

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

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

ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

Факультет «Заочный»

Кафедра «Оборудование и технология сварочного производства»

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

Заведующий кафедрой

_____ М.А. Иванов

« ____ » _____ 2017 г.

Технология сборки и сварки кольцевого стыка магистрального газопровода диаметром 1420 мм из стали
класса прочности К60 в трассовых условиях

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

Руководитель работы
Ярославцев С.И.,
доцент каф. ОиТСП

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

Автор работы
студент группы ПЗ-540
Бондарчук Алексей Викторович

« ____ » _____ 2017 г.

Нормоконтролёр
преподаватель кафедры ОиТСП

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

Челябинск, 2017

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	7
1 ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ	8
1.1 Описание изделия.....	8
1.2 Описание трубной стали	9
1.3 Технология проведения работ	12
1.4 Требования к аттестации технологии сварки	29
1.5 Описание предлагаемой технологии	30
1.6 Описание принятых сварочных материалов.....	32
1.7 Расчет параметров режимов сварки предлагаемой технологии	35
1.7.1 Расчет параметров режима сварки для корневого прохода	37
1.7.2 Расчет параметров режима сварки первого заполняющего прохода.....	43
1.7.3 Расчет параметров режима сварки последующих заполняющих проходов.....	45
1.7.4 Расчет параметров режима сварки облицовочного прохода	47
1.8 Описание оборудования для сварки	50
1.9 Методы контроля качества	55
2 КОНСТРУКТОРСКИЙ РАЗДЕЛ.....	61
3 ТЕХНИЧЕСКОЕ НОРМИРОВАНИЕ.....	66
3.1 Расчет фондов рабочего времени	66
3.2 Расчет норм штучного времени	68
3.3 Организация производства	74
3.4 Расчет расхода материалов	76
4 ПРАВИЛА ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ	79
4.1 Правила электробезопасности	80
4.2 Техника безопасности при сварочных работах	82
4.3 Работа в особо опасных условиях	83
4.4 Правила пожарной безопасности	83

					15.03.01.2017.097.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		6

ЗАКЛЮЧЕНИЕ	86
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	87
ПРИЛОЖЕНИЕ	88

					15.03.01.2017.097.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		7

ВВЕДЕНИЕ

Экономика Российской Федерации входит в число крупнейших экономик современного мира. Основную часть бюджета страны составляют доходы от нефтяного и газового сектора.

Газовый сектор, как и нефтяной, базируется, главным образом, на оборудовании, применяемом при добыче и транспортировке. В понятие оборудование входят как различные нефте- и газоперекачивающие системы, например, запорная арматура, так и трубопроводы, по которым транспортируется среда. Основными поставщиками сырья являются ПАО «Газпром», ПАО «Транснефть», ПАО «Роснефть» и некоторые другие.

В условиях импортозамещения, а также при расширении объемов поставок нефти и газа главную роль играет как производительность при строительстве трубопровода, так и качество сварных соединений. Одновременно с этим не менее важную роль играет снижение издержек при изготовлении путем применения материалов, которые производятся отечественными производителями либо производство которых функционирует на территории Российской Федерации.

В последнее время наблюдается тенденция по совершенствованию технологии строительства трубопроводов путем автоматизации процесса сварки, модернизации и замены устаревшего оборудования, повышения квалификации персонала. Одновременно проводятся опытные работы по совершенствованию существующих процессов автоматической сварки путем замены способа, например, сварки в среде защитных газов на сварку под слоем флюса.

В выпускной квалификационной работе предлагается усовершенствовать технологию сборки и сварки кольцевого стыка труб магистрального газопровода на участке «Новый Уренгой–Челябинск» путем замены автоматической сварки в среде защитных газов на автоматическую сварку под слоем флюса с применением поворотного стыка при укрупнении в трехтрубную секцию с последующим применением специальной оснастки.

									Лист
									8
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	15.03.01.2017.097.00 ПЗ				

1 ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

1.1 Описание изделия

Газопровод «Новый Уренгой–Челябинск» изготавливается из труб класса прочности К60 типоразмера 1420×27 мм. Общий вид трубы, которая используется при строительстве магистрального газопровода, изображен на рисунке 1.1.

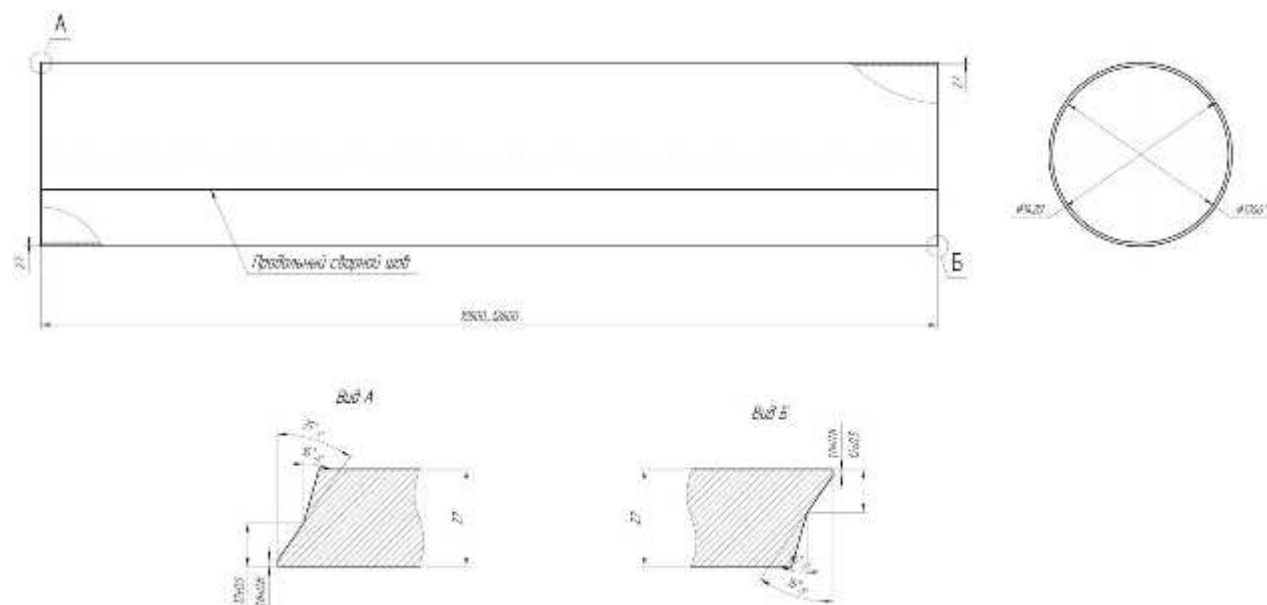


Рисунок 1.1 – Общий вид трубы

Трубы, предназначенные для строительства газопровода, допускается поставлять на объект строительства в нескольких вариантах:

- одношовные;
- двухшовные;
- спиралешовные;
- одношовные, сваренные токами высокой частоты.

На рассматриваемый участок строительства поставляются одношовные трубы, сваренные дуговой сваркой под слоем флюса. При этом шов двусторонний.

Длина поставляемых труб находится в диапазоне 10500 – 12600 мм. Одновременно допускается поставка труб длиной менее 10500 мм, но не менее 10000 мм в количестве не более 10% от партии.

Согласно рисунку 1.1 на обоих концах трубы имеется двухугловая фаска с

					15.03.01.2017.097.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		9

углами 35° и 16°. Обоснованность использования данного типа фаски оговорена в нормативной документации, и она применяется для сварки трубных изделий с толщиной стенки 16 мм и больше. При сварке данный тип фаски обеспечивает требуемое условие равнопрочности. При этом учитывается оптимальное количество наплавленного металла.

Поставляемые на объект строительства магистрального газопровода трубы при проверке должны соответствовать следующим геометрическим характеристикам:

- отклонение профиля наружной поверхности трубы от окружности в зоне сварного соединения на двух концевых участках длиной не менее 200 мм от торца, а также по дуге длиной не менее 200 мм, должно составлять не более 2,13 мм;
- косина реза не должна превышать значение 1,6 мм;
- максимальное отклонение от номинального наружного диаметра на торцах труб на длине не менее 200 мм от торца не должно превышать $\pm 1,6$ мм;
- значение овальности не должно быть более 14,2 мм.

1.2 Описание трубной стали

В группу сталей, составляющих класс прочности К60, входит большое количество марок. При строительстве рассматриваемого газопровода применяется низкоуглеродистая низколегированная сталь марки 10Г2ФБЮ, поставляемая согласно ГОСТ 19281-2014. Содержание химических элементов в стали 10Г2ФБЮ показано в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Содержание составляющих элементов в стали 10Г2ФБЮ [11]

В процентах

C	Si	Mn	V	S	P	Cr	Ni	Cu	Al	Nb	Ti
				Не более							
0,08 – 0,13	0,15 – 0,35	1,60 – 1,80	0,05 – 0,12	0,035	0,030	0,30			0,02 – 0,05	0,02 – 0,05	0,01 – 0,035

					15.03.01.2017.097.00 ПЗ						Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата							10

Механические свойства стали 10Г2ФБЮ, определяющие прочность и работоспособность, представлены в таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Механические свойства стали 10Г2ФБЮ [11], определяющие прочность и работоспособность

Класс прочности	Предел текучести σ_T , МПа, не менее	Предел прочности σ_B , МПа, не менее	Относительное удлинение δ_5 , %, не менее
К60	460	590	20

Указанные механические свойства стали 10Г2ФБЮ достигаются путем применения дополнительной термообработки либо использования при изготовлении контролируемой прокатки.

Свариваемость стали 10Г2ФБЮ определяется по формуле (1) из [11]

$$C_{\Sigma} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + \sum(V + Ti + Nb)}{5} + \frac{Cu + Ni}{15}, \quad (1)$$

где С, Мп, Сг, Мо, V, Ni, Cu – массовые доли в стали углерода (С), марганца (Mn), хрома (Cr), молибдена (Mo), ванадия (V), титана (Ti), ниобия (Nb), никеля (Ni) и меди (Cu) по результатам ковшовой пробы, %.

Подставляя значения химических элементов стали 10Г2ФБЮ, указанные в таблице 1.1, в формулу (1) получим, что значение C_{Σ} составляет

$$C_{\Sigma} = 0,13 + \frac{1,8}{6} + \frac{0,3 + \sum(0,12 + 0,035 + 0,05)}{5} + \frac{0,3 + 0,3}{15} = 0,571, \%$$

Максимально допустимое значение C_{Σ} , при котором не применяется предварительный подогрев составляет 0,46 %. Полученное значение эквивалента углерода, равное 0,571 % превышает требуемое 0,46 %, следовательно, при сварке требуется применение предварительного подогрева.

Температура предварительного подогрева рассчитывается по формуле (2) из

										Лист
										11
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	15.03.01.2017.097.00 ПЗ					

[2]

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

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

Полный эквивалент углерода $|C|_{\text{Э}}$ определяется по следующей формуле (3) из [2]

$$|C|_{\text{Э}}=|C|_{\text{Х}}+|C|_{\text{Р}}, \quad (3)$$

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

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

Определим химический эквивалент углерода $|C|_{\text{Х}}$ по формуле (4) из [2]

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

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

Подставляя принятые значения содержания химических элементов в формулу (4) получим, что химический эквивалент углерода $|C|_{\text{Х}}$

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

Определим размерный эквивалент углерода $|C|_{\text{Р}}$ по формуле (5) из [2]

$$|C|_{\text{Р}}=0,005S|C|_{\text{Х}}, \quad (5)$$

где $S = 27$ – толщина свариваемых деталей, мм.

					15.03.01.2017.097.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		12

Тогда, по формуле (5) получим, что

$$|C|_P=0,005 \cdot 27 \cdot 0,38=0,051, \%$$

Подставляя полученные значения $|C|_X$ и $|C|_P$ в формулу (3) получим, что полный эквивалент углерода $|C|_Э$

$$|C|_Э=0,38+0,051=0,431, \%$$

Таким образом, температура предварительного подогрева T_0 равна

$$T_0=350 \cdot (0,431-0,25)^{0,5}=148,9, \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Примем, что минимальная температура предварительного подогрева составляет $150 \text{ } ^\circ\text{C}$.

1.3 Технология проведения работ

Перед задачей труб в дальнейшее производство, они после прибытия на станцию проходят операцию входного контроля. Результаты проведенного контроля вносятся в журнал входного контроля.

В операцию входного контроля входят следующие переделы:

- контроль наличия сертификатов качества;
- контроль наличия паспортов на трубы;
- контроль соответствия маркировки на поверхности трубы, указанной в сертификате и в паспорте;
- контроль геометрических параметров труб в количестве 10% от партии;
- визуальный осмотр торцов труб и основного металла внутренней и наружной поверхностей.

Трубы, у которых отсутствуют клейма, маркировка, сертификат либо паспорт,

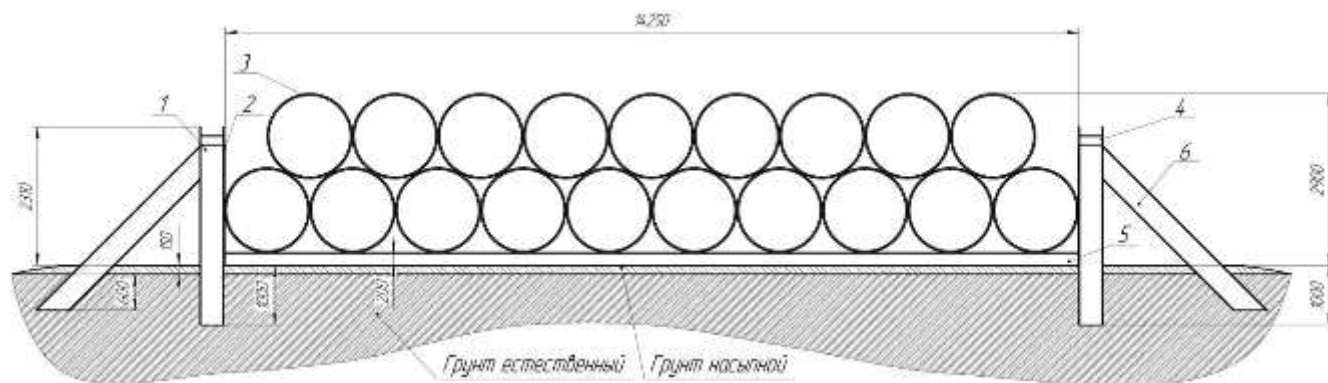
					15.03.01.2017.097.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		13

а также маркировка не соответствует сертификатным и паспортным данным не допускаются в дальнейшее производство. Также в производство не допускаются трубы с отклонениями, превышающими допустимые параметры хотя бы по одному признаку.

Входной контроль проводится на 100% труб от партии. Для его проведения используются специальные площадки, на которых трубы складываются. Склады располагаются на линейных станциях. Входной контроль проводится на крытых складах.

После входного контроля трубы поставляются на участок строительства на плетевозах.

Как только трубы доставлены к месту, они складываются на специальной площадке в штабель. Для труб диаметром 1420 мм допускается складирование производить не более, чем в 2 яруса. Схема складирования труб (вид спереди) в штабеле показана на рисунке 1.2.



1 – Свая; 2 – Прокладка резиновая; 3 – Труба; 4 – Связь верхняя; 5 – Подложка деревянная; 6 – Распорка

Рисунок 1.2 – Схема складирования труб в штабеле (вид спереди)

Схема складирования труб (вид сбоку) в штабеле показана на рисунке 1.3.

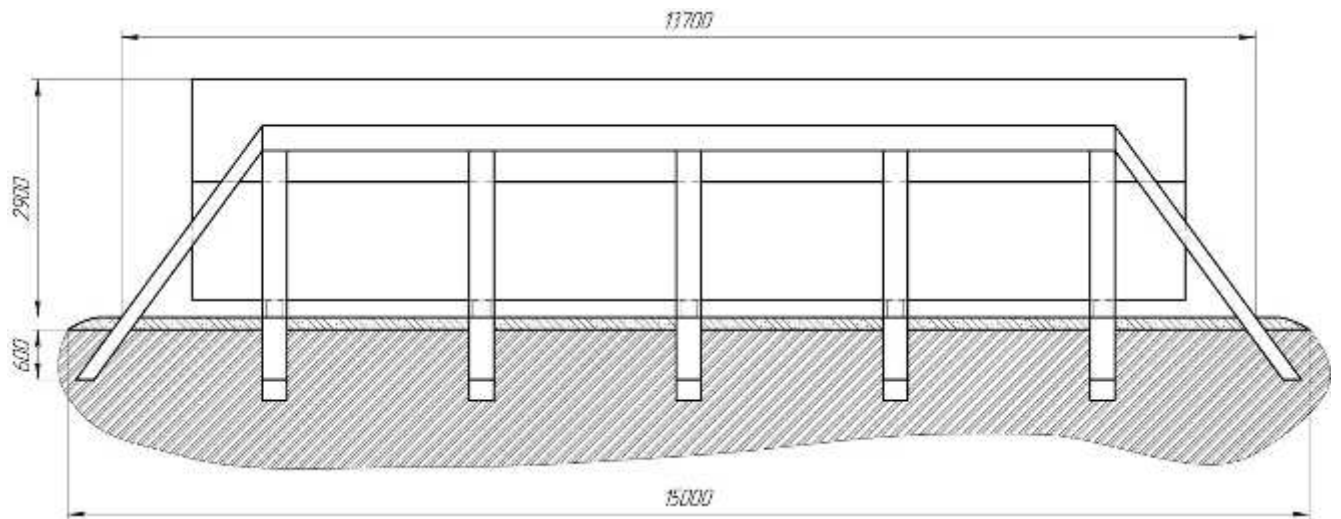


Рисунок 1.3 – Схема складирования труб в штабеле (вид сбоку)

Схема складирования труб (вид сверху) в штабеле показана на рисунке 1.4.

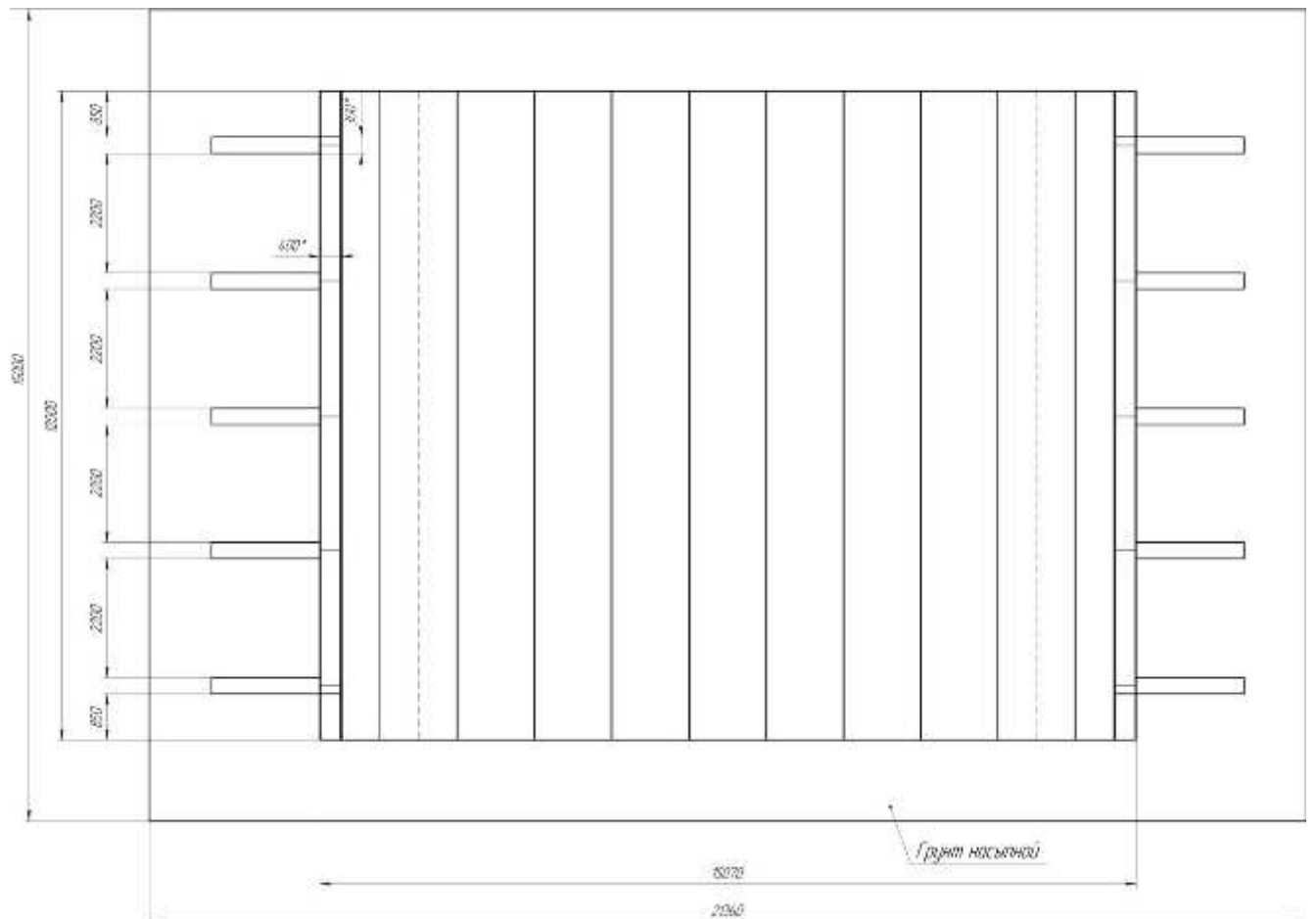


Рисунок 1.4 – Схема складирования труб в штабеле (вид сверху)

Из штабеля трубы при помощи трубоукладчиков выкладываются в нитку на временные песчаные насыпи. Расстояние между песчаными насыпями выбирается исходя из общей длины трубы, но при этом их должно быть не меньше трех,

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

15.03.01.2017.097.00 ПЗ

Лист

15

равномерно распределенных по длине укладываемой трубы. При этом должны выполняться следующие требования:

- расстояния между крайними трубами не должно быть менее 500 мм;
- минимальное расстояние между образующей трубы и грунтом должно быть не меньше 400 мм.

Схема укладки труб на песчаные насыпи показана на рисунке 1.5.

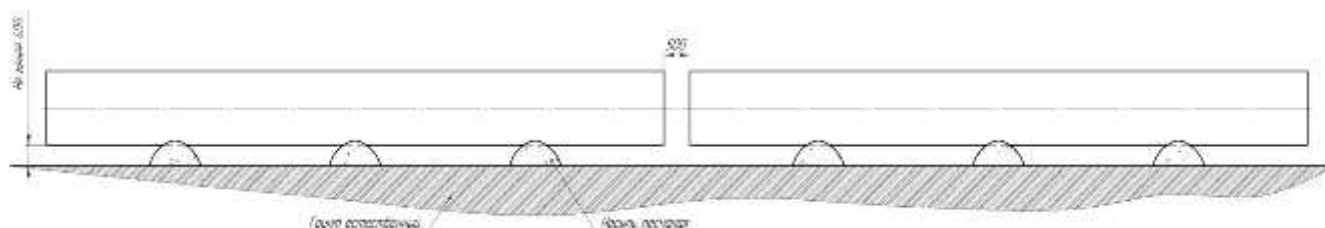


Рисунок 1.5 – Схема укладки труб на песчаные насыпи

После того, как трубы выложены на насыпи, проводится их предварительный осмотр перед операцией сборки и сварки. В ходе выполнения данной операции контролируются следующие параметры:

- отсутствие на внутренней и наружной поверхностях труб различных загрязнений, влияющих на качество проведения работ по сборке и по сварке. К таким загрязнениям относятся снег, остатки грунта, ржавчина, мусор и прочее;
- качество зачистки кромок основного металла до металлического блеска на расстоянии не менее 30 мм;
- при осмотре основного металла свариваемых труб контролируется отсутствие рисок, царапин. При обнаружении каких-либо поверхностных дефектов, производится замер их глубины, а затем, если глубина последующей зачистки дефектов обеспечит минимальную требуемую толщину стенки, то дефект устраняется с последующим замером остаточной толщины стенки. При невозможности обеспечить минимальную толщину стенки, труба убирается с насыпи и производится устранение дефекта отрезкой;
- при осмотре свариваемых кромок контролируется отсутствие забоин. При обнаружении забоины глубиной, не превышающей глубину в 5 мм, производится ее заварка по технологии ремонта. Если забоина превышает глубину 5 мм, то труба убирается с насыпи и производится отрезка дефекта;

					15.03.01.2017.097.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		16

– при осмотре свариваемых кромок также контролируется отсутствие вмятин на торцах. При обнаружении вмятины с плавными очертаниями и величиной не более 3,5% от номинального диаметра трубы, то ее исправляют путем местного нагрева и раздавливанием калибратором. При этом правку не допускается выполнять ударными воздействиями;

– высота усиления внутренних заводских сварных швов должны быть в интервале 0...0,5 мм на участке длиной 150...200 мм. Высота усиления наружных заводских сварных швов должны быть снято до величины 0,5...1 мм на участке, расположенном на расстоянии 10...15 мм от торца трубы.

После проведения осмотра на торец трубы, обращенный по ходу прокладки трубопровода, устанавливается направляющий пояс для установки на него сварочной орбитальной головки. Затем трубоукладчик захватывает трубу и укладывает ее в траншею для сборки. Труба находится в подвешенном состоянии над песчаными насыпями высотой 500 мм.

Стыковка трубы с трубопроводом осуществляется при помощи центратора внутреннего, который установлен в трубопроводе. При сборке должны проверяться следующие параметры:

- величина зазора между свариваемыми кромками должна находится в интервале 2...3 мм;
- величина смещения кромок не более 3 мм;
- смещение продольных заводских швов труб относительно друг друга должно быть не менее 150 мм.

Общий вид стыка, подготовленного под сварку, показан на рисунке 1.6.

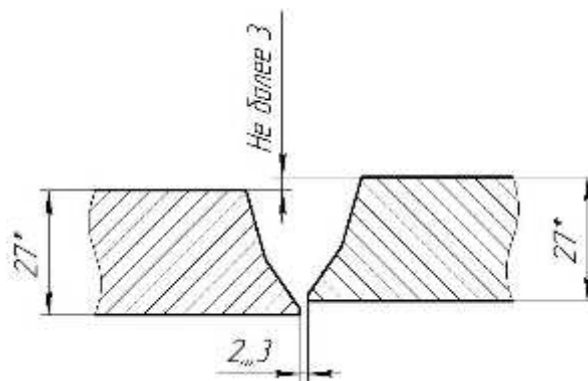


Рисунок 1.6 – Общий вид стыка, подготовленного под сварку

									Лист
									17
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	15.03.01.2017.097.00 ПЗ				

Контроль смещения кромок осуществляется универсальным шаблоном сварщика №3 (УШС-3). Для получения сборки требуемого качества запрещено использовать ударный инструмент. Если при сборке смещение кромок превышает величину 3 мм, и нет возможности его исправить путем поворота трубы относительно горизонтальной оси, то трубу необходимо заменить.

После того, как труба на центраторе зафиксирована, выставлен необходимый зазор, требуемое смещение кромок, производится установка на место стыка тента укрывного. Тент ставится при помощи автокрана.

После установки тента на стык производится операция предварительного подогрева. Подогрев осуществляется индукционным методом путем укрытия места стыка термическими поясами. Нагрев проводится до температуры значением не менее 150 °С. Параметры нагрева регистрируются в автоматическом режиме. При этом запись параметров температуры фиксируется на диаграмме регистрирующего потенциометра. Контролирующими устройствами являются термопары. Они располагаются на расстоянии не менее 25 мм от края предполагаемого сварного шва и не входят в зону сварочной дуги. Термопары ставятся в 5 точках по длине окружности стыка, при этом должно выполняться условие, что одна из термопар является регулирующей и установлена в зените газопровода. Схема установки термопар показана на рисунке 1.7.

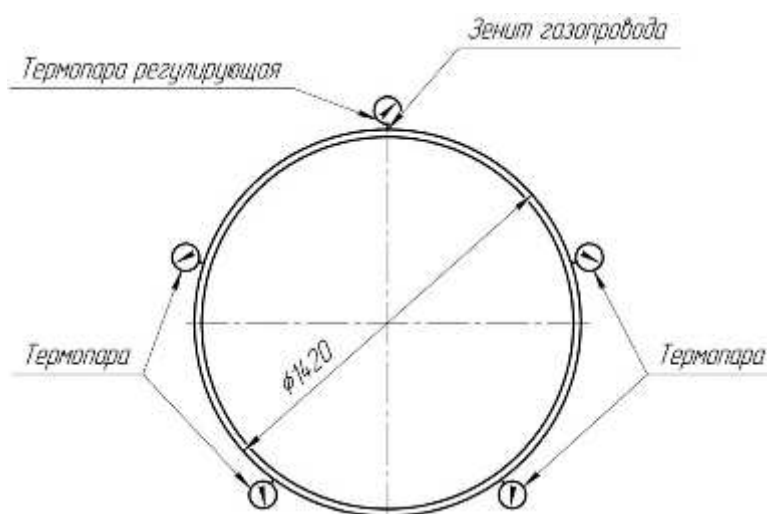


Рисунок 1.7 – Схема установки термопар

Схема установки термических поясов показана на рисунке 1.8.

					15.03.01.2017.097.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		18

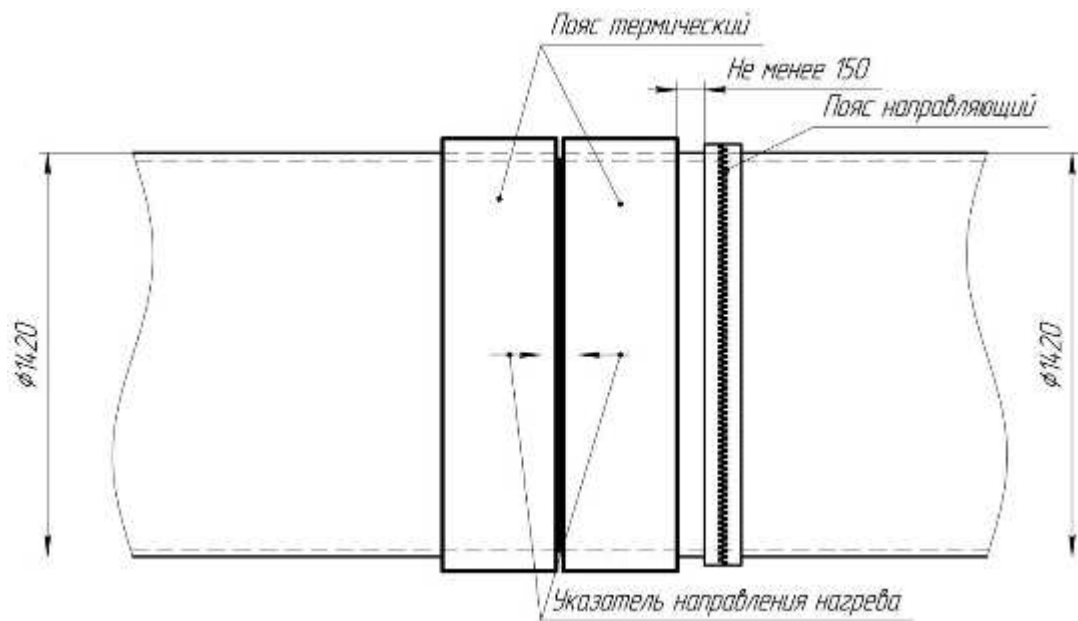
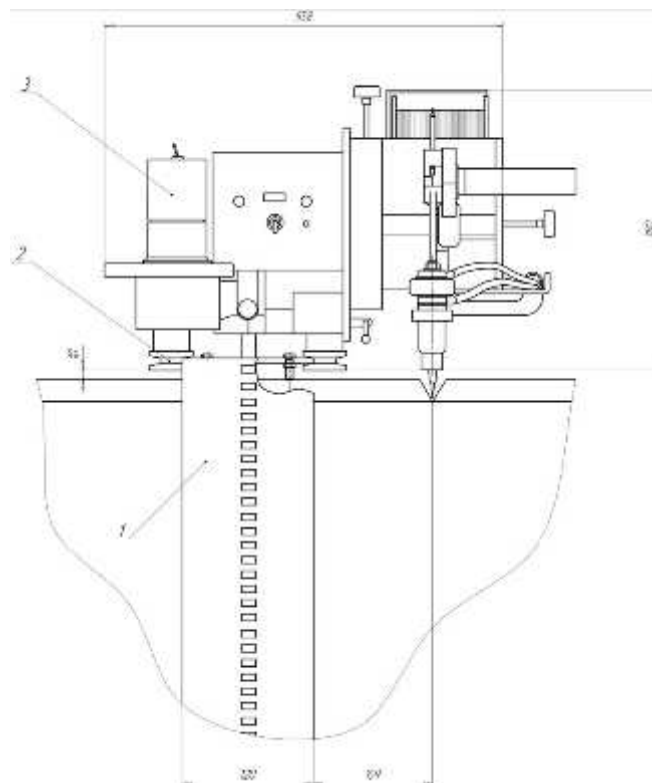


Рисунок 1.8 – Схема установки термических поясов

После нагрева зоны стыка до требуемого значения температуры, термические пояса демонтируются, к месту стыка устанавливается направляющий пояс для сварочных головок и на него монтируются две сварочные головки таким образом, чтобы сварку вести в двух диаметрально противоположных направлениях. Схема установки одной сварочной головки показана на рисунке 1.9.



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

Рисунок 1.9 – Схема установки сварочной головки

									Лист
									19
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	15.03.01.2017.097.00 ПЗ				

При сварке используются сварочные головки марки М300-С. Общий вид сварочной головки показан на рисунке 1.10.



Рисунок 1.10 – Общий вид сварочной головки М300-С

Указанная сварочная головка применяется для орбитальной автоматической сварки неповоротных стыков магистральных газопроводов с диаметром сечения трубы, находящемся в интервале 426...1420 мм. Технические характеристики сварочной головки М300-С приведены в таблице 1.3.

Таблица 1.3 – Технические характеристики сварочной головки М300-С

Характеристика	Значение
Габаритные размеры каретки, мм	584×381×559
Масса каретки, кг	23,2
Ширина направляющего пояса, мм	120
Диапазон диаметров свариваемых труб, мм	406,4...2520
Диапазон толщин стенки трубы, мм	9,5...50
Скорость перемещения каретки, см/мин	7,6...154
Скорость колебаний горелки, мм/с	10,2...111,8
Диаметр сварочной проволоки, мм	0,76...1,98
Амплитуда поперечных колебаний горелки, мм	19
Регулировка постоянных углов наклона горелки:	
– продольного, град	± 15
– поперечного, град	нет
Время задержки на кромках, с	0...1

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

15.03.01.2017.097.00 ПЗ

Лист

20

Продолжение таблицы 1.3.

Диапазон рабочих температур, °С	-40...+70
Допустимая сила тока, А, при ПВ=100%	350
Напряжение питания цепей управления постоянным током, В	36...46

В качестве источника питания при сварке корневого прохода методом STT используется инверторный выпрямитель марки Invertec STT II производства фирмы Lincoln Electric. Общий вид выпрямителя Invertec STT II показан на рисунке 1.11.



Рисунок 1.11 – Общий вид выпрямителя Invertec STT II

Технические характеристики источника питания Invertec STT II приведены в таблице 1.4.

Таблица 1.4 – Технические характеристики источника питания Invertec STT II

Характеристика	Значение
Сила сварочного тока, В, при:	
– MMA	5...225
– Mig/Mag	5...225
Количество фаз питания, шт	3
Напряжение холостого хода, В	85

Продолжение таблицы 1.4.

Максимальный сварочный ток при непрерывной работе, А
--

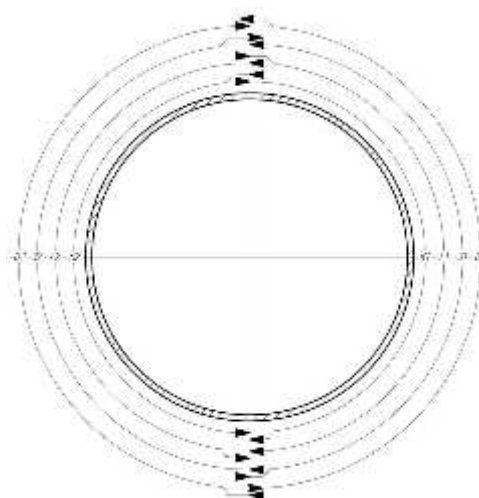
200

После выставления сварочных головок и настройки требуемых параметров режима сварки начинается сам процесс сварки. Сварка автоматическая в среде защитных газов. В качестве защитного газа используется газовая смесь марки К25 (75%Ar+25%CO₂). Все слои шва варятся указанными сварочными головками. Регулировка параметров режима производится в дистанционном режиме с пульта управления. Каждая сварочная головка варит один полупериметр трубы.

Порядок наложения слоев сварного шва:

- корневой проход;
- «горячий» проход»;
- заполняющие проходы;
- облицовочные проходы.

Схема сварки кольцевого сварного шва показана на рисунке 1.12.



- К1, К2 – участки корневого прохода на левом и правом полупериметре трубы;
- Г1, Г2 – участки «горячего» прохода на левом и правом полупериметре трубы;
- 31, 32 – участки заполняющего прохода на левом и правом полупериметре трубы;
- O1, O2 – участки облицовочного прохода на левом и правом полупериметре трубы

Рисунок 1.12 – Схема сварки кольцевого сварного шва

									Лист
									22
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	15.03.01.2017.097.00 ПЗ				

Сварка «горячего» прохода начинается во временном интервале не более 10 минут после окончания сварки корневого прохода. При невыполнении данного требования проводится сопутствующий подогрев до температуры 250 °С.

Сварка корневого прохода выполняется в направлении «на спуск». После того, как первая сварочная головка проварила 100% длины полупериметра трубы, начинается работа второй головки. Сварка должна начинаться на расстоянии длиной не меньше 100 мм в сторону предыдущего шва. При этом начало и конец предыдущего шва должно быть зачищено шлифмашинкой от кратера и кратерных трещин.

После сварки корневого прохода, проводится его визуальный осмотр. При выявлении участков внутри трубы с недостаточной высотой обратного валика, пор, непроваров, то производится их механическая зачистка и подварка изнутри электродами с основным видом покрытия. При превышении высоты обратного валика, допускается его обработать механическим способом до требуемых размеров.

В качестве присадочного материала при сварке корневого прохода используется сварочная проволока сплошного сечения марки Super Arc L-56 диаметром 1,14 мм производства фирмы Lincoln Electric. Химический состав наплавленного металла проволокой Super Arc L-56 показан в таблице 1.5.

Таблица 1.5 – Химический состав наплавленного металла проволокой Super Arc L-56

В процентах

C	Si	Mn	S	P	Cu
0,08	0,90	1,50	0,001	0,001	1,15

Механические свойства наплавленного металла проволокой Super Arc L-56 показаны в таблице 1.6.

Таблица 1.6 – Механические свойства наплавленного металла проволокой Super Arc L-56

Предел текучести σ_T , МПа, не менее	Предел временного сопротивления σ_B , МПа, не менее	Относительное удлинение δ_5 , %, не менее
400	485	31

При проведении процесса сварки корневого прохода применяется постоянный ток обратной полярности. Также используется специальное программное обеспечение под названием STT (Surface Tension Transfer), основанное на механизме переноса капли расплавленного металла с помощью сил поверхностного натяжения.

Режимы сварки корневого прохода проволокой Super Arc L-56 показаны в таблице 1.7.

Таблица 1.7 – Режимы сварки корневого прохода проволокой Super Arc L-56

Параметр	Значение
Сила тока, А	200
Напряжение на дуге, В	29±1
Скорость сварки, см/с (м/ч)	0,3 (10,8)
Скорость подачи сварочной проволоки, см/с (м/ч)	8,8 (316,8)

После сварки корневого прохода, производится зачистка шва от различных сварочных загрязнений до блестящей поверхности.

«Горячий проход» варится методом «на спуск». Ток постоянный обратной полярности. Сварка прохода второй головкой начинается только после того, как первая головка проварит участок длиной не менее 1 м. Места окончания и начала сварки смещаются на расстояние не менее 100 мм в стороны предыдущего слоя шва и зачищаются механическим способом шлифмашинками от различных металлургических дефектов. Затем труба укладывается на песчаные насыпи. Трубоукладчик, в свою очередь, зацепляет другую трубу и сварка корневого

										Лист
										24
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	15.03.01.2017.097.00 ПЗ					

прохода продолжается на последующих стыках. На рассматриваемом стыке начинается сварка остальных проходов.

Заполняющие и облицовочные проходы также варятся постоянным током обратной полярности, но методом «на подъем».

В качестве основного металла при сварке «горячего» прохода, заполняющих и облицовочных проходов применяется порошковая сварочная проволока марки ОК Tubrod 15.19 диаметром 1,2 мм производства фирмы Esab.

Химический состав наплавленного металла проволокой ОК Tubrod 15.19 показан в таблице 1.8.

Таблица 1.8 – Химический состав наплавленного металла проволокой ОК Tubrod 15.19

В процентах

С	Si	Mn	Ni	S	P
				Не более	
0,05	0,35	1,30	0,95	0,025	

Механические свойства наплавленного металла проволокой Super Arc L-56 показаны в таблице 1.9.

Таблица 1.9 – Механические свойства наплавленного металла проволокой ОК Tubrod 15.19

Предел текучести σ_T , МПа, не менее	Предел временного сопротивления σ_B , МПа, не менее	Относительное удлинение δ_5 , %, не менее
584	643	26

Режимы сварки «горячего» прохода, заполняющих и облицовочных проходов проволокой ОК Tubrod 15.19 показаны в таблице 1.10.

Таблица 1.10 – Режимы сварки «горячего» прохода, заполняющих и облицовочных проходов проволокой ОК Tubrod 15.19

Наименование прохода	$I_{св}$, А	$U_{д}$, В	$V_{св}$, см/с	$V_{под}$, см/с	Вылет проволоки, мм
«Горячий»	190...220	20,5...22,5	0,67...0,83	11,5...12,3	8...12
Заполняющие	220...250	21...23	0,21...0,47	12,7...14,3	
Облицовочные	190...215	20...22	0,2...0,38	11...11,8	8...15

Для всех слоев сварного шва угол наклона проволоки составляет $0...7^{\circ}$ (угол направлен вперед).

После окончания сварки проводится визуальный и измерительный осмотр сварного шва на наличие недопустимых дефектов типа, пор, трещин, несплавлений, подрезов и др. При выявлении указанных дефектов производится вышлифовка их и подварка автоматической сваркой. При превышении высоты валика шва производится его механическая зачистка. Общий вид сварного шва, сваренного автоматической сваркой в среде защитных газов, показан на рисунке 1.13.

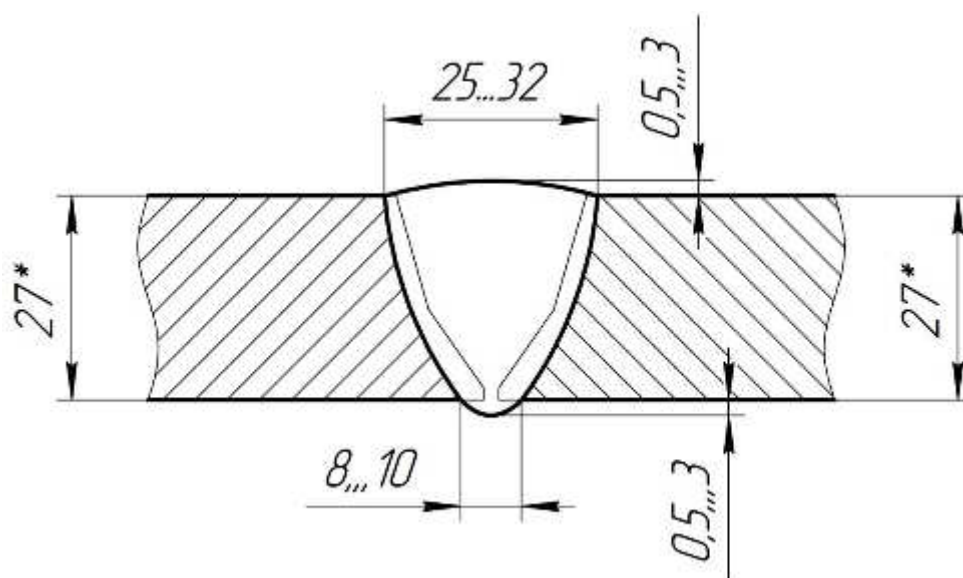


Рисунок 1.13 – Общий вид сварного шва, сваренного автоматической сваркой в среде защитных газов

По окончании сварки стыка операторы сварочной установки ставят свое

						Лист
					15.03.01.2017.097.00 ПЗ	26
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

клеймо.

После клеймения стыка проводится термическая обработка для снятия внутренних сварочных напряжений. Тип термообработки – высокий отпуск. Термообработка проводится на том же оборудовании, что и предварительный подогрев. Режимы термообработки следующие:

- температура нагрева 600...620 °С;
- скорость нагрева 200 °С/ч;
- выдержка при заданной температуре не менее 60 мин;
- охлаждение происходит под термическими поясами.

После проведения термической обработки проводится контроль качества. При определении уровня качества сварного шва используются следующие методы контроля:

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

По результатам проведения ВИК в сварном шве контролируется наличие (отсутствие) следующих видов дефектов:

- трещины всех видов и направлений;
- поры, выходящие на поверхность, в т. ч. скопления и цепочки пор;
- шлаковые включения, выходящие на поверхность;
- несплавления;
- нарушение геометрии сварного шва;
- дефекты обратного валика;
- неполное заполнение разделки кромок;
- вогнутость корня шва;
- превышение проплавления корня шва;
- неисправленные кратеры.

По результатам проведения РК в сварном шве контролируется наличие (отсутствие) следующих видов дефектов:

- непровары;
- внутренние поры, в т. ч. скопления и цепочки пор;

					15.03.01.2017.097.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		27

- несплавления;
- внутренние шлаковые включения.

Основные требования при сварке кольцевого шва магистрального газопровода:

- межслойная температура должна находиться в интервале 50 °С...250 °С. При значении межслойной температуры менее 50 °С процесс сварки останавливается и производится сопутствующий подогрев до требуемой температуры, затем процесс возобновляется;

- дуга при автоматической сварке зажигается в разделке кромок либо с поверхности предыдущего прохода;

- смежные валики должны перекрывать друг друга на величину не менее 1/3 от ширины одного из них;

- при сварке стыка проводится зачистка шлифмашинкой всех проходов от шлака и брызг металла;

- сварка любого прохода начинается и заканчивается на расстоянии не менее 100 мм от заводских швов;

- начало сварки следующего прохода смещается относительно начала предыдущего прохода на величину не менее 30 мм;

- место окончания сварки смежных проходов смещается относительно на расстояние приблизительно 70...100 мм;

- сваренный стык не допускается оставлять незаваренным.

При невозможности завершить сварку стыка соблюдаются следующие требования:

- стык должен быть сварен не меньше, чем на 2/3 толщины стенки;

- недоваренный стык накрывается водонепроницаемым теплоизолирующим поясом, который способствует замедленному и равномерному остыванию;

- перед сваркой стык повторно нагревается до требуемой температуры;

- стык должен быть полностью сварен за 24 часа.

Заземление присоединяется на контактные устройства, которые исключают образование искрений на теле в процессе сварки. Конструкция устройств обеспечивает токоподвод в разделку кромок. При этом запрещена их приварка к

					15.03.01.2017.097.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		28

телу свариваемых элементов.

Существующая технология сварочных работ при строительстве магистрального газопровода позволяет производить 1 км газопровода четырьмя бригадами за одну смену. Продолжительность рабочей смены составляет 12 часов. Сезон проведения работ с 1 октября по 1 апреля. За сезон, с учетом двухсменной работы, варится примерно 120 км газопровода. Количество проходов при сварке одного стыка составляет не менее 14 шт. Время изготовления одного стыка (без учета операций сборки и подготовки) составляет порядка 164 мин (2 часа 44 минуты).

В результате использования автоматической сварки в среде защитных газов, несмотря на качественные сварочные материалы, отработанные годами технологии, в сварных стыках часто возникают дефекты различной природы появления, что негативно сказывается на дальнейшей работоспособности газопровода. Так, при наличии в сварном шве допустимых дефектов, которые в совокупности являются допускаемыми, прочность сварного шва уменьшается на 15...20%. Также основную роль в появлении этих дефектов играет сам процесс сварки в среде защитных газов. Это обусловлено тем, что в при сварке в сварочную ванну попадают некоторые загрязнения, которые, вступая в металлургический контакт с расплавленным металлом образуют тугоплавкие оксиды. Они выпадают в сварной шов в виде шлаковых включений. Поры образуются при недостаточной зачистке кромок под сварку, что подразумевает дополнительное выделение газа за счет сгорания указанных загрязнений.

В то же время, в условиях экономической политики, проводимой Российской Федерацией, при расширении географии подачи природного газа в различные части страны требуется обширное расширение трубопроводной системы. Это также подразумевает под собой повышение производительности при строительстве новых и реконструкции действующих магистральных газопроводов.

Таким образом, основными факторами, влияющими на производительность, являются:

					15.03.01.2017.097.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		29

- скорость проведения монтажа;
- скорость проведения сварки;
- удаленность места монтажа от площадки складирования труб.

Для повышения производительности предлагается выполнить следующий комплекс мероприятий:

- применить в районе проведения работ передвижную сварочную базу, состоящую из:

- а) полуприцепа с установленным на нем кольцевым кантователем;
- б) приставных лестниц для удобства подхода специалистов к месту работ;
- в) тента для защиты зоны проведения от окружающего воздуха;
- г) сварочного агрегата с источником питания;
- д) сварочной колонны;

- применить при изготовлении газопровода трехтрубные секции, сваренные на передвижной сварочной базе. Это позволит сократить фактическое количество стыков с увеличением сменной протяженности участка;

- применить при сварке трехтрубных секций автоматическую сварку под слоем флюса. Это позволит сократить время на сварку стыка, а также снизить влияние погодных факторов на образование сварного соединения. При этом корневым проходом варится по базовой технологии с применением программного обеспечения STT;

- применить при автоматической сварке под слоем флюса комбинацию «сварочная проволока–флюс» проволоку ОК Autrod 12.24 диаметром 4 мм и флюс ОК Flux 10.71.

1.4 Требования к аттестации технологии сварки

Все технологии сварки, применяемые в трассовых условиях при строительстве магистральных трубопроводов, должны быть аттестованы в соответствии с требованиями РД 03-615-03.

Оборудование для сварки должно быть аттестовано в соответствии с

					15.03.01.2017.097.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		30

положениями РД 03-614-03.

Материалы, предназначенные для проведения сварки, должны быть аттестованы в соответствии с положениями РД 03-613-03.

Сварку стыков труб имеют право проводить только сварщики, которые прошли аттестацию согласно требованиям ПБ 03-273-99, РД 03-495-02. Перед сваркой проводятся допускные испытания стыков, которые сварены сварщиками, работающими непосредственно с газопроводом.

Руководство сварочными работами в условиях монтажа осуществляют специалисты, прошедшие аттестацию согласно требованиям ПБ 03-273-99, РД 03-495-02.

Перед сваркой стыка сварщик должен оформить допускной лист, в котором указаны все необходимые параметры как процесса сварки, так результаты проведения контроля качества.

Сварку образцов проводят согласно требованиям операционных технологических карт, которые разработаны на основании операционной карты сборки, сварки и проведения ремонта кольцевых стыков.

Операционные технологические карты на проведение сборки и сварки должны быть разработаны и подписаны специалистом сварочного производства, который аттестован на III или IV уровень профессиональной подготовки в соответствии с ПБ 03-273-99, РД 03-495-02. Данные специалисты утверждены главным инженером предприятия и согласованы главным сварщиком заказчика, у которого уровень профессиональной подготовки не ниже III согласно требованиям ПБ 03-273-99.

1.5 Описание предлагаемой технологии

Для сборки и сварки стыков труб предлагается заменить автоматическую одностороннюю сварку в среде защитных газов на автоматическую одностороннюю сварку под слоем флюса. Преимуществами сварки под слоем флюса являются [1]:

					15.03.01.2017.097.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		31

– повышенная производительность. Это достигается за счет использования при сварке повышенных токов, большего диаметра сварочной проволоки, повышенной глубины проплавления за один проход;

– за счет корки расплавленного флюса обеспечивается более надежная защита сварочной ванны от воздействия окружающего воздуха и увеличивается время остывания сварочной ванны, что приводит также к уменьшению количества дефектов типа пор, шлаковых включений и т.д.;

– максимальная автоматизация процесса сварки;

– высокий КПД дуги, что позволяет рационально расходовать электроэнергию;

– низкие потери электродного металла на угар и разбрызгивание (не более 5%);

– улучшение условий работы операторов сварочных установок.

Основным недостатком сварки под слоем флюса является ее низкая применимость в различных пространственных положениях, а именно, сварка возможна только в нижнем положении [1]. Также в предлагаемой технологии сварки потребуется изменить разделку кромок труб.

Предлагаемая технология строительства магистрального газопровода несколько отличается от применяемой, поэтому порядок проведения работ следующий:

– трубы, принятые ранее по входному контролю, со склада доставляются в район строительства при помощи специальных плетевозов;

– трубоукладчики выгружают их с плетевозов и выкладываются вдоль оси газопровода на песчаные насыпи в нитку, с расстоянием между трубами не менее 500 мм. При этом высота насыпи не должна быть менее 450 мм;

– параллельно с этим устанавливается сварочная база;

– далее с насыпи на базу укладывается первая труба;

– пока трубоукладчик следует за следующей трубой, на первую устанавливается направляющий пояс для сварочной головки (автоматическая сварка в среде защитных газов);

– одновременно с этим в первую трубу ставится внутренний центратор;

					15.03.01.2017.097.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		32

- затем на кантователь укладывается вторая труба с выставлением требуемых параметров сборки;
 - после этого устанавливается тент для сварки;
 - после выставления геометрии сборки, происходит установка термических поясов для проведения предварительного подогрева (согласно рисунку 1.8);
 - затем производится установка двух сварочных головок и производится сварка корневого прохода (согласно базовой технологии);
 - по окончании сварки корневого прохода, производится его осмотр;
 - после осмотра корневого прохода, центратор перемещается к месту следующего стыка. Параллельно с этим на свободный конец второй трубы устанавливается направляющий пояс для сварочных головок и повторяются предыдущие операции;
 - одновременно с подготовкой второго стыка производится настройка сварочной колонны для сварки под слоем флюса;
 - после завершения сварки корневого прохода двух стыков, второй подготавливается к сварке под слоем флюса;
 - производится сопутствующий подогрев и далее производится сварка под слоем флюса;
 - после каждого прохода производится его визуальный осмотр и зачистка;
 - после сварки облицовочного слоя шва производится контроль качества.
- По завершении контроля трехтрубная секция снимается с базы и ставится в нитку трубопровода согласно базовой технологии.

1.6 Описание принятых сварочных материалов

Для автоматической сварки в среде защитных газов сварочная проволока сплошного сечения марки Super Arc L-56 диаметром 1,14 мм производства фирмы Lincoln Electric. Химический состав наплавленного металла проволокой Super Arc L-56 показан в таблице 1.5. Механические свойства наплавленного металла проволокой Super Arc L-56 показаны в таблице 1.6.

										Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	15.03.01.2017.097.00 ПЗ					33

При проведении процесса сварки корневого прохода применяется постоянный ток прямой полярности. Также используется специальное программное обеспечение под названием STT (Surface Tension Transfer), основанное на механизме переноса капли расплавленного металла с помощью сил поверхностного натяжения.

Определим стойкость металла, наплавленного проволокой Super Arc L-56, против образования горячих трещин определяется по формуле (6) из [3, 4]

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

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

Тогда, по формуле (6), для проволоки Super Arc L-56

$$HCS = \frac{0,08 \cdot \left(0,001 + 0,001 + \frac{0,9}{25} \right) \cdot 10^3}{3 \cdot 1,5} = 0,7, \text{ ед.}$$

Так как $0,7 < 4$, то наплавленный металл не склонен к образованию горячих трещин.

Заполняющие и облицовочные проходы также варятся постоянным током прямой полярности. В качестве основного металла при сварке «заполняющих и облицовочных проходов предлагается применить сварочную проволоку марки ОК Autrod 12.24 диаметром 4 мм и флюс ОК Flux 10.71.

Химический состав наплавленного металла проволокой ОК Autrod 12.24 показан в таблице 1.11.

					15.03.01.2017.097.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		34

Таблица 1.11 – Химический состав наплавленного металла проволокой ОК Autrod 12.24

В процентах

C	Si	Mn	Mo	S	P
				Не более	
0,08 – 0,12	0,05 – 0,20	0,95 – 1,20	0,45 – 0,60	0,02	

Химический состав флюса ОК Flux 10.71 показан в таблице 1.12.

Таблица 1.12 – Химический состав флюса ОК Flux 10.71

В процентах

Al ₂ O ₃ +MnO	CaF ₂	CaO+MgO	SiO ₂ +TiO ₂
35	15	25	20

При сварке проволокой ОК Autrod 12.24 под слоем флюса ОК Flux 10.71 химический состав наплавленного металла приведен в таблице 1.13.

Таблица 1.13 – Химический состав наплавленного металла при сварке проволокой ОК Autrod 12.24 под слоем флюса ОК Flux 10.71

C	Si	Mn	Mo	S	P
				Не более	
0,08	0,4	1,35	0,5	0,02	0,03

Механические свойства наплавленного металла при сварке проволокой ОК Autrod 12.24 под слоем флюса ОК Flux 10.71 показаны в таблице 1.14.

Таблица 1.14 – Механические свойства наплавленного металла при сварке проволокой ОК Autrod 12.24 под слоем флюса ОК Flux 10.71

Предел текучести σ_T , МПа, не менее	Предел временного сопротивления σ_B , МПа, не менее	Относительное удлинение δ_5 , %, не менее
510	580	24

Определим стойкость металла при сварке проволокой ОК Autrod 12.24 под слоем флюса ОК Flux 10.71 против образования горячих трещин по формуле (6)

$$HCS = \frac{0,08 \cdot \left(0,02 + 0,03 + \frac{0,4}{25}\right) \cdot 10^3}{3 \cdot 1,35 + 0,5} = 1, \text{ ед.}$$

Так как $1 < 4$, то наплавленный металл не склонен к образованию горячих трещин.

1.7 Расчет параметров режимов сварки предлагаемой технологии

Сварной шов в предлагаемом варианте технологии изготовления выполняется двумя способами: автоматической сваркой в среде защитных газов (корневой проход) и автоматической сваркой под слоем флюса (заполняющие и облицовочный проходы).

Расчет параметров процесса сварки многопроходных сварных соединений выполняется в следующем порядке:

- расчет параметров режима сварки корневого прохода;
- расчет параметров режима сварки заполняющих и облицовочных слоев.

Общий вид сварного шва показан на рисунке 1.14.

									Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	15.03.01.2017.097.00 ПЗ				36

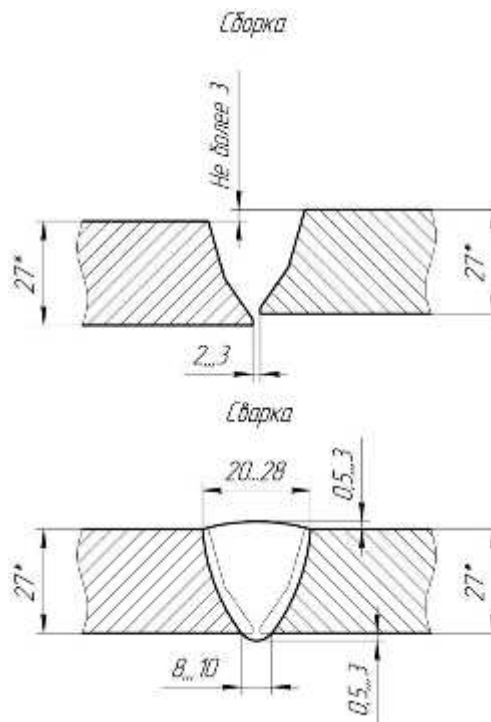


Рисунок 1.14 – Общий вид сварного шва

Общая площадь разделки составляет $F_p = 4,6 \text{ см}^2$. Согласно рекомендациям нормативной документации ПАО «Газпром», при автоматической односторонней сварке под слоем флюса для толщин труб 27 мм требуется не менее 6 проходов.

Оптимальной площадью наплавленного металла при сварке корневого прохода является интервал $0,3 \dots 0,35 \text{ см}^2$ [2]. Для уточнения параметров режима при сварке корневого прохода примем, что площадь поперечного сечения наплавленного металла $F_H^K = 0,35 \text{ см}^2$.

При сварке заполняющих и облицовочного слоев шва, площадь поперечного сечения наплавленного металла должна составлять не более 1 см^2 (или 100 мм^2) [1, 2]. Для получения качественного сварного соединения при комбинированной сварке в части автоматической сварки под слоем флюса примем, что площадь поперечного сечения наплавленного металла составляет при:

- первом заполняющем проходе $F_H^{3I} = 0,65 \text{ см}^2$;
- последующих заполняющих проходах $F_H^{3II} = 1 \text{ см}^2$;
- облицовочном проходе $F_H^O = 0,6 \text{ см}^2$.

Таким образом, сварной шов варится в общем виде за 6 проходов.

1.7.1 Расчет параметров режима сварки для корневого прохода

Произведем расчет параметров процесса сварки корневого прохода. Сварочный ток постоянный прямой полярности. Примем, что вылет электродной проволоки 12 мм, расход газа 18 л/мин.

Сила сварочного тока зависит от диаметра проволоки и плотности сварочного тока. Примем, что значение сварочного тока составляет 200 А.

Определим плотность сварочного тока по формуле (7) из [2]

$$j = \frac{4I_{CB}}{\pi d_{\text{Э}}^2} = \frac{4 \cdot 200}{3,14 \cdot 1,14^2} = 196 \frac{\text{А}}{\text{мм}^2}. \quad (7)$$

При диаметре электродной проволоки 1,14 мм и плотность сварочного тока находится в интервале 60...270 А/мм² [2]. Полученное значение входит в указанный интервал.

Рассчитаем напряжение на дуге по формуле (8) из [2]

$$U_{\text{Д}} = 20 + \frac{0,05}{\sqrt{d_{\text{Э}}}} I_{\text{CB}} \pm 1, \text{ В}, \quad (8)$$

где $d_{\text{Э}} = 1,14$ – диаметр сварочной проволоки, мм;

$I_{\text{CB}} = 200$ – значение силы сварочного тока, А.

Тогда, по формуле (8) получим, что

$$U_{\text{Д}} = 20 + \frac{0,05}{\sqrt{1,14}} \cdot 200 \pm 1 \approx 29 \pm 1 \text{ В}.$$

Рассчитаем скорость подачи электродной проволоки $V_{\text{ПОД}}$ по формуле (9) из [1, 3]

					15.03.01.2017.097.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		38

$$V_{\text{ПОД}} = \frac{\alpha_p I_{\text{СВ}}}{3600 F_{\text{ЭЛ}} \gamma}, \frac{\text{см}}{\text{с}}, \quad (9)$$

где α_p – коэффициент расплавления, г/Ач;

$F_{\text{ЭЛ}} = 0,01$ – площадь сечения электродной проволоки, см²;

$\gamma = 7,8$ – плотность металла, г/см³.

Определим коэффициент расплавления по формуле (10) из [2]

$$\alpha_p = \alpha'_p + \Delta\alpha_p, \quad (10)$$

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

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

Составляющая, обусловленная тепловложением дуги α'_p при постоянном токе прямой полярности определяется по следующей формуле (11) из [2]

$$\alpha'_p = 6,3 + \frac{0,0702 I_{\text{СВ}}}{d_{\text{Э}}^{1,035}} = 6,3 + \frac{0,0702 \cdot 200}{1,14^{1,035}} = 18,6 \frac{\text{г}}{\text{Ач}}. \quad (11)$$

Составляющая, зависящая от тепловложения вследствие предварительного нагрева вылета электрода протекающим током $\Delta\alpha_p$ определяется из условия (12) из [2]

$$\Delta\alpha_p = \frac{3600 Q_{\text{ПП}}}{q_{\text{Э}} I_{\text{СВ}}}, \quad (12)$$

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

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

					15.03.01.2017.097.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		39

Рассчитаем значение $Q_{\text{ПП}}$ по следующей формуле (13) из [2]

$$Q_{\text{ПП}} = 0,1884j^2 \rho_0 d_{\text{Э}}^2 \left(\frac{V_{\text{Э}}}{a\alpha\beta} (e^{-p_2 l} - 1) - \frac{\alpha(T_{\text{ПЛ}} - T_0)}{p_1} \right), \quad (13)$$

где $j = 19600$ – плотность тока в электроде, А/см²;

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

$d_{\text{Э}} = 0,114$ – диаметр электродной проволоки, см;

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

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

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

β – коэффициент, ед;

$l = 1,2$ – вылет электродной проволоки, см;

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

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

p_1 и p_2 – коэффициенты, ед.

Определим коэффициент β по следующей формуле (14) из [2]

$$\beta = \frac{0,24j^2 \rho_0}{a\gamma} = \frac{0,24 \cdot 19600^2 \cdot 0,000014}{0,08 \cdot 1,25} = 12908 \text{ ед.} \quad (14)$$

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

Определим условную скорость подачи проволоки по формуле (15) из [2]

$$V_{\text{Э}} = \frac{4\alpha_p I_{\text{СВ}}}{3600\pi\gamma d_{\text{Э}}^2} = \frac{4 \cdot 18,6 \cdot 200}{3600 \cdot 3,14 \cdot 7,85 \cdot 0,114^2} = 12,9 \text{ см/с.} \quad (15)$$

Определим коэффициенты p_1 и p_2 исходя из условия (16) из [2]

					15.03.01.2017.097.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		40

$$\begin{cases} p_1 = -\frac{V_{\text{Э}}}{2a} - \sqrt{\frac{V_{\text{Э}}^2}{4a^2} - \alpha\beta} = -\frac{12,9}{2 \cdot 0,08} - \sqrt{\frac{12,9^2}{4 \cdot 0,08^2} - 0,0083 \cdot 12908} = -160,6 \text{ ед;} \\ p_2 = -\frac{V_{\text{Э}}}{2a} + \sqrt{\frac{V_{\text{Э}}^2}{4a^2} - \alpha\beta} = -\frac{12,9}{2 \cdot 0,08} + \sqrt{\frac{12,9^2}{4 \cdot 0,08^2} - 0,0083 \cdot 12908} = -0,667 \text{ ед.} \end{cases} \quad (16)$$

Тогда, по формуле (13) получим, что

$$Q_{\text{III}} = 0,1884 \cdot 19600^2 \cdot 0,000014 \cdot 0,114^2 \cdot \left(\frac{12,9}{0,08 \cdot 0,0083 \cdot 12908} (e^{-0,667 \cdot 1,2} - 1) - \frac{0,0083 \cdot (1500 - 20)}{-160,6} \right) = 25,3 \text{ кал.}$$

Следовательно, по формуле (12)

$$\Delta\alpha_p = \frac{3600 \cdot 25,3}{325 \cdot 200} = 1,4 \frac{\text{г}}{\text{Ач}}.$$

Тогда, по формуле (10) коэффициент расплавления

$$\alpha_p = 18,6 + 1,4 = 20 \text{ г/Ач.}$$

Следовательно, по формуле (9)

$$V_{\text{ПОД}} = \frac{20 \cdot 200}{3600 \cdot 0,01 \cdot 7,8} = 14,2 \frac{\text{см}}{\text{с}}.$$

Скорость сварки определяется из условия (17) из [2]

$$V_{\text{СВ}} = \frac{V_{\text{ПОД}}}{F_{\text{H}}} \cdot F_{\text{ЭЛ}}, \frac{\text{см}}{\text{с}}, \quad (17)$$

						15.03.01.2017.097.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			41

где $V_{\text{ПОД}} = 14,2$ – скорость подачи проволоки, см/с;

$F_{\text{Н}} = 0,35$ – площадь поперечного сечения наплавленного металла, см²;

$F_{\text{ЭЛ}} = 0,01$ – площадь сечения электродной проволоки, см².

Тогда, по формуле (9) получим, что

$$V_{\text{СВ}} = \frac{14,2}{0,35} \cdot 0,01 = 0,41 \frac{\text{см}}{\text{с}}.$$

Определим погонную энергию по формуле (18) из [2]

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

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

Тогда, по формуле (18) получим, что

$$q_{\text{ПОГ}} = \frac{0,24 \cdot 29 \cdot 200 \cdot 0,85}{0,41} = 2886 \frac{\text{кал}}{\text{см}}.$$

Скорость охлаждения для многопроходной сварки кольцевых швов протяженностью более 1 м для первого слоя определяется по формуле (19) из [2]

$$\omega = \bar{\omega} 2\pi\lambda \frac{(T_{\text{М}} - T_0)^2}{k_1 q_{\text{ПОГ}}}, \frac{\text{°С}}{\text{с}}, \quad (19)$$

где k_1 – коэффициент приведения при сварке многопроходных соединений, ед;

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

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

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

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

Безразмерный критерий процесса $\bar{\omega}$ зависит от другого безразмерного

					15.03.01.2017.097.00 ПЗ	Лист
						42
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

критерия, который определяется по формуле (20) из [2]

$$\frac{1}{\theta} = \frac{2k_1 q_{\text{ПОГ}}}{\pi(\delta^2 k_2) c \gamma (T_M - T_0)}, \quad (20)$$

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

k_2 – коэффициент приведения при сварке многопроходных соединений, ед.

Для стыковой сварки с разделкой кромок значения коэффициентов приведения определяются из условия (21) из [2]

$$k_1 = k_2 = \frac{180^\circ}{180^\circ - \alpha}, \quad (21)$$

где $\alpha = 70$ – угол разделки в зоне корневого прохода, град.

Тогда, по формуле (21) получим, что

$$k_1 = k_2 = \frac{180^\circ}{180^\circ - 70^\circ} = 1,6.$$

Следовательно, по формуле (20) получим, что

$$\frac{1}{\theta} = \frac{2 \cdot 1,6 \cdot 2886}{3,14 \cdot (2,7^2 \cdot 1,6) \cdot 1,25 \cdot (500 - 150)} = 0,6.$$

При значении безразмерного критерия 0,6 получим, что $\bar{\omega} = 0,97$ [2].

Тогда, по формуле (19) получим, что

$$\omega = 0,97 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 0,1 \cdot \frac{(500 - 150)^2}{1,6 \cdot 2886} = 16,2 \frac{^\circ\text{С}}{\text{с}}.$$

Для стали 10Г2ФБЮ интервал мгновенных скоростей охлаждения составляет

									Лист
									43
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	15.03.01.2017.097.00 ПЗ				

1...15 °C/c. Таким образом, при температуре предварительного подогрева 150 °C и при рассчитанных параметрах режима сварки не обеспечивается требуемая скорость охлаждения при сварке корневого прохода. Следовательно, требуется увеличить температуру предварительного подогрева до значения 170 °C.

Тогда, по формуле (20) $1/\theta = 0,61$, а $\bar{\omega}=0,96$. Следовательно, по формуле (19) получим, что

$$\omega=0,97 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 0,1 \cdot \frac{(500-170)^2}{1,6 \cdot 2886} = 14,4 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{с}}.$$

Условие выполняется.

1.7.2 Расчет параметров режима сварки первого заполняющего прохода

Произведем расчет параметров процесса сварки первого заполняющего прохода. Сварочный ток постоянный прямой полярности. Диаметр электродной проволоки равен $d_{\text{Э}} = 4$ мм. Примем, что вылет электродной проволоки 40 мм, высота слоя флюса составляет 30 мм, площадь сечения электродной проволоки $F_{\text{ЭЛ}} = 0,126 \text{ см}^2$, площадь поперечного сечения наплавленного металла $F_{\text{Н}}^{31} = 0,65 \text{ см}^2$.

Примем, что значение сварочного тока составляет 600 А. Определим плотность сварочного тока по формуле (7)

$$j = \frac{4I_{\text{СВ}}}{\pi d_{\text{Э}}^2} = \frac{4 \cdot 600}{3,14 \cdot 4^2} = 47,8 \frac{\text{А}}{\text{мм}^2}.$$

При диаметре электродной проволоки 4 мм плотность сварочного тока находится в интервале 40...70 А/мм² [2]. Полученное значение входит в указанный интервал.

Определим напряжение на дуге согласно формуле (8)

										Лист
										44
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	15.03.01.2017.097.00 ПЗ					

$$U_D = 20 + \frac{0,05}{\sqrt{4}} \cdot 600 \pm 1 \approx 35 \pm 1 \text{ В.}$$

Рассчитаем скорость сварки при выбранных параметрах режима по формуле (17) с учетом формул (9)...(16). Тогда получим, что:

- составляющая, обусловленная тепловложением дуги $\alpha'_p = 16,3 \text{ г/Ач}$;
 - условная скорость подачи проволоки $V_{\Theta} = 2,8 \text{ см/с}$;
 - коэффициент $\beta = 767,7 \text{ ед}$;
 - коэффициент $p_1 = -34,82 \text{ ед}$, $p_2 = -0,183 \text{ ед}$;
 - количество теплоты, расходуемое на предварительный подогрев вылета электродной проволоки протекающим по нему током $Q_{ПП} = 60,6 \text{ кал}$;
 - составляющая, зависящая от тепловложения вследствие предварительного нагрева вылета электрода протекающим током $\Delta\alpha_p = 1,12 \text{ г/Ач}$;
 - коэффициент расплавления $\alpha_p = 17,42 \text{ г/Ач}$;
 - скорость подачи проволоки $V_{ПОД} = 2,94 \text{ см/с}$;
 - расчетная скорость сварки $V_{СВ} = 0,62 \text{ см/с}$. Примем, что $V_{СВ} = 1,2 \text{ см/с}$.
- Далее по формуле (18) определяем погонную энергию

$$q_{ПОГ} = \frac{0,24 \cdot 35 \cdot 600 \cdot 0,9}{1,2} = 3672 \frac{\text{кал}}{\text{см}}.$$

Определим коэффициент, зависящий от рода и полярности тока по формуле (22) из [2]

$$k' = \frac{2,82}{j^{0,1925}} = \frac{2,82}{47,8^{0,1925}} = 1,34. \quad (22)$$

Определим коэффициент формы провара по формуле (23) из [2]

					15.03.01.2017.097.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		45

$$\Psi_{\text{ПР}} = \frac{k'(19-0,01I_{\text{СВ}})d_{\text{Э}}U_{\text{Д}}}{I_{\text{СВ}}}, \quad (23)$$

где $k' = 1,34$ – коэффициент, зависящий от плотности и полярности тока, ед.

Тогда, по формуле (23) получим, что

$$\Psi_{\text{В}} = \frac{1,34 \cdot (19 - 0,01 \cdot 600) \cdot 4 \cdot 34}{600} = 3,95 \text{ ед.}$$

1.7.3 Расчет параметров режима сварки последующих заполняющих проходов

Произведем расчет параметров процесса сварки первого заполняющего прохода. Сварочный ток постоянный прямой полярности. Диаметр электродной проволоки равен $d_{\text{Э}} = 4$ мм. Примем, что вылет электродной проволоки 40 мм, высота слоя флюса составляет 30 мм, площадь сечения электродной проволоки $F_{\text{ЭЛ}} = 0,126 \text{ см}^2$, площадь поперечного сечения наплавленного металла $F_{\text{Н}}^{\text{ЗП}} = 1 \text{ см}^2$.

Примем, что значение сварочного тока составляет 750 А. Определим плотность сварочного тока по формуле (7)

$$j = \frac{4I_{\text{СВ}}}{\pi d_{\text{Э}}^2} = \frac{4 \cdot 750}{3,14 \cdot 4^2} = 59,7 \frac{\text{А}}{\text{мм}^2}.$$

При диаметре электродной проволоки 4 мм плотность сварочного тока находится в интервале 40...70 А/мм² [2]. Полученное значение входит в указанный интервал.

Определим напряжение на дуге согласно формуле (8)

$$U_{\text{Д}} = 20 + \frac{0,05}{\sqrt{4}} \cdot 750 \pm 1 \approx 39 \pm 1 \text{ В.}$$

Рассчитаем скорость сварки при выбранных параметрах режима по формуле

										Лист
										46
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	15.03.01.2017.097.00 ПЗ					

(17) с учетом формул (9)...(16). Тогда получим, что:

- составляющая, обусловленная тепловложением дуги $\alpha'_p = 18,84$ г/Ач;
 - условная скорость подачи проволоки $V_{\text{Э}} = 4$ см/с;
 - коэффициент $\beta = 1197,54$ ед;
 - коэффициент $p_1 = -49,8$ ед, $p_2 = -0,2$ ед;
 - количество теплоты, расходуемое на предварительный подогрев вылета электродной проволоки протекающим по нему током $Q_{\text{ПП}} = 96,44$ кал;
 - составляющая, зависящая от тепловложения вследствие предварительного нагрева вылета электрода протекающим током $\Delta\alpha_p = 1,424$ г/Ач;
 - коэффициент расплавления $\alpha_p = 20,264$ г/Ач;
 - скорость подачи проволоки $V_{\text{ПОД}} = 4,3$ см/с;
 - расчетная скорость сварки $V_{\text{СВ}} = 0,542$ см/с. Примем, что $V_{\text{СВ}} = 1,2$ см/с.
- Далее по формуле (18) определяем погонную энергию

$$q_{\text{ПОГ}} = \frac{0,24 \cdot 39 \cdot 750 \cdot 0,9}{0,542} = 11660 \frac{\text{кал}}{\text{см}}.$$

Определим коэффициент, зависящий от рода и полярности тока по формуле (22)

$$k' = \frac{2,82}{j \cdot 0,1925} = \frac{2,82}{59,7^{0,1925}} = 1,28.$$

Определим коэффициент формы провара по формуле (23)

$$\psi_B = \frac{1,28 \cdot (19 - 0,01 \cdot 750) \cdot 4 \cdot 39}{750} = 3,1 \text{ ед.}$$

					15.03.01.2017.097.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		47

1.7.4 Расчет параметров режима сварки облицовочного прохода

Произведем расчет параметров процесса сварки облицовочного прохода. Сварочный ток постоянный прямой полярности. Диаметр электродной проволоки равен $d_{\text{Э}} = 4$ мм. Примем, что вылет электродной проволоки 40 мм, высота слоя флюса составляет 30 мм, площадь сечения электродной проволоки $F_{\text{ЭЛ}} = 0,126$ см², площадь поперечного сечения наплавленного металла $F_{\text{Н}}^{\text{О}} = 0,6$ см².

Примем, что значение сварочного тока составляет 680 А. Определим плотность сварочного тока по формуле (7)

$$j = \frac{4I_{\text{СВ}}}{\pi d_{\text{Э}}^2} = \frac{4 \cdot 680}{3,14 \cdot 4^2} = 54,4 \frac{\text{А}}{\text{мм}^2}.$$

При диаметре электродной проволоки 4 мм плотность сварочного тока находится в интервале 40...70 А/мм² [2]. Полученное значение входит в указанный интервал.

Определим напряжение на дуге согласно формуле (8)

$$U_{\text{Д}} = 20 + \frac{0,05}{\sqrt{4}} \cdot 680 \pm 1 = 37 \pm 1 \text{ В}.$$

Рассчитаем скорость сварки при выбранных параметрах режима по формуле (17) с учетом формул (9)...(16). Тогда получим, что:

- составляющая, обусловленная тепловложением дуги $\alpha'_{\text{Р}} = 17,7$ г/Ач;
- условная скорость подачи проволоки $V_{\text{Э}} = 3,4$ см/с;
- коэффициент $\beta = 994,4$ ед;
- коэффициент $p_1 = -42,3$ ед, $p_2 = -0,195$ ед;
- количество теплоты, расходуемое на предварительный подогрев вылета электродной проволоки протекающим по нему током $Q_{\text{ПП}} = 79,6$ кал;
- составляющая, зависящая от тепловложения вследствие предварительного

									Лист
									48
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	15.03.01.2017.097.00 ПЗ				

нагрева вылета электрода протекающим током $\Delta\alpha_p = 1,3$ г/Ач;

– коэффициент расплавления $\alpha_p = 19$ г/Ач;

– скорость подачи проволоки $V_{\text{под}} = 3,63$ см/с;

– скорость сварки $V_{\text{св}} = 0,76$ см/с.

Далее по формуле (18) определяем погонную энергию

$$q_{\text{пог}} = \frac{0,24 \cdot 37 \cdot 680 \cdot 0,9}{0,76} = 7151 \frac{\text{кал}}{\text{см}}.$$

Определим коэффициент, зависящий от рода и полярности тока по формуле (22)

$$k' = \frac{2,82}{j^{0,1925}} = \frac{2,82}{54,4^{0,1925}} = 1,31.$$

Для облицовочного прохода определяем глубину провара по формуле (24) из [2]

$$h = 0,0156 \sqrt{\frac{q_{\text{п}}}{\psi_{\text{пр}}}}, \quad (24)$$

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

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

По формуле (23) определяем значение коэффициента формы провара

$$\psi_{\text{в}} = \frac{1,31 \cdot (19 - 0,01 \cdot 680) \cdot 4 \cdot 37}{680} = 3,5 \text{ ед.}$$

Тогда, по формуле (24) глубина провара

									Лист
									49
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	15.03.01.2017.097.00 ПЗ				

$$h=0,0156 \cdot \sqrt{\frac{7151}{3,5}}=0,71 \text{ см.}$$

Определим ширину усиления сварного шва по формуле (21)

$$B=\psi_{\text{ПР}}h=3,5 \cdot 0,71=2,5 \text{ см.}$$

Определим высоту усиления сварного шва по формуле

$$C=\frac{F_{\text{Н}}}{0,73B}=\frac{0,6}{0,73 \cdot 2,5}=0,33 \text{ см.}$$

Полученное значение высоты усиления выходит из требуемого интервала 0,5...3 мм. Следовательно, требуется изменить параметры режима сварки.

Примем, что напряжение на дуге составляет 42 В. Тогда:

- $q_{\text{П}} = 8117 \text{ кал/см;}$
- $\psi_{\text{В}} = 3,95 \text{ ед;}$
- $h = 0,707 \text{ см;}$
- $B = 2,793 \text{ см;}$
- $C = 0,294 \text{ см.}$

Полученные значения геометрических параметров шва удовлетворяют требованиям.

Скорость охлаждения для многопроходной сварки кольцевых швов протяженностью более 1 м для облицовочного прохода определяется по формуле (25) из [2]

$$\omega=\bar{\omega}2\pi\lambda\frac{(T_{\text{М}}-T_0)^2}{q_{\text{ПОГ}}}, \frac{^{\circ}\text{С}}{\text{с}}, \quad (25)$$

При этом первый безразмерный критерий процесса $\bar{\omega}$ зависит от другого

									Лист
									50
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	15.03.01.2017.097.00 ПЗ				

безразмерного критерия, определяемого по формуле (26) из [2]

$$\frac{1}{\theta} = \frac{2q_{\text{ПОГ}}}{\pi\delta^2 c\gamma(T_M - T_0)} = \frac{2 \cdot 7151}{3,14 \cdot 2,7^2 \cdot 1,25 \cdot (500 - 250)} = 2. \quad (26)$$

При значении безразмерного критерия 2 получим, что $\bar{\omega} = 0,33$.

Тогда, по формуле (25) получим, что

$$\omega = 0,33 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 0,1 \cdot \frac{(500 - 250)^2}{7151} = 1,8 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{с}}.$$

Для стали 10Г2ФБЮ интервал мгновенных скоростей охлаждения составляет 1...15 °С/с. Таким образом, при температуре изделия 250 °С и при рассчитанных параметрах режима сварки обеспечивается требуемая скорость охлаждения при сварке облицовочного прохода.

1.8 Описание оборудования для сварки

Для автоматической сварки в среде защитных газов (корневой проход) и для автоматической сварки под слоем флюса в качестве источника электрической энергии используется агрегат сварочный на гусеничном ходу марки УРАЛ-4 на базе трактора Т-147 (в северном исполнении). Данный агрегат также комплектуется специальным грузоподъемным механизмом для того, чтобы на место проведения сварочных работ устанавливать укрывной тент. Общий вид агрегата сварочного на гусеничном ходу марки УРАЛ-4 на базе трактора Т-147 показан на рисунке 1.15.

					15.03.01.2017.097.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		51



Рисунок 1.15 – Общий вид агрегата сварочного на гусеничном ходу марки УРАЛ-4 на базе трактора Т-147

Он предназначен для сварки трубопроводов различных назначений в полевых условиях. Общие характеристики агрегата сварочного марки УРАЛ-4 на базе трактора Т-147 приведены в таблице 1.15.

Таблица 1.15 – Общие характеристики агрегата сварочного марки УРАЛ-4 на базе трактора Т-147 [8]

Характеристика	Значение
Габаритные размеры, мм	5500×2370×2960
Масса, кг, не более	11000
Номинальная мощность электростанции, кВт	100
Номинальная сила тока генератора, А	180
Мощность генератора на выходе, кВА	125
Напряжение на выходе, В	220/380
Частота тока, Гц	50
Род сварочного тока	Постоянный
Грузоподъемность стрелы крана (при полном вылете стрелы), кг	1300
Максимальный вылет стрелы, м	5,5
Максимальный угол поворота, град	360

Общий вид сварочного агрегата в монтажном положении показан на рисунке 1.16.



Рисунок 1.16 – Общий вид сварочного агрегата в монтажном положении [8]

В состав агрегата входит следующее оборудование [8]:

- электростанция мощностью 100 кВт – 1 шт;
- источник питания для сварки – 4 шт;
- печь для прокалики флюса – 1 шт;
- комплект кабелей сварочных – 1 шт;
- шкаф для хранения инструмента – 1 шт;
- стеллаж-стойка – 1 шт;
- прожектор – 2 шт;
- вводно-распределительное устройство – 1 шт;
- освещение, розетки, огнетушитель, аптечка;
- газовые баллоны для сварки в среде защитных газов;
- печь для прокалики электродов – 1 шт.

Источником питания при автоматической сварке в среде защитных газов является Invertec STT II, технические характеристики которого были приведены ранее в таблице 1.4. Таких источников требуется 2 шт. Сварка производится сварочной головкой марки M300-C. Технические характеристики сварочной головкой марки M300-C были приведены ранее в таблице 1.3.

Источником питания при автоматической сварке под слоем флюса будет использоваться инверторный выпрямитель Power Wave 1000 AC/DC производства

									Лист
									53
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

15.03.01.2017.097.00 ПЗ

фирмы Lincoln Electric. Общий вид выпрямителя Power Wave 1000 AC/DC показан на рисунке 1.17.



Рисунок 1.17 – Общий вид выпрямителя Power Wave 1000 AC/DC [9]

Технические характеристики выпрямителя Power Wave 1000 AC/DC приведены в таблице 1.16.

Таблица 1.16 – Технические характеристики выпрямителя Power Wave 1000 AC/DC [9]

Характеристика	Значение
Питание сети, В/Гц/Фаза	380/50/3
Номинальный сварочный ток, А (при ПВ 100%)	1000
Пределы регулирования сварочного тока, А	100...1000
Пределы регулирования напряжения, В	24...44
Номинальное рабочее напряжение, В	44
Напряжение холостого хода, В, не более	55
Потребляемая мощность при номинальном токе, кВА, не более	75
Масса, кг	295
Габаритные размеры, мм, не более	1105×488×838

Непосредственно сварку под слоем флюса будем производить автоматической

					15.03.01.2017.097.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		54

сварочной головкой марки NA-5 производства фирмы Lincoln Electric. Общий вид сварочной головки NA-5 показан на рисунке 1.18.



Рисунок 1.18 – Общий вид сварочной головки NA-5 [9]

Технические характеристики сварочной головки NA-5 показаны в таблице 1.17.

Таблица 1.17 – Технические характеристики сварочной головки NA-5 [9]

Характеристика	Значение
Напряжение питающей сети при частоте 50 Гц, В	3×380
Номинальный сварочный ток, А (при ПВ 100%)	1500
Пределы регулирования сварочного тока, А	200...1500
Диаметр электродной проволоки, мм	1,3...5,6
Пределы регулирования скорости подачи электродной проволоки, м/мин	0,4...19,7
Напряжение холостого хода, В, не более	55
Емкость бункера для флюса, дм ³	10
Напряжение питания при частоте 50 Гц, В	42
Масса, кг, без проволоки и флюса	55
Габаритные размеры, мм, не более	520×400×350

1.9 Методы контроля качества

Основными методами контроля качества сварных швов магистрального газопровода являются:

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

В качестве дублирующего метода контроля допускается применять ультразвуковой метод контроля (УЗК). Он проводится на стыках с наихудшими по внешнему виду параметрами сварного шва и для уточнения результатов проведения радиографического контроля.

ВИК применяется на всех операциях по строительству газопровода как первичный метод, при котором выявляются очевидные несоответствия и отклонения от требований технической документации. Он проводится по согласованным с главным инженером предприятия картам контроля.

На операции входного контроля проверяется соответствие качества основных, сварочных материалов и полуфабрикатов, а также комплектующих, поставляемых на объект строительства. Проверка материалов осуществляется путем сравнения маркировки и приложенного сертификата качества.

При проверке сварочных материалов контролируется наличие либо отсутствие:

- ржавчины;
- механических повреждений.

Также выборочно проводятся испытания сварочных материалов путем наплавки на образец либо сварки контрольного сварного соединения и проверки технологических, механических и металлографических свойств.

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

Качество поступившего сварочного флюса проверяется по сертификатным данным и в лабораторных условиях.

Трубы, поставляемые на строительство, проходят операцию входного

					15.03.01.2017.097.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		56

контроля (согласно п.1.3).

При текущем контроле проверяется качество сборки, узлов, разделки, смещение кромок, наличие зазора.

В процессе и после сварки визуально и инструментально проверяют внешний вид шва, его геометрические размеры, производится обмер изделия. Параллельно при сварке контролируются параметры режима.

Завершает систему контроля изделия проведение радиографического и ультразвукового контроля качества.

Визуально-измерительный метод контроля качества используется не только непосредственно в процессе сварки, но и при контроле операций заготовки, комплектования, сборки.

Для проведения визуального и измерительного контроля применяется комплект для проведения визуального и измерительного контроля типа ВИК «Эксперт».

Комплектация ВИК «Эксперт» представлена в таблице 1.18.

Таблица 1.18 – Комплектация ВИК «Эксперт»

Название	Характеристика
Универсальный шаблон сварщика УШС-3	УШС-3 применяется для измерения контролируемых параметров труб, контроля качества сборки стыков труб, а также для измерения параметров сварного шва при его контроле
Штангенциркуль ШЦ-1-125-0.1	Используется для измерений наружных и внутренних размеров, а также глубин контролируемых объектов.
Фонарик	Светодиодный фонарик для работы в условиях слабой освещенности. Мощность 0,5 Вт.
Лупа измерительная 10×	Лупа для визуального контроля и измерений на плоскости. Длина измерительной шкалы 15 мм, цена деления 0.1 мм
Набор щупов №4	Набор для контроля зазоров между поверхностями. Класс точности II, диапазон толщин 0,1...4 мм

Продолжение таблицы 1.18.

Лупа складная ЛПП 7×	Предназначена для осмотра мелких деталей контролируемой поверхности.
Рулетка измерительная	Рулетка измерительная длина 2 м
Линейка измерительная	Линейка измерительная стальная, длина 20 см

Радиографический контроль производится при помощи специального трубопроводного устройства, называемого кроулер. Для строительства рассматриваемого газопровода используется кроулер марки JME 10-60. Общий вид кроулера JME 10-60 приведен на рисунке 1.19.



Рисунок 1.19 – Общий вид кроулера JME 10-60 [10]

Он состоит из грузовой тележки и генератора радиоактивного излучения. Технические характеристики кроулера JME 10-60 приведены в таблице 1.19.

Таблица 1.19 – Технические характеристики кроулера JME 10-60 [10]

Характеристика	Значение
Допускаемый диаметр трубопровода, мм	240...1500
Количество модулей, шт	5
Длина кроулера, мм	1670
Выходная мощность рентгеновской трубки, кВ	160, 180, 200, 225 либо 300
Оптимальный ток в рентгеновской трубке, мА	2...3
Размер фокуса (конический), мм	0,5×5
Источник питания	Свинцово-кислотные аккумуляторы (120 В)

Продолжение таблицы 1.19.

Емкость аккумуляторов, А/ч	15
Мощность двигателя, Вт	185
Скорость перемещения в трубе, м/с, не менее	0,3
Погрешность позиционирования, мм	±5
Максимальный угол поднятия в трубе, град	27

Кроулер подготавливается к контролю после того, как заварен участок газопровода длиной не менее 3 км. К этому времени контролируемый сварной шов остывает, нормализуются внутренние сварочные напряжения, выявляются дефекты остаточного типа (холодные трещины). Схема просвечивания – панорамная, т.е. источник излучения находится внутри трубы, а рентгеновская пленка устанавливается снаружи с нахлестом не менее 100 мм. Просвечивание происходит за один раз.

При обнаружении каких-либо дефектов на пленке, которые не соответствуют требованиям НТД, проводится дополнительно дублирующий контроль качества – ультразвуковой. Ультразвуковой контроль проводится с целью проверки обнаруженных при радиографическом контроле дефектов. УЗК проводится при помощи ультразвукового дефектоскопа марки ЕРОСН 1000i. Общий вид дефектоскопа ЕРОСН 1000i показан на рисунке 1.20.

					15.03.01.2017.097.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		59



Рисунок 1.20 – Общий вид дефектоскопа EPOCH 1000i [10]

Технические характеристики дефектоскопа EPOCH 1000i приведены в таблице 1.20.

Таблица 1.20 – Технические характеристики дефектоскопа EPOCH 1000i [10]

Характеристика	Значение	
Габаритные размеры, мм	252×177×107	
Вес, кг	3,67 вместе с литий-ионной батареей	
Время работы батареи без подзарядки, ч	8	7
Тип дисплея	Цветной трансфлективный ЖК-дисплей VGA (640×480 пикселей) с частотой обновления изображения 60Гц	
Температура хранения, °С	От -20 до 60	
	Режим УЗК	Режим УЗК+ФР
Демпфирование, Ом	50, 100, 200, 400	Неприменимо
Входное полное сопротивление приемника, Ом	400±5%	50±10%
Угол ввода луча, град	0-85 с шагом 0,1	От -80 до 80
Скорость звука, м/с	635...15240	

										Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	15.03.01.2017.097.00 ПЗ					60

Продолжение таблицы 1.20.

Смещение нуля, мкс	0-750	неприменимо
Задержка отображения, мм	-59...25400	0...макс. диапазон
Диапазон, мм	3,6...26808	2,58...37,5
Частота измерений	Равна ЧЗИ во всех режимах	
ЧЗИ, Гц	5...6000 с шагом 5	Макс. 1520
Длительность импульса, нс	25...10000	40...1000
Коэффициент усиления, дБ	0...110	0...80

Вывод по разделу 1:

В разделе 1 была рассмотрена технология сварки труб в условиях монтажной площадки. Рассмотрена существующая технология проведения работ и были выявлены недостатки, влияющие как на качество, так и на производительность. Для устранения выявленных недостатков была предложена новая технология, благодаря которой изменились геометрические размеры сварного шва, уменьшилось количество проходов при сварке. Также для новой технологии был произведен подбор оборудования, сварочных материалов и оснастки. Описаны методы контроля качества и применяемое для них оборудование.

										Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	15.03.01.2017.097.00 ПЗ					61

2 КОНСТРУКТОРСКИЙ РАЗДЕЛ

Для сборки стыков труб будем использовать внутренний центратор. Общий вид центратора показан на рисунке 2.1.



Рисунок 2.1 – Общий вид центратора

Данный центратор предназначен для центровки торцов собираемых труб при сборке поворотных и неповоротных стыков трубопроводов. Центратор имеет пневматический привод, который питается от сети 380 В и позволяет уменьшить овальность собираемых заготовок, а также придает правильную форму окружности.

Технические характеристики центратора приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Технические характеристики центратора

Характеристика	Значение
Диаметр соединяемых элементов, мм	1420
Толщина стенки, мм	10...32
Число жимков в одном ряду, шт	16
Суммарное усилие, развиваемое одним центрирующим рядом, кН, не более	1300
Габаритные размеры, мм:	
– длина	3500
– диаметр	1400

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

15.03.01.2017.097.00 ПЗ

Лист

62

Продолжение таблицы 2.1.

Число центрирующих рядов, шт	2
Масса, кг	1100

Сборку трехтрубных секций предлагается осуществлять на передвижной трубосварочной базе. Основой для базы служит система, состоящая из двух модульных тяжеловозов марки 9942М9. Они доставляются к месту проведения работ на двух разных тягачах. Для работы они сближаются на расстояние между крайними частями не более 1000 мм. Общий вид модульного тяжеловоза марки 9942М9 показан на рисунке 2.2.



Рисунок 2.2 – Общий вид модульного тяжеловоза марки 9942М9

Технические характеристики модульного тяжеловоза марки 9942М9 показаны в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Технические характеристики модульного тяжеловоза марки 9942М9

Характеристика	Значение
Вес перевозимого груза, кг	200000
Вес снаряженного полуприцепа, кг	42000
Нагрузка на седельное устройство, кг	30000
Нагрузка на дорогу через шины, кг	225000
Длина рабочей платформы, мм	20000
Ширина рабочей платформы, мм	4300
Погрузочная высота платформы, мм	1600

Продолжение таблицы 2.2.

Межосевое расстояние, мм	1600
--------------------------	------

Вид модульного тяжеловоза марки 9942М9 при движении показан на рисунке 2.3.



Рисунок 2.3 – Вид модульного тяжеловоза марки 9942М9 при движении

На платформе при помощи болтового соединения установлен блок гидроцилиндров, на которые смонтирована плита. Это необходимо для компенсации возможной разности уровней грунта при установке платформ.

На эту плиту при помощи болтов крепится кольцевой кантователь, у которого имеется приводной (ведущий) сегмент и ведомый сегмент. На каждую свариваемую трубу требуется по два таких сегмента. Расстояние между сегментами на одну трубу составляет 6000 мм. Расстояние между сегментами свариваемых труб составляет 6000 мм. Общий вид кантователя кольцевого показан на рисунке 2.4.

					15.03.01.2017.097.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		64



Рисунок 2.4 – Общий вид кантователя кольцевого

Также на платформе имеются отверстия для установки на болты тента укрывного для защиты зоны сварки.

Технические характеристики кантователя кольцевого показаны в таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Технические характеристики кантователя кольцевого

Характеристика	Значение
Напряжение питающей сети при частоте 50 ГЦ, В	220/380
Мощность электродвигателей привода вращения, кВт	0,37
Грузоподъемность, кг	15000
Нагрузка (приводная+неприводная опора), кг	10000
Диаметр свариваемых изделий, мм	1400
Скорость вращения, м/мин	0,1...1,5
Масса (приводной/неприводной секции), кг	1207 (674/533)

При автоматической сварке под слоем флюса для удержания сварочной головки над стыком предусмотрена колонна.

Укладку труб в траншею будем производить при помощи трубоукладчика с удлиненной базой вылета стрелы. Общий вид трубоукладчика показан на рисунке 2.5.



Рисунок 1.5 – Общий вид трубоукладчика

Трубоукладчик разработан на базе стандартного ТР-12, но с применением удлинителя стрелы. Это позволяет ему производить работы по предлагаемой в работе технологии.

Технические характеристики трубоукладчика показаны в таблице 2.4.

Таблица 2.4 – Технические характеристики трубоукладчика

Характеристика	Значение
Номинальная грузоподъемность, кг	6000
Момент грузовой устойчивости, кг×м	30000
Вылет крюка, мм	3612...10612
Высота подъема крюка, мм	9000
Глубина опускания крюка, мм	2000
Скорость подъема крюка, м/мин:	
– первая	1,5...3,5
– вторая	4,4...9,8

Вывод по разделу 2:

В разделе 2 подробно рассмотрено оборудование, применяемое для автоматической сварки трехтрубных секций.

3 ТЕХНИЧЕСКОЕ НОРМИРОВАНИЕ

3.1 Расчет фондов рабочего времени

Для определения производительности при сварке трехтрубных секций требуется определить номинальный фонд рабочего времени. Номинальный фонд рабочего времени определяется по календарной продолжительности сезона проведения работ и, в рассматриваемом случае, не зависит от количества выходных, праздничных и предпраздничных дней, так как строительство газопровода ведется в непрерывном режиме круглосуточно вахтовым методом. Тогда номинальный фонд рабочего времени определяется из условия (27) из [3]

$$F_H = \frac{D_{\Gamma} t_H}{D_H}, \quad (27)$$

где $D_{\Gamma} = 182$ – количество рабочих дней в сезоне, шт;

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

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

Тогда, по формуле (27) получим, что

$$F_H = \frac{182 \cdot 168}{7} = 4368 \text{ ч.}$$

Фонд времени работы оборудования действительный зависит от номинального фонда времени, учитывающего сменность работы оборудования и потери времени, связанные с его ремонтом и определяется по следующей формуле (28) из [3]

$$F_D = F_H \left(1 - \frac{P}{100} \right), \quad (28)$$

					15.03.01.2017.097.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		67

где $F_H=4368$ – номинальный годовой фонд рабочего времени, ч;

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

Тогда, по формуле (28) получим, что годовой фонд времени работы оборудования фактический

$$F_D=4368 \left(1 - \frac{3,8}{100}\right) = 4202 \text{ ч.}$$

Определим номинальный фонд рабочего времени одной бригады при работе в одну смену по следующей формуле (29) из [3]

$$F_{H.БР.} = \frac{F_H}{n}, \quad (29)$$

где $F_H=4368$ – номинальный годовой фонд рабочего времени, ч;

$n = 8$ – количество бригад, занятых на объекте, шт.

Тогда, по формуле (29) получим, что

$$F_{H.БР.} = \frac{4368}{8} = 546 \text{ ч.}$$

Эффективный фонд времени для одной бригады при работе в одну смену определяется вычитанием из номинального фонда планируемых дневных и внутрисменных фондов времени. К таким потерям времени относятся [3]:

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

Расчет эффективного фонда времени работы одного рабочего производится по формуле (30) из [3]:

									Лист
									68
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

15.03.01.2017.097.00 ПЗ

$$F_{\text{ДР}} = F_{\text{Н.БР.}} \cdot [1 - 0,01 (P_{\text{Н}} + P_{\text{О}} + P_{\text{ОТП}} + P_{\text{Р}})], \quad (30)$$

где $F_{\text{Н.БР.}} = 546$ – номинальный фонд рабочего времени одной бригады, ч;

$P_{\text{Н}} = 4$ – планируемый процент невыхода на работу, %;

$P_{\text{О}} = 6$ – процент перерывов на отдых, %;

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

$P_{\text{Р}} = 3$ – процент потерь времени, связанных с ремонтом оборудования в рабочее время, %.

Тогда, по формуле (30), эффективный фонд времени работы одного рабочего

$$F_{\text{ДР}} = 546 \cdot [1 - 0,01 \cdot (4 + 6 + 3)] = 475 \text{ ч.}$$

3.2 Расчет норм штучного времени

Время на операцию обработки фасок, осмотр, зачистку прикромочной зоны и исправление обнаруженных визуально дефектов составляет 30 мин.

При расчете норм времени для автоматической сварки примем серийный тип производства. Сварка производится сварочными головками. Установка и поворот изделий относительно оси при подготовке под сварку производится с участием электросварщика. Настройку автоматического оборудования производит электросварщик [3].

Для дальнейших расчетов по нормированию требуется рассчитать подготовительно-заключительное время. Оно представляет собой сумму следующих элементов при подготовительно-заключительной работе:

1. Получение производственного задания – 5 мин;
2. Ознакомление с работой – 3 мин;
3. Подход трубосварочной базы от места сварки предыдущего стыка – 2 мин;
4. Закрепление трубосварочной базы для предотвращения перекоса – 2 мин;
5. Подъем трубы трубоукладчиком – 1 мин;
6. Подвоз трубы к трубосварочной базе – 2 мин;

					15.03.01.2017.097.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		69

7. Установка и закрепление трубы в кантователе – 3 мин;
8. Установка на трубу направляющего пояса для сварочных головок – 3 мин;
9. Установка внутрь трубы центратора – 5 мин. В это время параллельно устанавливается вторая труба в течение времени операций 5-7. Однако время на выполнение операций составляет 10 мин, так как при этом производится выставление требуемых зазора и геометрии стыка. Следовательно, время на выполнение данной операции составляет 11 мин;

10. Установка сварочных головок – 3 мин;

11. Установка укрывного тента – 2 мин;

12. Установка термических поясов для предварительного нагрева – 2 мин;

13. Настройка сварочных головок – 1,9 мин, из которых:

– выставление положения сварочной проволоки относительно стыка – 1 мин;

– установка величины сварочного тока – 0,2 мин;

– установка скорости сварки – 0,2 мин;

– установка скорости подачи проволоки – 0,2 мин;

– установка оптимального расхода газа – 0,3 мин;

14. Демонтаж термических поясов – 1 мин;

15. Демонтаж сварочных головок – 0,5 мин;

16. Демонтаж направляющего пояса для сварочных головок – 0,5 мин;

17. Перемещение центратора к месту второго стыка – 3 мин. В это время параллельно устанавливается третья труба в течение времени операций 5-8, 10-13. Однако время на выполнение операций составляет:

– 10 мин на операции 5-7 с учетом выставления требуемых зазора и геометрии стыка;

– 3 мин на операции 8;

– 8,9 мин на операциях 10-13;

– 2 мин на операциях 14-16.

Таким образом, примем, что время на выполнение указанной операции суммарно составляет 20,9 мин;

18. Установка первой сварочной головки – 1,5 мин;

					15.03.01.2017.097.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		70

19. Выставление первой сварочной головки по оси стыка – 0,5 мин;
20. Извлечение центратора из секции – 3 мин;
21. Установка второй сварочной головки – 1,5 мин;
22. Выставление второй сварочной головки по оси стыка – 0,5 мин;
23. Настройка сварочных головок – 1,8 мин, из которых:
 - установка величины сварочного тока – 0,4 мин;
 - установка скорости сварки – 0,4 мин;
 - установка скорости подачи проволоки – 0,4 мин;
 - установка оптимального расхода флюса – 0,6 мин;
24. Демонтаж сварочных головок – 1 мин;
25. Демонтаж укрывных тентов – 2 мин;
26. Раскрепление секции из центратора – 0,5 мин;
27. Подъем секции – 2 мин;
28. Отъезд трубосварочной базы от места работ – 3 мин;
29. Установка секции в нитку – время не нормируется в рамках рассматриваемой работы.

Операции 18 и 19 выполняются параллельно с операцией 17. Операция 20 выполняется параллельно с операциями 21-23.

Таким образом, подготовительно-заключительное время на сварку рассчитывается по формуле (31) из [3] и составляет

$$T_{ПЗ} = \sum t_{оп.пз}, \quad (31)$$

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

Тогда, по формуле (31)

$$T_{ПЗ} = 5 + 3 + 2 + 2 + 1 + 2 + 3 + 3 + 11 + 3 + 2 + 2 + 1,9 + 1 + 0,5 + 0,5 + 20,9 + 2,8 + 1 + 2 + 0,5 + 2 + 3 = 75,1 \text{ мин.}$$

Процесс проведения подготовительно-заключительных работ является

					15.03.01.2017.097.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		71

важным этапом при повышении производительности для строительства газопроводов.

Произведем расчет основного времени, необходимого для сварки одного стыка по следующей формуле (32) из [3]

$$T_{\text{ОСН}}=60 \cdot \frac{L}{V_{\text{СВ}}}, \quad (32)$$

где $L=4,46$ – длина шва, м;

$V_{\text{СВ}}$ – скорость сварки, м/ч.

Определим основное время сварки для корневого прохода при скорости $0,41$ см/с= $14,76$ м/ч согласно формуле (32)

$$T_{\text{ОСН}}^{\text{К}}=60 \cdot \frac{4,46}{14,76}=18,1 \text{ мин.}$$

Полученное значение основного времени на сварку рассчитано при условии сварки одной сварочной головкой. Так как сварка производится двумя сварочными головками, то время сварки для корневого прохода составляет $9,05$ мин.

Основное время при сварке первого заполняющего прохода при скорости $1,2$ см/с= $43,2$ м/ч по формуле (32)

$$T_{\text{ОСН}}^{\text{З1}}=60 \cdot \frac{4,46}{43,2}=6,2 \text{ мин.}$$

Основное время при сварке последующих заполняющих проходов при скорости $1,2$ см/с= $43,2$ м/ч и их количестве, равно 3 шт по формуле (32)

$$T_{\text{ОСН}}^{\text{З}}=3 \cdot 60 \cdot \frac{4,46}{43,2}=18,6 \text{ мин.}$$

									Лист
									72
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	15.03.01.2017.097.00 ПЗ				

Основное время при сварке облицовочного прохода при скорости 0,76 см/с=27,36 м/ч по формуле (32)

$$T_{\text{ОСН}}^{\text{О}} = 60 \cdot \frac{4,46}{27,36} = 9,8 \text{ мин.}$$

Таким образом, общее основное время сварки одного стыка составляет 43,65 мин. Два стыка варятся 70,8 мин, так как сварка под слоем флюса производится на двух стыках одновременно.

Рассчитаем вспомогательное время, зависящее от длины шва. Для этого примем, что время на:

- зачистку и осмотр свариваемых кромок составляет 1 мин;
- возврат сварочной головки в исходное положение составляет 1,5 мин;
- очистка шва от шлака, осмотр и промер шва при послойном проведении операции составляет суммарно 10 мин.

Тогда, вспомогательное время составит

$$T_{\text{ВШ}} = 1 + 1,5 + 10 = 12,5 \text{ мин.}$$

В выпускной квалификационной работе был принят серийный тип производства. Тогда коэффициент, который учитывает затраты времени на обслуживание рабочего места, на отдых и естественные надобности составляет $k=1,19$.

Норма штучного времени на изготовление одной секции рассчитывается по формуле (33) из [3]:

$$T_{\text{ШТ}} = \left(\sum T_{\text{ОСН}} + T_{\text{ВШ}} \right) k, \quad (33)$$

где $T_{\text{ОСН}} = 70,8$ – суммарное основное время на проведение сварочных работ для двух стыков, мин;

					15.03.01.2017.097.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		73

$T_{\text{ВШ}}=25$ – вспомогательное время на обслуживание двух стыков, мин;

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

Тогда, по формуле (33) получим, что

$$T_{\text{ШТ}}=(70,8+25)\cdot 1,19=114 \text{ мин.}$$

Произведем расчет штучного времени на операции контроля качества по следующей формуле (34) из [3]:

$$T_{\text{ШТ}}^{\text{КОН}}=(T_{\text{О}}+t_{\text{всп}})k, \quad (34)$$

где $T_{\text{О}}$ – время проведения контроля, мин;

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

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

Время контроля определим по следующей формуле (35) из [3]

$$T_{\text{О}}=\frac{L}{V_{\text{К}}}, \quad (35)$$

где $L_{\text{Ш}}=4,46$ – длина сварного шва, м;

$V_{\text{К}}$ – скорость проведения контроля, м/мин. Примем, что при визуальном контроле скорость составляет 0,8 м/мин.

Тогда, по формуле (35) получим, что

$$T_{\text{О}}=\frac{4,46}{0,8}=5,6 \text{ мин.}$$

Тогда, по формуле (34) получим, что

					15.03.01.2017.097.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		74

$$T_{\text{шт}}^{\text{кон}} = (5,6+2) \cdot 1,19 = 9 \text{ мин.}$$

3.3 Организация производства

Количество сварочных источников питания при производстве работ определяется расчетом и зависит от трудоемкости изготавливаемой продукции и действительного фонда времени работы оборудования.

Загрузка оборудования рассчитывается по формуле (36) из [3]

$$C_p = \frac{T_{\text{шт}} N}{60 F_d K_{\text{вн}} n}, \quad (36)$$

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

$N = 19000$ – годовая программа изготовления стыков, шт;

$F_d = 4202$ – действительный фонд времени оборудования при двухсменном графике в сутки, ч;

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

$n = 2$ – количество смен.

Полученное значение C_p округляется до ближайшего целого числа $C_{\text{пр}}$, которое является принятым количеством оборудования.

Коэффициент загрузки оборудования определяется по формуле (37) из [3]

$$K_z = \frac{C_p}{C_{\text{пр}}}, \quad (37)$$

где C_p – расчетное количество оборудования, шт;

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

Расчет количества применяемого оборудования приведен в таблице 3.1.

					15.03.01.2017.097.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		75

Таблица 3.1 – Количество применяемого оборудования

Наименование операции	T _{шт} , мин	C _р	C _{гп}	K _з
Автоматическая сварка в среде защитных газов	36,4	1,3	2	0,65
Автоматическая сварка под слоем флюса	77,6	2,3	3	0,76
Контроль качества	9	0,3	1	0,3

Как видно из таблицы, коэффициент загрузки оборудования на изготовление узла достаточно высоки для того, чтобы перекрыть требуемую загрузку при производстве.

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

Количество рабочих рассчитывается по формуле (38) из [3]:

$$R_p = \frac{T_{шт} N}{60 F_{др} K_B S}, \quad (38)$$

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

N = 19000 – годовая программа изготовления стыков, шт;

F_{др} = 475 – действительный годовой фонд времени работы при двухсменном графике в сутки, час/год;

S = 2 – количество смен работы оборудования, шт;

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

Полученное значение R_p округляем до ближайшего целого числа R_{гп}, которое является принятым количеством оборудования.

Коэффициент занятости рабочего (39) из [3]:

$$K_3 = \frac{R_p}{R_{гп}}, \quad (39)$$

где R_p – расчетное количество рабочих, чел;

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

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

Таблица 3.2 – Численность рабочих

Наименование операции	Профессия / специальность	$T_{шт}$, мин	R_p	$R_{пp}$	K_3
Автоматическая сварка в среде защитных газов	Сварщик	36,4	11,03	12	0,92
Автоматическая сварка под слоем флюса	Сварщик	77,6	23,5	24	0,98
Контроль качества	Контролер	9	2,7		0,9

3.4 Расчет расхода материалов

Расчет норм расхода материалов и энергоносителей зависит от количества наплавленного металла. Вес наплавленного металла определяется по формуле (40) из [3]:

$$Q_э = Q_H k, \quad (40)$$

где k – безразмерный коэффициент, учитывающий потери на угар и разбрызгивание, ед;

Q_H – вес металла, наплавленного на одно изделие, кг;

Вес наплавленного металла определим по формуле (41) из [3]

$$Q_H = F_H L \gamma, \quad (41)$$

где F – площадь сечения наплавленного металла шва в поперечном разрезе, $см^2$;

$L=446$ – длина шва, см;

									Лист
									77
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	15.03.01.2017.097.00 ПЗ				

$\gamma = 7,85$ – удельный вес наплавленного металла, г/см³.

Тогда, по формуле (41)

– для сварки корневого прохода

$$Q_H = 0,35 \cdot 446 \cdot 7,85 = 1225 \text{ г.}$$

При сварке двух швов $Q_{H \text{ ОБЩ}} = 2450$ г.

– для сварки заполняющих и облицовочного слоев

$$Q_H = 4,25 \cdot 446 \cdot 7,85 = 14880 \text{ г.}$$

При сварке двух швов $Q_{H \text{ ОБЩ}} = 29760$ г.

Следовательно, по формуле (40), вес наплавленного металла на одно изделие:

– при сварке корневого прохода на двух швах

$$Q_{\text{Э}} = 2450 \cdot 1,2 = 2940 \text{ г.}$$

– при сварке заполняющих и облицовочного слоев для двух швов

$$Q_{\text{Э}} = 29760 \cdot 1,05 = 31248 \text{ г.}$$

Расход электродной проволоки на годовую программу определяется по формуле (42) из [3]

$$Q_{\text{Э ОБЩ}} = Q_{\text{Э}} N, \quad (42)$$

где $Q_{\text{Э}}$ – вес наплавленного металла, г;

$N = 4750$ – количество стыков, шт.

Тогда, по формуле (42) получим, что:

					15.03.01.2017.097.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		78

– при сварке корневого прохода для двух стыков

$$Q_{\text{Э ОБЩ}}=2940 \cdot 4750=13965 \text{ кг.}$$

– при сварке заполняющих и облицовочного слоев для двух швов

$$Q_{\text{Э ОБЩ}}=31248 \cdot 4750=148428 \text{ кг.}$$

Расход газа на одно изделие определяется по формуле (43) из [3]:

$$Q_{\text{ГАЗ}}=Q_{\text{Э}}k, \quad (43)$$

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

Тогда, по формуле (43) получим, что

$$Q_{\text{ГАЗ}}=2940 \cdot 1,2=3528 \text{ г.}$$

Расход защитного газа, потраченного на сварку на годовую программу

$$Q_{\text{ГАЗ ОБЩ}}=3528 \cdot 4750=16758 \text{ кг.}$$

Расход сварочного флюса составляет 40 кг на 1 стык. На два стыка расход составит 80 кг. На годовую программу расход флюса составит 380000 кг.

Расход энергоносителей для обеспечения работы сварочных машин и аппаратов в общем виде может быть определен по техническим характеристикам оборудования и потерям энергии. Воспользуемся методикой для дуговых способов сварки, основанной на учете массы наплавленного металла и удельных расходах энергии. Расход энергоносителей при сварке на годовую программу находится из выражения (44) из [3]

					15.03.01.2017.097.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		79

$$Q_{\text{ЭЛ}} = Q_{\text{Э ОБЩ}} g_{\text{Э}}, \quad (44)$$

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

Тогда, по формуле (44) получим, что

$$Q_{\text{ЭЛ}} = 162393 \cdot 2,5 = 405982,5 \text{ кВт.}$$

Выводы по разделу 3:

В разделе 3 произведено нормирование по времени работ, в том числе подготовительных и сварочных. Произведен расчет затрат сварочных материалов, а также рассчитано необходимое количество сварочного оборудования и оборудования для контроля. Также рассчитана необходимая численность персонала.

4 ПРАВИЛА ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ

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

					15.03.01.2017.097.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		80

отравлений.

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

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

К опасным производственным факторам относятся:

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

4.1 Правила электрической безопасности

При эксплуатации электрооборудования с нарушением техники безопасности возможно поражение электрическим током.

При эксплуатации установок, предназначенных для проведения сварочных работ, применяют разные средства защиты, которые подразделяются на:

- изолирующие;
- ограждающие;
- заземление электрооборудования;
- вспомогательные.

Изолирующие средства защиты делятся на:

- основные;
- дополнительные.

Основные средства защиты позволяют выдерживать напряжение электрической установки, поэтому при обмундировании ими допускается касание токоведущих частей, находящихся под напряжением. К таким средствам защиты относятся:

					15.03.01.2017.097.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		81

- резиновые перчатки диэлектрические;
- инструмент с изолирующими рукоятями и токоискателями.

Дополнительные средства защиты не позволяют защитить человека от поражения электрическим током из-за того, что у них недостаточная электрическая прочность. К таким средствам относятся:

- обувь резиновая;
- коврики;
- подставки изолирующие.

Коврики и обувь резиновая используются при операциях, которые выполняются с применением основных защитных средств.

К ограждающим средствам защиты относятся:

- щиты;
- клетки;
- прокладки изолирующие;
- изолирующие колпаки.

Вспомогательные средства защиты предназначаются для защиты от воздействий света, тепла, а также от механических воздействий. К таким средствам защиты относятся очки защитные, рукавицы и прочее.

Перед началом проведения работ производится осмотр и проверка надежности контакта, а также крепления заземляющих проводов с корпусом сварочных трансформаторов, исправность пусковых и отключающих устройств, например, рубильников, магнитных пускателей, включателей. Параллельно проверяется изоляция токоведущих проводников, наличие необходимого исправного инструмента, стеллажей, производится замер освещенности.

При применении сварочных источников питания в одно время их расположение должно быть с расстоянием между ними не менее 40 см.

Сечение проводов, питающих сварочную установку должно строго соответствовать силе тока в сварочной цепи. От превышения тока автоматы защищаются предохранителями с плавкими вставками.

Все металлические части оборудования, которое «питается» от электросети,

					15.03.01.2017.097.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		82

следует надежно заземлять.

Сварочные провода должны быть подвешены на высоте более 2,5 м от уровня земли.

Источники питания и различные сварочные установки должны быть защищены предохранителями или автоматическими выключателями со стороны питающей сети.

Многопостовые сварочные агрегаты должны иметь автоматический выключатель, который располагается в общем проводе к сварочному посту.

Передвижные сварочные установки подлежат обязательному заземлению перед началом работ и до включения установки в цепь.

Рабочие места сварщиков, которые расположены под открытым небом, должны быть ограждены переносными ширмами. Сварочные машины должны быть установлены под навесом легкого типа.

4.2 Техника безопасности при сварочных работах

При работах с применением сварки электросварщики должны быть снабжены специальной одеждой, комбинезоном из плотной материи или брезентовой курткой и брюками. Карманы у куртки должны закрываться клапанами. Заправлять куртку в брюки. Брюки должны быть длинными, закрывать ботинки и носить их нужно навыпуск.

Спецодежда должна быть пропитана огнеупорной пропиткой. Обувь должна быть плотно зашнурована, чтобы в ботинки не попали брызги расплавленного металла. Голова должна быть покрыта головным убором без козырька.

Для защиты глаз от интенсивного ультрафиолетового и инфракрасного излучения применяют светофильтры. Они используются в очках, щитках, масках, без которых электросварочные работы запрещаются.

Группа электробезопасности сварщика должна быть не ниже второй.

Перед началом проведения сварочных работ электросварщик проверяет:

– защитные приспособления,

					15.03.01.2017.097.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		83

- шлем;
- щиток;
- диэлектрический коврик или диэлектрические боты.

После проверки необходимо надеть костюм брезентовый с огнестойкой пропиткой, ботинки, головной убор, диэлектрические перчатки или брезентовые рукавицы.

При сварочных работах на открытом воздухе в холодное время года спецодежда дополняется теплозащитными подстежками в соответствии с климатическими зонами.

4.3 Работа в особо опасных условиях

При сварке в особо опасных условиях, таких как внутри металлической емкости, на открытом воздухе при смене сварочной проволоки применяют блокирующие устройства.

При сварочных работах на высоте исполнитель работ должен быть снабжен предохранительным поясом и сумкой для инструментов.

4.4 Правила пожарной безопасности

Пожарная безопасность при выполнении сварочных работ обеспечивается совокупностью мероприятий, которые направлены на предупреждение пожаров, предотвращение распространения огня (при его возникновении) и создание условий, которые способствуют оперативной ликвидации пожара.

Мероприятия, которые устраняют причины возникновения пожаров подразделяются на следующие виды:

- организационные;
- эксплуатационные;
- технические;
- режимные.

										Лист
										84
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	15.03.01.2017.097.00 ПЗ					

К организационным мероприятиям относятся:

- обучение сварщиков противопожарным правилам;
- беседы;
- инструктажи;
- организация добровольных дружин и прочее.

К эксплуатационным мероприятиям относятся:

- правильная эксплуатация оборудования;
- плановые профилактические ремонты, осмотры и испытания сварочного оборудования и устройств и прочее.

К техническим мероприятиям относятся такие, которые обеспечивают соблюдение противопожарных норм и правил при установке сварочного оборудования, устройств системы вентиляции, защитного заземления, зануления и отключения, подводе электропроводки.

К режимным мероприятиям относят запрещение сварочных и других работ в пожароопасных местах, а также курение в не установленных местах.

Сварка во время дождя и грозы запрещается. Применение в местах производства сварочных работ огнеопасных материалов запрещается.

В местах, где возможно образование и скопление вредных газов, должна устанавливаться вентиляция, а рабочие должны снабжаться респираторами, противогазами, кислородными приборами или шланговыми противогазами.

Запрещается выполнять сварочные работы на сосудах, находящихся под давлением.

Сварщик должен знать, где расположены ближайший пожарный кран, рукава, стволы, огнетушители, песок и другие средства огнетушения, и уметь пользоваться первичными средствами огнетушения.

Пожарную технику, предназначенную для защиты строительного-монтажных объектов, подразделяют на следующие группы:

- пожарные машины (автомобили, мотопомпы и прицепы);
- установки пожаротушения;
- установки пожарной сигнализации;

					15.03.01.2017.097.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		85

- огнетушители;
- пожарное оборудование;
- пожарный ручной инвентарь;
- пожарные спасательные устройства.

Для ликвидации очага возгорания в электропроводке, электрических машинах и трансформаторах применяются углекислотные огнетушители. Очаги возгорания предварительно обесточиваются. При возникновении пожара незамедлительно должны быть приняты меры к его ликвидации имеющимися средствами и при необходимости вызвать пожарную команду.

Использовать инвентарь пожаротушения для других целей запрещается.

Выводы по разделу 4:

В разделе рассмотрены правила техники безопасности при проведении сварочных работ и поведению на участке. Рассмотрены вопросы по электробезопасности, безопасности при сварочных работах, воздействие шума, пожарная безопасность, требования к специально одежде и защитным приспособлениям при проведении работ.

					15.03.01.2017.097.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		86

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В рассматриваемой работе предложено усовершенствовать существующую технологию сборки и сварки труб при строительстве магистрального газопровода «Новый Уренгой-Челябинск». Согласно существующей технологии сварка нитки производится по каждой трубе в отдельности автоматической сваркой в среде защитных газов двумя сварочными головками. Проанализировав технологию можно сделать вывод о том, что в условиях строительства она низкоэффективна, так как даже при использовании двух сварочных головок наблюдается невысокая производительность, а использование процесса сварки в защитных газах на открытом воздухе (даже с применением укрывного тента) ведет к повышенной вероятности образования дефектов.

Для усовершенствования технологии предложен способ комбинированной сварки – сварка корневого прохода в среде защитных газов и сварка под слоем флюса заполняющих и облицовочного слоя. Для осуществления указанной технологии при сварке под слоем флюса стык труб должен быть поворотным. Для этого была спроектирована мобильная трубосварочная база, в состав которой входит плетевоз, кантователь кольцевой, колонна, сварочные головки. В качестве источника энергии для сварочных автоматов применяется сварочный агрегат на гусеничном ходу.

При техническом нормировании и сравнении двух технологий было выявлено, что согласно предлагаемой технологии время на изготовление одного стыка уменьшается примерно на 60 мин, что позволяет увеличить количество стыков, сваренных за одну смену.

					15.03.01.2017.097.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		87

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Акулов, А. И. Технология и оборудования сварки плавлением. Учебник для студентов вузов/ А. И. Акулов, Г. А. Бельчук, В. П. Демянцевич. – М.: «Машиностроение», 1977. – 432с. с ил.
2. Зайцев, Н. Л. Теоретические основы сварки плавлением: учебное пособие/ Н.Л. Зайцев. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2014. – 78 с.
3. Шахматов, М. В. Технология изготовления и расчет сварных оболочек/ М. В. Шахматов, В. В. Ерофеев, В. В. Коваленко – Уфа: Полиграфкомбинат, 1999. – 272 с.
4. Николаев, Г.А. Сварные конструкции. Расчет и проектирование: Учеб. для вузов/ Г. А. Николаев, В. А. Винокуров/Под ред. Г. А. Николаева – М.: Высш.шк., 1990. – 446 с.
5. Куркин, С. А. Сварные конструкции. Технология изготовления, механизация, автоматизация и контроль качества в сварочном производстве: Учебник для студентов вузов/ С. А. Куркин, Г. А. Николаев – М.: Высш. шк., 1991. – 398 с., ил.
6. Технология электрической сварки металлов и сплавов плавлением/ Под. ред. Б. Е. Патона. – М.: «Машиностроение», 1974. – 768 с., ил.
7. 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.
8. <http://uraltermosvar.ru>
9. <http://www.lincolnweld.ru>
10. <http://t-ndt.ru>
11. ГОСТ 19281-2014. Прокат повышенной прочности. Общие технические условия, 2015. – 47 с.

					15.03.01.2017.097.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		88