

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
Тольяттинский государственный университет

Институт машиностроения
(наименование института полностью)

Кафедра «Сварка, обработка материалов давлением и родственные процессы»
(наименование)

15.04.01 Машиностроение
(код и наименование направления подготовки)

Производство и ремонт сварных конструкций газонефтехимического оборудования

(направленность (профиль))

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ)**

на тему **Исследование формирования сварных соединений
легированных тонкостенных труб $d < 200\text{мм}$**

Студент

Р.В. Царенко

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Научный
руководитель

К.т.н., доцент, Г.М. Короткова

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

Тольятти 2020

Содержание

Введение.....	3
1 Трубные заготовки для гибких сильфонов.....	5
1.1 Недостатки цельнотянутых труб.....	8
1.2. Свариваемость высоколегированных сталей.....	13
1.3. Способы сварки особотонкостенных труб.....	20
2 Формирование неразъемного соединения особотонкостенной трубы при сварке сжатой дугой.....	Ошибка! Закладка не определена. 0
2.1 Требования к сварному соединению	Ошибка! Закладка не определена.
2.2 Формующая оснастка	33
2.3 Проектирование штанги, формирующей корень шва.....	36
3 Выбор и доработка оборудования для сварки сжатой дугой	39
3.1 Выбор источника питания постоянного тока.....	39
3.2 Выбор плазмотрона для сварки сжатой дугой трубы $d = 55\text{мм}$ $s=0,12\text{мм}$ и доработка его конструкции.....	42
3.3 Комплектация линии сварки особотонкостенной трубы.....	48
4 Исследование формирования сварного соединения особотонкостенной трубы $d = 55\text{мм}$	52
4.1 Выбор параметров режима сварки сжатой дугой и исследования металлографии.....	52
4.2 Проектирование технологического процесса изготовления особотонкостенной трубы.....	60
Заключение	88
Список используемых источников.....	90

Введение

В виду нынешних экономических событий, все чаще встает вопрос получения продукции на малых предприятиях, качество которой не уступает более крупным предприятиям, заводам, фабрикам, комбинатам. Вопрос о создании продукции, где качества и характеристики изделия ничуть не хуже уже имеющихся аналогов, встает очень остро. Производство труб различного диаметра входит в число такой продукции.

На данный момент как малые, так и крупные предприятия производят всевозможный, разнообразный сортамент труб любого диаметра и назначения. Для оснащения предприятий, заводов, фабрик, используются различные трубы, отличающиеся друг от друга назначениями и характеристиками. В нефте-газодобывающей и химической и авиационной отраслях промышленности используется большая номенклатура легированных сталей, как отечественных, так и импортных. Необходимость применения данных сталей обусловлена условиями эксплуатации: агрессивной средой, высокой температурой эксплуатации, избыточным давлением и другими.

В качестве примера можно привести самолетостроение, где у всех внутренних топливных систем одну из ключевых ролей играют тонкостенные легированные трубы, с минимальным весом, имеющие значимую роль в составе всей конструкции. Именно они способны выдержать большие знакопеременные нагрузки и при этом не потерять своих уникальных свойств и технических характеристик. Так, например, содержание кремния в стали повышает прочность, упругость и твердость стали в тоже время, снижая вязкость стали. Присутствие марганца в стали влияет на твердость и прочность, а также улучшает прокаливаемость и свариваемость стали. Наличие хрома способствует повышению износостойкости и увеличению прочности стали. Наличие никеля положительно влияет на прочность, вязкость и твердость, при этом мало

вливая на пластичность, но сильно повышая прокаливаемость и коррозионную стойкость стали. Молибден повышает жаропрочность стали, способствует образованию мелкозернистой однородной структуры. В большинстве своем, особотонкостенные трубы используют бесшовные холоднокатанные, холоднотянутые. Однако, такие трубы имеют существенные недостатки, как экономического плана, так и нестабильности механических свойств, требования которых очень значимы. В связи с этим, необходимо рассмотреть способ получения особотонкостенных труб альтернативными технологическими методами, экономика которых доступна малым предприятиям. Один из альтернативных методов получения таких труб, является сварка их из ленты. В ходе получения особотонкостенных труб выше предложенным способом, необходимо акцентировать внимание на получение качественного сварного соединения.

Рассмотрение альтернативных методов получения особотонкостенных труб, позволит малым предприятиям обеспечивать поставками определенную промышленность или сферу, без посреднических затрат, таких как покупка бесшовных труб. Также с точки зрения занятости, производство труб на малых предприятиях дает наличие рабочих мест, как следствия, занятости населения. Однако, сварка особотонкостенных труб подвержена многим тонкостям и нюансам. Чтобы преодолеть и понять с чем придется столкнуться предприятию при производстве труб, необходимо провести исследования формирования сварного соединения, для получения более четкой и подробной картины происходящего.

Цель магистерской диссертации: исследование особенностей формирования сварного соединения в легированных особотонкостенных трубах.

1 Трубные заготовки для гибких сильфонов

Тонкостенные трубы применяются для изготовления сильфонов. Если разобрать немного подробнее данную деталь, то сильфону можно дать несколько ведущих определений, а именно: сильфон – это металлическая тонкостенная часть трубы, боковая поверхность которой имеет гофры (гармошки). Сильфон – упругая металлическая гофрированная оболочка, позволяющая в течении многотысячных циклах сжатия или растяжения, изгибах, скручиваний, также температурных и гидравлических воздействий сохранять свои упругие свойства, плотность и прочность. «Сильфоны бывают однослойные и многослойные, они могут служить в качестве разделителей сред, уплотнительных элементов, также в качестве рабочей и основной части температурных и гидравлических компенсаторов» [34]. Факторы, влияющие на долговечность работы сильфона, в эксплуатации оказывают влияние разнообразные факторы, и поэтому точно предугадать срок службы сильфона трудно. «Одним из решающих мероприятий для увеличения живучести сильфонов в эксплуатации является дальнейшее совершенствование технологии изготовления сильфонов и в первую очередь технологии получения качественных сварных соединений при изготовлении тонкостенных труб» [8]. Пример сильфона указан на рисунке 1 и 2.



Рисунок 1– Сильфоны



Рисунок 2 – Сильфоны

В свою очередь сильфоны, изготовленные из ленты представлены на рисунке 3.



Рисунок 3 – Сильфон из трубы, изготовленной из ленты

1.1 Недостатки цельнотянутых труб

Представленные на рисунке 2 сильфоны, получены из особотонкостенных труб из холодноотянутых и холоднокатаных бесшовных труб. На рисунке 3 представлены сильфоны, сделанные из ленты. В бесшовных трубах есть существенные недостатки, такие как серповидность в сечении и нестабильность механических свойств. Рассмотрим подробнее эти недостатки.

Серповидность в сечении - это отклонение формы, при котором кромки листа, полосы гнутых профилей в горизонтальной плоскости имеют форму дуги. Иными словами, можно сказать, что серповидность - это отклонение или одна из разновидностей кривизны. К большому сожалению, кривизна и даже серповидность несут за собой большое влияние при дальнейших технологических операциях, в ходе которых и получается дальнейшая заготовка или окончательная деталь. Которая входит в состав сложного, высокоточного сборочного узла, ответственность которого очень сложно переоценить. Визуализация серповидности изображена на рисунке 4



Рисунок 4 – Серповидность

Помимо прочего, указанный дефект не единственный, и есть немаловажный критерий, влекущий за собой, куда большие последствия.

Последствия при наличии на бесшовной трубе серповидности - окончательный брак или же невозможность сборки или дальнейших технологических операций у конечного потребителя. Критерий, влекущий за собой большие увечья для производства – это не выдержанные механические свойства.

Механические свойства материала оценивают способность материала сопротивляться механическим нагрузкам, характеризуют работоспособность изделий. Механическими называются свойства, которые определяются при испытаниях под действием внешних нагрузок – результатом этих испытаний являются количественные характеристики механических свойств. Механические свойства характеризуют поведение материала под действием напряжений (приводящих к деформации и разрушению), действующих как в процессе изготовления изделий (литье, сварка, обработка давлением и др.), так и при эксплуатации. Стандартные характеристики механических свойств определяют в лабораторных условиях на образцах стандартных размеров посредством создания необратимой пластической деформации или разрушения образцов. Испытания проводят в условиях воздействия внешних нагрузок: растяжение, сжатие, кручение, удар; в условиях знакопеременных и изнашивающих нагрузок. Значения полученных характеристик обычно приводятся в справочниках. Причина, по которой происходит нестабильность механических свойств - это разностенность трубы.

Параметры, которые будут влиять на конечную деталь или ее заготовку, закладываются в каждом случае индивидуально. Необходимые параметры регламентируются между изготовителем и потребителем. Чаще всего требования в по соблюдению механических свойств указаны в стандартах, будь то ГОСТ или иностранный стандарт ISO.

Методика проведения испытания на определение механических свойств указана во всевозможных ГОСТах. Чаще всего используют следующие ГОСТы: 1) ГОСТ 10006-80. «Трубы металлические» [21]. Метод испытания на растяжение; 2) ГОСТ 9013-59 (ИСО 6508-86) Металлы. Метод

измерения твердости по Роквеллу (с Изменениями N 1, 2, 3, с Поправкой); 3) ГОСТ 1497-84. «Металлы. Методы испытаний на растяжение (с Изменениями N 1, 2, 3)» [22]. Критичность несоответствия любого из параметров обусловлена тем, что в отличие от той же серповидности, любой невыдержанный параметр механических свойств не отличить визуально.

Еще одним значимым недостатком в использовании цельнотянутых труб является их транспортировка к заказчику. Изготовление бесшовных труб производится на крупных заводах металлопродукции, чья геолокация далеко не всегда совпадает с местонахождением завода заказчика. Транспортировка бесшовных труб очень трудоемка и проблематична, в отличии от рулона ленты.

Упаковка бесшовных труб имеет свой очень трудоемкий и расточительный недостаток. Это сама упаковка. Производится упаковка в несколько этапов. А именно:

- 1- увязка труб в пакеты;
- 2- формирование паллет соединительных деталей с обмоткой стрейч-пленкой или упаковка в деревянный ящик;
- 3- применение заглушек на торцах труб и деталей для защиты от загрязнения внутренней поверхности;
- 4- нанесение консервационной смазки или защитного покрытия;
- 5- использование ниппелей и колец для защиты концов нарезных труб и муфт;
- 6- герметичная упаковка из полимерных материалов с добавлением ингибиторов коррозии
- 7- ложементы для соединительных деталей и пакетов труб и деревянные поддоны для арматуры для обеспечения размещения продукции в транспорте при отгрузке и на складе при хранении.

Ниже на рисунках представлены вышеперечисленные варианты упаковки бесшовных труб для дальнейшей транспортировки.



Рисунок 5 – Упаковка труб в пакеты



Рисунок 6 – Упаковка труб в стрейч-пленку и деревянный ящик



Рисунок 7 – Заглушки на торцах труб при упаковке



Рисунок 8 – Упаковка с использованием консервационной смазки



Рисунок 9– Упаковка с использованием ниппелей и колец



Рисунок 10 – Упаковка с использованием полимерных пленок



Рисунок 11 – Упаковка в невозвратный короб

Также имеет место упаковка промасленных труб в полимерную упаковку с наличием деревянной обрешетки. Такой вид упаковки применяется при длительной транспортировке.

1.2 Свариваемость высоколегированных сталей

По сравнению с низкоуглеродистыми сталями большинство высоколегированных сталей и сплавов обладают пониженным коэффициентом теплопроводности (до 2 раз при повышенных температурах) и увеличенным коэффициентом линейного расширения (до 1,5 раза). Низкий коэффициент теплопроводности приводит при сварке к концентрации тепла и вследствие этого к увеличению проплавления металла изделия. Для получения заданной глубины проплавления снижается величина сварочного тока на 10 - 20%.

Увеличенный коэффициент линейного расширения приводит при сварке к большим деформациям сварных изделий, а в случае значительной жесткости - относительно крупные изделия, повышенная толщина металла, отсутствие зазора между свариваемыми деталями, жесткое закрепление изделия - к образованию трещин в сварочном изделии. Высоколегированные стали и сплавы более склонны к образованию трещин, чем низкоуглеродистые. Горячие трещины появляются большей частью в

аустенитных сталях, холодные - в закаливаемых сталях мартенситного и мартенситно-ферритного классов. Кроме этого, коррозионностойкие стали, не содержащие титана или ниобия или легированные ванадием, при нагревании выше 500°C теряют антикоррозионные свойства по причине выпадения из твердого раствора карбидов хрома и железа, которые становятся центрами коррозии и коррозионного растрескивания. Термической обработкой (чаще всего закалкой) можно восстановить антикоррозионные свойства сварных изделий. Нагревом до 850°C ранее выпавшие из раствора карбиды хрома вновь растворяются в аустените, а при быстром охлаждении они не выделяются в отдельную фазу. Такой вид термообработки называют стабилизацией. Однако стабилизация приводит к снижению пластичности и вязкости стали. Получение высокой пластичности, вязкости и одновременно анти-коррозийности сварных соединений возможно нагревом металла до температуры 1000 - 1150°C и быстрым охлаждением в воде (закалка). Содержание углерода в основном металле и металле шва до 0,02 - 0,03% полностью исключает выпадение карбидов хрома, а следовательно, межкристаллитную коррозию. На практике нашли применение следующие пути предотвращения трещин при сварке высоколегированных сталей: создание в металле шва двухфазной структуры (аустенит и феррит); ограничение в шве содержания вредных примесей (серы, фосфора, свинца, сурьмы, олова, висмута) и введение таких элементов, как молибден, марганец, вольфрам; применение электродных покрытий основного и смешанного видов; создание при сварке менее жесткого состояния изделия. Практикой сварки аустенитной стали установлено, что с увеличением жесткости при выполнении шва необходимо к аустениту прибавлять феррита в количестве от 2 до 10%. В этом случае пластичность металла шва по сравнению с аустенитным швом повышается и усадка даже при жестком состоянии сварного изделия происходит за счет повышенной пластической деформации металла шва без образования трещин.

Выбор материала для изготовления особотонкостенных труб в значительной степени определяется назначением и условием их работы. «Наиболее распространенным материалом является холоднокатаная лента из высоколегированной коррозионно-стойкой стали типа 18-8 следующих марок (в соответствии с ГОСТ 4986—70): 08X18H10, 12X18H9, 17X18H9, 12X18H9T, 12X18H10T, 12X18H10E, 08X18H10T, 08X18H12T-ВИ, 03X18H12-ВИ» [23].

В магистерской диссертации выбор материала остановлен на стали 12X18H10T. Это сталь конструкционная криогенная, используется в промышленности для деталей, работающих до 600 °С. Это сварные аппараты и сосуды, работающие в разбавленных растворах азотной, уксусной, фосфорной кислот, растворах щелочей и солей и другие детали, работающие под давлением при температуре от —196 до +600 °С, а при наличии агрессивных сред до +350 °С.; сталь аустенитного класса. Хромоникелетитановая аустенитная сталь 12X18H10T получила наибольшее распространение в промышленности ввиду возможности успешного использования ее в разнообразных эксплуатационных условиях. Она обладает высокой коррозионной стойкостью в ряде жидких сред, устойчива против межкристаллитной коррозии после сварочного нагрева, сравнительно мало охрупчивается в результате длительного воздействия высоких температур и может быть применена в качестве жаропрочного материала при температурах ~600° С. Будучи высокопластичной в условиях глубокого холода, эта сталь используется в установках для получения жидкого кислорода.

Сварные швы конструкций, работающих в контакте с агрессивными жидкостями, должны, прежде всего, обладать стойкостью против межкристаллитной коррозии.

Это дает нам понять, что дальнейший, а именно силфона она подходит как нельзя лучше. Химический состав стали 12X18H10T показан на рисунке 12. Также химический состав соответствует ГОСТ 5632—72.



Рисунок 12 - Химический состав стали 12Х18Н10Т.

«Сварные швы на стали 12Х18Н10Т заметно уступают основному металлу в пластичности, что объясняется дендритной ликвацией углерода. Причиной пониженной ударной вязкости сварных швов является недостаточная стабильность аустенита при сверхнизких температурах. В условиях глубокого холода возможен распад аустенита по схеме А - М или А - а + К", где А - аустенит, М - мартенсит, а - вторичный феррит, К" - вторичные карбиды. Наличие небольшого количества первичного феррита в данном случае не имеет решающего значения. Об этом свидетельствуют результаты следующих опытов. Часть образцов подвергли закалке на воздухе после часового нагрева при 1080°, С, благодаря чему была ликвидирована дендритная ликвация углерода, но сохранена ферритная составляющая. Ударная вязкость шва повысилась в 2 раза (данные ниже). Таким образом, получение нормализации шва и тела в сварных особотонкостенных трубах можно добиться путем ее закалки» [1]. «Лента (сталь 12Х18Н10Т) поставляется в термически обработанном состоянии с травленой поверхностью, без дрессировки. Поверхность ленты должна быть серебристо-матовой или блестящей. На поверхности ленты не допускаются

окалина, коррозия или ее следы, следы перетрава, поверхностные загрязнения, плены. Лента не должна быть склонной к межкристаллитной коррозии» [2].

Механические свойства мягкой ленты в состоянии поставки должны соответствовать требованиям ГОСТ 4986—70. Механические свойства стали 12Х18Н10Т приведены в рисунке 13.

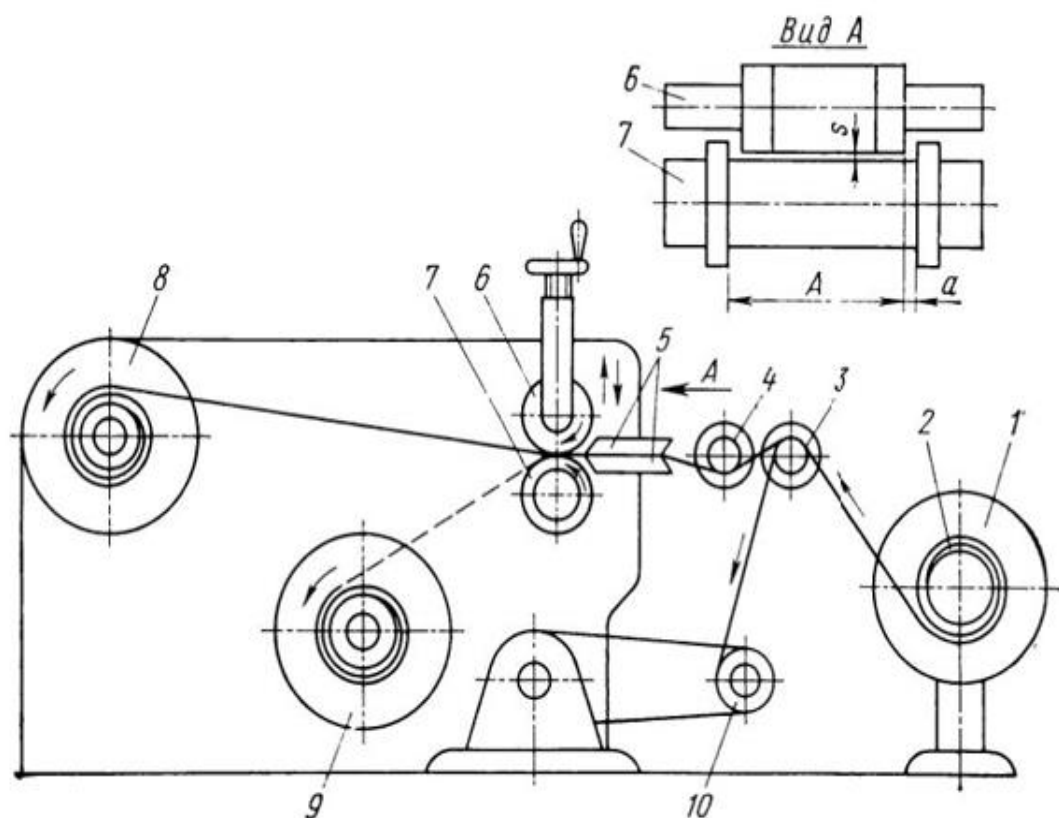
Механические свойства ленты из высоколегированной стали

Марка стали*	σ_B , кгс/мм ²	δ , %	Марка стали*	σ_B , кгс/мм ²	δ , %
12Х18Н9	54	37	12Х18Н10Е	Не более 75	35
17Х18Н9	58	35	08Н18Н10Т	54	40
08Х18Н10	54	40	03Х18Н12-ВИ	40	40
12Х18Н9Т	54	35	08Х18Н12Т-ВИ	45	40
12Х18Н10Т	54	35			

* Рекомендуемый режим термической обработки: закалка при 1050—1080° С, охлаждение в воде или на воздухе.

Рисунок 13 - Механические свойства ленты 12Х18Н10Т

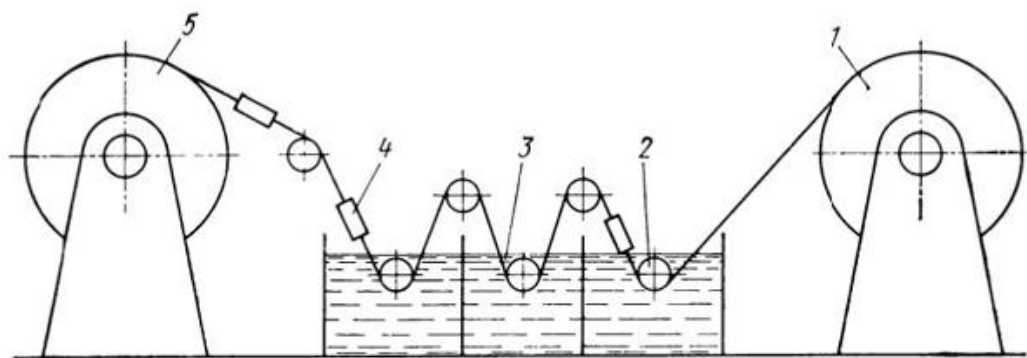
К ленте, предназначенной для сварки особотонкостенных труб, предъявляются высокие требования. Лента, поступающая с металлургических заводов, проходит входной контроль по геометрическим размерам, качеству поверхности, на соответствие химического состава, отсутствие склонности к межкристаллитной коррозии, механические свойства. Поверхность ленты по внешнему виду должна быть травленной, серебристо-матовой или блестящей. На поверхности ленты, как отмечалось выше, не допускаются окалина, коррозия и ее следы, следы перетрава, поверхностное загрязнение, плены. На поверхности возможны отдельные мелкие царапины глубиной не более половины допускаемого отклонения по толщине ленты. На кромках ленты не должны быть надрывы, выводящие ее за пределы допускаемых отклонений на ширину. На рисунке 14 представлена схема установки для резки ленты на дисковых ножницах.



1- конические ролики крепления бухты, 2 - бухта ленты, 3 - направляющие ролики. 4 - направляющие ролики, 5 - направляющие прижимные планки, 6 - дисковые ножи, 7 - дисковые ножи, 8 - приемные кассеты, 9 - приемные кассеты, 10 - приемная катушка для бумаги, прокладываемой между слоями ленты

Рисунок 14 - Схема установки резки ленты на ножницах

Операция обезжиривания оказывает большое влияние на качество изготовления трубы.» Наличие следов грязи и жировых пятен на ленте может привести к образованию пор и свищей, а, следовательно, к негерметичности сварного соединения. Бухты промытой и обезжиренной ленты упаковывают и транспортируют на промежуточный склад» [2]. Также на рисунке 15 представлена схема промывки и обезжиривания ленты. Рисунок 16 упакованная лента после промывки.



1 - разматывающее устройство, 2 -направляющий ролик, 3 - ванна с ацетоном, 4 - протир, 5 - приемная кассета

Рисунок 15 – схема промывки и обезжиривания ленты 12Х18Н10Т



Рисунок 16 - Упакованная лента после промывки и обезжиривания

Кроме вышеописанных достоинств ленты в данном разделе, также имеется преимущество ленты по отношению к бесшовным трубам со

стороны стабильности толщины материала. Ведь сварные трубы имеют куда более меньшую разностенность, чем бесшовные трубы, что в свою очередь дает повышенную стабильность получения механических свойств изделия.

1.3 Способы сварки особотонкостенных труб

Подведя итоги вышеописанного материала данной в выпускной квалификационной работе, был осуществлен подбор материала, а именно стали 12X18H10T для сварки особотонкостенной трубы из ленты. Данная сталь относится к ГОСТ 5632 «Нержавеющие стали и сплавы коррозионностойкие, жаростойкие и жаропрочные. Марки (с Изменением N 1)» [1]. В данной магистерской диссертации будут рассмотрены основные способы сварки данной стали при толщине $S=0.12\text{мм}$. В первую очередь необходимо перечислить основные способы сварки, особотонкостенной трубы. Дуговая сварка в среде защитных газов неплавящимся вольфрамовым электродом, является одним из основных способов, которая в свою очередь подразделяется на сварку свободной дугой и сжатой дугой. Также имеет место быть сварка токами высокой частоты (ТВЧ) контактным подводом тока и с помощью индукционного подвода тока. Также электронно-лучевая сварка. Итого, будет рассмотрено 5 способа сварки для тонколистового материала.

1 -Дуговая сварка в среде защитных газов вольфрамовым электродом:

- а) сварка свободной дугой;
- б) сварка сжатой дугой.

2 - Сварка токами высокой частоты:

- а) гонтактный подвод тока,
- б) Индукционный подвод тока/

3 -Электронно-лучевая сварка.

Рассмотрим каждый способ более наглядно и детально, для определения выбора сварки и в последующем технологического процесса и особенностей, вытекающих из него.

Дуговая сварка в среде защитных газов неплавящимся вольфрамовым электродом. Отметим особенности данного способа сварки.

1. Высокие требования к точной сборке кромок для сварки. В соответствии производственными инструкциями, допустимые зазоры в соединении и смещения кромок составляют не более 10—20% от толщины основного материала. Для материалов толщиной менее 0,5-0,6 мм, зазоры и смещения кромок достигают десятых и сотых долей миллиметра. «Обеспечение такой точности подготовки соединений, в частности при сварке швов большой протяженности, будет являться сложной технической задачей» [2].

2. «Высокая чувствительность процесса к колебаниям теплового режима из-за малого теплосодержания сварочной ванны. Изменение тепловой мощности дуги и условий теплоотвода от места сварки, нарушает температурное равновесие в сварочной ванне, что в свою очередь приводит к изменению геометрических размеров шва, а в частности к прожогам или к непроварам» [2]. Таким образом, для получения качественных швов при сварке тонколистовых материалов необходимо обеспечить стабильность горения дуги, также необходимо обеспечить стабильность параметров режима и условий теплоотвода. Все это предъявляет высокие требования к статическим и динамическим характеристикам источника питания и конструкции оборудования и оснастки. Выполнение указанных условий, в частности, может быть достигнуто автоматическим регулированием параметров режима, применением источников питания с крутопадающими внешними характеристиками, активированием вольфрамового электрода и обеспечением плотного прилегания кромок свариваемых материалов к подкладке прижимного приспособления, исключая возможные колебания металла в ходе процесса сварки.

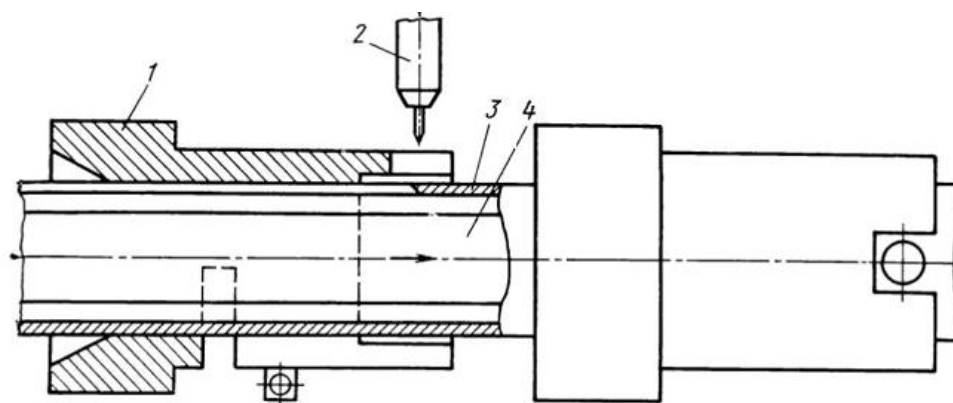
3. Значительное влияние сил поверхностного натяжения сварочной ванны на формирование шва. «При сварке осеботонкостенных труб, сварочная ванна находится в состоянии динамического равновесия под

действием сил поверхностного натяжения, веса жидкого металла и давления дуги. С уменьшением толщины свариваемого материала повышается поверхностное натяжение и формирование шва. «При сварке материалов толщиной менее 0,6 мм объем сварочной ванны настолько мал, что действие сил поверхностного натяжения становится равным с действием силы тяжести жидкого металла и давлением дуги. При этих условиях формирование шва в основном обуславливается поверхностным натяжением» [2]. При плотном стыке силы поверхностного натяжения оказывают положительное влияние на формирование шва. При увеличении зазоров поверхностное натяжение может привести к нарушению формирования шва и несплавлению кромок. Использование средств, позволяющих в настоящем случае регулировать эффективность воздействия поверхностного натяжения металла на формирование шва, приобретает важное значение. К их числу относятся увеличение объема сварочной ванны за счет отбортовки или присадочного металла, импульсное расплавление металла и т. д.

4.Повышенная склонность к деформациям при сварке. Большую трудность при сварке особотонкостенных труб представляют временные и остаточные деформации свариваемого изделия в результате потери устойчивости кромок. Деформации кромок в процессе сварки материалов толщиной 0,6 мм не только ухудшают формирование и качество шва, но и в большинстве случаев являются причиной прожогов металла. Распространенным дефектом формирования шва, вызванным деформацией кромок в процессе сварки, является «провисание» швов. Сварные швы с «провисанием» снижают работоспособность соединений при знакопеременных нагрузках. Избежание короблений и потери устойчивости кромок в процессе сварки является одним из основных аспектов обеспечения качественной сварки тонколистовых конструкций.

Рассматривая первый способ сварки особотонкостенных труб в среде защитного газа неплавящимся электродом свободной дугой, необходимо отметить высокую вероятность получения кольцевого зазора повышенной

величины, в ходе которой возникает опасность потери устойчивости кромок, как следствие появления зазоров в стыке, что в свою очередь может привести к прожогам или провисаниям в сварочном шве. «При обратном исходе, а именно при зазорах, меньше допустимого, происходит заклинивание трубы в фильерном узле» [2]. Выходит, что при получении стабильного, качественного сварного соединения, необходимо учесть, что до момента сварки трубы, кромки должны быть плотно прижаты друг к другу. Наличие потока воздуха на производственных участках ухудшает эффективность защиты зоны нагрева инертным газом, в результате на швах могут появляться цвета побежалости и другие дефекты. Смещение кромок относительно электрода также недопустимо, по столько по сколько это может привести к непровару или частичному оплавлению металла. Общий вид описанного способа представлен на рисунке 17.



1- фильера, 2 - сварочная горелка, 3 - свариваемая труба, 4 – штанга

Рисунок 17 – Сварка в среде защитного газа вольфрамовым электродом свободной дугой

Стоит отметить тот факт, что формирование шва с внутренней стороны трубы происходит благодаря газовой подушке из защитного газа, который

подается в данную область по штанге. Удельная тепловая мощность данного способа сварки составляет (1):

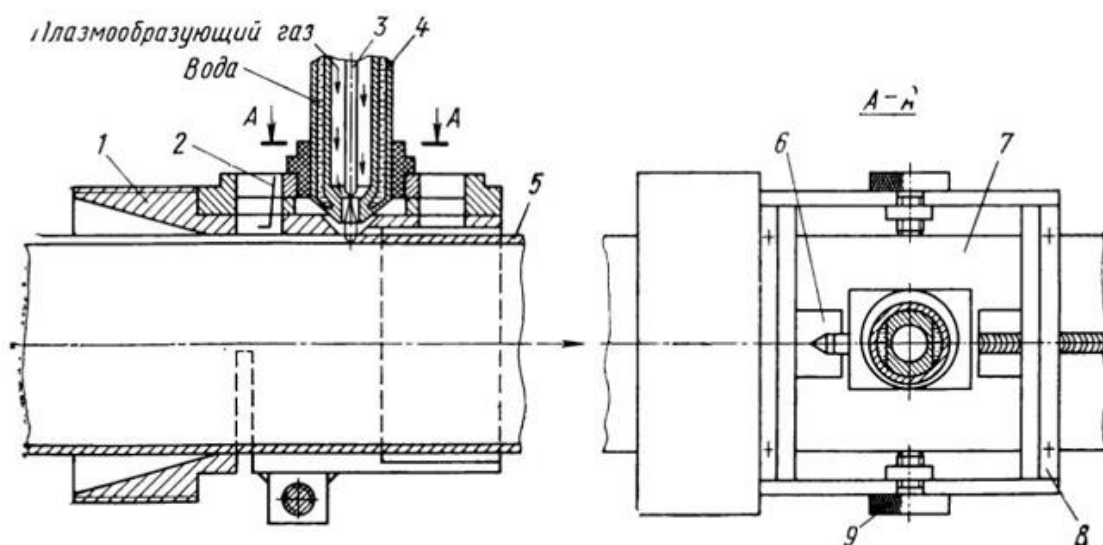
$$W = 1,1 \times 10^5 \frac{\text{Вт}}{\text{см}^2}, \quad (1)$$

где W - удельная тепловая мощность свободной дуги.

Проведя анализ данного способа, следует отметить, что процесс автоматической аргодуговой сварки особотонкостенных труб свободной дугой непрерывного действия неплавящимся электродом является недостаточно устойчивым.

«В сварочной технике известен способ сварки в среде защитного газа неплавящимся электродом сжатой дугой. Сжатая дуга (дуговая плазма) — источник теплоты, характеризующийся высокой сосредоточенностью и температурой нагрева» [2]. Дуговая плазма создается в плазмотроне при пропускании нейтрального газа через столб электрической дуги, заключенной в канале. Канал сопла и поток газа охлаждают наружные слои дугового столба, благодаря чему в этой зоне дугового разряда происходит ионизация газа и, как следствие, сжатие дугового столба. Последнее вызывает повышение температуры и увеличение скорости струи. Максимальная температура достигается по оси столба с постоянным понижением ее к периферии. В ходе процесса сжатия дуги ограничивается свободное перемещение активного пятна по поверхности изделия. «Вследствие этого тепловой поток становится высококонцентрированным и строго направленным» [15]. Проплавление получается стабильным с минимальной зоной нагрева основного металла. Диапазон теплового воздействия сжатой дуги на металл значительно шире, чем при сварке свободной дугой, за счет изменения диаметра канала сопла и расхода плазмообразующего газа. «Немаловажным фактом является тот факт, что при одинаковых значениях сварочного тока эффективная тепловая мощность сжатой дуги на 40%

больше, чем свободной» [2]. На рисунке 18 представлена схема процесса сварки сжатой дугой.



1 – фильера, 2 - указатель, 3 - электрод, 4 - сопло, 5 - сварной шов, 6 - смотровое окно, 7 - ползун, 8 - опорная рамка, 8 - регулировочный винт.

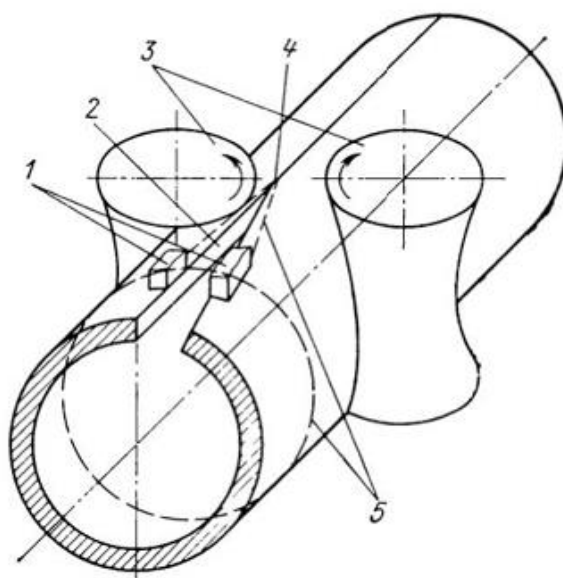
Рисунок 18 – Схема сварки сжатой дугой

С помощью фильеры, дуга и сварочная ванна закрыты от окружающего воздуха, которая выполняет функция микрокамеры и прижимного приспособления свариваемых кромок трубы. Плазматрон опирается соплом на микрокамеру. «Дуга и ванна ограничены микрокамерой, также они защищены потоком инертного газа, выходящим из сопла под избыточным давлением. Высокая эффективность защиты достигается при расходах инертного газа на наружную сторону шва, значительно меньших (более 10 раз), чем при свободной дуге» [16]. Удельная тепловая мощность при данном способе сварки составляет (2):

$$W = 2 \times 10^6 \frac{Вт}{см^2} . \quad (2)$$

Подведя итог, необходимо отметить явное преимущество данного способа по сравнению со сваркой свободной дугой.

Далее рассматривая способ сварки особотонкостенных труб, а именно высокочастотную сварку, было ранее отмечено, что она подразделяется также на два типа. Первый способ – это сварка с помощью контактного подвода тока. «Этот способ основан на использовании физических явлений, связанных с протеканием электрического тока высокой частоты — эффекта близости и поверхностного эффекта» [2]. Схема сварки с помощью контактного подвода тока изображена на рисунке 19.



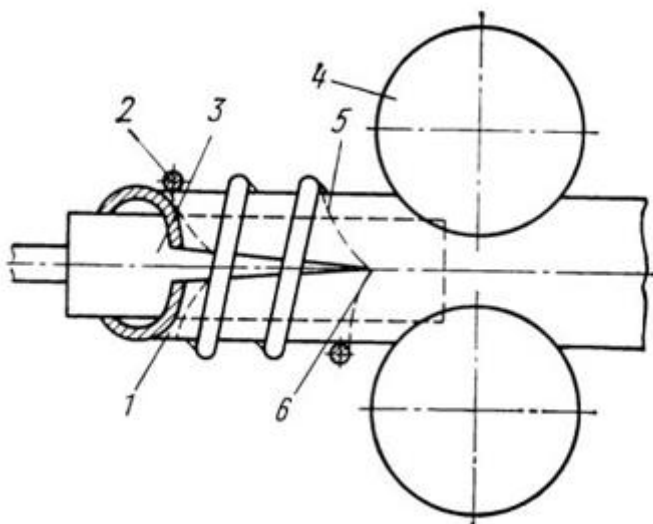
1 - токоподводящие контакты, 2 - трубная заготовка, 3 - сжимающие валки, 4 - точка схождения кромок, 5 - два возможных пути тока.

Рисунок 19 – Схема сварки с помощью контактного подвода тока

Стоит отметить, что плотность тока достигает наибольшего значения в точке соприкосновения кромок, где, соответственно достигается максимальная температура и происходит сварка под действием сжимающих валков. При этом возможны два пути тока. В первом случае, ток проходит от одного контакта к другому вокруг трубы. Во втором случае, от первого контакта вдоль кромки трубы до точки сварки и вдоль противоположной кромки ко второму контакту. «Так как реактивное сопротивление по первому пути тока значительно больше, чем по второму, то большая часть тока,

подводимого от высокочастотного генератора, течет по кромкам трубной заготовки» [2]. Реактивное сопротивление вокруг трубной заготовки может быть дополнительно увеличено путем установки сердечника из ферромагнитного материала, который помещают внутрь трубной заготовки на участке сварки. Существенный недостаток данного способа состоит в том, что контакты быстро приходят в негодность, за счет своего невысокого ресурса работы. Такой недостаток приводит к простоям на производстве, а учитывая специфичную особенность непрерывной сварки трубы из ленты, данный недостаток крайне высок.

«Более широко применяется способ сварки ТВЧ индукционным способом подвода энергии с помощью кольцевого индуктора, чьи витки охватывают трубную заготовку» [2]. Схема сварки с помощью индукционного подвода тока показана на рисунке 20.



1 - трубная заготовка, 2 - индуктор, 3 - ферритовый стержень, 4 - сжимающие валки, 5 - путь тока, 6 - точка схождения кромок.

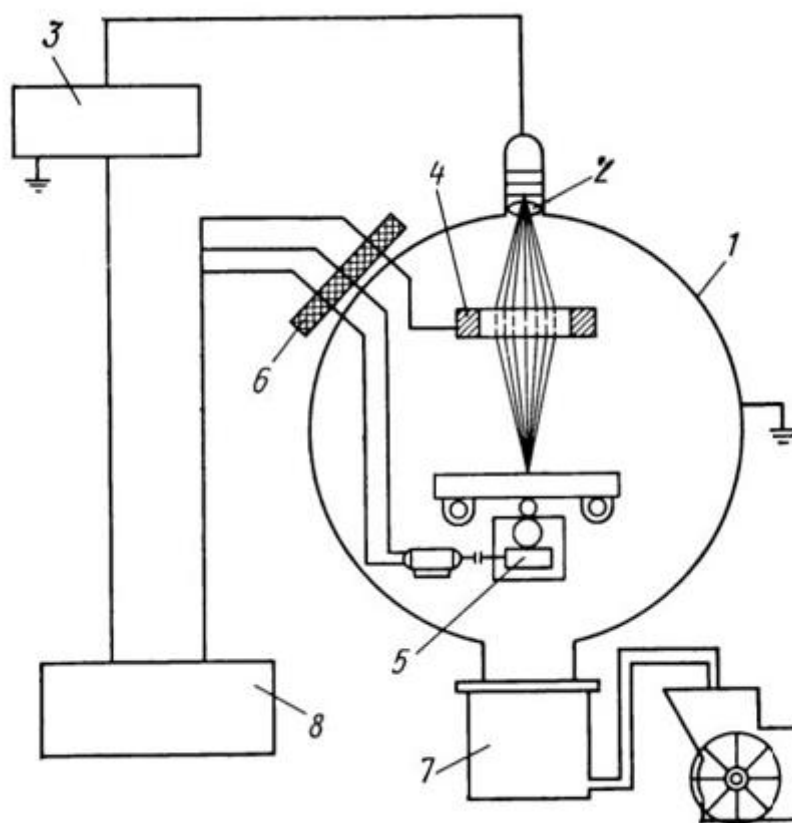
Рисунок 20 - Схема сварки с помощью индукционного подвода тока

Удельная тепловая мощность при сварке ТВЧ составляет (3):

$$W = 1,6 \times 10^5 \frac{\text{Вт}}{\text{см}^2} . \quad (3)$$

Недостаток данного способа - внутренний грат. Удаление грата происходит с помощью резцов, которые в нашем случае неприменимы.

Последний из рассматриваемых способов сварки особотонкостенных труб, это электронно-лучевая сварка. Электронный луч позволяет получать узкое и глубокое проплавление при незначительной зоне термического влияния, благодаря высокой концентрации энергии. «Электронно-лучевую сварку применяют в электронной и в авиационной промышленности, приборостроении, при соединении деталей из химически активных, тугоплавких и других металлов» [2]. Электронно-лучевую сварку в вакууме можно применять также для сварки труб. Схема для сварки электронным лучом в вакууме изображена на рисунке 21.



1 - вакуумная камера, 2 - электронная пушка, 3 - выпрямитель высокого напряжения, 4 - фокусирующая линза и отклоняющая система, 5 - механизм перемещения, 6 - электрический вакуумный ввод, 7 - вакуумная система, 8 - пульт управления..

Рисунок 21 - Схема для сварки электронным лучом в вакууме

Электронно-лучевая сварка труб осуществляется следующим образом. Предварительно сформованную трубную заготовку конечной длины устанавливают в приспособлении таким образом, чтобы продольные кромки прилегали друг к другу. Длина трубной заготовки определяется размерами сварочной установки и обычно не превышает 500—1000 мм. В процессе сварки трубная заготовка автоматически перемещается относительно электронного луча. Удельная тепловая мощность данного способа сварки составляет (4):

$$W = 5 \times 10^8 \frac{\text{Вт}}{\text{см}^2} . \quad (4)$$

Данный способ сварки имеет свои существенные недостатки, а именно: 1) Получение сварных труб ограниченной длины. 2) Высокая стоимость оборудования. 3) Низкая производительность из-за большого вспомогательного времени. 4) Громоздкое оборудование, из-за помещения трубы в камеру.

«Проведя сравнительный анализ способов сварки особотонкостенной трубы, необходимо отметить явное преимущество сварки сжатой дугой» [25]. В этом способе имеются также свои недостатки, в частности, коробление кромок, точно их подвода к зоне сварки, как следствие получение некачественного неразъемного соединения. В данной магистерской диссертации будет выбран способ сварки неплавящимся электродом сжатой дугой в среде защитных газов, но с последующими доработками оснастки, для исключения вышеперечисленных дефектов.

Исходя из особенностей выбранной темы магистерской диссертации, можно сформулировать задачи, выполнив которые удастся добиться получения качественного сварного соединения, а именно:

- 1) Рассмотрение особенностей процесса, анализ конструкции, и доработка оснастки для формирования шва.
- 2) Выбор источника питания и доработка конструкции для сварки.

3) Проведение опытов и последующие исследования с проектировкой технологического процесса для серийного производства труб.

2 Формирование неразъемного соединения особотонкостенной трубы при сварке сжатой дугой

Если подводить небольшой итог предыдущей главы, то для получения качественной будущей заготовки, сильфона, был выбран способ получения исходной заготовки (трубы) из ленты, а не из бесшовных труб. Был подобран необходимый материал. Рассмотрены способы сварки выбранного материала, с дальнейшим выбором конкретного способа. В данной главе магистерской диссертации необходимо рассмотреть требования к сварному соединению, полученное выбранным способом. Также необходимо определиться с методами контроля данного соединения, его периодичностью.

Согласно ГОСТ 5632, сильфоны, изготовленные из стали 12Х18Н10Т должны обеспечивать абсолютную герметичность при высоком давлении и температуре в сочетании с прекрасной гибкостью, что особенно актуально в условиях вредных производств. Также стоит отметить, что гарантийный срок эксплуатации сильфонов может достигать порядка 25 лет со дня ввода сильфона в эксплуатацию. «Работая в условиях повышенного давления, высоких температур и требования к выдерживанию знакопеременных нагрузок, требования к сварному соединению в трубах 12Х18Н10Т довольно высокие» [1]. Для обеспечения гарантийного срока эксплуатации необходимо разработать и внедрить методы контроля, обеспечивающие поставки качественных деталей потребителю.

2.1 Требования к сварному соединению

Изделия, изготовленные из сварных особотонкостенных труб, работают в условиях высоких температур, давлений, сложных вибрационных и знакопеременных нагрузок, и под воздействием агрессивных сред. Надежность работы таких изделий определяется в основном качеством сварных соединений трубы, поэтому к ним предъявляются высокие требования. Выбранному способу сварки, а именно, сварке неплавящимся

электродом в среде защитных газов сжатой дугой, предъявляются следующие требования к сварочному шву: 1) сварной шов должен быть плотным, герметичным и прочным, без раковин, свищей, пористости, трещин, кратеров, рыхлот, непроваров; 2) на основном материале не допускаются закаты окалины, плены и другие металлургические дефекты ленты; 3) материал трубы и сварного шва не должен быть склонен к межкристаллитной коррозии; 4) формирование сварного шва по геометрическим размерам его элементов должно быть стабильным, шов должен быть выполнен вровень с основным материалом или с некоторым усилением без подрезов и провисаний, геометрические размеры сечения швов приводятся в ТУ на изделие.

Предлагаемые методы контроля для сварки особотонкостенной трубы $D=55\text{мм}$; $S=0,12\text{мм}$, : 1) Контроль сварочного шва 100% с помощью вихретокового дефектоскопа в составе трубосварочной линии. 2) Выборочный контроль с каждой партии труб на герметичность сварного соединения (гидравлический способ). 3) Периодический контроль геометрический параметров свариваемой трубы. 4) Периодический контроль механических свойств и химического состава на каждую плавку ленты. Далее будет подробно рассмотрен каждый предлагаемый способ контроля.

«Методы вихретокового контроля основаны на законе электромагнитной индукции. Электромагнитное поле вихретоковых токов воздействует на катушку преобразователя, проводя в них ЭДС или изменяя их полное сопротивление. Важная особенность вихретокового контроля – это бесконтактность, т.е. между объектом контроля и преобразователем создается небольшое (до 2 мм), но достаточное расстояние для свободного движения преобразователя» [9]. Вихретоковый метод позволяет производить контроль на больших скоростях, которые недоступны другим методам. Получение информации в виде электрических сигналов, бесконтактность и высокое быстродействие вихретокового контроля – все это определяет высокую производительность и возможность автоматизации контроля.

Вихретоковые преобразователи устойчивы к механическим и атмосферным взаимодействиям, могут работать в агрессивных средах, при высоких температурах и давлениях, так как в большинстве случаев катушки преобразователей помещают в предохранительный корпус и герметически закрывают. К недостаткам вихретокового метода контроля следует отнести, во-первых, то, что можно проводить контроль только у электропроводящих объектов: металлы, сплавы, графит, полупроводники, во-вторых, малую глубину зоны контроля, которая не превышает нескольких миллиметров, так как определяется глубиной проникновения в контролируемую среду электромагнитного поля. В нашем случае, данный недостаток не совсем применим, так как толщина стенки трубы мене 1мм. Изменение траектории вихревых токов в области дефекта показано на рисунке 22.

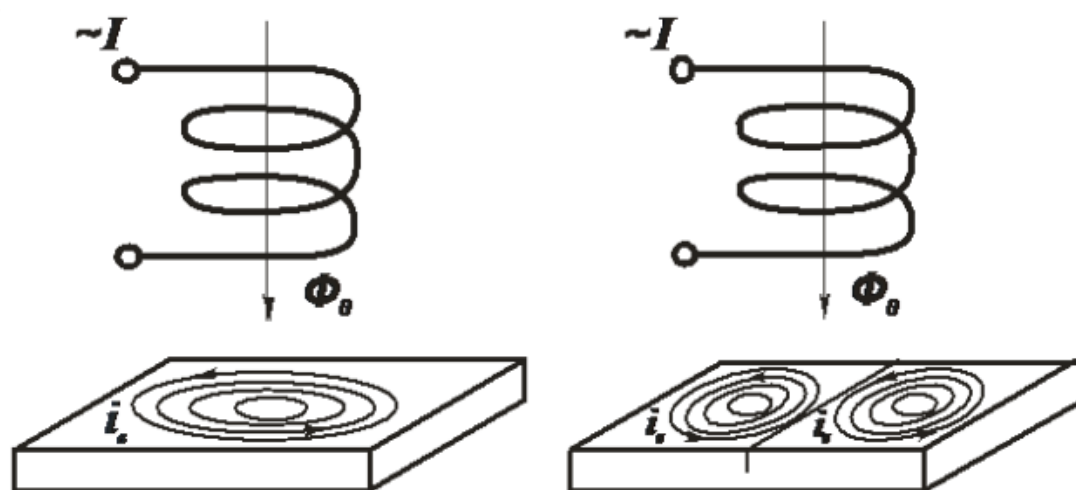


Рисунок 22 - Изменение траектории вихревых токов в области дефекта

«С помощью выборочного гидравлического метода контроля проверяется герметичность и плотность шва. Принцип контроля заключается в следующем: Выборочное количество труб с каждой партии герметизируется и заполняется СОЖ или водой» [9]. Цифра пробного испытательного давления указывается отдельно в ТУ. Пробный контроль

проводится при температуре воздуха выше нуля. Результат считается удовлетворительным, если на сварном шве отсутствует запотевание и не обнаружена течь, а манометрическое давление не упало. Так как деталь из данной трубы предназначена для топливной системы самолета, контроль герметичности и выдерживания требуемых давлений, имеет месту быть.

Контроль геометрических параметров осуществляется с периодичностью, которая необходима и достаточна для исключения попадания труб с размером, находящимся за пределом поля допуска, конечному потребителю. Средства контроля устанавливаются в отдельном порядке, в частности, могут быть применены калибр-пробки.

Контроль механических свойств и химического состава производится как минимум на каждую плавку ленты. Механические свойства контролируются как по основному материалу, так и по шву. Необходимые требования механических свойств, согласовываются в отдельном порядке в ТУ. Проведение данного метода контроля обусловлено тем, чтобы гарантировать срок эксплуатационной гарантии дальнейших деталей. Контроль химического состава может проводиться реже, чем контроль механических свойств. Химический анализ необходим для контроля поставляемого материала, согласованного с заказчиком.

Выбранные методы контроля позволяют обеспечить получение качественного сварного соединения особотонкостенной трубы. Также отобранные методы позволяют обнаружить дефекты в процессе самой сварки. Речь идет об вихретоковом контроле. Однако, выбранные методы позволяют повысить качество выпускаемой продукции, но не искореняя первопричину. Основной первопричиной получения некачественного сварного соединения является коробление кромок. Далее будет рассмотрена доработка области сварки для получения ровного шва.

2.2 Формующая оснастка

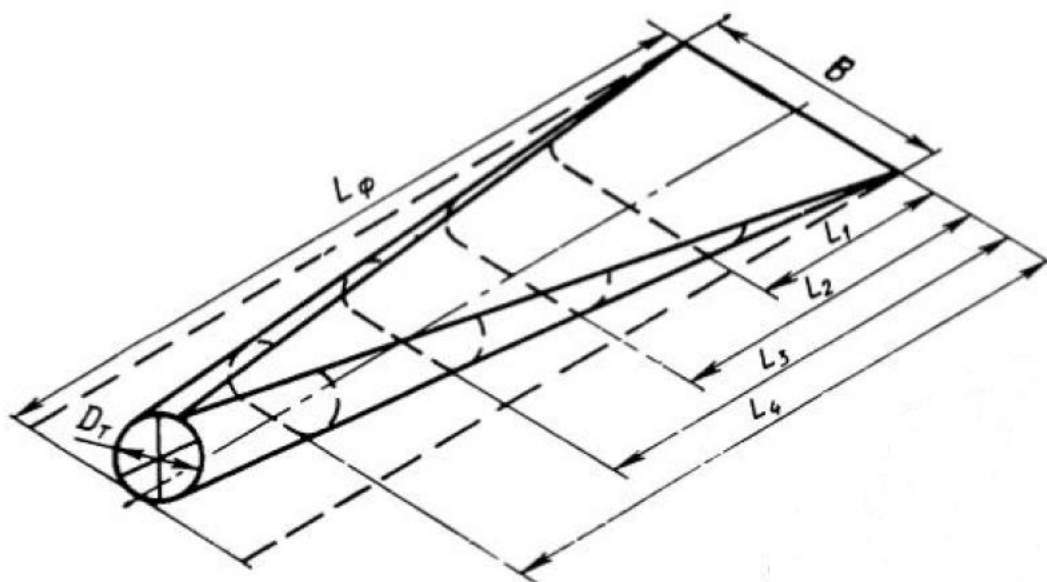
Одной из причин получения некачественного сварного соединения в особотонкостенных трубах является коробление кромок в процессе формовки ленты в трубную заготовку. Препятствовать данному дефекту возможно с помощью формирующей оснастки, а если конкретнее- формирующих роликов. Ролики показаны на рисунке 23



Рисунок 23 – Сортамент формирующих роликов

Формирующие ролики для сварки трубы 55x0,12мм состоят из пяти пар. «В первой формирующей паре роликов, крайние участки ленты формируются с радиусом готовой трубы, а центральный участок остается плоским. В остальных формирующих парах центральный участок ленты подвергается

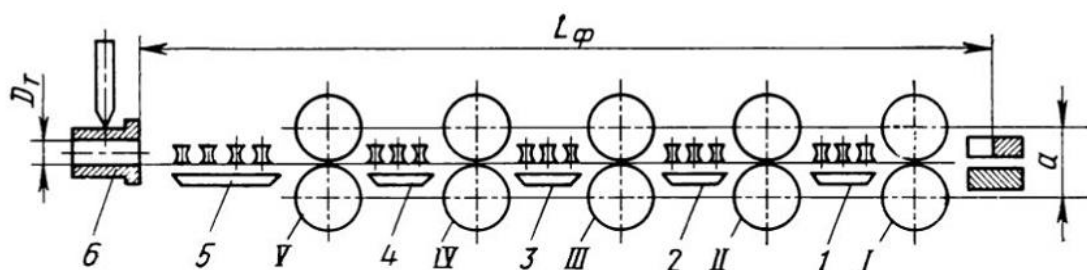
формовке с тем же радиусом, с постепенным уменьшением плоского участка» [4]. Кромки ленты, отформованные в предыдущих парах, дальнейшей формовке не подвергаются. Схема формовки особотонкостенной трубы из ленты указа на рисунке 24.



L_{ϕ} - длина очага деформации (непрерывного формования), L_1, L_2, L_3, L_4 - длина очага деформации до соответствующих пар формующих роликов.

Рисунок 24 - Схема формовки особотонкостенной трубы из ленты

Рассмотрев схему формовки ленты необходимо обратить внимание на формующие ролики, а именно их схему расположения. Такая схема приведена на рисунке 25.



1,2,3,4,5 – роликовые проводки, I-V – формующие ролики, 6 - фильерный узел.

Рисунок 25 – Схема расположения формующей оснастки

Холостые формующие ролики с вертикальной осью вращения находятся в пространстве между приводными формующими роликами, которые в свою очередь участвуют в изгибе ленты, в следствие чего образуется сплошной формующий ручей. «Профиль холостого ролика выбирают такой, чтобы обеспечить полное соприкосновение его поверхности с поверхностью крайнего участка ленты, который вышел из соприкосновения с приводными роликами» [9]. Профиль холостого ролика представляет собой дугу окружности с радиусом, равным наружному радиусу особотонкостенной трубы. Исходной величиной является длина непрерывного формирования L_{ϕ} . Формула для расчета данной величины (5) имеет вид:

$$L_{\phi} = 1,6 \frac{D_T}{\sqrt{\varepsilon}}, \quad (5)$$

где D_T — наружный диаметр трубы, мм.

ε — относительное упругое удлинение кромок ленты.

Относительное упругое удлинение кромок ленты находится по формуле (6):

$$\varepsilon = \frac{\sigma_{\Pi}}{E}, \quad (6)$$

где σ_{Π} - предел пропорциональности, кгс/см²,

E – модуль упругости кгс/см².

Согласно ГОСТ 4986—70, подставляем соответствующие значения, и получаем: $L_{\phi} = 2040$ мм. Таким образом, расстояние между формующими роликами составляет 256 мм. Число формующих пар роликов равно 5.

Разработка и установка роликов не дает полностью гарантию получения качественного шва, также необходимо спроектировать штангу с подкладкой, которая находясь внутри трубной заготовки обеспечивает хорошую свариваемость трубы с внутренней стороны.

2.3 Проектирование штанги, формирующей корень шва

Для получения качественного формирования сварного соединения осебнотонкстенных труб используется штанга. Сама штанга находится внутри трубной заготовки. Если рассматривать основные функции штанги, то можно выделить две вещи. 1) Для исключения провисания места сварки, штанга с закрепленной на ней медной подкладкой, обеспечивает отсутствие провисания сварного соединения и предупреждает от возможных дефектов шва. Кроме прочего на медной подкладке присутствует канавка. 2) Штанга способствует формирования шва с внутренней стороны трубы. Делается это путем подачи через штангу инертного газа. На внутренней поверхности трубы образуется так называемая защитная подушка, состоящая из инертного газа. Схематичный эскиз штанги изображен на рисунке 26.

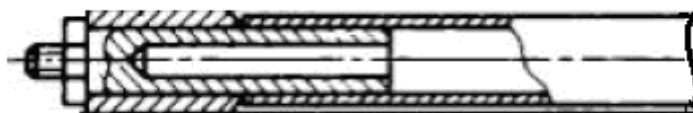
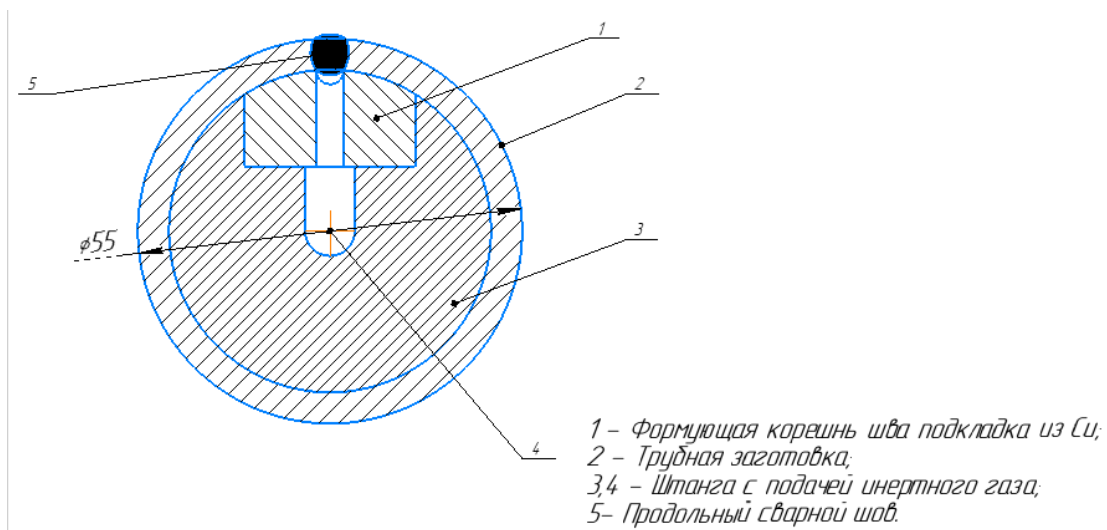


Рисунок 26 – Эскиз штанги

Если рассмотреть поперечное сечение штанги, можно понять принцип подачи газа через штангу и рассмотреть медную подкладку. Сечение штанги показано на рисунке 27.



1 - формирующая корень шва подкладка с канавкой из Cu; 2 - труба $D = \text{Ø}55\text{мм}$; 3,4 – штанга с подачей инертного газа; 5 – продольный сварной шов трубы.

Рисунок 27 – Сечение штанги с подкладкой, формирующей корень шва

Таким образом, разработка и установка роликов обеспечивает формирование трубы заданного диаметра, конструкция оснастки, формирующей корень шва, обеспечивает минимальное усиления его в особотонкостенных трубах и подачу защитного газа к корню шва, создавая условия для хорошей свариваемости трубы с внутренней стороны.

3 Выбор и доработка оборудования для сварки сжатой дугой

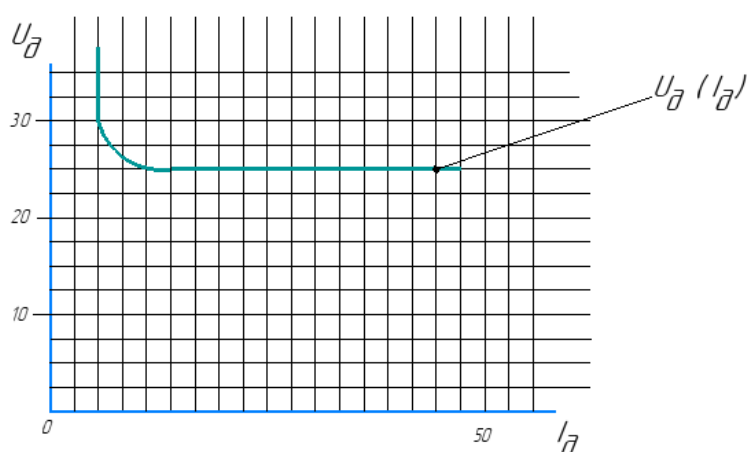
Для того чтобы, осуществить обоснованный выбор источника питания, необходимо рассмотреть особенности сварки закрытой сжатой дугой неплавящимся электродом в защитной среде газа. Только после получения информации и знаний о способе сварки можно понять, какие источники питания постоянного тока необходимо рассмотреть и выбрать оптимальный вариант.

3.1 Выбор источника питания постоянного тока

Для определения типа источника питания постоянного тока необходимо рассмотреть и понять особенности сварки сжатой дугой особотонкостенных труб.

Одной из особенностей выбранного способа сварки является статическая вольтамперная характеристика дуги $U_d = f(I_d)$, у которой напряжение на дуге достигает 28 В. Характер этой зависимости представлен на рисунке 28.

$$W^- - CrN^+ . Ar$$



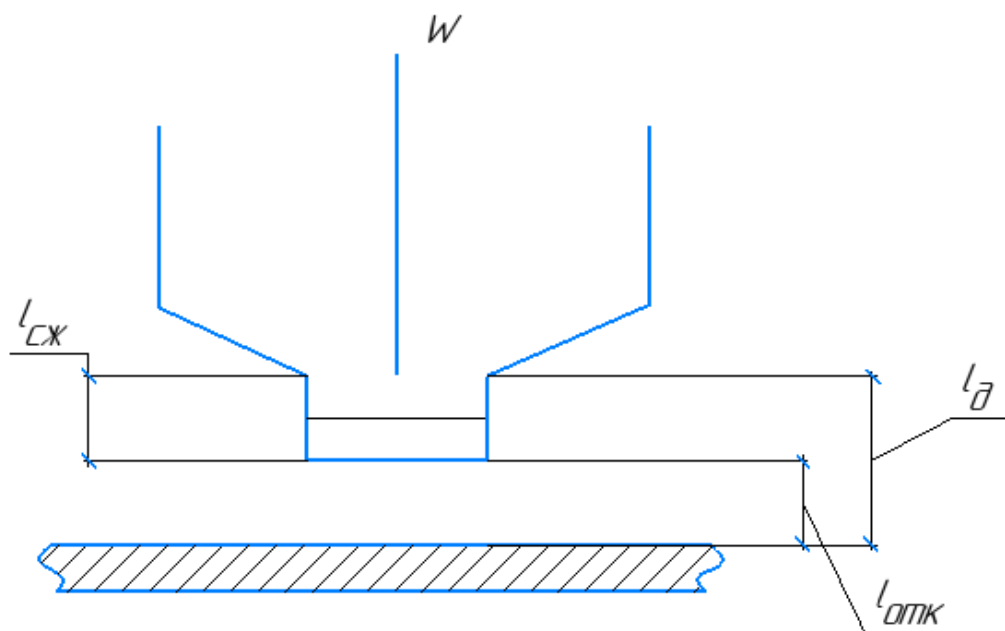
U_d – напряжение на дуге, I_d – ток дуги.

Рисунок 28- Зависимость напряжения дуги от тока дуги

Из графика, показанного выше, можно понять, что величина напряжения на дуге при сварке особотонкостенных труб может изменяться в пределах от 26 до 28 В.

$$U_{\text{д}} = (26 - 28) \text{ В}$$

Второй особенностью сжатой дуги при сварке особотонкостенного материала является величина длины дуги. На рисунке 29, приведена визуализация участков сжатой дуги $l_{\text{сж}}$, $l_{\text{отк}}$ и общей длины дугового промежутка $l_{\text{д}}$.

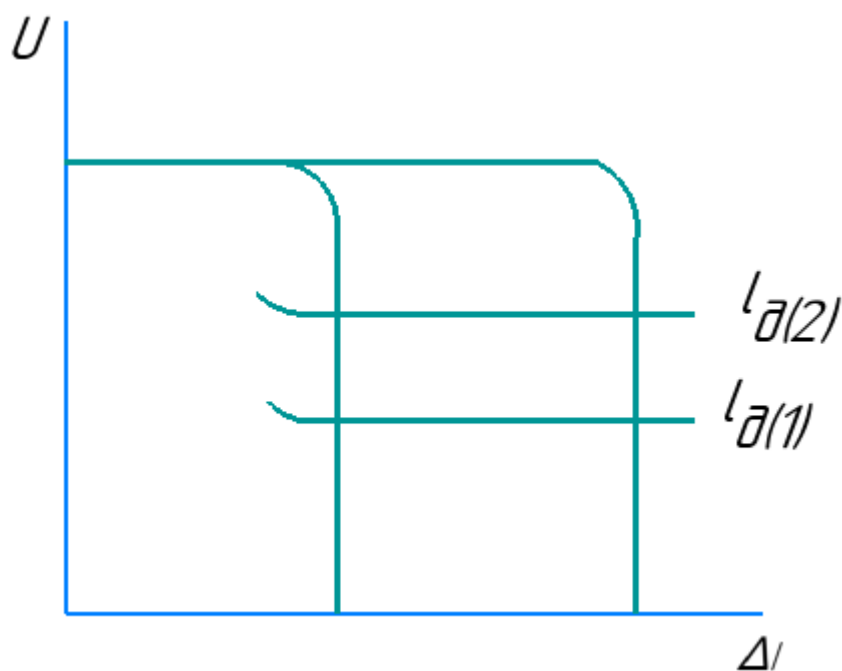


$l_{\text{д}}$ – общая длина дуги, $l_{\text{сж}}$ – длина сжатой дуги, $l_{\text{отк}}$ – величина открытой дуги.

Рисунок 29- Схема отклонения величины дуги

Учитывая форму статической характеристики дуги необходимо подобрать источник питания для сварки с крутопадающей внешней вольт – амперной характеристикой (ВАХ). В этом случае образуется система «источник питания - дуга», которая в случае возникновения отклонения длины дуги, обеспечит изменения по току равные нулю. График внешней

крутопадающей ВАХ источника питания и статической ВАХ дуги показан на рисунке 30.



U – напряжение; ΔI – отклонения по току; $l_{д1}$, $l_{д2}$ – длина дуги.

Рисунок 30 – Система «источник питания - дуга»

«Известно, что сварка материалов толщиной менее 0,6 мм связана с целым рядом требований к источникам питания. Прежде всего, это малые токи дуги – менее 50 А» [2]. В нашем случае толщина ленты составляет 0,12мм. Это означает, что источник питания должен плавно регулировать величину сварочного тока во всем диапазоне. Лучше всего с такими требованиями справится источник питания типа ВСВУ. Выпрямитель – это источник питания постоянного тока, в котором размещены следующие узлы: силовой трансформатор, блок выпрямителей на тиристорах, сглаживающий дроссель, дроссель возбуждения, панель с приборами и панель управления. В работе рассмотрены выпрямители типа ВСВУ – 80; ВСВУ – 160 и ВСВУ – 315. В таблице 3.1 приведены сравнительные характеристики, позволяющие выбрать наиболее подходящий тип источника питания.

Таблица 3.1 – Технические характеристики источников питания

Параметры	Тип		
	ВСВУ -80	ВСВУ – 160	ВСВУ - 315
Напряжение сети, В	380	380	380
Напряжение холостого хода, В	80	80	80
Номинальный сварочный ток в электродах, А	80	160	315
ПВ, %	65	65	65
Предел регулирования сварочного тока, А	1 – 80	5 – 160	10 – 315
Габаритные размеры ДхШхВ	520x700x920	520x700x1195	520x700x1195
Масса, кг	180	240	360

«Таким образом, выбор источника питания остановлен на выпрямителе ВСВУ – 80 , учитывая тот факт , что величина сварочного тока не превышает 50А» [30].

После того как был выбран источник питания, необходимо правильно подойти к выбору плазматрона, для сварки трубы.

3.2 Выбор плазматрона для сварки сжатой дугой трубы $d = 55\text{мм}$ $s=0,12\text{мм}$ и доработка его конструкции

Изучив очень скромный сортамент плазматронов, необходимо выявить его конструктивные особенности. Плазмотрон – это устройство для обеспечения устойчивого и длительного горения дуги при сварке. Существующие плазматроны, которые разработаны, как правило, для ручной сварки, имеют существенные недостатки, к которым, прежде всего, следует отнести сложность конструкции, крупные габаритные размеры, недостаточный ресурс работы теплонагруженных узлов, возникновение двойной дуги. Для обеспечения эксплуатационных характеристик при длительных циклах работы в автоматическом режиме, плазматроны должны отвечать следующим важным требованиям.

1) Плазмотрон должен обеспечивать многократное и надежное зажигание, и стабильное горение дуги в заданном диапазоне рабочих токов и напряжений. Это требование удовлетворяется при определенных соотношениях между диаметром электрода и сопла, а также при правильном конструктивном решении вопроса, касательно узла формирования и стабилизации дуги.

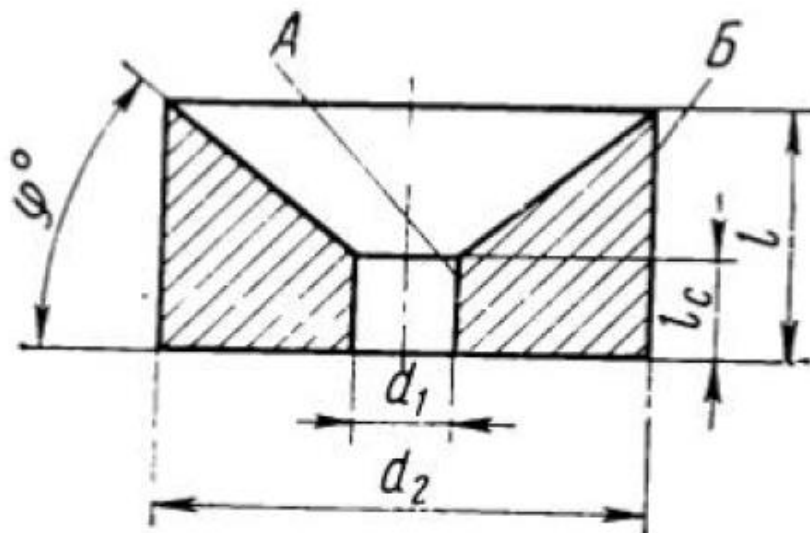
2) Элементы, наиболее подверженные действию теплоты (электрод, сопло), должны выдерживать длительную тепловую нагрузку при максимальной мощности плазмотрона. Это требование выполняется при правильном выборе материала теплонагруженных элементов и системы их охлаждения.

3) Элементы водяных и газовых коммуникаций плазмотрона (шланги, уплотнения, прикладки и др.) должны выдерживать давление не ниже 10 атмосфер.

4) Для обеспечения маневренности плазмотрона, подсоединяемые к нему шланги и электрические провода должны быть гибкими и прочными.

5) Плазмотрон должен быть технологичным в изготовлении, в ремонте и удобным в эксплуатации. Также очень важно обеспечить легкость его разборки и сборки и возможность быстрой замены наиболее часто изнашиваемых деталей, таких как катода и сопла.

Рассматривая данные требования, можно выделить, так называемые «критические точки», а именно в нашем случае - это сопло и электрод. «Сопло, которое сжимает столб дуги, подвергается газовой и электрической эрозии. В данном случае, длительная эрозия крайне нежелательная, постольку эрозия явно влияет на геометрию сопла, что приводит к неудовлетворению технических требований» [2]. Одно из путей решения данной проблемы – конструктивная доработка плазмотрона. Схема сопла плазмотрона показана на рисунке 31.



L_c – длина канала сопла; L – длина сопла; φ – угол наклона стенок сходной части сопла; d_2 , d_1 – наружный и внутренний диаметр сопла.

Рисунок 31 – Схема сопла плазмотрона

Что касается самого плазмотрона, их выбор не слишком велик. На рисунке 32 представлены два вида плазмотронов. В одном из случаев применяется сопло с термостойкими керамическими материалами, в другом случае, с использованием металлических водоохлаждаемых сопел.

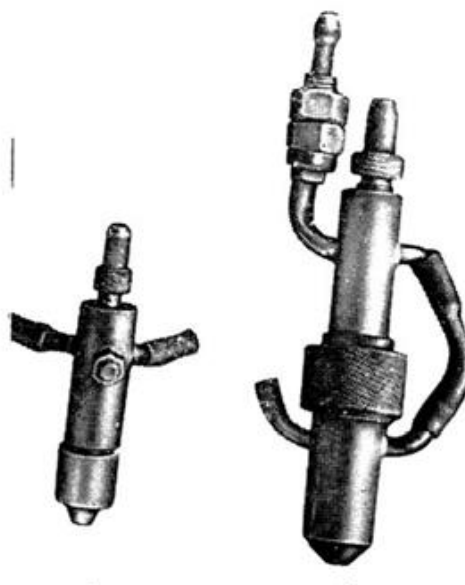


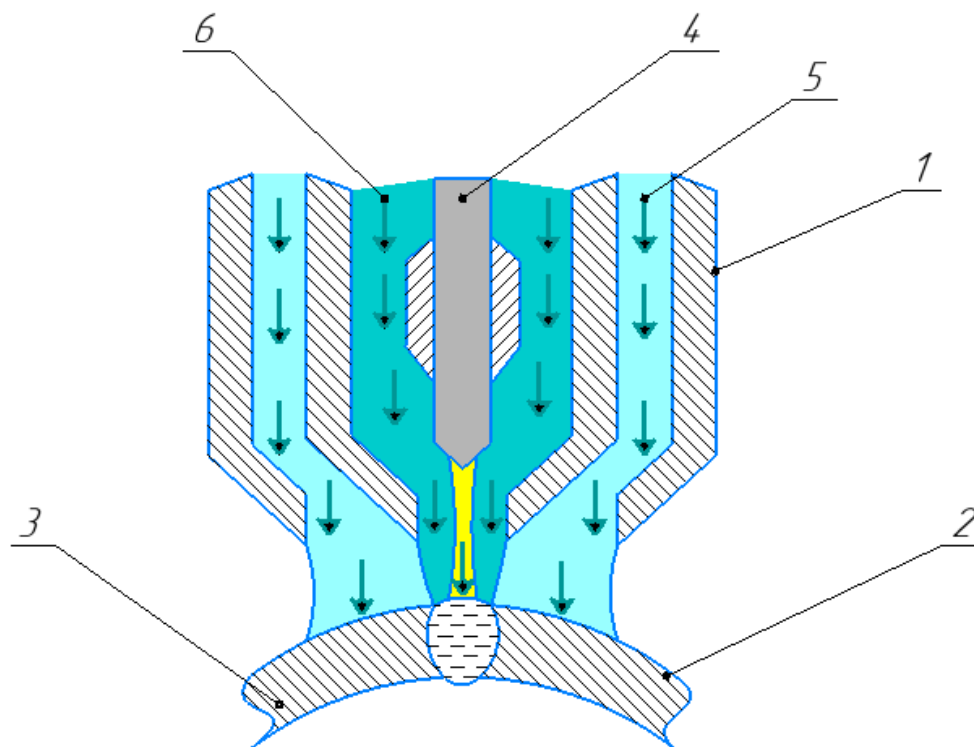
Рисунок 32 – Виды плазмотронов

Учитывая все особенности сварки, в данной магистерской диссертации принято решение выбрать плазматрон с использованием металлических охлаждаемых сопел. Однако, вопрос об эрозии сопла и потери его основной функции, остается все также открытым. Для того, чтобы обеспечить концентрацию термического воздействия на кромки свариваемой трубы, используя, вспомогательную литературу, можно рассчитать эффективность системы охлаждения. Изучив методику исследований в литературе, проведя обзор фактов и статистики, принято решение об использовании самой рациональной системы охлаждения плазматрона. В данном плазматроне применена насадка сменного сопла на конус. «Данный способ позволит значительно уменьшить термическое сопротивление контакта по сравнению с установкой сопла на резьбе, как это применяется в соплах с использованием керамических материалов. Система охлаждения плазматрона предназначена для работы со сменным соплом, сделанным из чистой меди. Такое сопло обладает довольно высокой эрозийной стойкостью» [7]. Однако, такая конструкция плазматрона не защищает процесс сварки от «двойной дуги». «Исследования, приведенные в литературе, доказывают, что образование так называемой «двойной дуги» в большей степени зависит от соблюдения определенных соотношений между силой тока, расходом газа и диаметром сопла» [6]. Соотношение величины силы тока к расходу защитного газа в процессе сварки, определяется опытным путем. В дальнейшем результаты заносятся в так называемую карту режимов (КР) для сохранности данных, успешно проведенных работ.

«Сменное сопло из меди необходимо изготовить определенных размеров, для обеспечения стабильного и качественного процесса сварки» [12]. Проведенный анализ, позволил выявить удовлетворяющие нас размеры сопла и другие параметры плазматрона. А именно: 1) диаметр вольфрамового электрода для сварки данной трубы с толщиной стенки равен 1 мм (\varnothing эл. = 1 мм); 2) диаметр канала вставки равен 1 мм; 3) расстояние от края сопла до

поверхности трубы (подведенных встык кромок) равно 0,6 мм; 4) высота вставки плазматрона равна 7мм.

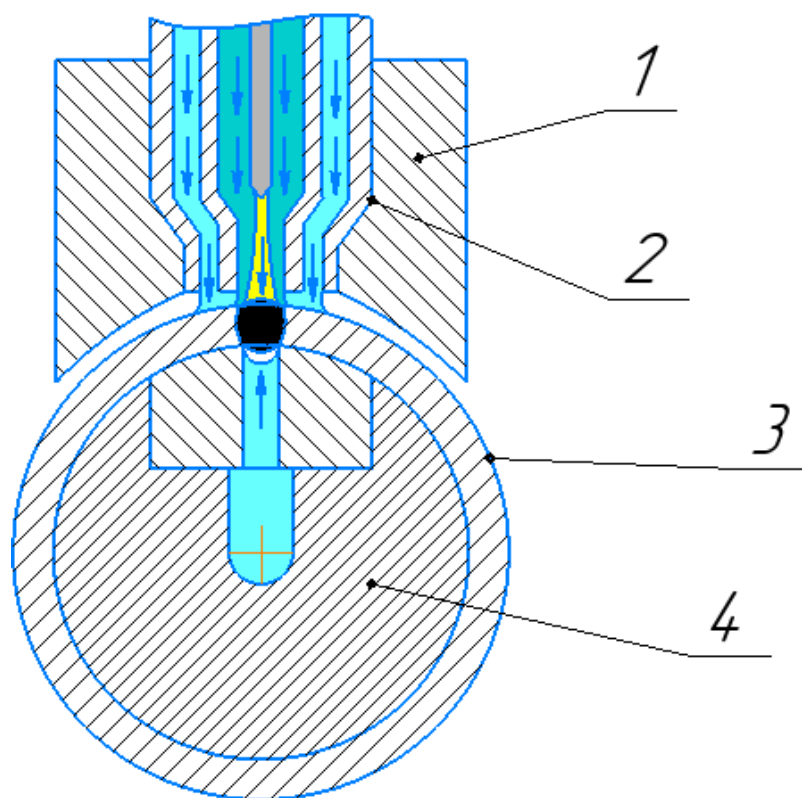
Таким образом, определив необходимые размеры плазматрона можно приступить к эскизному проектированию его. Чертеж плазматрона представлен на рисунке 33.



1 – Плазматрон; 2,3 – Кромки свариваемой трубы; 4 – Вольфрамовый электрод; 5 – Защитный газ; 6 – Плазмообразующий газ.

Рисунок 33 – Схема плазматрона

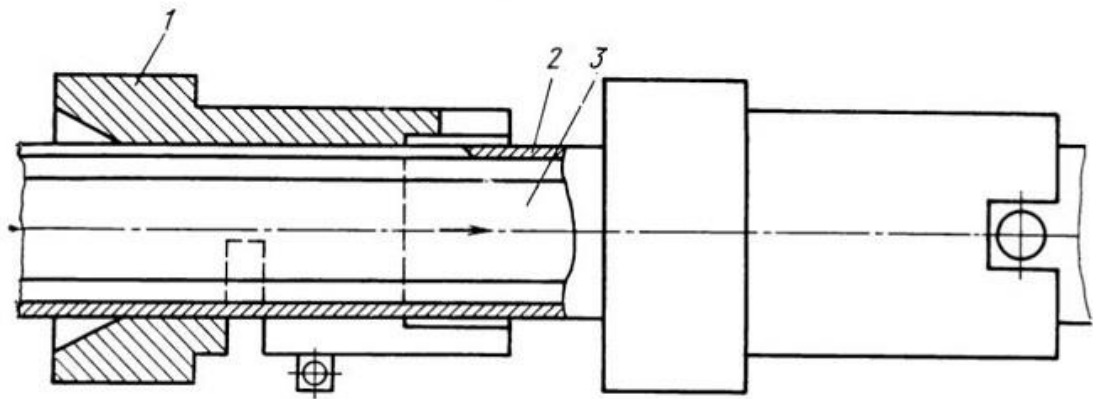
Для обеспечения стабильного прижатия кромок при сварке необходимо предусмотреть дополнительно такой элемент, как ползун, который обеспечит прижатие кромок трубы. Ползун встроен в плазматрон и выполнен из меди. Он огибает свариваемую трубу по ее наружному диаметру и прижимает кромки. Основная функция ползуна – обеспечить неизменность длины открытой части столба дуги и прижатие кромок. На рисунке 34 приведена конструкция ползуна для сварки особотоностенной трубы.



1 – Ползун, 2 – Плазматрон, 3 – Свариваемая труба, 4 – штанга с подачей газа.

Рисунок 34 – Эскиз установки ползуна с плазматроном относительно трубы

При сварке труб из ленты толщиной 0,12 мм, которая непрерывно движется относительно плазматрона и неподвижной штанги, усложняются условия прижатия кромок под сварку. Поэтому сборка стыка трубы производится в фильерном узле. «В фильерном узле сборка кромок производится регулированием кольцевого зазора между фильерой и штангой до получения необходимой плотности прижатия кромок стыка и совмещения кромок» [2]. Превышение кромок друг над другом должно быть не более 10% от толщины ленты. Превышение указанных пределов приводит к прожогам или к провисанию шва. Регулирование кольцевого зазора осуществляется винтами, изменяющими периметр разрезной фильеры. На рисунке 35 показана фильера и ее расположение в стане.



1– фильера; 2 - свариваемая труба; 3 – штанга.

Рисунок 35 – Схема расположение фильеры в стане

Проведя доработку сварочной головки, штанги и фильерного узла, который предполагается установить непосредственно перед зоной сварки, необходимо выбрать установку для автоматической сварки трубы заданного диаметра или стан. Штанга, устанавливается в стане. И наконец, необходимо подобрать сварочный стан, установив на нем уже заранее выбранные ролики для формовки трубы.

3.3 Комплектация линии сварки осботонкостенной трубы

Для получения трубы $d = 55$ мм сваркой необходимо выбрать тип установки для автоматической сварки или специально комплектовать линию.

В сварочной технике известны три типа установок УМПСТ-1, УМПСТ-2, УМПСТ-3, технические характеристики которых приведены в таблице 3.2. Установки предназначены для формования тонкостенных труб диаметром от 3 до 50 мм с толщиной ленты до 0,6мм.

Таблица 3.2 - Характеристики установок для формования особотонкостенных труб

Тип установки	Диаметр трубы, мм	Длина формовки L_{ϕ} , мм	Расстояние между формующими роликами, мм	Число пар формующих роликов
УМПСТ-1	3-14	720	80	5
УМПСТ-2	14-23	1050	120	5
УМПСТ-3	23-50	1965	204	6

В соответствие с расчетными данными, полученными для трубы $d = 55$ мм, длина формовки $L_{\phi} = 2040$ мм при расстоянии между формующими роликами равным 256 мм. Это значит, что установка УМПСТ-3, которая более всего подходит для трубы $d = 55$ мм, потребует доработки. Однако изготовление таких установок Украина прекратила, поэтому необходимо компоновать специальную линию по сварке особотонкостенной трубы.

Трубосварочный стан или так называемая линия сварки трубы, может быть как универсальной, так и узконаправленной. Имеется в виду, что стан может быть предназначен как для сварки определенной группы труб, которые зависят от диаметра и толщины стенки, а может сваривать только один диаметр трубы. Трубосварочная линия представляет собой производственный комплекс, способный осуществлять такие операции, как размотка рулона, стыковка штрипсов, накопление, формообразование методом холодной прокатки, сварку, охлаждение, калибровку, правку, резку. Целиком линия представлена на рисунке 36.

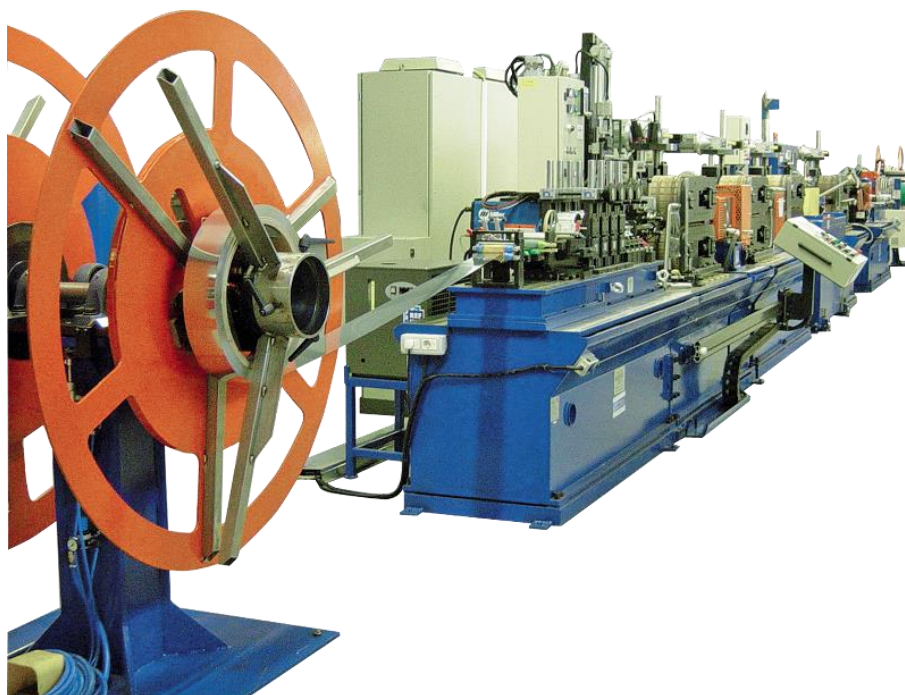


Рисунок 36 – Линия сварки

Трубосварочный стан оборудован неприводной формовочной секцией. Это означает, что данная формовочная секция монтируется на сменной плите, которой укомплектована линия. Делается это с целью осуществления быстрой смены роликов под необходимую ленту. Формовочная секция представлена на рисунке 37.



Рисунок 37 – Стан с неприводной формовочной секцией

При выборе трубосварочного стана предпочтение отдаем стану с применением неприводной формовочной клетки. Выбранный стан выполняет следующие технологические операции.

- 1- Установка ленты в разматыватель
- 2- Сварка двух стыков лент и протяжка ленты в накопитель
- 3- Формовка ленты в трубную заготовку с помощью валков
- 4- Сварка ленты сжатой дугой с использованием штанги, ползуна, фильеры, плазмотрона
- 5- Калибровка
- 6- Контроль дефектоскопом
- 7- Порезка в размер

Таким образом, выбрав трубосварочный стан с неприводной формовочной клетью комплектуем его сварочной головкой, фильерным узлом, штангой, источником питания постоянного тока с плавной регулировкой величины тока. Проведенная доработка плазмотрона и фильерного узла обеспечит плотное прижатие кромок. Доработка штанги создаст условия для формирования корня шва и его защиту.

4 Исследование формирования сварного соединения особотонкостенной трубы $d = 55\text{мм}$

Особенность формирования сварного соединения тонкостенной трубы состоит в том, что допускается усиление шва минимальной величины.

При изготовлении тонкостенной трубы для формирования сильфонов усиление корня шва так же стремятся свести к минимальной величине.

Сварка особотонкостенной трубы $S = 0,12$ мм сопровождается короблением кромок, что потребовало конструктивных доработок установки. Для снижения коробления кромок используется ползун, который прижимает кромки к штанге. Важную роль играет фильерный узел, с помощью которого также обеспечивается прижатие кромок к штанге.

Для снижения коробления кромок известны способы сварки, при которых ввод тепловой мощности дуги производится как импульсно, так и с непрерывным горением.

4.1 Выбор параметров режима сварки сжатой дугой и исследования металлографии

Анализ литературных данных показал, что для сварки сжатой дугой и микроплазменной сваркой труб диаметром от 13 до 70 мм при толщине стенок трубы от 0,12 до 0,35 мм получены качественные сварные соединения. Результаты анализа параметров режима сварки приведены в таблице 4.1. Данные о параметрах режима сварки стали 12X18H10T толщиной 0,12 мм весьма малочисленны. На базе кафедры Тольяттинского Государственного Университета, проводился опыт по сварке образцов, на основании методики ОАО «НИАТ», и были определены ориентировочные режимы сварки сжатой дугой непрерывного горения с использованием современного сварочного оборудования, и сварки в импульсном режиме.

Сварка производилась плазматроном специально доработанном для сварки малых толщин. Оборудование было использовано –ВСВУ-40, также была осуществлена сварка на медной подкладке с подачей газа с внутренней стороны шва. Также была применена сварочная горелка типа ГСД.

Отечественная промышленность выпускает сварочное оборудование для всех способов сварки, указанных в таблице 4.1.

Таблица 4.1- Параметры режимов сварки

$d_{тр}$, мм	I_d , А	U_d , В	$V_{св}$, м/ч	Q_{Ar} , л/мин	Q_{Ar+H_2} , л/мин	S , мм	Примечание
13	8-9	26	70	0,6	1,1	0,2	Микроплазм.
70,5	24-26	9-12	22-26	5-6		0,25	Свободная
70,7	20-30	24	30-75	0,2	1,2	0,35	Сжатая
55	15-18	26-28	40-45	0,15	5,0(Ar)	0,12	Сжатая непрерывная

$$d_w = 1,0 \text{ мм}, d_{\text{канала}} = 1,0 \text{ мм}$$

На рисунке 38 показан внешний вид сварного соединения из легированной стали 12X18H10T толщиной $S = 0,12$ мм.

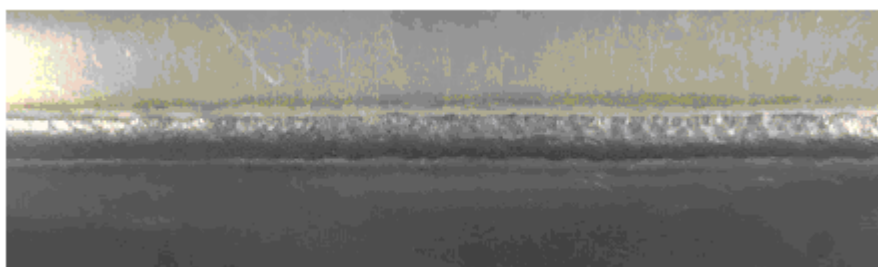


Рисунок 38 – Сварное соединение из легированной стали $S = 0,12$ мм

Визуальный контроль полученного результата не дает полной гарантии того, что получено качественное сварное соединение. Для получения полной картины и понимания того, удалось ли близко подойти к успешности проделанной работы, необходимо исследовать микро- и

макроструктуру сварного соединения, зоны термического влияния и околошовной зоны.

Для металлографических исследований изготавливаются специальные образцы размерами 15 x 30 мм и заливаются смолой в форму. На рисунке 39 показан залитый в форму образец сварного шва.



Рисунок 39 – Общий вид приспособления

Последовательность изготовления шлифа: 1. Контролируемая поверхность шлифа обрабатывается шлифовальным кругом зернистостью 8-M14 по ГОСТ-10054 на плоскошлифовальном станке с обязательным охлаждением эмульсией, затем шлифовальной шкуркой и алмазной пастой с частотой вращения диска до 1400 об./мин. зернистостью АСМ 14/10 НОМ; АСМ 7/5 НОМ; АСМ 5/3 НОМ; АСМ 3/2 НОМ по ГОСТ 25593 в несколько проходов с переходом последовательно от крупнозернистого к мелкозернистому абразивному материалу.

2. Производят подготовку полировочной жидкости, размешивая в 1 л дистиллированной воды 10-20 г окиси хрома Cr₂O₃ или окиси алюминия Al₂O₃. Наиболее тонкий равномерной зернистости абразив получается при отстаивании смеси в течение 6 часов.

3. Затем контролируемая поверхность микрошлифа полируется с помощью сукна смоченной полировочной жидкостью хорошего качества на полировальном станке с направлением полирования перпендикулярным рискам на микрошлифе с частотой вращения диска 800-1000 об./мин.

4. Далее поверхность промывается горячей водой, температурой около 40°C без моющих средств.

5. Травление производят с помощью 2-4% раствора азотной кислоты в этиловом спирте. Микрошлиф после промывания горячей водой опускают в раствор. Продолжительность травления – 45 секунд.

6. После травления реактив с микрошлифа удаляют водой, затем протирают ватным тампоном и сушат с помощью фильтровальной бумаги или сухим воздухом.

7. Исследование производят с помощью металлографического микроскопа при увеличении 100-1000.

Работая с приспособлением, показанном на рисунке 4.2, определяем геометрические размеры шва (таблица 4.2).

Таблица 4.2- Геометрические размеры сварного соединения

S, мм	e, мм	e ₁ , мм	q, мм	q ₁ , мм
0,12	0,13	0,01	0,06	0

На рисунке 40 видно, как хорошо выделяется зона расплавленного металла и зона термического влияния (структура подверглась термическому влиянию).

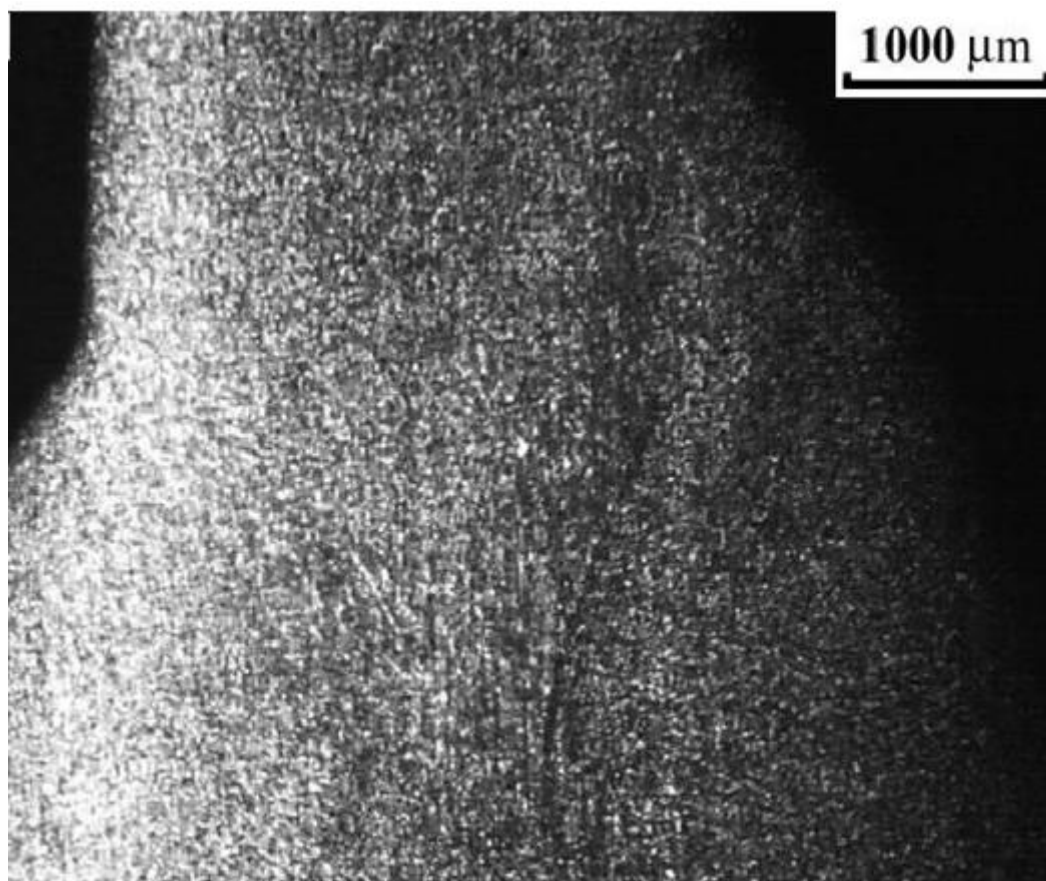


Рисунок 40 – Макроструктура сварного шва

В местах, удаленных от сварочного шва на 15 – 20 мм., структура металла соответствует структуре горячекатаной стали 12Х18Н10Т. Сварка не оказала на нее никакого влияния. Структура представлена полиэдрическими сдвойникованными аустенитными зернами, характерные размеры которых не превышают 25 мкм. На рисунке 41 изображена микроструктура основного металла.

В местах, удаленных от сварочного шва на 15 – 20 мм, структура металла соответствует структуре горячекатаной стали 12Х18Н10Т. Процесс сварки не оказал на нее никакого влияния. Структура представлена полиэдрическими сдвойникованными аустенитными зернами, характерные размеры которых не превышают 25 мкм. На рисунке 41 изображена микроструктура основного металла.

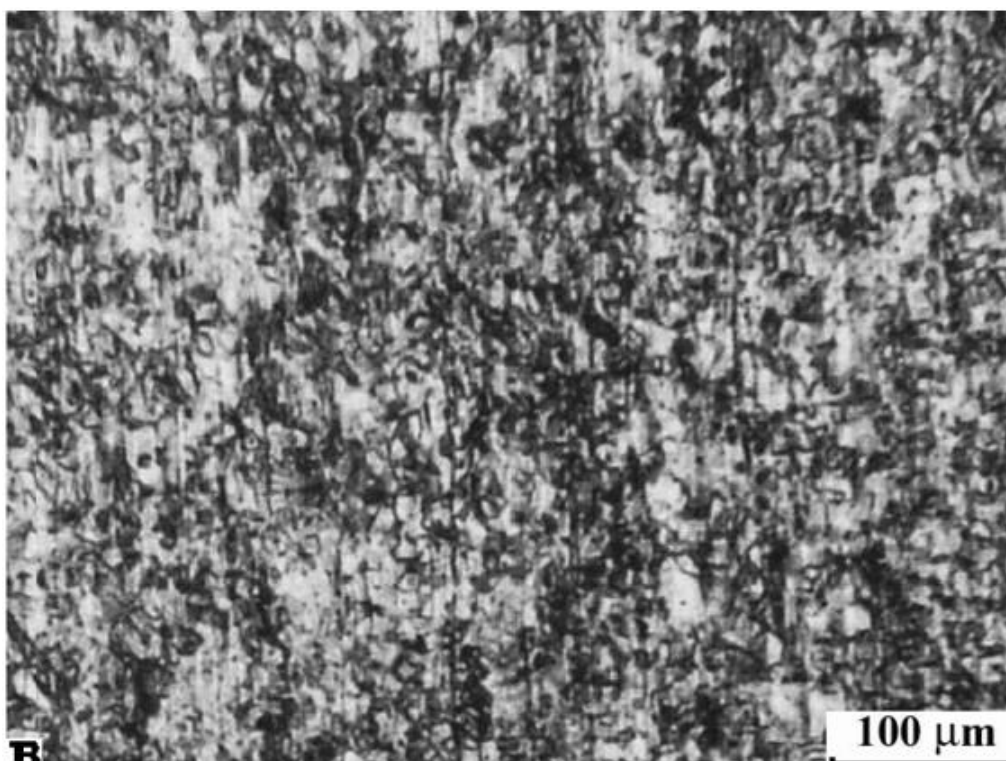


Рисунок 41 – Микроструктура основного металла

Сильный рост зерен произошел в зоне термического влияния. На рисунке 42 видно, что аустенитные зерна в зоне термического влияния полэдрические сдвойникованные. Их размеры могут превышать 150 мкм.

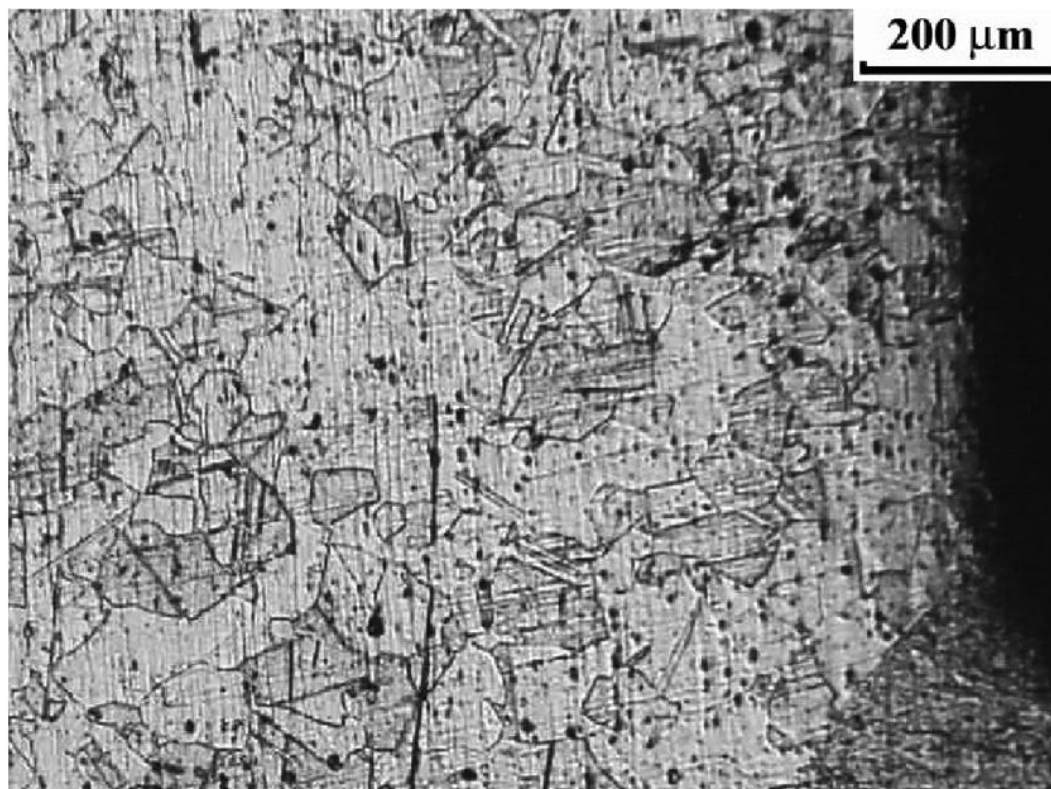


Рисунок 42 – Зона термического влияния

В сварном соединении переход от зоны термического влияния к основному металлу происходит без резких границ. Минимальная ширина зоны термического влияния показана на рисунке 43.

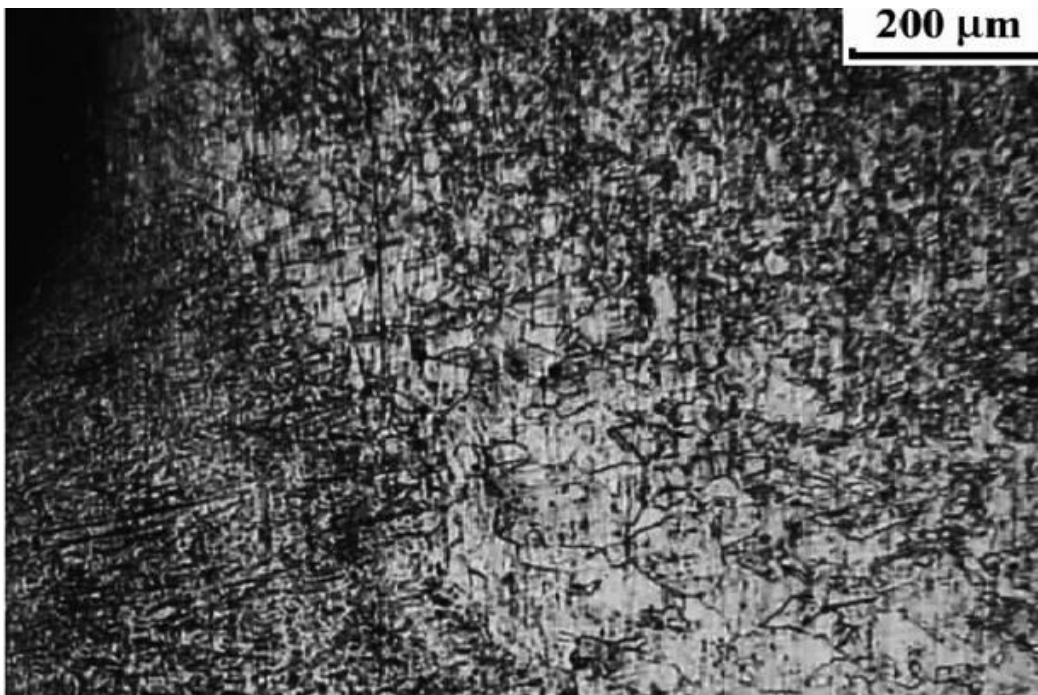


Рисунок 43 – Минимальная ширина зоны термического влияния.

На рисунке 44 приведена максимальная ширина зоны термического влияния.

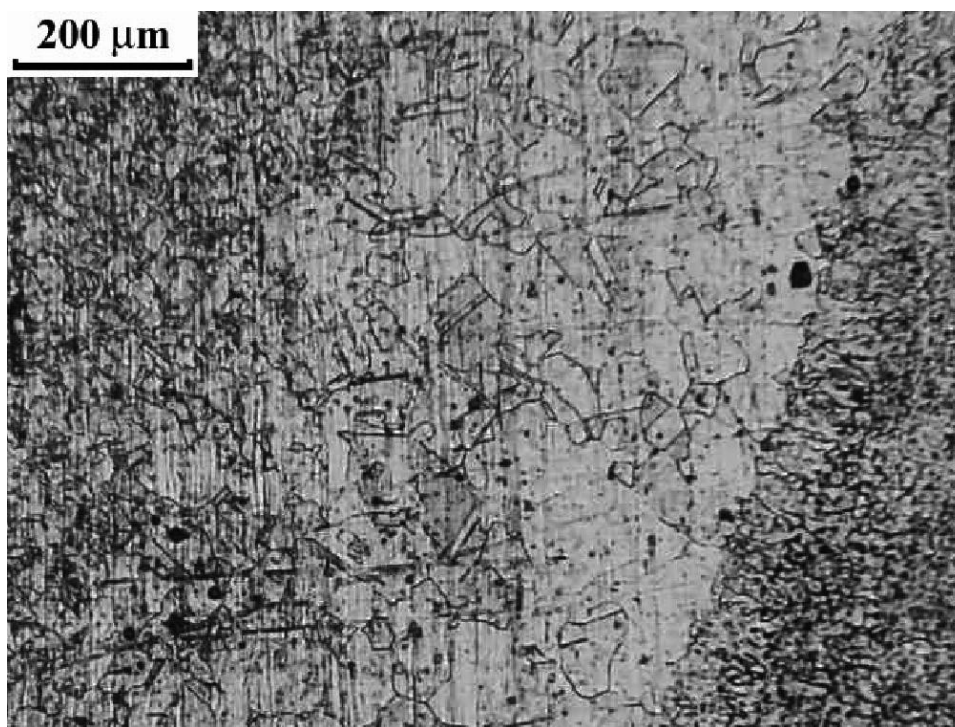


Рисунок 44 – Максимальная ширина зоны термического влияния

Металлографический анализ показал, что параметры режима необходимо выбирать для минимальной ширины зоны термического влияния. Эти параметры режима сварки непрерывной сжатой дугой приведены в таблице 4.1 для $S = 0.12$ мм.

«Известно, что при сварке сжатой дугой в импульсном режиме термический КПД на 30-40% выше, чем термическое КПД сжатой дуги непрерывного действия. Также установлено, что при сварке тонкостенных материалов введение в металл тепловой энергии в импульсном режиме повышает КПД самого процесса проплавления металла» [5]. Использование сварки в импульсном режиме дает значительное увеличение проплавляющей способности сжатой дуги при меньшей зоне теплового воздействия, что повышает стабильность процесса сварки особотонкостенных труб. В таблице 4.2 приведены параметры режима сварки импульсной дугой

Таблица 4.2- Параметры режимов сварки сжатой импульсной дугой

$d_{тр}$, мм	S , мм	I_d , А	U_d , В	тип. с	$t_{пс}$	Идд А	Q_{Ag} , л/мин	Q_{Ag} л/мин	$V_{св}$, м/ч
	0,4	40-60	24	0,04-	0,04-	1-4	0,2	1,1	20-22
		40	23	0,12	0,06	2	0,2	1,1	20
34	0,6	26-30	26	0,2	0,4	3	0,2	1.1	20-23
70,7	0,35	22-25	28	0,6			0,2	1.2	
	0,3	25	24	0,14	0,14	1,0	0,2	1.0	19
	0,12	15-18	26	0,04	0,04	2.0	0,2	1.1	18

$$d_w = 1,2 \text{ мм}, \quad d_c = 3 \text{ мм}$$

Для определения параметров режима сварки сжатой импульсной дугой $S = 0,12$ мм проведены эксперименты на образцах. Режимы сварки сжатой дугой приведены в таблице 4.2. Важным фактором при выборе режима

сварки особотонкостенных труб является «жесткость режима». «жесткость режима»-это отношение длительности паузы $t_{\text{п}}$ к длительности импульса $t_{\text{имп}}$. «Объясняется это тем, что с увеличением жесткости режима сварки, повышается проплавляющая способность сварки» [14]. Таким образом, снижается зона пластической деформации, и коробление кромок. Увеличение длительности импульса, способствует увеличению глубины проплавления металла. Стоит отметить, что при этом ширина шва меняется незначительно.

На рисунке 45 показан внешний вид сварного соединения. Однако, импульсный режим сварки сжатой дугой для сварки трубы с непрерывной подачей ленты рекомендовать нецелесообразно из-за низкой скорости сварки, что в свою очередь влечет за собой такие последствия как невыполнение производственного плана. Хотя качество сварного соединения превосходит режим сварки непрерывного горения.



Рисунок 45 - Внешний вид сварного соединения при сварке импульсной дугой

Таким образом, следует отметить, что процесс сварки сжатой дугой в импульсном режиме расширяет возможности в управлении технологическим процессом. Но выбранный режим снижает производительность изготовления сварной трубы, за счет снижения скорости сварки. «Качественное формирование при таком режиме обеспечивается на более низких скоростях сварки, по сравнению со сваркой сжатой дугой непрерывного действия» [2].

В связи с чем, следует спроектировать технологический процесс для серийных и бесперебойных поставок особотонкостенной трубы. Технологический процесс должен быть спроектирован в магистерской диссертации с учетом всех ранее описанных особенностей.

4.2 Проектирование технологического процесса изготовления особотонкостенной трубы

Технологический процесс изготовления особотонкостенной трубы включает в себя определенную последовательность операций, которая обеспечивает получение качественной детали или изделия. При разработке технологического процесса подробное описание дается на все основные операции. Вспомогательные операции описываются отдельно и лишь частично включены в состав технологического процесса. Примером в данной диссертации вспомогательной операции служит предварительное травление ленты и перемотка ее в новую кассету. В данном технологическом процессе учтено, что лента уже поступила с промытой поверхностью и обезжиренная.

Начинается технологический процесс с входного контроля ленты. Исходная ширина ленты для трубы диаметром 55мм составляет 172,7 мм с допуском $\pm 0,05$ мм. Также допуск на толщину стенки 0,12мм составляет 0,012 мм. Контроль требуемых размеров осуществляется с помощью поверенных средств измерения. Если поставка ленты для данной трубы осуществляется разными заводами, то заказчиками допуски устанавливаются индивидуально, чаще всего данный пункт согласовывается в ТУ на изделие. Контролировать при входном контроле необходимо не только геометрию исходной ленты, но и качество поверхности ленты.

Требования к поверхности ленты: лента должна быть без деформации на торцах, на поверхности не допускаются механические повреждения, превышающие допуск на толщину стенки. Не допускаются окалины, рванины, царапины, надрывы, глубокие риски, раковины, впадины. Поверхность должна быть однородного металлического цвета. Внешний вид

и геометрические размеры, проверенные службой качества, проверяются до введения рулона в работу, то есть до его установки на разматывающее устройство и последующих технологических операций. Все результаты измерений вносятся в документации службы качества. Это позволяет соблюдать качество поставляемой ленты и обнаруживать дефекты на последующих технологических операциях, что позволяет найти не стыковки или ответственного, под чьим руководством бракованный материал был принят в работу. Также в начале серийных поставок, если деталь относительно недавно была освоена заводом изготовителем, необходимо производить контроль механических свойств на каждую плавку ленты. Контроль механических свойств может производиться как на сторонней лаборатории, так и на собственной, при условии, что у нее имеются необходимые аккредитаций допуски к работе. После того, как все записи размеров сохранены в документации, службам качества, необходимо отрезать часть ленты для хранения. Делается эта операции на каждую плавку ленты для того, чтобы при несоответствии механических свойств можно было легко понять, с какой плавкой необходимо произвести дальнейший анализ и принять последующее решение проблемы. Хранение части ленты производится в течении шести месяцев. После чего образцы ликвидируются.

Перемещение ленты в зону хранения заготовок на погрузчике. Перед перемещением необходимо обеспечить надежную фиксацию ленты на поддоне или евро паллете. Допустимая масса перемещение ленты регламентируется индивидуально каждым предприятием. Все зависит от техники. Перемещение ленты подразумевает полное соблюдение техники безопасности и допуска к работе только квалифицированных рабочих. Наличие средств индивидуальной защиты строго необходимо.

Хранение ленты. После того как ленты прошла входной контроль, признана годной и была перемещена в зону хранения заготовок, необходимо описать требования к помещению. Помещение должно быть отапливаемым,

влажность воздуха не должна превышать 85%, а температура не более 30°C для региона Самарской области, согласно ГОСТ 10692-2015 «Трубы стальные, чугунные и соединительные детали к ним. Приемка, маркировка, упаковка, транспортирование и хранение». Помещение должно быть оборудовано всем необходимым и достаточным для безопасного хранения ленты. Наличие специальных пеналов с цепями для безопасного хранения ленты обязательно. Контроль влажности воздуха и температуры склада необходимо контролировать как минимум в начале рабочей смены и в конце рабочей смены. Контроль производится термометром и гигрометром службой склада и службой качества. Важно, что все средства измерения должны быть поверенные и допущенные к работе. В случае если прибор показывает отклонения по влажности воздуха или же по температуре, выходящие за границы допустимого, разрабатывается необходимый комплекс мер для устранения избыточной влажности в помещении. Комплекс мер представляет собой мероприятия такие как, наличие мешков соли для впитывания излишней влаги или же вентиляции, или специальных пушек. Также немаловажным пунктом является требование по соблюдению принципа FIFO. Использование принципа FIFO (First In, First Out -первым пришёл - первым ушёл) широко распространено в складской логистике. Суть данной системы отгрузки заключается в том, что грузополучателю в первую очередь направляется продукция, которая пришла первой. Время пребывания товарной партии на складе сокращается.

Перемещение ленты со склада на производственный участок разрешается производить двумя возможными методами транспортировки – кран - балкой или погрузчиком. Место для хранения заготовок перед работой показано на рисунке 46. Следует помнить о соблюдении требований по технике безопасности и допуске к работе только квалифицированных специалистов.



Рисунок 46 – Зона хранения ленты перед введением в работу

Установка ленты на разматыватель. Перед установкой ленты в разматывающее устройство, а именно в его накопитель, с ленты снимается вся упаковка и жгуты, которыми обвязаны ленты, с целью устранения ее размотки. Установка рулона производится в барабан, в середине которого установлены цанги. После того, как лента установлена и «наживлена» на разматыватель, оператор с помощью пульта производит раздачу цанг и тем самым рулон плотно устанавливается в данном оборудовании. На рисунке 47 показан разматывающий барабан.



Рисунок 47 – Разматывающий барабан

Установка ленты в барабан и его фиксация показаны на рисунке 48. На этом же рисунке представляется возможным наблюдать процесс размотки.



Рисунок 48 – Установка рулона в барабане

После того, как оператор установил ленту в барабан, он производит установку свободного конца ленты в разматывающее устройство. Принцип действия заключается в протягивании через ролики свободного конца ленты через все устройство и перемещение свободного конца ленты в зону сварки двух стыков лент. Разматывающее устройство показано на рисунках 49 и 50.



Рисунок 49 – Установка свободного конца ленты в разматывающее устройство



Рисунок 50 – Протяжка ленты через устройство

После завершения установки и протягивания ленты через разматывающее устройство, служба качества повторно осуществляет контроль ленты в размотанном состоянии. После того как лента прошла через разматывающее устройство, ее свободный край подается в зону сварки двух стыков лент.

Сварка двух стыков лент. В данной технологической операции производится сварка свободного конца новой кассеты ленты и оставшегося конца старой ленты. Производится сварка в среде аргона неплавящимся электродом. В зоне сварки стыкуются два свободных конца ленты и зажимаются специальным прижимным механизмом. Далее происходит сварка двух стыков и дальнейшая маркировка поперечного сварного шва. Маркировка осуществляется двумя способами. Первый, это ферромагнитной краской, второй, это обычной краской по металлу яркого цвета. Необходимо это для опознавания поперечного шва после сварки трубы, чтобы сразу отсортировать поперечный стык и не допустить его к остальной годной продукции. Лентостыковочное устройство показано на рисунке 51.



Рисунок 51 – Лентостыковочное устройство

Сварка стыка происходит согласно карте режимов, составленной технологической службой. После того как сварка стыка была успешно произведена, лента с помощью подающего устройства направляет ее в так называемый накопитель. Подающее устройство показано на рисунке 52.



Рисунок 52 – Подающее устройство

Накопитель спирального типа действует по принципу того как лента входит в накопительный барабан и затем с другой стороны подается в формовочную клеть. Накопитель исходной ленты показан на рисунке 53 и 54 соответственно.



Рисунок 53 – Подача ленты в накопитель



Рисунок 54- Накопитель спирального типа

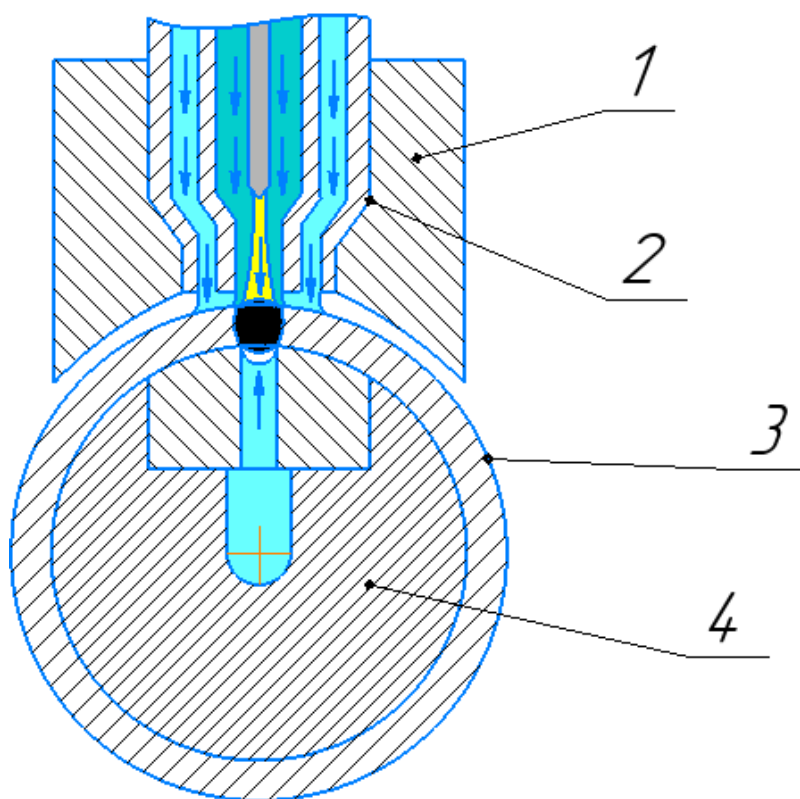
С помощью подающего механизма лента направляется в формовочную клетку. В состав формовочной клетки входят формовочные ролики, которые устанавливают согласно схеме формовки трубы диаметром 55мм. Формовочная клетка указана на рисунке 55. По расчетам, проведенным в работе количество пар формирующих роликов для диаметра 55мм составляет 5, количество пар промежуточных роликов, как правило соответствует количеству формирующих.



Рисунок 55 – Формовочная клетка

После того как лента проходит через формовочную клетку и кромки ленты сформованы для сварки трубы, происходит пробный запуск сварки кромок ленты в трубу.

Запуск сварки трубы. После того как формовочная клетка обеспечила формовку ленты и подвод кромок в зону сварки, внутри будущей трубной заготовки устанавливается штанга с подачей инертного газа внутри трубы. Кромки проходят фильеру и подводятся в зону сварки, к доработанному плазматрону. На рисунке 56, показан схема участка сварки.



- 1- Ползун для сварки; 2- Горелка плазматрона; 3- Свариваемая труба; 4 – штанга с подачей газа.

Рисунок 56 – Схема участка сварки трубы

Стоит отметить, что все действия при наладке производятся наладчиками в ручном режиме. Производится это для более точной настройки трубосварочной линии к сварке трубы, если до этого в сменном задании была совершенно другая позиция. Кромки встык подводятся к зоне сварки. Далее производится пробный запуск. Установка параметров режима осуществляется согласно технологической карте. После того, как был

произведен пробный запуск и прохождение всех технологических операций, полученные трубы в количестве 5-10 штук проходят контроль первой партии деталей. Контроль осуществляется службой качества и оператором совместно.

По результатам эксперимента с соблюдением технологического процесса сварки особотонкостенной трубы диаметром 55мм и толщиной стенки 0,12мм, была получена труба с качественным сварным соединением. Фрагмент полученной трубы представлен на рисунках 57,58.



Рисунок 57 – Внешний вид сварного соединения трубы диаметром 55мм с толщиной стенок 0,12 мм



Рисунок 58 – Внешний вид корня шва трубы диаметром 55мм с толщиной стенок 0,12 мм

Контроль первой детали. Процесс контроля первой детали включается в себя контроль всех геометрических параметров, необходимых для обеспечения качественной заготовки. Служба качества, с помощью поверенного средства измерения производит контроль геометрических параметров и внешнего вида изделия. На поверхности не допускаются закаты, прожоги, непровары, риски от формовочных валков. Поверхность должна быть однородного блестяще – металлического цвета. Также, контроль производит и оператор. Параметры для контроля, которые необходимо произвести оператору – это качество сварного соединения. Производится данный контроль методом раздачи на конусной оснастке трубы, с целью проверки прочности сварного соединения. Отдельные требования по раздаче трубы на определенные детали, оговариваются

отдельно в ТУ на изделие. Оборудование для раздачи участка трубы - стандартный пресс. Пресс указан на рисунке 59.



Рисунок 59 – Пресс для раздачи участка трубы.

После проверки сварного шва на прессе путем раздачи участка трубы, записи о контроле, режимах сварки и получении первой годной детали, записываются в производственном журнале. Возможные дефекты в процессе наладки трубосварочной линии представлены на рисунке 60.

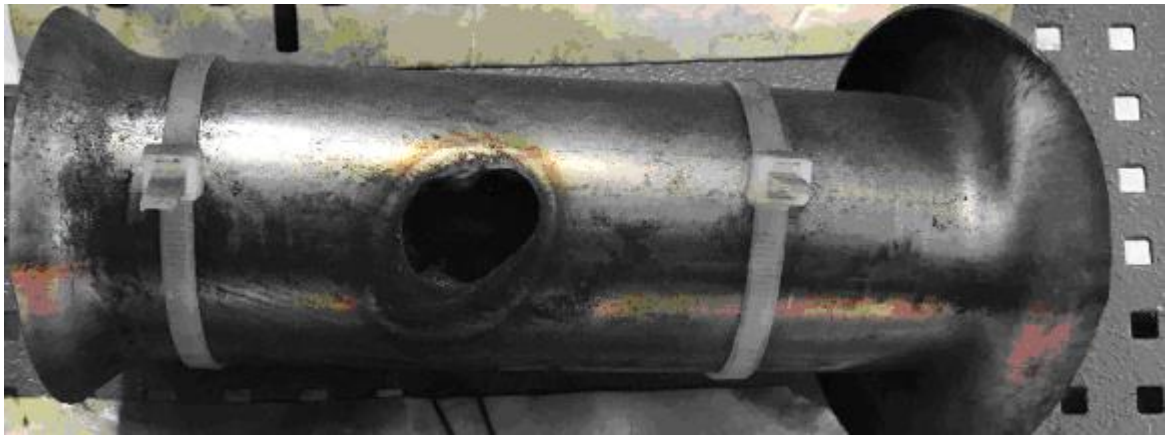


Рисунок 60 – Дефекты при запуске линии сварки

В случае, если свариваемая труба не проходит по требованиям, или имеются отклонения по геометрическим размерам, либо происходит сварка некачественного сварного соединения, производится дальнейшая наладка, до получения первой годной детали.

Идентификация первой годной детали. Данный процесс происходит только после получения положительных результатов геометрических размеров и тестах сварочного шва. Первая годная деталь хранится на специально отведенном месте и хранится на протяжении всей смены. Также первая годная деталь выступает как контрольный образец внешнего вида. В случае остановки линии, процесс получения первой годной детали проходит заново. После того как смена подходит к концу, первая годная деталь отправляется в поток к остальной партии, либо если это сегмент трубы, а не целая длинномерная труба, он просто утилизируется.

Сварка трубы в автоматическом режиме. Сварка трубы в автоматическом или в серийном бесперебойном режиме, происходит только после того как была получена и утверждена службой качества первая годная деталь. В процессе серийного производства трубы необходимо производить периодический контроль с выборкой. Контроль геометрических параметров и

контроль качественного провара трубы с помощью раздачи на прессе. Стоит отметить, что контроль шва с раздачей происходит на участке трубы, где был стык двух лент. В вышеописанном технологическом процессе магистерской диссертации было отмечено, что стык двух лент помечается краской. Оператор звуковым оповещением (звонком) оповещает о том, что стык двух лент был сварен в трубу и направляется на порезку в размер. Этот стык с визуальным сопровождением, изолируется от основной партии труб и проходит тест на раздачу на прессе. Таким образом, исключается попадание стыков двух лент в серийную поставку труб. В серийном процессе сварки особотонкостенной трубы после участка сварки далее труба проходит так называемую секцию охлаждения или холодильник. Охлаждающая камера служит для снятия остаточных напряжений в процессе сварки трубы в зоне шва. Жидкость для охлаждения трубы – СОЖ. Охлаждающая камера показана на рисунке 61 и 62.

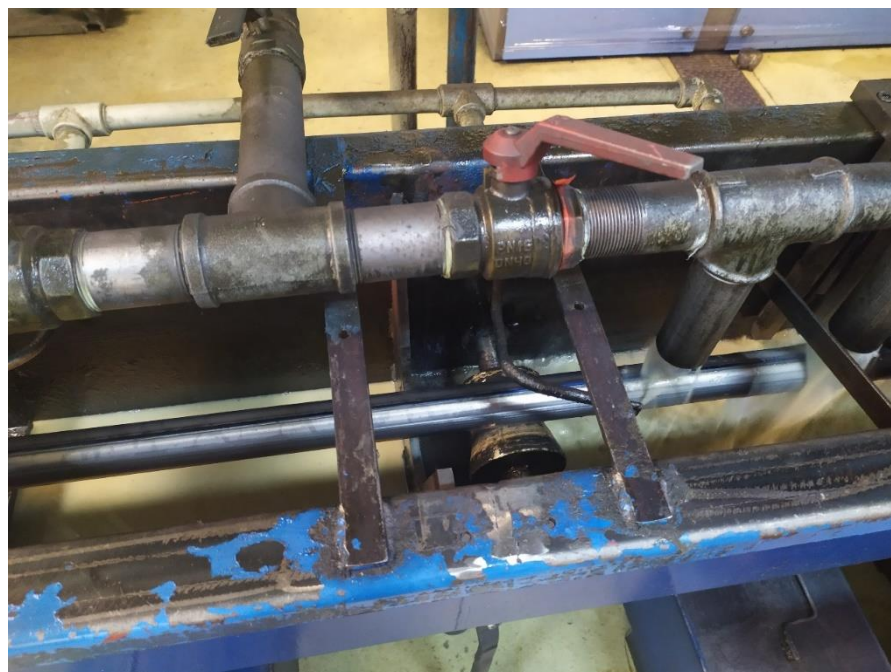


Рисунок 61 – Охлаждающая камера



Рисунок 62 – Охлаждающая камера

После того как сваренная труба прошла камеру охлаждения, следует следующий этап – калибровка. В калибровочном участке трубосварочной линии происходит так называемое доведение всех необходимых геометрических параметров до требуемых значений. Принцип действия данного участка линии практически не отличается от формовочной клетки. В данном участке также находятся сменные модули, которые в зависимости от того, на какую величину диаметра трубы необходимо произвести наладку, устанавливаются и проводится калибровка трубы. Калибровка происходит за счет калибровочных валков. На рисунке 63 показана зона калибровки трубы.



Рисунок 63 – Калибровочная клетка стана

Выход трубы после калибровки показан на рисунке 54.

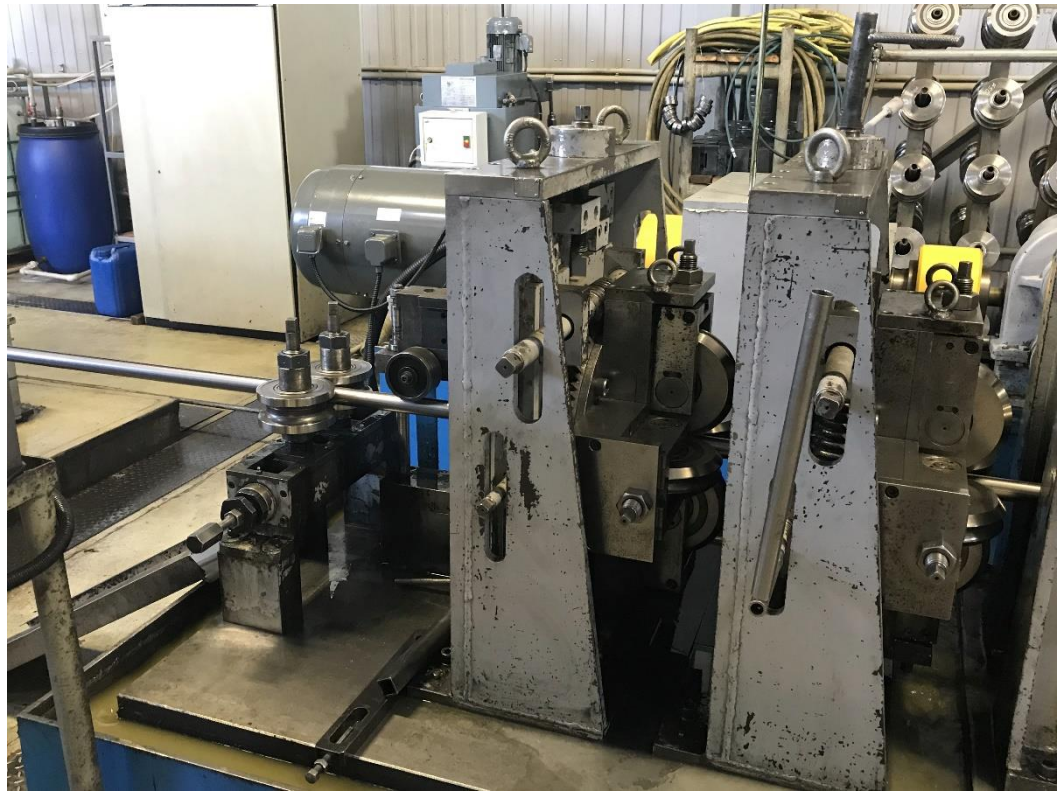


Рисунок 64 – Выход откалиброванной трубы

После того как была произведена калибровка трубы и доведение геометрии до номинальных размеров или находящихся в полях допусков, необходимо произвести 100% контроль сварочного шва и остальной поверхности с помощью вихретокового дефектоскопа. Устанавливается прибор непосредственно в линию сварки трубы и весь сегмент трубы таким образом проходит через данное оборудование. Установка имеет также дисплей для удобства мониторинга поверхности сваренной трубы и обеспечения 100% качества. Вихретоковый дефектоскоп в составе

трубосварочной линии показан на рисунке 65.

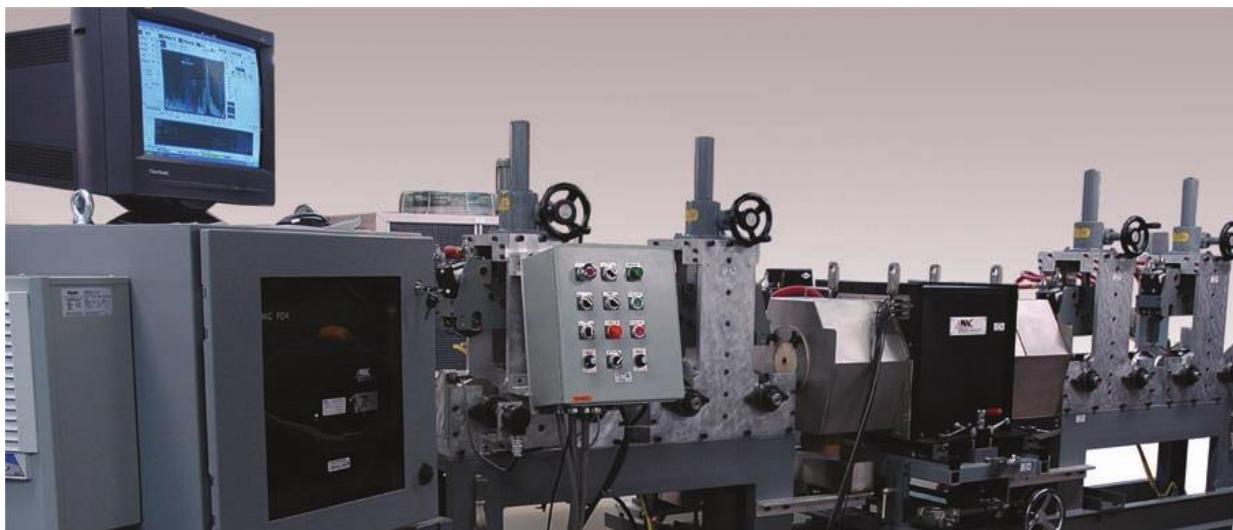


Рисунок 65 – Вихретоковый дефектоскоп в составе линии сварки

Таким образом контроль производится всей поверхности, что дает усиленный контроль к поверхности ленты и обеспечивает отсутствие дефектов на поверхности и несоответствия внешнего вида.

После того как труба проходит 100% контроль с помощью дефектоскопа, далее производится резка готовых труб в необходимый типоразмер. Как правило, длина таких хлыстов порядка 5 – 6 метров. Отрезная пила в составе линии обеспечивает стабильный размер реза и как следствие стабильную длину заготовок. Отрезная передвигающаяся пила указана на рисунке 66.



Рисунок 66 – Отрезная пила в составе линии сварки

После резки в необходимый размер следует контроль на герметичность сваренного шва трубы. Контроль производится путем опускания порезанной трубы в ванну с СОЖ, предварительно на торцы трубы одеваются заглушки для герметичности, труба с заглушками находясь в ванне некоторое время не должна пропускать воздух и, соответственно, не должны быть видны никакие пузыри, всплывающие на поверхность трубы. Контроль данного типа обеспечивает получение 100% качества поставок, ведь будущая деталь из данной трубы – сиффон топливной системы. Контроль такого типа осуществляется с периодичностью с необходимой и достаточной для получения качественной продукции.

Затем пройдя контроль на герметичность, готовая трубная заготовка переходит в накопитель, где происходит ее упаковка или подругому обвязка

труб в пачки с дальнейшей упаковкой. Упаковочная зона и окончательный этап сварочной линии указан на рисунке 67.



Рисунок 67 – Зона упаковки готовых труб

После того, как трубы упакованы, необходимо переместить их на специально отведенные для хранения стойки. Перемещение таких пачек осуществляется с помощью кран-балки. Соблюдение техники безопасности – обязательное требование к данной операции. Необходимо отметить, что при любой работе операторов или инженерного состава, необходимо соблюдать стандарты работы, технику безопасности, наличие высокой квалификации для сварки таких непростых позиций.

Таким образом, технологический процесс изготовления трубной заготовки из непрерывно движущейся ленты наглядно можно представить в

виде схемы, которая дает полное и наглядное представление о процессе получения трубной заготовки из ленты показана на рисунке 68.

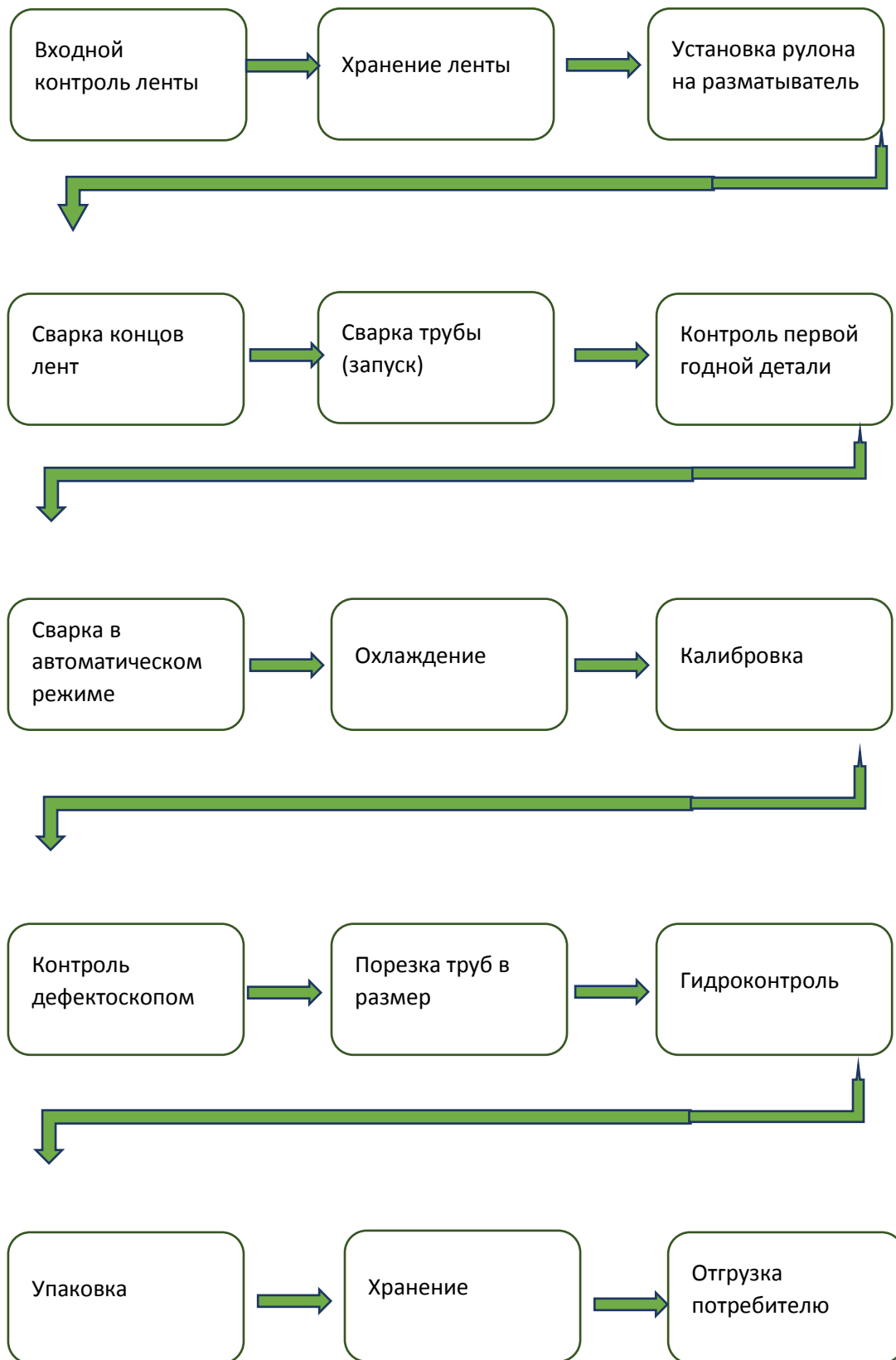


Рисунок 68 – Схема изготовления трубной заготовки из ленты

Получение качественного сварного соединения дало результат благодаря использованию модернизированного ползуна, горелки, сварки сжатой дугой как в непрерывном так и импульсном режимах. Получение качественного сварного соединения удастся осуществить путем обеспечения качественного подвода кромок к зоне сварки. Данным способом удалось избежать коробления и как следствия дефектов сварного шва. Немаловажную роль в процессе сварки играет модернизация штанги, которая, благодаря подачи газа внутри трубы, обеспечивает качественное формирование корня шва, без прожогов и провисаний расплавленного металла. На рисунке 69 наглядно показано, как сформировался корень шва.



Рисунок 69 – Формирование корня шва с помощью штанги

После сварки данной трубы в серийном производстве, необходимо обеспечить контроль механических свойств.

Заключение

В ходе в данной магистерской диссертации были постепенно раскрыты все этапы получения качественного сварного соединения. Были проделаны опыты с последующими исследованиями формирования сварного соединения в осотонкостенной трубе. Были определены возможные способы сварки, также были рассмотрены особенности выбранного способа. Исходя из особенностей, были рассмотрены возможные проблемы и недочеты технологии, как формирования ленты, так и самого способа сварки.

На основании выявленных проблем, были определены корректирующие действия, такие как выбор и доработка сварочного оборудования, доработка формующей части и обеспечение качественного соединения с помощью контроля.

Также в ходе проделанной работ был проведен опыт по сварке образцов, с последующим изготовлением образца для исследования.

Таким образом, полученная сварная труба, выполненная по вышеописанной технологии магистерской диссертации с точки зрения микро- и макроструктуры, является качественной. В шве отсутствуют сварочные дефекты, сварной шов имеет мелкодисперсную дендритную структуру, а зона термического влияния переходит к основному металлу плавно, без резких границ. Учитывая все особенности формирования сварного соединения осотонкостенной тубы из стали 12X18Н10Т, было получено качественное сварное соединение.

Выводы

В данной выпускной квалификационной работе были достигнуты поставленные цели и задачи:

- 1) Были рассмотрены особенности процесса, а также проведен анализ конструкции сварки и произведена необходимая доработка оснастки для качественного формирования шва.

- 2) Был произведен анализ, позволяющий произвести подбор необходимого источника питания, также была произведена доработка конструкции для сварки.
- 3) Были проведены необходимые опыты как по сварки, так и по исследованию формирования сварного соединения. Далее был спроектирован технологический процесс для сварки трубы в серийных поставках.

На основании выполненных задач, можно сказать, что цель магистерской диссертации - исследование особенностей формирования сварного соединения в легированных особотонкостенных трубах, можно считать выполненной.

Список используемых источников

1. ГОСТ 5632—72 Стали высоколегированные и сплавы коррозионностойкие, жаростойкие и жаропрочные. Марки. [Текст]. – Москва: Стандартинформ, 2004. - 29 с.
2. Дудко Д.А. Сварка особо тонкостенных труб. – Москва: Машиностроение, 1977. – 131 с.
3. Методические указания по оформлению выпускных квалификационных работ по программам бакалавриата, программ специалитета, программ магистратуры. – Тольяттинский государственный университет, 2020. – 39 с., ил.
4. Ваткин Я. Л., Ваткин Ю. Я. Трубное производство. М., «Металлургия», 1970. 512 с.
5. Вербицкий В. Г. Исследование процесса сварки сжатой дугой им-пульсного действия. — В кн.: Теория и практика сварочного производства. Труды Челябинского политехнического института, вып. 82, 1969, с. 79—81.
6. Губенко В. А., Багрянский К. В. Двойное дугообразование при газо-электрической резке. — «Сварочное производство», 1965, № 3, с. 25—26.
7. В. Г. Вербицкий, М. И. Ланда, Р. Ю. Тухметов, Н. Ш. Ардаширов. Исследование влияния некоторых факторов на стойкость керамических сопел формирующих сжатую дугу. Труды УАИ, вып. 33, Уфа, 1972, с. 3—9.
8. Крюков А. И., Глинкин И. М., Фионин В. И. Гибкие металлические рукава. М., «Машиностроение». 1970. 204 с.
9. Львов Н. С. Автоматизация контроля и регулирования сварочных процессов. М., «Машиностроение», 1973. 128 с.

10. Матвеев Ю. М., Ваткин Ю. Я., Кричевский Е. М. Сварные трубы. М., «Металлургия». 1972. 184 с.
11. В. Г. Вербицкий, Н. Ш. Ардаширов, В. П. Тулупов, Б. И. Шнайдер, Ю. Е. Годлис, Г. А. Славин. Микроплазменная сварка особотонкостенных труб. — «Автоматическая сварка», 1975, № 12, с. 43—45.
12. В. Г. Вербицкий, В. М. Бычков, Н. Ш. Ардаширов, Б. И. Шнайдер. Определение эффективности системы охлаждения сварочных горелок. — «Автоматическая сварка», 1973, № 3, с. 28—30.
13. Петров Г. Л. Сварочные материалы. М.—Л. «Машиностроение», 1972. 280 с.
14. Петров А. В., Славин Г. А. Исследование технологических возможностей импульсной дуги. — «Сварочное производство», 1966, № 2, с. 1—4.
15. Петров А. В., Славин Г. А., Вербицкий В. Г. Исследование тепловой эффективности процесса сварки сжатой дугой тонколистового материала. «Сварочное производство», 1967, № 2, с. 6—8.
16. Д. А. Дудко, Б. И. Шнайдер, Р. Ю. Тухметов, В. Г. Вербицкий, М. И. Ланда, Р. М. Тимашев. Повышение эффективности газовой защиты сварочных горелок. — «Автоматическая сварка», 1974, № 9, с. 47—49.
17. Б. И. Шнайдер, Ю. Е. Сергеев, В. Г. Вербицкий, А. Л. Гецонок, Г. Х. Яковлев. Регулирование процесса автоматической аргодуговой сварки вольфрамодом тонколистовых изделий с криволинейным контуром.— «Автоматическая сварка», 1970, № 12, с. 15—18.
18. Рыкалин Н. Н. Расчеты тепловых процессов при сварке. М., Машгиз, 1951. 296 с.
19. Сергеев Ю. Е., Бабков Г. Г. Система автоматического регулирования длины непрерывно горящей дуги. — В кн.: Разработка и внедрение прогрессивных методов сварки и изготовления сварных изделий на

- предприятиях машиностроения. Тезисы докладов научно-технической конференции. Омск. 1973, с. 41—44.
20. Типовая методика определения экономической эффективности капитальных вложений. — В кн.: Хозяйственная реформа в СССР. М., «Правда», 1969, с. 289—294.
21. ГОСТ 10006-80 (ИСО 6892-84) Трубы металлические. Метод испытания на растяжение [Текст]. — введ. 1980-01-01. - М.: Стандартиформ, 2010. — 8 с.
22. ГОСТ 1497-84 (ИСО 6892-84) Металлы. Методы испытания на растяжение [Текст]. — введ. 1986-01-01. — М.: Стандартиформ, 2008. — 25 с.
23. ГОСТ 4986—70 Лента холоднокатаная из коррозионностойкой и жаростойкой стали. Технические условия. [Текст]. — Москва: Стандартиформ, 2002. - 13 с.
24. Царенко Р.В. Анализ способов сварки особотонкостенных труб / Р.В. Царенко, Г.М. Короткова // Сварка-пайка-обработка материалов давлением: сборник материалов XIV и XV студенческих научно-технических конференций / под ред. В.В. Ельцова, А.С. Климова. — Тольятти : Изд-во ТГУ, 2019. — 218 с.: обл.
25. R. Venkata Rao. A. G. Kamble. Experimental investigation on the effects of process parameters of GMAW and transient thermal analysis of AISI321 steel [Electronic resource] / A. G. Kamble. — India: Springer, 2018. — 377 p. - Access mode: <https://link.springer.com/article/10.1007/s40436-013-0041-2> - (дата обращения 15.05.2020).
26. Skołyszewski, A., Rumiński, M. & Łuksza, J. Technological and material aspects of production of vibration compensators for exhaust systems. [Electronic resource] / Skołyszewski, A.— Poland: Springer, 2017. — 255 p. - Access mode: <https://link.springer.com/article/10.1016/S1644-9665%2812%2960124-1>- (дата обращения 23.04.2020).

27. Gronostajski, Z., Pater, Z., Madej, L. et al. Recent development trends in metal forming. [Electronic resource] / Gronostajski, Z.– Poland: Springer, 2019. – 110 p. - Access mode: <https://link.springer.com/article/10.1016/j.acme.2019.04.005-> (дата обращения 03.05.2020).
28. Ulas, M., Altay, O., Gurgenc, T. et al. A new approach for prediction of the wear loss of PTA surface coatings using artificial neural network and basic, kernel-based, and weighted extreme learning machine. Friction. [Electronic resource] / Ulas, M.– Turkey: Springer, 2019. – 110 p. - Access mode: <https://link.springer.com/article/10.1007/s40544-017-0340-0> (дата обращения 14.04.2019).
29. Barenji, R.V. Effect of reinforcement amount, mold temperature, superheat, and mold thickness on fluidity of in-situ Al-Mg₂Si. [Electronic resource] / Barenji, R.V.– Turkey: Springer, 2017. – 110 p. - Access mode: <https://link.springer.com/article/10.1007/s41230-018-7095-5> (дата обращения 14.04.2020).
30. Ильященко Д.П. Влияние энергетических характеристик инверторного источника питания на химический состав и микроструктуру сварного шва из стали 12X18H10T // Научно-технический вестник Поволжья. – 2013 – №. 4. – С. 178–180.
31. Национальный институт авиационных технологий. Производственная инструкция Дуговая сварка в среде защитных газов конструкционных, нержавеющей и жаропрочных сталей и сплавов – М.:2000-134с.
32. Кусков В.Н., Мамадалиев Р.А., Обухов А.Г. Переход легирующих элементов в наплавленный металл при сварке стали 12X18H10T // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 11 (9). – С. 1794–1797.
33. Чиркин В. С. Теплопроводность промышленных материалов. М., Машгиз, 1962. 248 с.
34. ГОСТ 21744 – 83 Сильфоны многослойные металлические. Общие технические условия [Текст]. – введ. 1984-07-01. – М.: Государственный

комитет СССР по управлению качеством продукции и стандартам ,
2008. – 25 с.