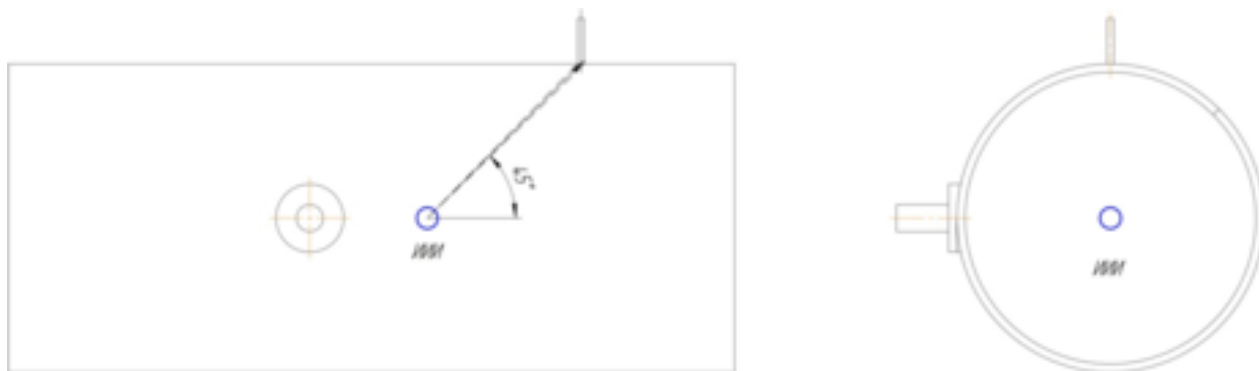


Рисунок 3.11 – Схема контроля

3.4.4 Капиллярный контроль

Шероховатость контролируемых торцевых поверхностей не должна превышать Rz 20.

Перед контролем провести очистку торцов ацетоном или очистителем Sherwin.

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

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

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

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

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-------------------------|------|
| | | | | | 15.03.01.2019.183.00 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 119 |

3.4.5 Пневматические испытания

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

Проверить работоспособность и сроки поверки манометров.

После того, как проверена работоспособность оборудования требуется приготовить мыльную эмульсию. Для ее приготовления применяется хозяйственное либо другой вид мыла, который требуется растворить в 1 литре воды. Количество мыла должно быть достаточным для образования пены на поверхности воды.

Провести подключение манометров к месту контроля и к выходному шлангу компрессора.

После этого нанести кистью мыльную эмульсию на сварные швы №2 и №3. Количество эмульсии должно быть достаточным для контроля всей поверхности швов.

После этого создать давление в системе не менее 0,5 МПа. Выдержать сварные швы под заданным давлением не менее 60 минут. Наличие сквозных дефектов определяется появлением на мыльной эмульсии пузырьков.

При наличии сквозных дефектов произвести их ремонт и повторный контроль.

Выводы по разделу 3:

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

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

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-------------------------|------|
| | | | | | 15.03.01.2019.183.00 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 120 |

4 БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

4.1 Анализ вредных и опасных производственных факторов

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

К вредным производственным факторам относятся следующие:

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

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

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

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

К опасным производственным факторам относятся:

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

| | | | | | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-------------------------|--|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | | Лист |
| | | | | | | | | | | 121 |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | 15.03.01.2019.183.00 ПЗ | | | | | |

– движущиеся изделия и механизмы.

4.2 Техника безопасности при производстве сварочных работ

4.2.1 Обеспечение санитарно-гигиенических условий труда

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

– использование средств индивидуальной защиты, которые уменьшают тепловое воздействие на организм рабочего;

– регламентация времени работы (перерывы в работе, сокращение рабочего дня и т. д.).

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

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

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

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

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

Снижение шума при работе осуществляется следующими методами:

– организационными;

– звукоизоляции;

– звукопоглощения;

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-------------------------|------|
| | | | | | 15.03.01.2019.183.00 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 122 |

трансформатора;

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

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

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

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

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

| | | | | | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-------------------------|--|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | | Лист |
| | | | | | | | | | | 124 |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | 15.03.01.2019.183.00 ПЗ | | | | | |

для включения установки (линии);

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

– запрещается производить ремонт электросварочных установок под напряжением;

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

4.2.3 Обеспечение пожарной безопасности

В соответствии с НПБ 105-03 «Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности» сварочный участок относится к категории «Г» производства, где в обращении находятся негорюемые вещества и материалы, процесс обработки которых сопровождается выделением лучистого тепла и искрения пламени.

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

В комплект пожарного щита входят:

– огнетушители воздушно-пенные вместимостью 10 л – 2 шт;

– порошковые вместимостью 10 л – 1 шт, 5 л – 2 шт;

– лом – 1 шт;

– ведро – 1 шт;

– асбестовое полотно, грубошерстная ткань или войлок (кошма, покрывало из негорючего материала) – 1 шт;

– лопата штыковая – 1 шт;

– тележка для перевозки оборудования – 1 шт;

– емкость для хранения воды объемом 0,02 м³ – 1 шт;

– насос ручной – 1 шт;

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-------------------------|------|
| | | | | | 15.03.01.2019.183.00 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 125 |

– рукав ДУ 18-20 длиной 5 м – 1 шт.

4.3 Безопасность при работе с подъемными устройствами

При работе с подъемными устройствами следует соблюдать следующие рекомендации:

- строповочные работы допускается производить обученному персоналу;
- строповка отвода осуществляется при помощи цепного стропа, на концах которого установлены антискользящие зажимы;
- строповка катушки и кольца переходного осуществляется мягкими чалками либо цепным стропом с антискользящими зажимами;
- при транспортировании по цеховой площадке отвода, катушки, кольца переходного либо других элементов запрещается находиться в этой зоне на расстоянии ближе 10 м.

4.4 Планировка оборудования и рабочих мест участка

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

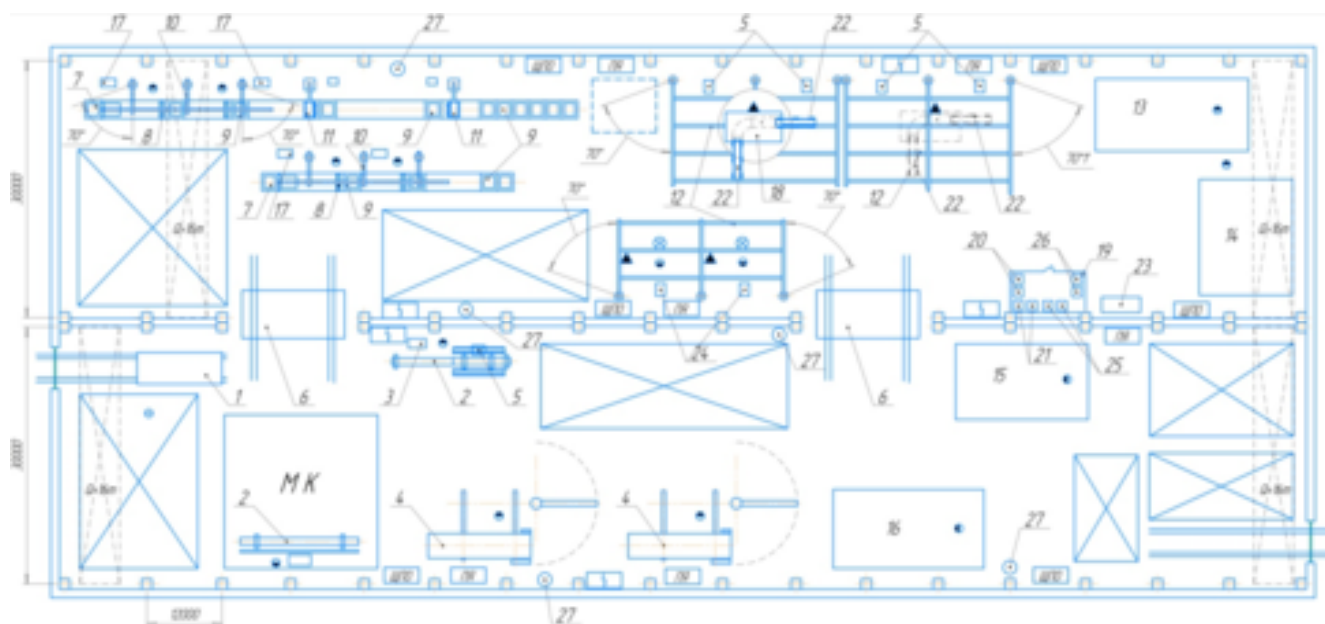


Рисунок 4.1 – Планировка оборудования и рабочих мест

Планировка показана с учетом предлагаемого варианта технологического процесса изготовления узла газораспределительного.

Вначале, заготовки поставляются через рельсовый путь (поз. 1, рисунок 4.1) в цех. После этого производится разгрузка и заготовки складываются на участке контроля (МК). Трубы для контроля укладываются на стенд роликовый (поз. 2, рисунок 4.1) и контролируются.

После этого трубы для обрезки укладываются комплекс обрезки труб, который состоит из планшайбы зажимной (поз. 7, рисунок 4.1), станка SuperCutter (поз. 8, рисунок 4.1), опоры роликовой (поз. 9, рисунок 4.1), консольной кран-балки (поз. 10, рисунок 4.1), деовализатора (поз. 11, рисунок 4.1). Таких комплекса два, каждый из которых производит заготовки различной длины. На эти комплексы трубы транспортируются через рельсовый путь с тележкой (поз. 6, рисунок 4.1).

После обрезки трубы отправляют на изготовление отводов на трубогибочный стан (поз. 4, рисунок 4.1).

После производства все заготовки отправляют на сборочно-сварочный участок (поз. 12, рисунок 4.1). На сборочно-сварочном участке располагается:

- позиционное поле, призмы для установки отвода, катушки и переходного кольца (поз. 18, рисунок 4.1);
- гидравлическая опора (поз. 22, рисунок 4.1);
- источник питания Invertec STT II (поз. 5, рисунок 4.1);
- источник питания Wega 400 (поз. 24, рисунок 4.1).

Центратор внутренний хранится на месте для хранения центратора (поз. 23, рисунок 4.1).

Все места, где производятся сварочные работы оснащены местными отсосами воздуха.

Для транспортирования деталей небольших габаритных размеров применяются ручные тали.

После сварки детали отправляются для контроля герметичности швов №2 и №3 на установке для пневматических испытаний (поз. 13, рисунок 4.1). Радиографический контроль швов №1, №4 и №5 проводится в камере для

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-------------------------|------|
| | | | | | 15.03.01.2019.183.00 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 127 |

радиографического контроля (поз. 14, рисунок 4.1).

Сварочные материалы хранятся на участке для хранения сварочных материалов (поз. 19, рисунок 4.1). На этом участке расположены поддоны с бухтами сварочной проволоки Св-08ХГ2С (поз. 21, рисунок 4.1), PipeWeld 70S-6 Plus (поз. 20, рисунок 4.1), SuperArc L-56 (поз. 25, рисунок 4.1). Также на этом участке хранятся баллоны с газовой смесью (поз. 26, рисунок 4.1).

После проведения всех сборочно-сварочных операций узел проходит дробеметную очистку в специальной камере (поз. 15, рисунок 4.1). Далее производится покрытие узла в камере (поз. 16, рисунок 4.1).

Выводы по разделу 4:

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

Описана техника безопасности при производстве различных видов работ, а также с применением подъемно-транспортных механизмов.

Рассмотрена планировка рабочих мест с описанием основных типов оборудования.

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-------------------------|------|
| | | | | | 15.03.01.2019.183.00 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 128 |

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В выпускной квалификационной работе рассмотрена существующая технология изготовления узла газораспределительного в условиях АО «Трубодеталь». В процессе рассмотрения технологии выявлено, что применяемый способ ручной дуговой сварки при выполнении швов №1, №2, №3, №4 и корневого и подварочного слоев шва №5 является малопроизводительным и высокодефектным, так как присутствует высокая вероятность появления человеческого фактора. Заполняющие и облицовочные слои шва №5 выполнялись автоматической сваркой в среде защитных газов одной орбитальной головкой порошковой проволокой.

В текущей работе предлагается усовершенствовать существующую технологию сборки и сварки узла газораспределительного. По существующей технологии сборка и сварка производится на призмах с применением наружного центризатора. В процессе сборки требовалось выполнять прихватки.

Для усовершенствования технологии было предложено изменить способ корневой части шва №5 на автоматический в среде защитных газов двумя сварочными головками. Это позволит в два раза увеличить производительность при этом способе сварки. Для заполняющих и облицовочных слоев шва №5 предложено также использовать две сварочные орбитальные головки для повышения производительности.

Для повышения качества сборки предложено применить внутренний центризатор, что позволяет отказаться от прихваток и производить автоматическую сварку корневого прохода.

При сварке швов №1...№4 предложено изменить способ сварки с ручной дуговой на механизированную сварку в среде защитных газов. Это позволит повысить производительность, а также уменьшить влияние человеческого фактора.

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-------------------------|------|
| | | | | | 15.03.01.2019.183.00 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 129 |

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ 19281-2014 «Прокат повышенной прочности. Общие технические условия».
2. ГОСТ 1050-2013 «Металлопродукция из нелегированных конструкционных качественных и специальных сталей. Общие технические условия».
3. ГОСТ 2246-70 «Проволока стальная сварочная. Технические условия». – М.: ИПК издательство стандартов, 2003. – 18 с.
4. Зайцев, Н. Л. Теоретические основы сварки плавлением: учебное пособие/ Н.Л. Зайцев. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2014. – 78 с.
5. 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.
6. Шахматов, М. В. Технология изготовления и расчет сварных оболочек/ М. В. Шахматов, В. В. Ерофеев, В. В. Коваленко – Уфа: Полиграфкомбинат, 1999. – 272 с.
7. 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.
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://www.intertehno.ru>.
10. <https://remosnastka.ru>.
11. <http://svarkainfo.ru>.
12. <http://www.gazss.ru>.
13. <http://www.lincolnweld.ru>
14. <http://defektoskopist.ru>.

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-------------------------|------|
| | | | | | 15.03.01.2019.183.00 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 130 |