

Министерство образования и науки Российской Федерации
 Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
 высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
 ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт природных ресурсов
 Направление подготовки (специальность) 21.04.01 «Нефтегазовое дело»
профиль «Надежность и долговечность газонефтепроводов и хранилищ»
 Кафедра Транспорта и хранения нефти и газа

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
«Исследование технологической адаптации автоматической сварки неповоротных стыков магистральных трубопроводов»

УДК 693.814.3

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ4А	Бородина Т.В.		19.05.2016

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Веревкин А.В.	к.т.н, доцент		19.05.2016

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Романюк В. Б.	к.э.н, доцент		19.05.2016

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Крепша Н.В.	к.г.-м.н, доцент		19.05.2016

Консультант-лингвист

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Швагрукова Е.В.	к.ф.н, доцент		19.05.2016

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ТХНГ	Рудаченко А.В.	к.т.н, доцент		19.05.2016

Министерство образования и науки Российской Федерации
 Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
 высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
 ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт природных ресурсов
 Направление подготовки (специальность) 21.04.01 «Нефтегазовое дело»
профиль «Надежность и долговечность газонефтепроводов и хранилищ»
 Кафедра Транспорта и хранения нефти и газа

УТВЕРЖДАЮ:
 Зав. кафедрой

 (Подпись) (Дата) Рудаченко А.В.
 (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

магистерской диссертации

Студенту:

Группа	ФИО
2БМ4А	Бородиной Татьяне Васильевне

Тема работы:

«Исследование технологической адаптации автоматической сварки неповоротных стыков магистральных трубопроводов»	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	от 01.03.2016 г. №1697/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	19.05.2016г.
--	--------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Магистральный трубопровод; 2. Диаметр 1020 мм, толщина стенки 14 мм; 3. Сталь 09Г2С; 4. Автоматическая сварка в среде углекислого газа; 5. Способы адаптации
---	---

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p>1. Химический состав стали и ее свариваемость; 2. Характеристика сварки в защитном газе, выбор сварочных материалов; 3. Анализ комплекса сил, действующих на сварочную ванну; 4. Технология сварки импульсным питанием 5. Расчет режимов сварки и выбор сварочного оборудования; 6. Расчет экономической эффективности</p>
<p>Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>Разделка кромок, условное обозначение сварного соединения С17.</p>

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>	
Раздел	Консультант
«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	Романюк Вера Борисовна, к.э.н, доцент
«Социальная ответственность»	Крепша Нина Владимировна, к.г.-м.н, доцент
Раздел на иностранном языке	Швагрукова Екатерина Васильевна, к.ф.н., доцент

<p>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</p>
<p>Автоматическая сварка в среде защитных газов</p>
<p>Automatic welding in shielding gases</p>

<p>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</p>	<p>01.02.2016</p>
--	-------------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Веровкин Алексей Валерьевич	к.т.н, доцент		01.02.2016

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ4А	Бородин Татьяна Васильевна		01.02.2016

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 122 с., 33 рис., 14 табл., 71 источников, 1 прил.

Ключевые слова: сварка, магистральный трубопровод, строительство, расчет режимов сварки, сварка импульсным питанием, динамическая стабилизация сварочной ванны, ресурсоэффективность и финансовый менеджмент, социальная ответственность.

Объектом исследования является магистральный трубопровод.

Цель работы – определить возможности технологической адаптации автоматической сварки неповоротных стыков магистральных трубопроводов.

В процессе исследования проводились расчеты свариваемости стали и расчеты режимов сварки. Проведено обоснование выбора сварочных материалов и способа сварки. Рассмотрены вопросы разработки технологии для стабилизации сварочной ванны. Проведен анализ ресурсоэффективности данного способа. Приведены мероприятия по охране труда и безопасности строительства, охране окружающей среды, технико-экономическая часть.

В результате исследований автоматической сварки в среде углекислого газа было установлено, что нормального формирования шва можно достичь, изменяя соотношение сил, действующих на сварочную ванну. Варьируя параметрами импульсов и изменяя угол наклона электрода, получена стабильность наплавленного металла в сварочной ванне.

Автоматизация процесса сварки – перспективное направление сварочного производства. Способ сварки в среде углекислого газа импульсным питанием может быть использован для выполнения неповоротных стыков магистральных трубопроводов. Доказана экономическая эффективность, использования автоматического способа сварки импульсным питанием в среде углекислого газа при строительстве трубопроводов. Эта технология так же позволяет значительно экономить и сокращать время выполнения работ.

Оглавление

Оглавление.....	12
ВВЕДЕНИЕ.....	14
1.1 Трубопроводный транспорт.....	16
1.2 Характеристика сварки в среде углекислого газа.....	17
1.3 Автоматизация сварки.....	19
1.4. Достоинства и недостатки сварки в углекислом газе.....	21
ГЛАВА 2. АНАЛИЗ КОМПЛЕКСА СИЛ ДЕЙСТВУЮЩИХ НА СВАРОЧНУЮ ВАННУ ПРИ ИЗМЕНЯЮЩЕМСЯ	23
ПРОСТРАНСТВЕННОМ ПОЛОЖЕНИИ.....	23
2.1 Основные силы действующие на сварочную ванну.....	23
2.1.1. Силовое воздействие дуги.....	23
2.1.2 Поверхностное натяжение.....	25
2.1.3 Вес сварочной ванны.....	26
2.2 Влияние фронта плавления на удержание металла сварочной ванны.....	27
2.3 Формирование результирующей силы действующей на сварочную ванну при изменяющемся пространственном положении.	29
2.4 Удержание сварочной ванны за счет изменения угла наклона электрода.	31
3 ТЕХНОЛОГИЯ СВАРКИ ИМПУЛЬСНЫМ ПИТАНИЕМ.....	34
3.1 Импульсные методы управления.....	34
3.2 Движение металла в сварочной ванне при импульсном питании сварочной дуги в нижнем положении.	36
3.3. Динамическая стабилизация сварочной ванны при сварке в среде углекислого газа с импульсным питанием дуги.	41
3.4 Влияние длительности импульсов на форму сварочной ванны и геометрию наплавленного валика в нижнем положении.	43
3.5 Влияние угла наклона электрода на форму сварочной ванны и геометрию наплавленного валика в нижнем положении.....	45
4. МАТЕРИАЛ И ОЦЕНКА СВАРИВАЕМОСТИ.....	47
КОНСТРУКЦИИ.....	47
4.1 Описание сварной конструкции.....	47
4.2 Понятие свариваемости.....	48
4.3 Материал сварной конструкции сталь 09Г2С.....	49
Таблица 4. 1 - Механические свойства стали 09Г2С.....	51
Таблица 4.2 - Химический состав стали 09Г2С.....	51
4.4 Технологическая свариваемость металла сварной конструкции.....	51
5. РАСЧЕТ РЕЖИМОВ СВАРКИ.....	54

5.1 Расчёт режимов сварки в углекислом газе	54
Чистые сварочные газы	61
Сварочные газы, используемые как компоненты сварочной смеси газов	62
5.2 Выбор сварочного автомата	63
6 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ	68
6.1 Расход сварочных материалов	69
6.2 Расчет затрат на материалы	71
6.3 Расчет времени на проведение мероприятия	72
6.4 Расчет затрат на оплату труда	74
6.5 Затраты на страховые взносы	75
6.6 Затраты на амортизационные отчисления	76
6.7 Затраты на проведение мероприятия	77
7 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ТРУБОПРОВОДОВ АВТОМАТИЗИРОВАННЫМ СПОСОБОМ СВАРКИ В СРЕДЕ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА	79
7.1 Профессиональная социальная безопасность	79
7.1.1 Анализ вредных производственных факторов и обоснование мероприятий по их устранению	80
7.1.2 Анализ опасных производственных факторов и обоснование мероприятий по их устранению	84
7.2 Экологическая безопасность	90
7.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	92
7.4 Законодательное регулирование проектных решений	94
ПРИЛОЖЕНИЕ А	98
2. AUTOMATIC WELDING IN SHIELDING GASES	99
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	117
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	118

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в нашей стране разрабатывается и реализуется много крупных проектов по строительству и ремонту магистральных и промышленных трубопроводов. При этом используются различные способы сварки, такие как ручная электродуговая сварка покрытыми электродами, автоматическая и полуавтоматическая сварка.

Основной задачей всех видов сварки является качественное выполнение неповоротных стыков труб. Главная проблема при этом заключается в том, что при сварке постоянно изменяется пространственное положение сварочной ванны от нижнего до потолочного положения. На сварочную ванну в каждом пространственном положении действует различный комплекс сил. Это осложняет задачу формирования корневого и последующих слоев шва в связи с возникновением прожогов, наплывов и других дефектов сварного соединения.

Для получения заданного качества сварного соединения при автоматической сварке неповоротных стыков труб, нужно разработать такой способ сварки, который бы обеспечивал не только управляемый перенос электродного металла, но так же хорошее формирование сварного соединения в различных пространственных положениях. Чтобы во время сварки сечение шва по длине оставалось постоянным необходимо скорость сварки и ток оставлять неизменным.

Импульсные методы управления процессом сварки удовлетворяют таким требованиям, а так же решают важные технологические проблемы, такие как:

- перенос электродного металла становится управляемым и направленным;
- процесс сварки осуществляется во всех пространственных положениях;
- уменьшается разбрызгивание и потери на угар.

Импульсные методы управления процессом сварки хорошо зарекомендовали себя, но пока они являются не достаточно изученными. Поэтому в магистерской работе проведены исследования по анализу регулирования частоты и длительности импульсов, для обеспечения заданного качества сварного соединения.

Цель работы: Исследование технологической адаптации автоматической сварки в среде углекислого газа с импульсным питанием сварочной дуги для неповоротных стыков магистральных трубопроводов

Задачи:

1. Изучить процесс сварки в среде углекислого газа
2. Проанализировать комплекс сил, действующих на сварочную ванну импульсным питанием.
3. Выполнить анализ условий формирования сварного шва в различных пространственных положениях
4. Определить влияние угла наклона и влияние длительности импульса на формирование шва.
5. Провести финансовый, экономический расчет ресурсоэффективности данного способа
6. Провести анализ социальной ответственности рассматриваемого способа.

1.1 Трубопроводный транспорт

В настоящее время, трубопроводный транспорт нефти и газа находится в интенсивном развитии. По объему грузоперевозок он занимает ведущее место, вытесняя железнодорожный и водный транспорт нефти. Возросшие масштабы строительства трубопроводного транспорта, а так же большая их протяженность, влекут за собой высокие темпы прокладки и хорошее качество сварных швов. Разрабатывается, и реализуются много крупных проектов по строительству и ремонту магистральных и промысловых трубопроводов.

Характеризуются магистральные трубопроводы большой протяженностью в сотни и тысячи километров, диаметром до 1400 мм и выше. На них перекачка ведется не одной, а несколькими станциями, расположенными на трассе.

Высокий темп развития трубопроводного транспорта обеспечивается большим освоением новых месторождений, а так же фактом сильной удаленности месторождений от мест добычи и переработки до мест потребления нефти и газа. Выросла длина трубопроводов, увеличился их диаметр, а так же мощность и рабочее давление. Сегодня, большая часть добываемой нефти и природного газа, транспортируются по магистральным трубопроводам. Трубопроводы диаметром более 1000 мм занимают первые места, длина трубопроводов обычно достигает 5000 км.

По способу изготовления трубы для магистральных трубопроводов делятся на: бесшовные, электросварные с прямым швом и сварные со спиральным швом. По характеру перекачиваемого продукта различают бензопроводы, керосинопроводы и мазутопроводы. Магистральные нефтепроводы подразделяются на четыре класса, в зависимости от условного диаметра трубы:

- 1 класс – трубы диаметром 1000- 1200 мм.
- 2 класс – трубы диаметром 500 – 1000 мм.
- 3 класс – трубы диаметром 300 – 500 мм.

- 4 класс – трубы диаметром 500 – 1000 мм,

1.2 Характеристика сварки в среде углекислого газа

Основным технологическим процессом при строительстве магистральных трубопроводов является сварка. Транспорт нефти осуществляется по магистральным трубопроводам, которые эксплуатируются под высоким давлением до 100 атмосфер. Поэтому к трубам из которых сооружают нефте и газопроводы, а в особенности к их соединениям предъявляются высокие требования. Соединение должно быть герметичным, равнопрочным с металлом труб, чтобы трубы соединялись быстро и экономично. Сварка в среде углекислого газа позволяет получать качественное сварное соединение, для соблюдения всех вышеупомянутых требований.

За последние годы широко внедряются в промышленность различные способы электродуговой сварки в защитных газах: аргоне, гелии, углекислом газе. Применение таких способов во многих случаях позволяет соединять металлы, сварка которых другими способами затруднена, и создает возможности для автоматизации сварочных работ, для которых применение автоматической и полуавтоматической сварки под слоем флюса невозможно.

Сварка в защитных газах может выполняться в трех вариантах: независимой дугой двумя неплавящимися электродами, зависимой дугой неплавящимся электродом и плавящимся электродом. Сварка независимой дугой малопродуктивная и применяется при соединении металла малой толщины. В 1948 г. был разработан высокопроизводительный способ сварки плавящимся электродом в атмосфере инертных газов. Этим способом стало возможным практически сваривать металлы любой толщины, начиная от 0,5—1,0 мм.[50]

Использование газовой защиты дает наибольшую эффективность по производительности и маневренности при сварке тонкой электродной проволокой (1,0—2,5 мм) на большой плотности тока (75—200 а/мм² и более). Однако при сварке в среде инертных газов широко распространенных марок малоуглеродистых сталей возникла пористость швов.

Суть способа сварки в среде углекислых газов состоит в том, что сварочная дуга и расплавленный металл защищаются от негативного воздействия воздуха струей углекислого газа, который подается в зону сварки. Под действием высоких температур углекислый газ разлагается на окись углерода и атомарный кислород. Окись углерода не растворима в жидком металле и защищает сварочную ванну от насыщения атмосферными газами, которые предотвращают образование пористости шва. Атомарный кислород при этом взаимодействует с содержащимися в сварочной проволоке элементами и образует на поверхности сварочной ванны флюсовую пленку из их окислов. Флюсовая пленка защищает сварочную ванну если нарушится поток газа, от порывов ветра или резких движений сварочной горелки.[51]

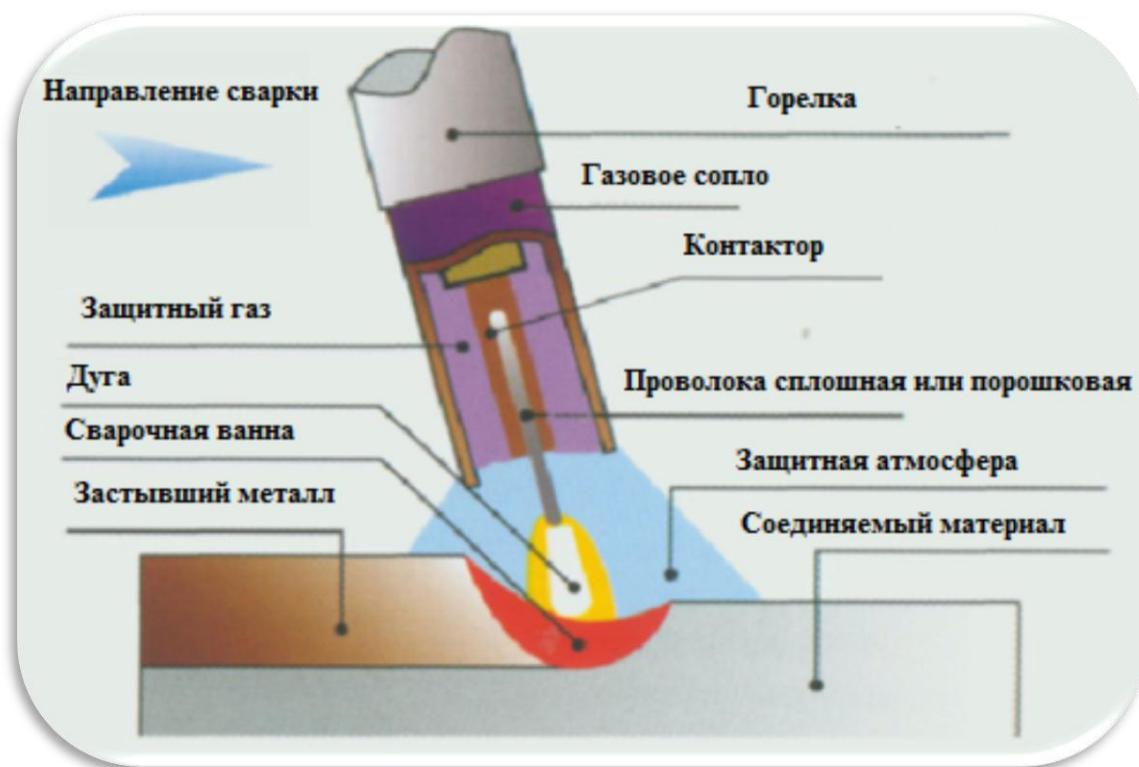


Рисунок 1.1 – Процесс сварки в среде углекислого газа.

На качество сварных соединений существенное влияние, особенно при полуавтоматической сварке, оказывает техника сварки. От расстояния, угла наклона и характера движения горелки относительно свариваемых деталей зависят надежность газовой защиты зоны сварки от воздуха, скорость охлаждения металла, форма шва, условия удаления газовых пузырей и неметаллических включений из сварочной ванны.

Процесс сварки в углекислом газе необходимо вести на короткой дуге. При сварке на токах 200—250 а длина дуги должна быть в пределах 1,5—4,0 мм, так как увеличение длины дуги повышает разбрызгивание жидкого металла и угар легирующих элементов.

Сварка в среде углекислого газа по сравнению с другими методами сварки обеспечивает высокую производительность, считается экономически выгодной благодаря низкой стоимости углекислого газа. Это способствует быстрому ее внедрению при изготовлении сварных конструкций из малоуглеродистых, низколегированных и высоколегированных сталей в широкой промышленности.

1.3 Автоматизация сварки

Автоматическая сварка сейчас занимает все больший сегмент рынка сварки. Причина этому понятна - увеличение производительности и повторяемости операций, а значит и существенная компенсация нехватки квалифицированных сварщиков. Однако, после принятия решения об автоматизации имеющихся сварочных операций, производитель должен выбрать наиболее подходящее применение для его задач: гибкую или фиксированную автоматизацию сварки.

Гибкая автоматизация обычно применяется в качестве сварочных роботов, запрограммированных на сварку нескольких типов изделий. С различными сварочными швами в различных пространственных положениях.

Фиксированная автоматизация обычно применяется, когда требуется выполнять несколько определенных движений по сварочному шву, который имеет высокую повторяемость геометрических форм. Таких форм, как круг, дуга или прямая линия сварочного шва. Хотя данная система тоже может быть очень гибкой и адаптированной к чрезвычайно широкому спектру различных применений, обычно она фиксируется на выполнение этих основных геометрических функций.

Наиболее популярная автоматизация сварки, это компактные сварочные ячейки, где оператор загружает детали и наблюдает за работой одной или нескольких автономных роботизированных сварочных ячеек. Некоторые ячейки могут быть связаны между собой как части более крупной автоматической линии, но эти ячейки, как правило, работают сами по себе и эксплуатируются как независимая система. Они ориентированы на то, что оператор может загрузить детали под сварку в специальное приспособление, без помощи каких либо устройств. Сварочные ячейки обычно требуются под объемы производства от 60 до 400 деталей в час.

В связи с гибкостью программирования сварочного робота, решается, что наиболее важно подвернуть автоматизации. Робот просто помещается на это место, потому что он может быть запрограммирован для сварки всего, что угодно. В конце концов, благодаря наличию нескольких осей, роботы могут дублировать движения человека, держащего сварочную горелку с гораздо большей точностью и повторяемостью.

При выборе между роботом и фиксированной системой автоматизации, рассматривается сварочный шов и конструкция сборки под сварку. Если имеются многочисленные контуры, требующие изменения положения сварочной горелки и сварочных параметров, робот является единственным способом для автоматизации. Однако, если сборка имеет заглушки или сваривается арматура, то фиксированная автоматизация может быть лучшим решением.

Независимо от того, гибкая или фиксированная система автоматизации, обе они требуют точной оснастки для соединения деталей вместе для достижения хороших результатов сварки. Робототехника имеет преимущество в общей гибкости под различные применения. Но для больших объемов одних и тех же повторяющихся задач, фиксированная автоматизация достигает высокого уровня производительности. С меньшими затратами и более низкими требованиями для обучения с точки зрения настройки.

1.4. Достоинства и недостатки сварки в углекислом газе

Сварка в защитных газах позволяет

- получать качественные сварные соединения;
- выполнять сварку в различных пространственных положениях;
- визуально наблюдать за образованием шва;
- работать без затраты времени на засыпку флюса и удаление шлака;
- высокую производительность;
- обеспечивает механизацию и автоматизацию процесса;
- обеспечивает низкую стоимость при использовании активных защитных газов. [2]

К недостаткам способа сварки в защитных газах по сравнению, например со сваркой под флюсом является необходимость применения защитных мер против световой и тепловой радиации дуги. В процессе сварки так же наблюдается небольшое разбрызгивание металла. Данный способ сварки применим, в основном к поворотным стыкам труб, поскольку результатом сварки неповоротного стыка становятся сравнительно низкие механические свойства сварного шва.[2]

В процессе наплавки в среде углекислого газа наблюдается так же ряд положительных моментов:

- отсутствие шлаковой корки, ровный и красивый шов,

- высока производительность труда
- хорошие условия для визуального наблюдения;
- небольшое коробление детали из-за хорошего охлаждения ее газом.[2]

ГЛАВА 2. АНАЛИЗ КОМПЛЕКСА СИЛ ДЕЙСТВУЮЩИХ НА СВАРОЧНУЮ ВАННУ ПРИ ИЗМЕНЯЮЩЕМСЯ ПРОСТРАНСТВЕННОМ ПОЛОЖЕНИИ

2.1 Основные силы действующие на сварочную ванну

При протекании процесса сварки форма и размеры сварочной ванны зависят от многих параметров. В процессе сварки на сварочную ванну действуют множество сил. Основными из этих сил являются [3]:

- а) силы поверхностного натяжения;
- б) вес жидкого металла, силы тяжести;
- в) силовое воздействие сварочной дуги.

Внешняя часть сварочной ванны сильно зависит от действия этих сил. Так как этими силами можно пренебречь выполняя работу в нижнем положении, а вот то при сварке в других пространственных положениях, близких к потолочному, они играют важную роль в формировании сварного шва.

Для анализа основных закономерностей формирования шва при сварке в различных пространственных положениях необходимо рассмотреть в отдельности каждую из этих сил, а так исследовать комплексное их действие на сварочную ванну.

2.1.1. Силовое воздействие дуги

На протяжении долгого времени, изучали механическое воздействие дуги на ванну. Много работ было посвящено этой теме, но полного представления

Сегодня считается, что силовое воздействие дуги представляет сложный комплекс различных сил, которые по разному воздействуют на ванну.

Величину силового воздействия дуги можно выразить эмпирической зависимостью:

$$P_{\partial} = \kappa I^2,$$

где κ - коэффициент пропорциональности, зависящий от способа сварки и применяемых сварочных материалов (г/А);

I - Сварочный ток, (А).

Механическое воздействие дуги на сварочную ванну представляют зависимость нескольких сил. Газокинетическая сила при этом определяется характеристиками струи плазмы от электрода к ванне, при этом она так же действует на сварочную ванну подобно давлению струи на преграду.

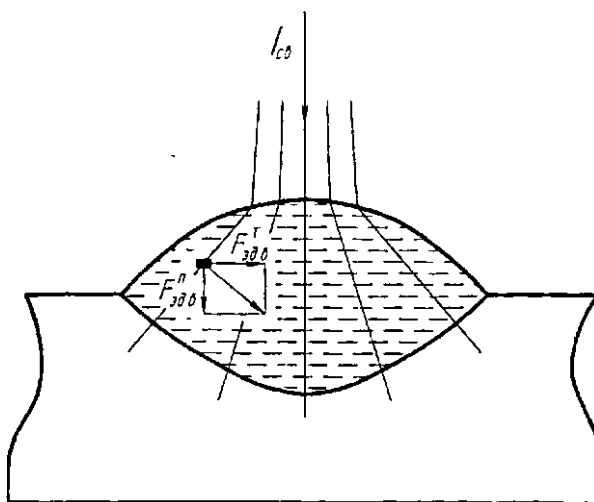


Рисунок 2.1 Действие электромагнитной силы на сварочную ванну.

$F_{з\partial\theta}^n, F_{з\partial\theta}^T$ – нормальная и тангенциальная составляющие электромагнитной силы; $I_{св}$ - сварочный ток.

Электромагнитная сила, которая действует в ванне, обусловлена взаимодействием магнитного поля дуги с током в ванне. Она направлена по нормали к поверхности изделия (рисунок 2.1) [6].

Сила реактивного действия паров и газов связана между испарением металла с поверхности ванны и с выбросом газ вследствие протекающих в ванне металлургических процессов.

В процессе суммарного силового воздействия на жидкий металл ванны можно упрощено представить следующим образом: происходит удар по ванне импульсным потоком газа, связанным с мгновенным увеличением.

2.1.2 Поверхностное натяжение

Свойствами жидких и твердых тел является наличие свободной поверхностной энергии. Ее существование проявляется в стремлении жидкостей принять форму, которая характеризуется минимальной поверхностью. Это стремление поверхности жидкости к сокращению обусловлено силами межмолекулярного взаимодействия [5].

Определяют силу поверхностного натяжения при помощи использования уравнения Лапласа. Определить силы поверхностного натяжения можно тогда, когда известны радиусы кривизны самой поверхности и коэффициент поверхностного натяжения. На практике получается, что поверхность сварочной ванны несет сложную форму с различными радиусами кривизны в различных точках. При такой сварке не соблюдаются так же условия термического равновесия на границе расплавленного металла с равномерностью подачи газа. Это входит в основу вывода уравнения Лапласа, следовательно, величина поверхностного натяжения будет различна и будет иметь разные значения.

Главным свойством жидких и твердых тел является наличие свободной поверхностной энергии, которая проявляется в стремлении жидкостей принять форму с минимальной поверхностью. Такое стремление поверхности жидкости к сокращению объясняется силами межмолекулярного взаимодействия

Как известно, коэффициент поверхностного натяжения зависит от температуры и концентрации различных примесей на границе фаз [7].

В процессе сварки жидкий металл сварочной ванны покрыт слоем расплавленного шлака. На границе раздела фаз действует определенное по величине межфазное и поверхностное натяжение. В свою очередь на сварочную ванну действует подвижный, сосредоточенный высокотемпературный источник тепла под действием, которого поверхность раздела фаз нагревается до высоких температур. По мимо этого между шлаком и жидким металлом протекают различные химические реакции, изменяя при этом концентрацию фаз на границе их раздела.

Большое воздействие для коэффициента поверхностного натяжения оказывает изменение температуры. В температурах кипения поверхностное натяжение жидкости становится приравняется нулю и как следствие исчезает раздел между жидкой и газовой фазой. Сама температура поверхности сварочной ванны меняется от температуры плавления до температуры кипения 2880°C на поверхности, которая находится под дугой. Поэтому коэффициент поверхностного натяжения будет иметь разные значения на разных участках поверхности ванны.

Весомый интерес несут понятия нормальной и тангенциальной составляющей силы поверхностного натяжения, в особенности при исследовании формирования шва в различных пространственных положениях варочной ванны, в особенности для сварки неповоротных стыков магистральных трубопроводов. В источниках в основном описывается методика нахождения поверхностного натяжения как такового, в процессе сварки большой интерес составляет следствие наличия поверхностного натяжения, такого как избыточное давление, которое стремится уменьшить наружную поверхность.

2.1.3 Вес сварочной ванны

Масса сварочной ванны зависит от мощности источника, условий передачи теплоты от источника к свариваемому металлу, теплоотвода, скорости плавления и температуры электродного металла [10].

Экспериментально определено, что на текучесть сварочной ванны весомое влияние оказывает - вес. При сварке в нижнем положении влияние веса расплавленного металла сварочной ванны проявляется в меньшей степени, а влияние в основном уходит на форму усиления сварочного шва.

При сварке в потолочных положениях с увеличением веса сварочной ванны наступает момент, когда действующие на сварочную ванну силы, не могут удерживать ее в состоянии равновесия. Расплавленный металл при этом может вытечь из сварочной ванны, образовав натеки под действием силы тяжести.

2.2 Влияние фронта плавления на удержание металла сварочной ванны.

Для сварки неповоротных стыков труб в различных пространственных положениях, металл сварочной ванны стремится стечь в головную часть ванны или в направлении сварки. Но считается, что для удержания металла сварочной ванны достаточно регулировать силами поверхностного натяжения и управлять давлением дуги. При этом обычно считают, что металл сварочной ванны удерживается силами поверхностного натяжения и давления дуги. При этом, следует учитывать тот фактор, который способствует удержанию металла сварочной ванны, такой как периметр головной части сварочной ванны, который имеет острые края, которые препятствуют растеканию наплавленного металла из сварочной ванны.

Определяющим параметром в удержании металла будет являться угол, поскольку вытекание может произойти тогда, когда угол превысит равновесное значение.

Выполняя процесс сварки в положениях близких к вертикальному металл сварочной ванны стремится стечь в головную часть. Так же можно отметить, что если металл сварочной ванны начал вытекать, то большая его часть вытечет из сварочной ванны, потому что энергетически ему более выгодно находиться в нижней точке. Сварочная дуга при этом будет оттеснять расплавленный металл к фронту кристаллизации, а так же отжимать его в головную часть. [11].

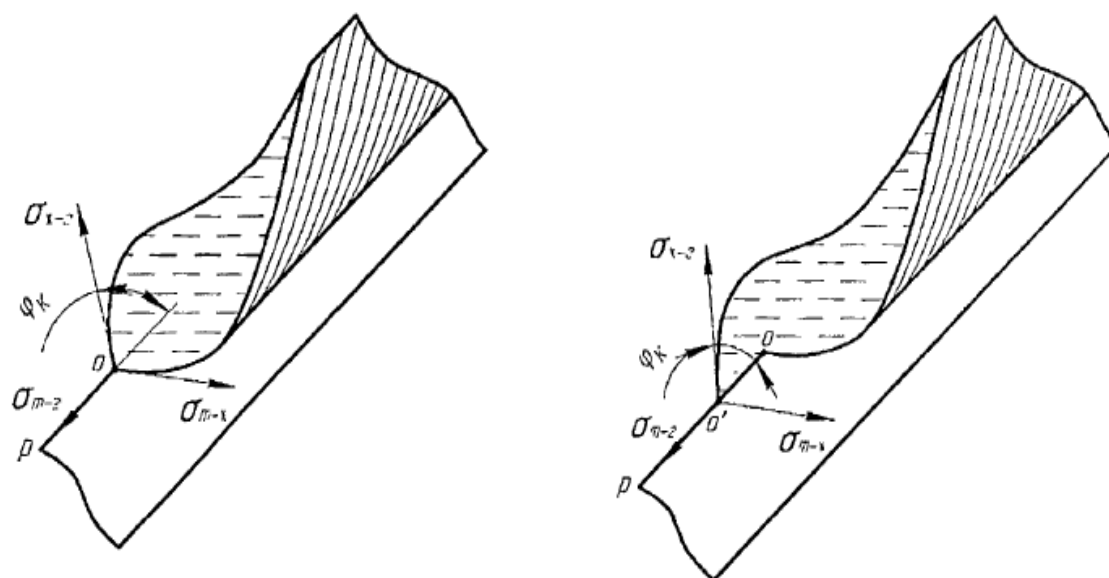


Рисунок 2.2 – Удержание металла сварочной ванны за счет наличия фронта плавления в головной части сварочной ванны

Необходимо так же учитывать наличие периметра хвостовой части сварочной ванны, поскольку он имеет острые края, и в разных пространственных положениях способствует удержанию сварочной ванны.

Проанализировав сказанное, можно сделать вывод, что при сварке с изменяющимся пространственным положением следует выделять не только стандартные положения (нижнее, вертикальное, потолочное), но и промежуточные положения

2.3 Формирование результирующей силы действующей на сварочную ванну при изменяющемся пространственном положении.

В процессе сварки сварочная ванна находится под действием комплекса сил: поверхностного натяжения, веса сварочной ванны, силового воздействия дуги. Величины этих сил зависят от многих параметров: способа сварки, режима сварки и выбора сварочных материалов. Если рассматривать сварку в зафиксированном положении, то трудностей с формированием шва почти не возникает. Поскольку там режим сварки подбирается так, чтобы сварочная ванна находилась в равновесии под действием приложенных к ней сил, при этом обеспечивая высокую производительность. При сварке же неповоротного стыка, при постоянно изменяющемся пространственным положением, для удержания наплавленного металла в сварочной ванне, необходимо корректировать режим сварки. Но изменяя режим сварки изменяется и поперечное сечения сварного шва, поэтому для полного заполнения приходится закаладывают швы для коррекции

Поверхностным натяжением как таковым мы управлять не можем, поскольку температура расплавления очень высокая. [5]

На первом этапе строятся векторы действия сил веса сварочной ванны и поверхностного натяжения, так как величина этих сил постоянна. Далее строится равнодействующая сила от этих сил, которая показывает, в каком направлении может перемещаться сварочная ванна.

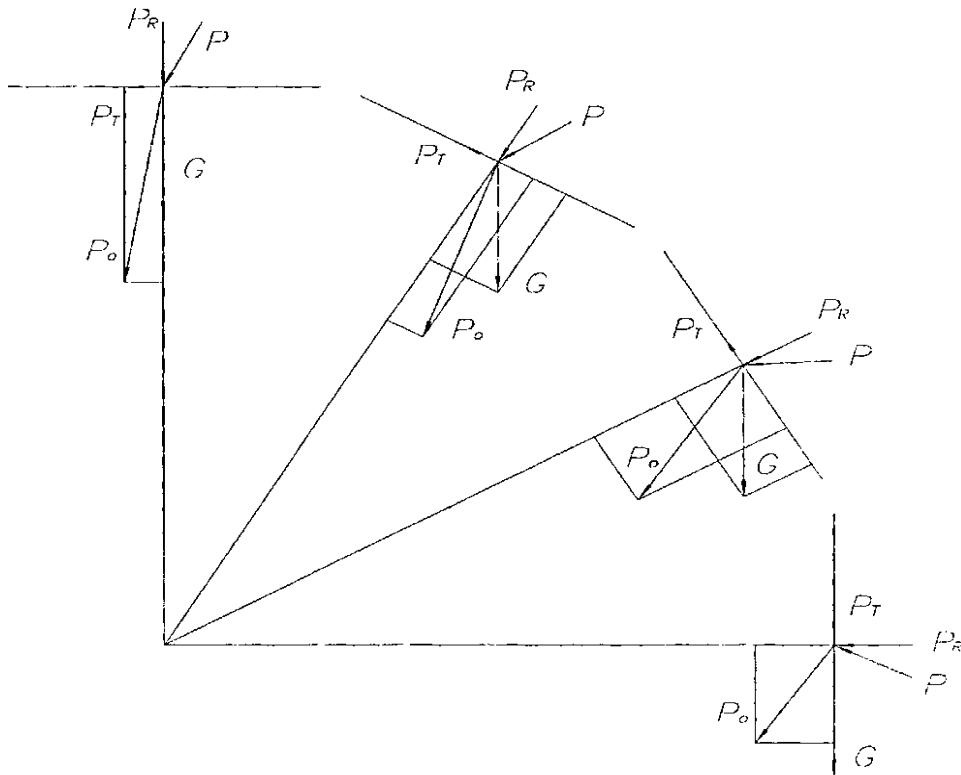


Рисунок 2.3 – Комплекс сил в разных пространственных положениях

Можно так же определить нормальную и тангенциальную составляющую которые действуют в зависимости от пространственного положения рисунок 2.4.

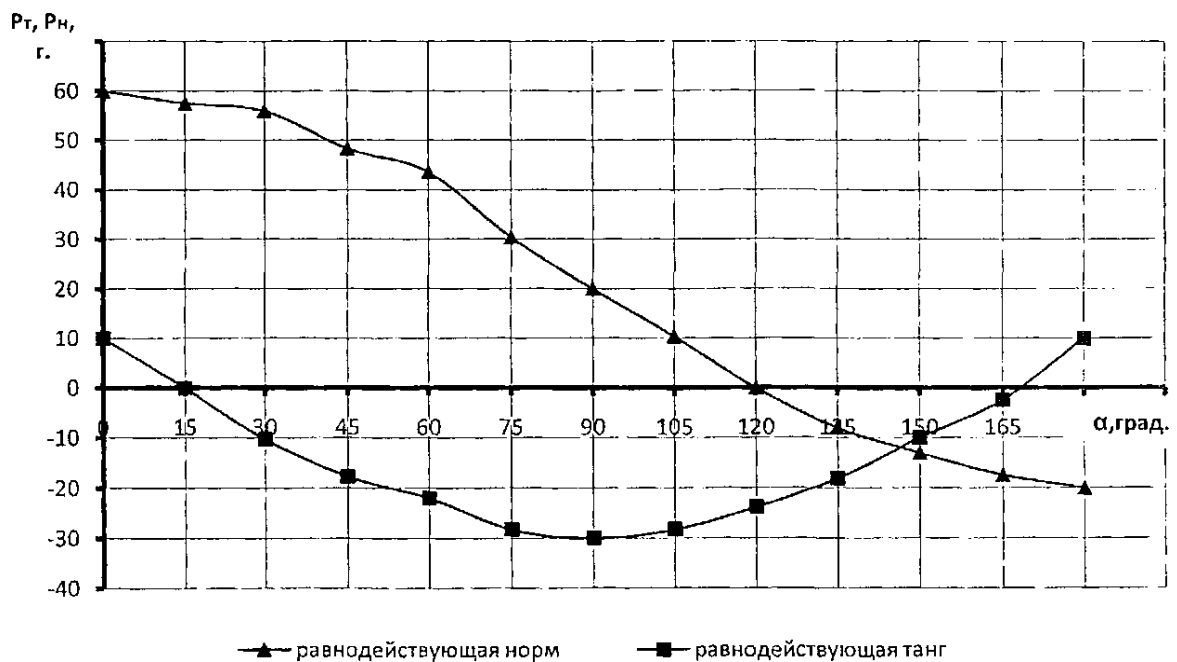


Рисунок 2.4 – Изменение нормальной и тангенциальной составляющих равнодействующей силы в зависимости от пространственного положения

По графику видно, что при $\alpha=15-30^\circ$ появляется тангенциальная составляющая равнодействующей силы, под действием которой сварочная ванна стремится вытечь. При $\alpha=120-130^\circ$ появляется нормальная составляющая равнодействующей силы, которая стремится оторвать сварочную ванну. При $\alpha=140-150^\circ$ тангенциальная составляющая равна нормальной.[5]

2.4 Удержание сварочной ванны за счет изменения угла наклона электрода.

Главная проблема при сварке неповоротных стыков является вытекание металла сварочной ванны, при котором нарушается формирование шва, и возникают дефекты. Сварочная ванна вытекает под действием неуравновешенной силы от веса сварочной ванны [12]. Для выявления условий равновесия сварочной ванны необходимо составить уравнение равновесия сил действующих на ванну, на ось, совпадающую с направлением вытекания металла ванны [13]. В случае сварки которое направлена на спуск в положении от 0 до 90 градусов металл будет стремиться стечь по касательной (рисунок 2.5)

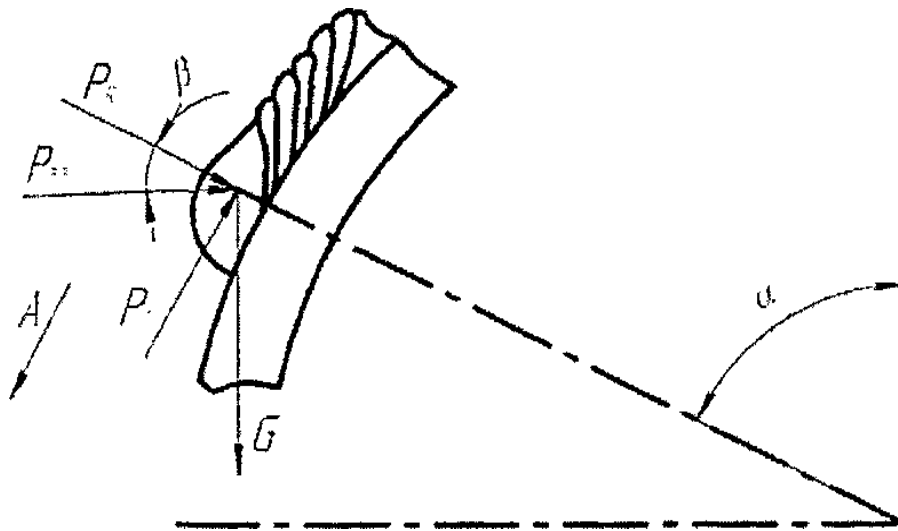


Рисунок 2.5 – Схема сил действующая на сварочную ванну в положении от 0° - 90°

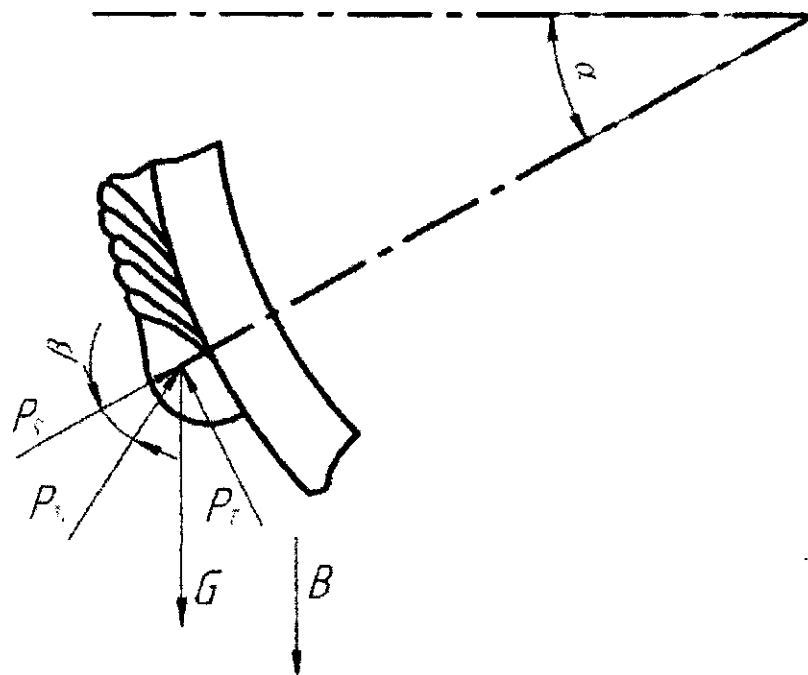


Рисунок 2.7 – Схема сил действующих на сварочную ванну в положении от 90° - 180°

B - направление вытекания металла в положении от 90° - 180° .

На участке от 0 до 90 градусов уравнение равновесия будет иметь следующий вид:

$$G_g \cdot \sin \alpha - P_{n.n.}^r - P_{d.d.} \cdot \sin \beta = 0$$

На участке от 90 до 180 градусов

$$G_g - P_{n.n.}^r \cos \alpha - P_{n.n.}^n \sin \alpha - P_{d.d.} \sin(\alpha + \beta) = 0$$

В ходе исследования было установлено, что при значительно возросшем давлении дуги, сварочная ванна будет находиться в равновесии. Если сварка будет проходить в положениях близких к потолочному, угол наклона возрастет, потому что компенсировать надо большую часть равнодействующей силы, но при значительном увеличении угла наклона металл уже будет выдуваться дугой, образуя натеки. Для решения проблем удержания наплавленного металла в сварочной ванне, необходимо динамически стабилизировать ее. Для того чтоб ванна не могла оторваться или вычесть, рассмотрим процесс динамической стабилизации в сварке с импульсным питанием сварочной дуги.

3 ТЕХНОЛОГИЯ СВАРКИ ИМПУЛЬСНЫМ ПИТАНИЕМ

3.1 Импульсные методы управления

Разработка сварки импульсным питанием дает большие возможности для управления процессом переноса электродного металла.

Для сварки длинной дугой разработано, относительно мало способов импульсного питания. Первые, разработанные импульсные способы сварки, были настроены на управление размерами сварочной ванны [14].

В сварке импульсным питанием дуги, плавящимся электродом в среде защитных газов, процесс происходит с подачей импульсов тока разных параметров по сравнению от изменения скорости подачи электродной проволоки. Модулируют при этом такие параметры как частота импульсов и длительность импульсов (рисунок 3.1).

Для повышения качества сварных шов рассмотрим сварку с импульсным питанием дуги, где автоматически регулируется длина дугового промежутка за счет изменения параметров импульсов сварочного тока. Регулирование процесса осуществляется за счет изменения длительности импульсов и периода действия импульсов [15].

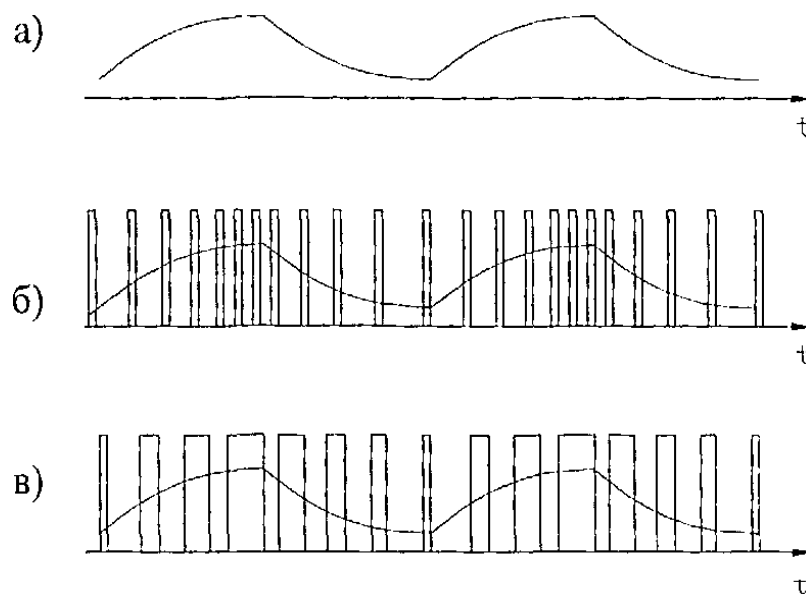


Рисунок 3.1 – кривая изменения скорости подачи проволоки(а);
график подачи импульсов при частотной модуляции(б);

изменение длительности импульсов при широтной модуляции(в).

В таком способе сварки вследствие изменения соотношения энергии, вводимой в электрод изменяются условия расплавления капель и изменяется количество энергии, вводимой в электрод после того как произошел отрыв капли. Поэтому капли оставшиеся на электроде различных размеров. В процессе происходит разделение графика стадий плавления и переноса электродного металла.

В развитии импульсных способов сварки важное внимание уделялось тонкому управлению процессами плавления и переноса электродного металла над формированием сварного соединения оно приводит к уменьшению потерь на разбрызгивание.

Способ сварки импульсным питанием позволяет дозировать энергию на расплавление каждой последующей капли, еще с момента ее отрыва. Момент отрыва фиксируется по всплеску напряжения на дуге. [16] Осциллограммы этого процесса представлены на рисунке 3.2

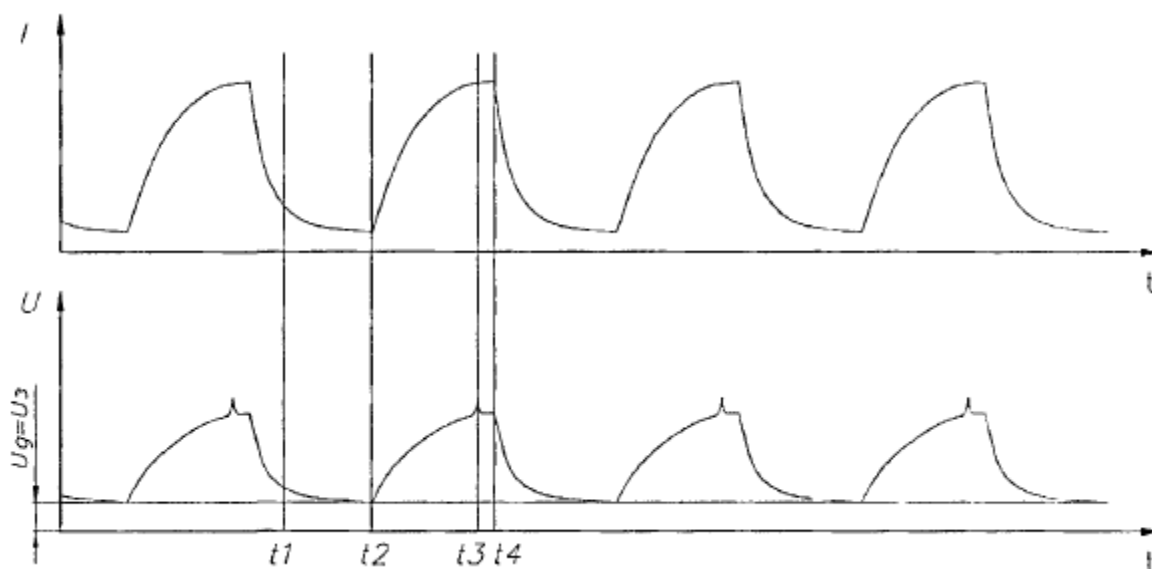


Рисунок 3.2 – Осциллограммы тока и напряжения при импульсном питании

При таком способе сварки с импульсным питанием дуги плавящимся электродом, происходит автоматическое регулирование длины дугового промежутка. Становится это возможным после изменения параметров импульсов сварочного тока в зависимости от напряжения на дуге. В таком способе сварки обеспечивается стабильность процесса еще на стадии капли. В этом управляемом процессе импульс переносит только одну каплю электродного металла почти одного размера, в следствии чего уменьшается разбрызгивание и улучшается качество сварного соединения.

3.2 Движение металла в сварочной ванне при импульсном питании сварочной дуги в нижнем положении.

Рассматриваемый способ сварки плавящимся электродом с импульсным питанием сварочной дуги оказывает на ванну похожее действие, что и при сварке с короткими замыканиями. Учитывая воздействие импульсной дуги на сварочную ванну, нужно выделить два характерных участка - импульс и горение дежурной дуги в паузе рисунок 3.2, 3.3.

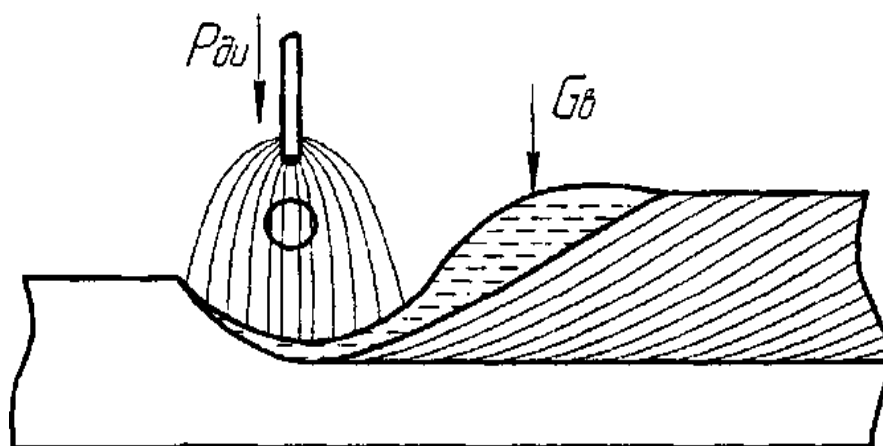


Рисунок. 3.3 – Сварочная ванна в момент импульса
 $P_{ду}$ - давление дуги в импульсе, G_B - вес сварочной ванны.

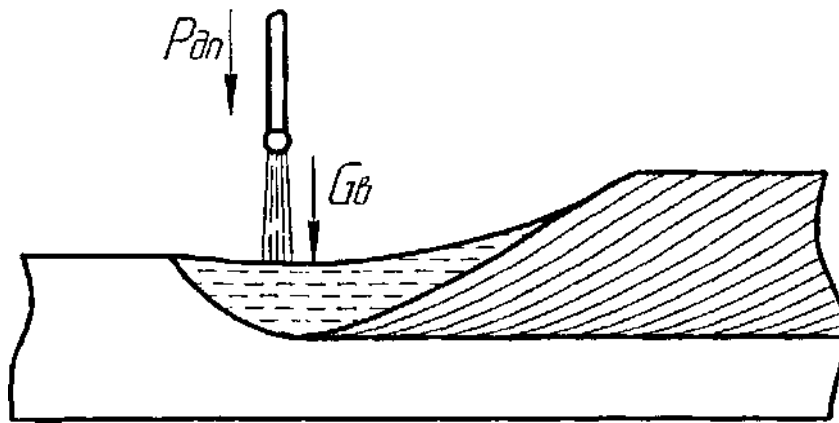


Рисунок 3.4 – Сварочная ванна в момент паузы

$P_{дп}$ - давление дуги в паузе.

Во время паузы давление дуги маленькое, поскольку ток в паузе составляет примерно 20-50 А. А тот металл, который не закристаллизовался стекет обратно под дугу.

Если рассматривать стадии процесса, видно, что ванна совершает вынужденные колебания под действием импульсов тока, с частотой равной частоте следования импульсов. Изменив параметры импульсов можно значительно повлиять на условия формирования сварного соединения, а так же на геометрию шва [17,18].

Выполняя сварку неповоротных стыков, где всегда изменяется пространственное положение сварочной ванны, с использованием сварки с короткими замыканиями становится невозможным обеспечить постоянную частоту следования импульсов коротких замыканий, поскольку оно происходит немного раньше, чем в нижнем положении. Поэтому частота коротких замыканий в разных пространственных положениях различная. Это различие отрицательно влияет на качественное формирование шва [19].

В процессе сварки длинной дугой частота следования импульсов почти постоянна и момент включения импульса считается по напряжению на дуге в момент паузы. Напряжения на дуге снижаются из-за подачи электродной проволоки, а так же за счет стекания расплавленного металла сварочной ванны. При разных пространственных положениях ванна

с разной скоростью будет подтекать под дугу, и чтобы исключить вытекание жидкого металла через головную часть сварочной ванны необходимо, чтобы импульс тока включался несколько раньше. [20].

Большую ясность может дать понятие напряжение на дуге. Для того чтобы фиксировать колебания сварочной ванны и учитывать скорость перемещения металла сварочной ванны, из головной части в хвостовую.[5]

В этом процессе можно выделить отдельные стадии протекания (рисунок 3.5):

t1 - конец паузы;

t2 - начало включения тока импульса;

t3 - начало переноса капли ;

t4 - окончание подачи тока импульса;

t5 - протекание тока дежурной дуги, капля заняла соосное положение с электродом.

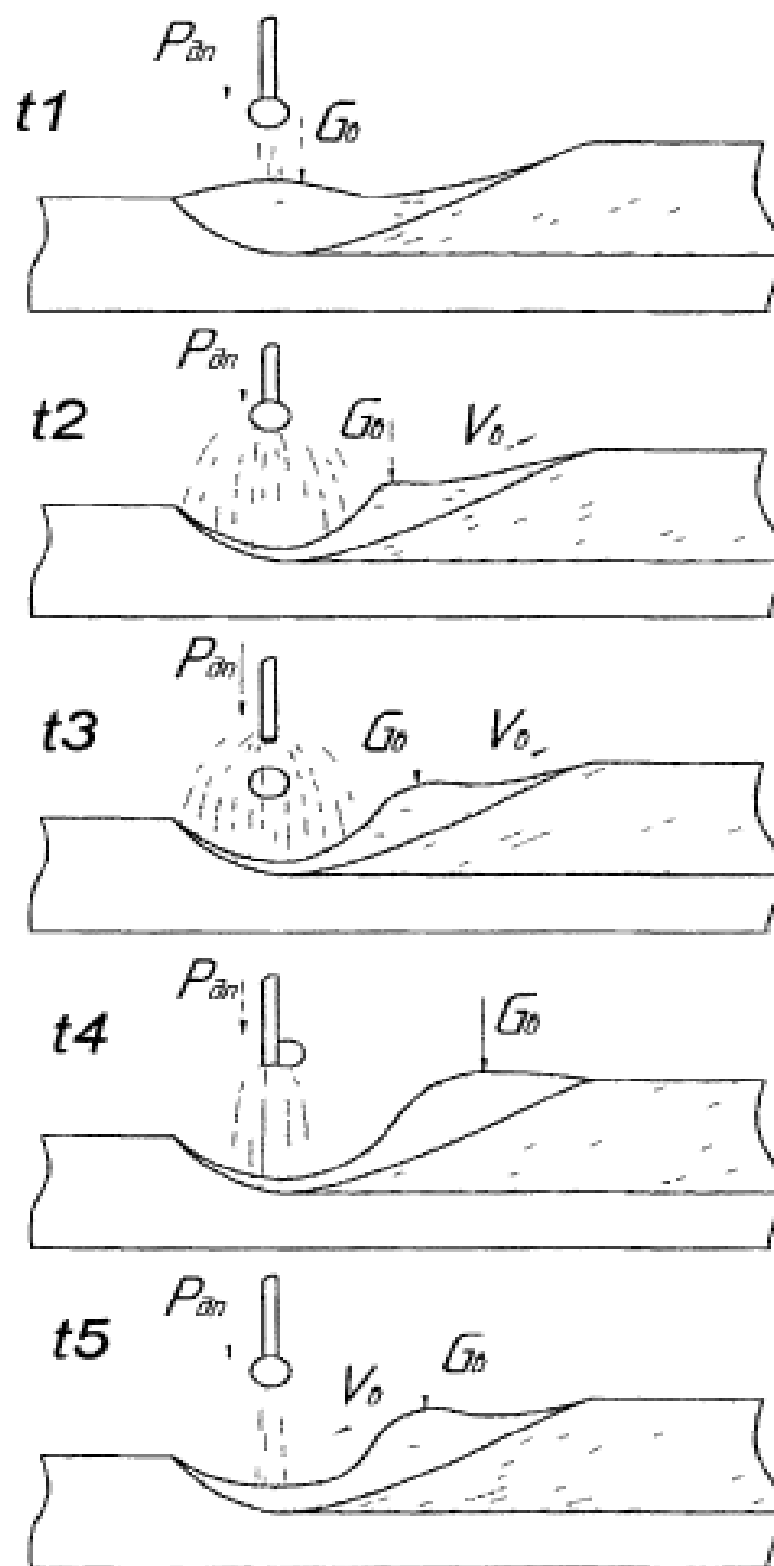


Рисунок 3.5 – Стадии протекания процесса

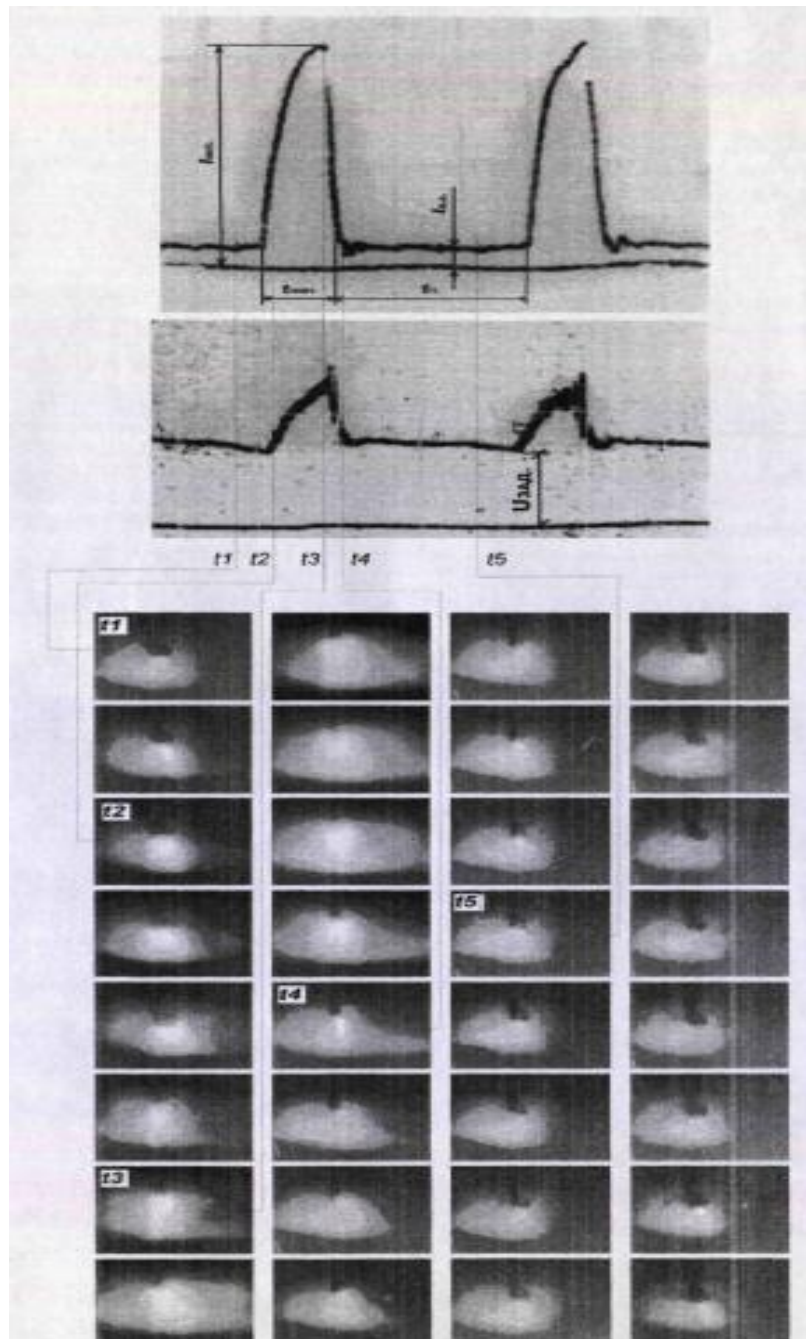


Рисунок 3.6 – Кинокадры соединенные с осциллограммами процесса сварки в углекислом газе с импульсным питанием.

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

Поэтому можно сделать вывод о том, что сварочная ванна совершает колебательное движение вдоль фронта кристаллизации с частотой следования импульсов, находясь при этом в динамическом равновесии. Из-за чего появляется возможность широкого регулирования процессом формирования сварочного шва в различных пространственных положениях благодаря изменению длительности и частоты следования импульсов, тем самым, изменяя частоту и амплитуду движения ванны. Сохранив неизменным поперечное сечение шва поскольку не изменилась скорость подачи сварочной проволоки.

3.3. Динамическая стабилизация сварочной ванны при сварке в среде углекислого газа с импульсным питанием дуги.

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

На кадрах скоростной киносъемки хорошо видно характер движения металла во время импульса и паузы на рисунках 3.7

Проводя анализ полученных кинокадров были выделены некоторые особенности движения металла сварочной ванны. По первым кадрам видно

что дуговой промежуток перед включением тока импульса маленький, но когда напряжение на дуге сравнивается с заданным, то включается ток импульса. В конце импульса наблюдается отрыв и переход капли в сварочную ванну. Под действием предыдущей капли образуется следующий гребень, который тоже начинает двигаться в хвостовую часть сварочной ванны. На определенном этапе движение гребня останавливается и начинает двигаться обратную сторону.

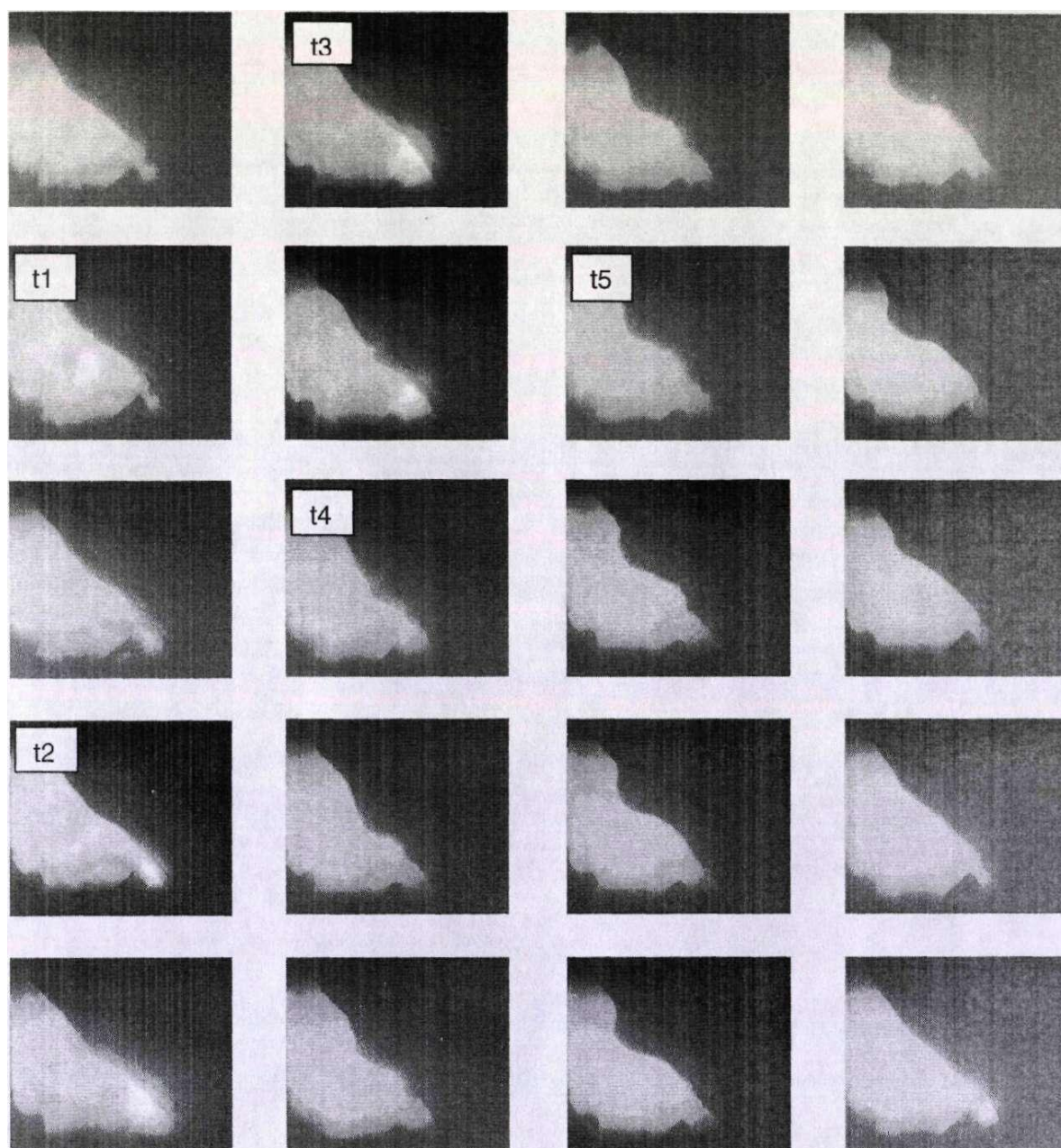


Рисунок 3.7 – Движение металла по сварочной ванне в полупотолочном положении.

Движение гребня в конце хвостовой части начинается не сразу с импульсом, а с небольшой задержкой. Также видно, что момент включения тока импульса в каждом цикле происходит почти при одинаковой длине дуги, а гребень на момент начала импульса уже находится практически рядом от электродной проволоки. Все это доказывает положительные моменты процесса сварки в среде углекислого газа с импульсным питанием. Данный процесс позволяет динамически стабилизировать сварочную ванну, и не допустить ее вытекание, обеспечивая при этом качественное сварное соединение.

3.4 Влияние длительности импульсов на форму сварочной ванны и геометрию наплавленного валика в нижнем положении.

Процесс сварки с импульсным питанием возможен при неизменном среднем токе, а так же он позволяет активно влиять на формирование шва, изменяя длительность импульсов. [21]

Экспериментально исследовали влияние длительности импульсов на геометрию сварного шва, проводя наплавку валиков в нижнем положении на образцы проволокой Св-08Г2С диаметром 1.2 мм. [5]

Режим сварки был установлен следующий, $I_n=550$ А, $I^{\wedge}=40$ А, $U_{\text{Ллu}}=28$ В, $U_{\text{под}}=400$ м/ч, $V_{\text{СВ}}=22$ м/ч, $V_{\text{газ}}=12$ л/мин, электродная проволока была направлена перпендикулярно к образцу, время длительности импульсов изменялось от 2 до 7 мс.

Где в процессе проплавления глубина осталась неизменной, а усиление шва плавно увеличилось с 2 до 2.4 мм. Стабильность глубины проплавления так же отмечает положительную характеристику импульсного питания, поскольку при этом исключены прожоги и непровары.[5]

Для сварки неповоротных стыков это является важным достоинством. Сварка импульсным питанием позволяет удерживать сварочную ванну в различных пространственных положениях, варьируя и изменяя параметры импульса.

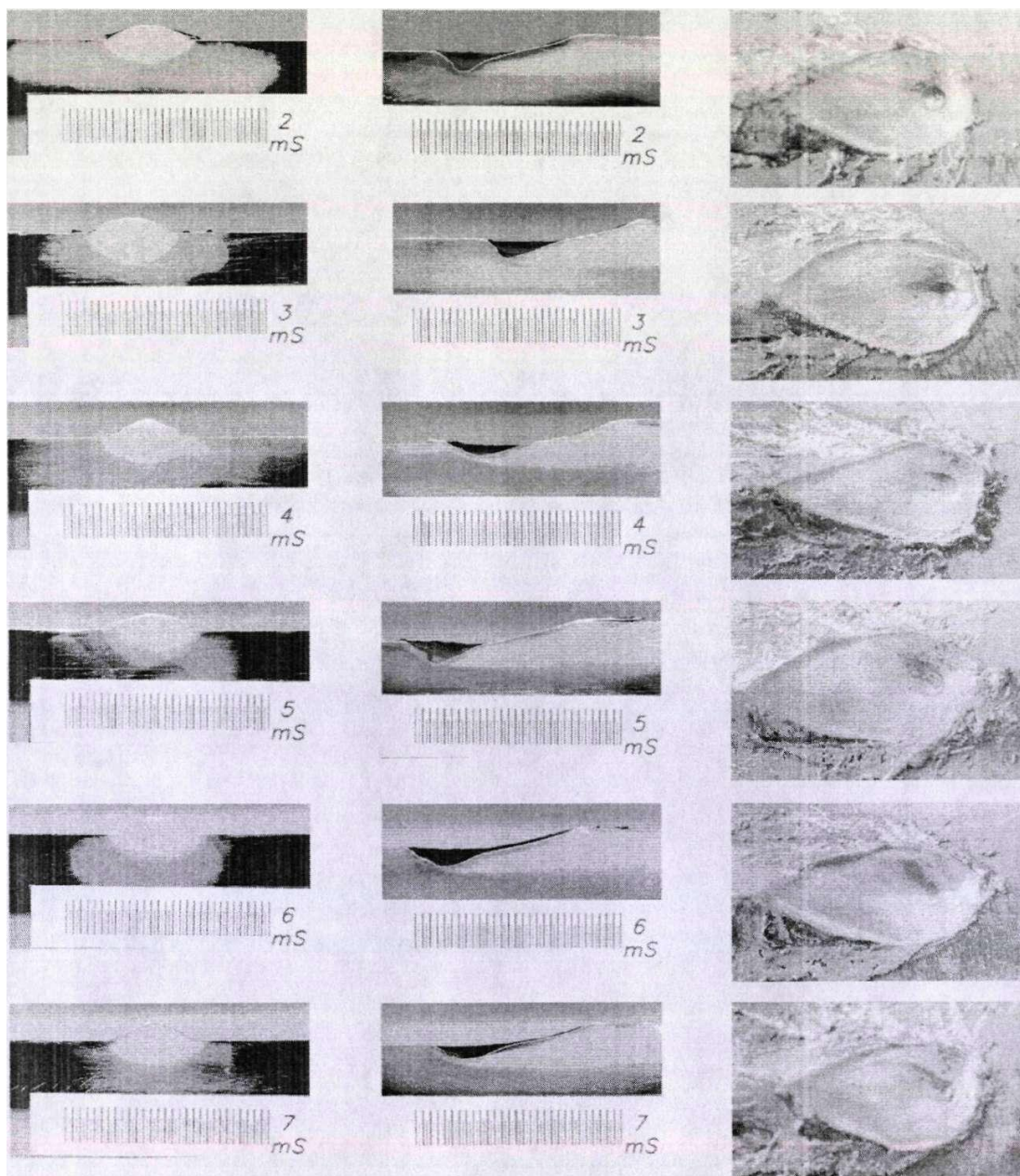


Рисунок 3.10 Форма валиков и сварочной ванны с разными значениями длительности импульсов.

3.5 Влияние угла наклона электрода на форму сварочной ванны и геометрию наплавленного валика в нижнем положении.

Еще одним важным параметром с помощью которого можно активно повлиять на формирование шва в процессе сварки стал угол наклона электрода.

Изменяя угол наклона электрода можно поменять соотношение сил, которые действуют на сварочную ванну в нормальном и тангенциальном направлении [23].

Экспериментально исследовали влияние угла наклона электрода в процессе сварки, на влияние (3.11) геометрии наплавленного валика.

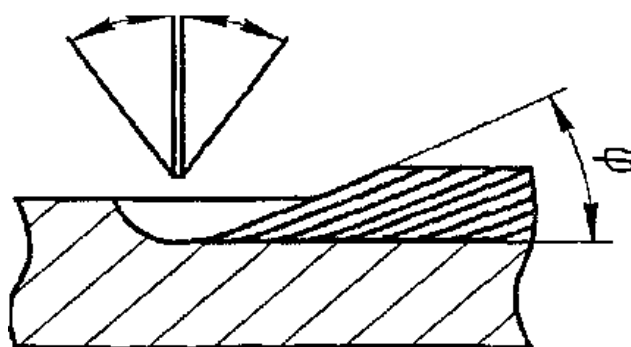


Рисунок 3.11 – Угол наклона электрода

Где, φ - угол фронта кристаллизации сварочной ванны;

$\beta, -\beta$ - угол наклона электрода, 1 - электродная проволока.

Экспериментально в процессе наплавки проводилось исследование, для определения возможности влияния угла наклона электрода, на геометрию сварного соединения.

Образец сваривали проволокой Св-08Г2С. По прежнему не изменяя режима сварки, устанавливали угол наклона электрода от -20° углом вперед до $+20^\circ$ углом назад, угол наклона изменяли через 5° для более точного выявления зависимости. На основе полученных данных установлено, что

ширина сварочной ванны имеет максимальное значение при сварке углом вперед -20° и плавно уменьшается практически линейно до $+20^\circ$ углом назад. [5]

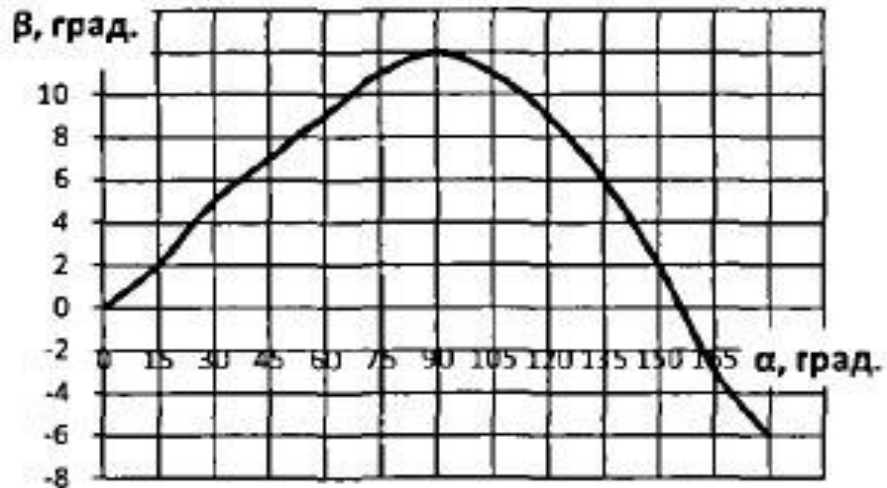


Рисунок 3.12 – Зависимость изменения угла наклона электрода (β) при сварке с импульсным питанием дуги от пространственного положения.

Экспериментально определили, что за счет того что в импульсах ток значительный, давление дуги увеличивается и требует меньшего изменения угла наклона с $15-20$ град до 12 при сварке с импульсным питанием.

4. МАТЕРИАЛ И ОЦЕНКА СВАРИВАЕМОСТИ КОНСТРУКЦИИ

4.1 Описание сварной конструкции

Нефтепроводом называют трубопровод, который предназначен для осуществления перекачки нефти и нефтепродуктов

По назначению разделяются они:

- промысловые — соединяющие скважины с различными объектами и установками подготовки нефти на промыслах;
- магистральные (МН) — предназначенные для транспортировки товарной нефти и нефтепродуктов;
- технологические — предназначенные для транспортировки в пределах промышленного предприятия или группы этих предприятий.

Согласно СНиП 2.05.06 — 85 магистральные нефте- и нефтепродуктопроводы подразделяются на четыре класса в зависимости от условного диаметра труб (в мм): I — 1000—1200 включительно; II — 500—1000 включительно; III — 300—500 включительно; IV — 300 и менее

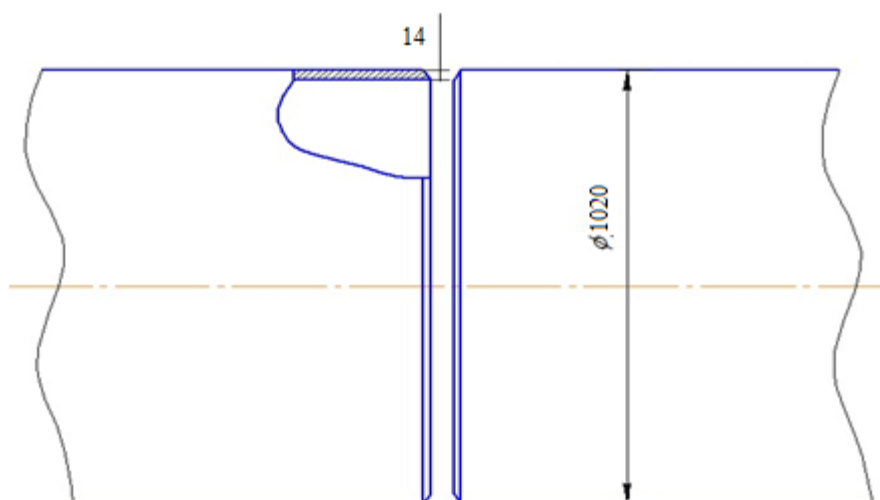


Рисунок 4.1 – Схема стыка магистрального нефтепровода

Главными элементами магистрального трубопровода являются трубы, которые между собой сварены в нити, они представляют собой собой сам трубопровод. Обычно, магистральные трубопроводы прокладывают под землей на глубину 0,8 м.

Для магистральных трубопроводов применяют цельнотянутые или сварные трубы диаметром разных диаметров. Толщина стенок труб определяется проектным давлением в трубопроводе, которое может достигать 32 МПа. Трубопровод, прокладываемый по районам с вечномёрзлыми грунтами или через болота, можно укладывать на опоры или в искусственные насыпи [24].

4.2 Понятие свариваемости

Совокупность свойств металла, определяющих возможность протекания физико-химических процессов (диффузия в жидком и твердом состояниях, образование жидких и твердых растворов, кристаллизации металла шва), в результате которых достигается неразъемное соединение, называют способностью свариваться или физической (принципиальной) свариваемостью.

Технологическая свариваемость металлов и их сплавов зависит от следующих свойств металла:

- химическая активность металлов;
- степень легирования;
- структура и содержание примесей.

Чем металл химически активнее, тем выше его вероятность взаимодействия с окружающей средой (окисление). Следовательно, должно быть обеспечено высокое качество защиты и возможность металлургической обработки при сварке.

От химического состава стали зависит ее структура и физические свойства, которые могут изменяться под влиянием нагрева и охлаждения металла при сварке [47].

При оценке свариваемости роль химического состава стали является преобладающей. По этому показателю проводят оценку свариваемости.

Способность металла свариваться является весьма важной характеристикой, определяющей принципиальную возможность образования сварного соединения, однако она не полностью определяет возможность получения качественного и экономичного сварного соединения, т.е. соединения, обладающего свойствами, обеспечивающими его работоспособность во время эксплуатации при меньшей стоимости конструкции, чем при изготовлении её другим способом (литье,ковка) или из других материалов. При сварке плавлением металл околошовной зоны и металл шва по структуре и свойствам существенно отличаются от основного металла. Изменение структуры и свойств этих участков может вызвать ухудшение свойств сварного соединения в целом, даже при хорошей физической свариваемости металла. [48].

4.3 Материал сварной конструкции сталь 09Г2С

Сталь относится к классу среднеуглеродистых сталей с содержанием углерода. Такая сталь относится к ограниченно свариваемым сталям, которые склонны к образованию трещин при сварке обычными способами.

При сварке этих сталей применяют электроды и сварочную проволоку с пониженным содержанием углерода, от 0,08 до 0,1%. Перед сваркой производят разделку кромок и сваривают металл, применяя минимальный сварочный ток для того чтобы максимально уменьшить долю основного металла в металле шва. При данном способе содержание углерода в самом шве получается меньше чем в основном металле, что в свою очередь препятствует появлению кристаллизационных трещин.

Для сварки применяют предварительный и сопутствующий подогрев до температуры 250 – 300 градусов С. Подогрев до более высоких температур для данной стали вреден так как из-за более высокого нагрева происходит более глубокий провар кромок основного металла при этом

происходит повышение углерода в металле сварного шва что в свою очередь может привести к образованию трещин в шве.

Чтобы избежать возникновения хрупких закалочных структур в околошовных зонах рекомендуется применять замедленное остывание изделия после сварки. После остывания, изделия часто приходится подвергать последующей закалке с отпуском и нормализацией стали.

Сталь 09Г2с относится к низколегированным сталям, общее количество легирующих добавок в которых не превышает 2,5%.. Основное предназначение этой стали – использование ее для сварных конструкций.

Широкое распространение и популярность стали 09Г2с объясняется тем, что благодаря ей можно существенно экономить при выполнении строительных операций.

Марка такой стали используется для сварных соединений труб. Производится сварка без подогрева. Так как углерода в стали мало, то сварка ее довольно проста, причем сталь не закаливается и не перегревается в процессе сварки, благодаря чему не происходит снижение пластических свойств или увеличение ее зернистости. К плюсам применения этой стали можно отнести также, что она не склонна к отпускной хрупкости и ее вязкость не снижается после отпуска. Вышеприведенными свойствами объясняется удобство использования 09Г2С от других сталей с большим содержанием углерода или присадок, которые хуже варятся и меняют свойства после термообработки. Для сварки 09Г2С можно применять любые электроды, предназначенные для низколегированных и малоуглеродистых сталей.

Сталь 09Г2 после обработки на двухфазную структуру имеет повышенный предел выносливости; одновременно примерно в 3—3,5 раза увеличивается число циклов до разрушения в области малоциклового усталости.

Химический состав и механические данной стали представлены в таблице 4.1 и 4.2.

Таблица 4. 1 - Механические свойства стали 09Г2С

Марка стали	Твердость, НВ	Временное сопротивление σ_B , МПа	Предел текучести σ_T , МПа	Относ. Удлинение δ_5 , %
09Г2С	126	430-490	325	21

Таблица 4.2 - Химический состав стали 09Г2С

Марка стали	C, %	Si, %	Mn, %	Cr, %	Ni, %	Cu, %	P, %	S, %	N, %	As, %
09Г2С	≤ 0.12	0.50- 0.80	1.30- 1.70	0.30	0.30	0.30	0.035	0.040	0.012	0.08

Большой спрос и популярность на *сталь 09г2с* обусловлена высокими механическими свойствами при изготовлении металлических элементов строительных конструкций. Сооружения из этой стали способны работать в условиях от -70 до 450°C, что весьма важно при прокладке магистральных нефтегазопроводов в регионах с холодным климатом.

Марка стали 09г2с обладает:

- возможностью использования ее на Севере
- большой прочностью, благодаря которой она широко распространена
- не высокой стоимостью.

4.4 Технологическая свариваемость металла сварной конструкции

Качественным показателем свариваемости стали будет является эквивалентное содержание углерода.

Воспользуемся методикой определения полного эквивалента углерода для нахождения необходимого подогрева:

$$\Sigma C_3 = C_3 + C_p, \quad (1)$$

где \tilde{N}_y - химический эквивалент углерода, \tilde{N}_δ - размерный эквивалент углерода.

Ориентировочным количественным показателем свариваемости стали известного состава является эквивалентное содержание углерода, которое определяется по формуле:

$$C_3 = C + \frac{Mn}{30} + \frac{Cr}{15} + \frac{Ni}{10} + \frac{M}{10} + \frac{B}{10} + \frac{V}{10}, \quad (2)$$

где C, Mn, Cr, V, Mo, Ni, Cu, P – процентное содержание легирующих элементов в металле шва.

$$C_3 = 0,12 + \frac{1,5}{30} + \frac{0,30}{5} + \frac{0,30}{15} = 0,22,$$

где символ каждого элемента означает его процентное содержание в стали.

Определим размерный эквивалент углерода:

$$C_p = 0,005 \times \delta \times C_3 = 0,005 \times 14 \times 0,22 = 0,154, \quad (3)$$

где δ – толщина свариваемой стали, мм.

Находим полный эквивалент углерода:

$$\Sigma C_3 = 0,22 + 0,154 = 0,374.$$

Полный эквивалент углерода $C_3 \leq 0,45$, следовательно, требуется подогрев.

Необходимая для подогрева температура определяется следующим образом:

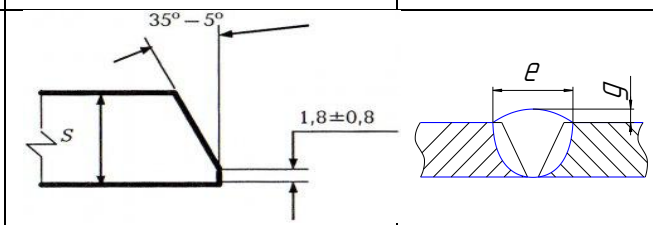
$$T_{II} = 350 \times \sqrt{\Sigma C_3 - 0,25} = 350 \times \sqrt{0,374 - 0,25} = 123 \text{ }^\circ\text{C}. \quad (4)$$

Стали с содержанием до 0,2% C имеют высокую критическую скорость охлаждения при закалке, поэтому после сварки в наплавленном металле и зоне термического влияния не образуются структуры подкалки. Низкоуглеродистые низколегированные стали свариваются практически любыми способами сварки: ручной дуговой сваркой, автоматической дуговой сваркой, сваркой под слоем флюса, электрошлаковой сваркой [4].

5. РАСЧЕТ РЕЖИМОВ СВАРКИ

5.1 Расчёт режимов сварки в углекислом газе

Таблица 5.1 – Конструктивные элементы сварного соединения по ГОСТ 16037-80

Условное Обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы и размеры		b, мм	c, мм	e, мм	g, мм
	Подготовленных крайков свариваемых деталей	Сварного шва				
C18			1	1,8	24	2

Совокупность наиболее важных характеристик сварочного процесса, которые обеспечивают получение сварных швов нужных размеров и формы называют режимом сварки.

Перед началом процесса сварки стыковых соединений с разделкой кромок необходимо определить число проходов, для этого рассчитывают общую площадь поперечного сечения наплавленного металла.

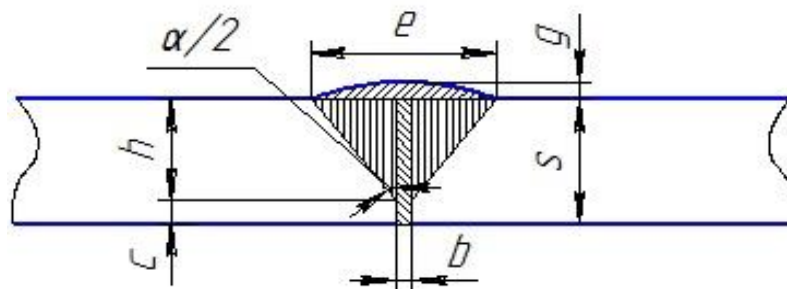


Рисунок 5.1 – Геометрические элементы площади сечения стыкового шва

Площадь наплавки обычно находят как сумму площадей элементарных геометрических фигур:

$$F_H = h^2 \times \operatorname{tg} \alpha + b \times S + 0,75 \times q \times e. \quad (5)$$

Определим площадь наплавки:

$$F_H = 12,2^2 \times \operatorname{tg} 35 + 1 \times 14 + 0,75 \times 2 \times 24 = 154 \text{ мм}^2.$$

При сварке в среде защитных газов электродной проволокой диаметром 1 – 1,4 мм в нижнем положении площадь поперечного сечения наплавленного металла первого прохода 20 – 30 мм², второго 30 – 60 мм², последующих заполняющих и облицовочных проходов 40 – 70 мм²; для вертикального положения сварки площадь первого прохода 20 – 40 мм², второго 40 – 60 мм², последующих 40 – 70 мм².

Сварку стыка производим в четыре прохода. Для первого площадь составит 22 мм², для последующих и облицовочного – 44 мм².

Основными параметрами режима для автоматической сварки в среде CO₂ являются: скорость сварки, сварочный ток, скорость подачи электродной проволоки, напряжение на дуге и диаметр. А так же учитывая условия сварки конкретного изделия, соблюдаются такие параметры как: род тока, защитная среда и полярность.

В зависимости от типа соединения последовательность расчёта режима сварки различна. Данное соединение с разделкой кромок соответствует типу С17.

Силу сварочного тока $I_{св}$ рассчитаем по формуле:

$$I_{св} = \frac{\pi \times d_э^2}{4} \times j,$$

где $d_э$ – диаметр электродной проволоки:

для корневого шва - 1 мм;

Значение плотности тока принимается в зависимости от диаметра проволоки $j - 90 \dots 400 \text{ А/мм}^2$
 для последующих и облицовочного - 1,2 мм.

- для корневого шва:

$$I_{св} = \frac{3,14 \cdot 1^2}{4} \cdot 300 = 235 \text{ А}, \quad (6)$$

принимаем $I_{св} = 235 \text{ А}$.

- для последующих проходов:

$$I_{св} = \frac{3,14 \cdot 1,2^2}{4} \cdot 250 = 283 \text{ А},$$

принимаем $I_{св} = 285 \text{ А}$.

Определяем оптимальное напряжение дуги [13]:

$$U_{д} = 20 + \frac{50 \cdot 10^{-3}}{\sqrt{d_э}} \cdot I_{св} \pm 1 \quad (7)$$

- для корневого шва:

$$U_{д} = 20 + \frac{50 \times 10^{-3}}{\sqrt{1}} \times 235 \pm 1 = 32 \pm 1 \text{ В};$$

- для последующих проходов:

$$U_{д} = 20 + \frac{50 \times 10^{-3}}{\sqrt{1,2}} \times 285 \pm 1 = 33 \pm 1 \text{ В}.$$

Определим коэффициент формы провара:

$$\psi_{пр} = K' \times (19 - 0,01 \times I_{св}) \times \frac{d_э \times U_{д}}{I_{св}}, \quad (8)$$

где K' – коэффициент для тока обратной полярности 0,92.

- для корневого шва:

$$\psi_{\text{пр}} = 0,92 \times (19 - 0,01 \times 235) \times \frac{1 \times 32}{235} = 2,08;$$

- для последующих проходов:

$$\psi_{\text{пр}} = 0,92 \times (19 - 0,01 \times 285) \times \frac{1,2 \times 33}{285} = 2,06;$$

Для автоматизированной сварки значения $\Psi_{\text{пр}}$ должны составлять 0,8...4,0, в нашем случае, значение коэффициента находится в данном интервале, следовательно, режимы подобраны верно.

Определим скорость сварки по формуле: (9)

$$V_{\text{св}} = \frac{\alpha_{\text{н}} \times I_{\text{св}}}{3600 \times \gamma \times F_{\text{н}}}$$

где $\alpha_{\text{н}}$ – коэффициент наплавки;

γ – плотность электродного металла, г/см³.

Для определения коэффициента наплавки $\alpha_{\text{н}}$ воспользуемся следующей формулой:

$$\alpha_{\text{н}} = \alpha_{\text{р}} \times (1 - \psi_{\text{п}}), \quad (10)$$

где $\psi_{\text{п}}$ – коэффициент потерь, который определяется по формуле:

$$\psi_{\text{п}} = -4,72 + 17,6 \times 10^{-2} \times j - 4,48 \times 10^{-4} \times j^2 \quad (11)$$

Подставим известные значения плотности тока j в формулу, получим:

- для корневого шва:

$$\psi_{\text{п}} = -4,72 + 17,6 \times 10^{-2} \times 300 - 4,48 \times 10^{-4} \times 300^2 = 7,8 \ %;$$

- для последующих проходов:

$$\psi_{\text{п}} = -4,72 + 17,6 \times 10^{-2} \times 250 - 4,48 \times 10^{-4} \times 250^2 = 11,3 \ %.$$

Для того чтобы определить коэффициент наплавки нам необходимо рассчитать коэффициент расплавления $\alpha_{\text{р}}$ по формуле (величину вылета электрода $l_{\text{в}}$ принимаем 15 мм):

$$\alpha_{\text{р}} = A + 3,1 \times 10^{-3} \times \sqrt{I_{\text{св}}} \times \frac{l_{\text{в}}}{a_3^2}. \quad (12)$$

- для корневого шва:

$$\alpha_p = 21,6 + 3,1 \times 10^{-3} \times \sqrt{235} \times \frac{15}{1^2} = 22,3 \frac{\Gamma}{\text{Ач}};$$

- для последующих проходов:

$$\alpha_p = 21,7 + 3,1 \times 10^{-3} \times \sqrt{285} \times \frac{15}{1,2^2} = 22,4 \frac{\Gamma}{\text{Ач}}.$$

Тогда коэффициента наплавки α_n согласно формуле 10:

- для корневого шва:

$$\alpha_n = 22,3 \times (1 - 0,078) = 20,5 \frac{\Gamma}{\text{Ач}};$$

- для последующих проходов:

$$\alpha_n = 22,5 \times (1 - 0,113) = 20,0 \frac{\Gamma}{\text{Ач}};$$

Скорость сварки:

- для первого прохода:

$$V_{\text{св}} = \frac{20,5 \times 235}{3600 \times 7,8 \times 0,22} = 0,78 \frac{\text{см}}{\text{с}} = 28,08 \frac{\text{м}}{\text{ч}};$$

- для последующих проходов:

$$V_{\text{св}} = \frac{20 \times 285}{3600 \times 7,8 \times 0,44} = 0,46 \frac{\text{см}}{\text{с}} = 16,56 \frac{\text{м}}{\text{ч}};$$

Определяем скорость подачи электродной проволоки по формуле:

$$V_{\text{пэп}} = \frac{\alpha_p \times I_{\text{св}}}{3600 \times \gamma \times F_{\text{эл}}}, \quad (13)$$

где $F_{\text{эл}}$ – площадь поперечного сечения электрода, см^2 .

$$F_{\text{эл}} = \frac{\pi \cdot d^2}{4},$$

$$F_{\text{эл}} = \frac{3,14 \cdot 1^2}{4}, \quad F_{\text{эл}} = 0,8, \quad \text{для первого прохода}$$

$$F_{\text{эл}} = \frac{3,14 \cdot 1,2^2}{4}, \quad F_{\text{эл}} = 1,13 \quad \text{для последующих проходов}$$

- для первого прохода:

$$V_{\text{пэп}} = \frac{22,3 \times 235}{3600 \times 7,8 \times 0,8 \times 10^{-2}} = 23,3 \frac{\text{см}}{\text{с}} = 839 \frac{\text{м}}{\text{ч}};$$

- для последующих проходов:

$$V_{\text{пэп}} = \frac{22,5 \times 285}{3600 \times 7,8 \times 1,13 \times 10^{-2}} = 20,2 \frac{\text{см}}{\text{с}} = 727 \frac{\text{м}}{\text{ч}};$$

Погонная энергия рассчитывается по формуле:

$$q_{\text{п}} = \frac{\eta_{\text{н}} \times I_{\text{св}} \times U_{\text{д}}}{V_{\text{св}}}, \quad (14)$$

где $\eta_{\text{н}}$ – эффективный коэффициент полезного действия нагрева изделия дугой, который при сварке в защитном газе составляет 0,8...0,84, принимаем $\eta_{\text{н}} = 0,8$;

- для первого прохода:

$$q_{\text{п}} = \frac{0,8 \times 235 \times 32}{0,78} = 7696 \frac{\text{Дж}}{\text{см}},$$

- для последующих проходов:

$$q_{\text{п}} = \frac{0,8 \times 285 \times 33}{0,46} = 16328 \frac{\text{Дж}}{\text{см}}.$$

Таблица 5.2 – Результаты расчетов режимов сварки

Параметр	Для корневого шва	Для последующих проходов
Сварочный ток, $I_{св}$	235 А	285 А
Оптимальное напряжение дуги, U_d	33 ± 1 В	32 ± 1 В
Коэффициент формы провара, $\psi_{пр}$	2,08	2,06
Коэффициент потерь, $\psi_{п}$	7,8 %	11,3 %
Коэффициент расплавления, α_p	22,3 г/Ач	22,5 г/Ач
Коэффициент наплавки, α_n	20,6 г/Ач	20,0 г/Ач
Скорость сварки, $V_{св}$	0,78 см/с = 28,08 м/ч	0,46 см/с = 16,56 м/ч
Скорость подачи электродной проволоки, $V_{пэп}$	23,3 см/с = 838,8 м/ч	20,2 см/с = 727,2 м/ч
Погонная энергия, $q_{п}$	7696 Дж/см	16328 Дж/см 48981 Дж/см

Сварщики и специалисты в этой сфере часто упускают из виду применяемый ими защитный газ и его вклад в процесс сварки. Защитные газы влияют на режим переноса металла, свойства и геометрию сварочного шва, задымленность и многие другие характеристики сварочного шва. Правильный выбор защитного газа для процессов дуговой сварки металла, таких как аргонодуговая TIG сварка и полуавтоматическая сварка MIG MAG

могут резко повысить скорость, качество сварки и глубину проплавления.

Чистые сварочные газы

Чистые газы, используемые для сварки, это аргон, гелий, и углекислый газ. Эти газы могут иметь как положительное, так и негативное воздействие на дуговой процесс сварки и появление дефектов в сварочном шве.

- Аргон

100% аргон обычно используется для аргонодуговой TIG сварки для всех материалов и MIG сварки цветных металлов. Аргон химически инертен, что делает его пригодным для сварки химически активных и тугоплавких металлов.

Этот газ имеет низкую теплопроводность и потенциал ионизации, что приводит к низкой передаче тепла на внешнюю область сварочной дуги. В результате формируется узкий столб дуги, который в свою очередь, создает традиционный для сварки в чистом аргоне профиль сварочного шва: глубокий и относительно узкий.

- Гелий

Гелий также является одноатомным инертным газом, и чаще всего используется для аргонодуговой TIG сварки цветных металлов. В отличие от аргона, гелий имеет высокую проводимость тепла и потенциал ионизации, которые дают противоположный, чем при сварке в аргоне, эффект. Гелий обеспечивает широкий профиль сварочного шва, хорошее смачивание по краю и более высокое тепловложение, чем чистый аргон.

- Углекислый газ

Углекислый газ CO_2 – активный газ - обычно используется для полуавтоматической MAG сварки короткой дугой и MAG сварки

порошковой проволокой. CO_2 является наиболее распространенным из химически активных газов, используемых в MAG сварке. И единственным газом, который можно использовать в чистом виде без добавления инертного газа.

Углекислый газ является одним из самых дешевых защитных газов, что делает его привлекательным выбором, когда материальные затраты являются основным приоритетом при сварочном процессе. CO_2 обеспечивает очень глубокое проплавление, что полезно для сварки толстого металла, однако, при сварке в этом газе менее стабильна сварочная дуга, что приводит к большому образованию брызг. Также его применение ограничивается сваркой на короткой дуге и делает не возможной сварку со струйным переносом.

Сварочные газы, используемые как компоненты сварочной смеси газов

- Кислород

Кислород - двухатомный, активный защитный газ обычно используется для MIG MAG сварки как один из компонентов сварочной смеси, в концентрации менее 10%.

Кислород обеспечивает очень широкий профиль сварочного шва с неглубоким проплавлением и высокое тепловложение на поверхности металла. Кислородо-аргонные смеси обладают характерным профилем проплавления сварочного шва в виде «шляпки гвоздя». Кислород также используется в тройных смесях с CO_2 и аргоном, где он обеспечивает хорошую смачиваемость и преимущества струйного переноса.

- Водород

Водород - двухатомный, активный компонент защитного газа обычно используется в сварочной смеси в концентрации менее 10%. Водород используется главным образом при сварке аустенитной нержавеющей стали

для удаления оксида и повышения тепловложения. Как и для всех газов из двухатомных молекул, результат - широкий на поверхности сварочный шов.

Проплавление увеличенное.

Водород не подходит для ферритных или мартенситных сталей из-за возникновения трещин.

Водород может быть использован в более высокой концентрации (от 30 до 40%) для плазменной резке нержавеющей стали - для увеличения мощности и сокращения шлака.

- Азот

Азот используется реже всего для защитных целей. Он в основном используется для того, чтобы повысить коррозионную стойкость в дуплексных сталях.

5.2 Выбор сварочного автомата

Автомат для сварки плавящимся электродом в среде защитного газа CRC-Evans M300C предназначен для сварки всех слоев шва неповоротных кольцевых стыковых соединений труб. Для установки сварочной головки на трубу используются направляющие пояса (бандажи) на конкретный диаметр. Существуют направляющие пояса различных конструкций, позволяющие устанавливать головку на трубу без изоляции и с различными типами изоляционного покрытия.[71]

Особенностями автомата является:

- возможность сварки проволокой сплошного сечения (опция) и порошковой проволокой в среде защитных газов (STT GMAW, FCAW) проволоками диаметром от 0,8 мм (.03) до 2,0 мм (.079);
- вывод режимов сварки в реальном времени на цифровой дисплей;
- возможность копирования режимов сварки между автоматами;

- газовый клапан с возможностью подключения 2-х видов защитного газа;
- прочная и надежная конструкция.



Рисунок 5.2 – Автомат для сварки в среде углекислого газа

В качестве сварочных источников для автомата могут использоваться выпрямители Lincoln Electric IdealArc DC-400, инверторы Lincoln Electric Invertec V350 Pro и Invertec STT II.

Lincoln Electric Idealarc DC-400 – мощный промышленный трехфазный выпрямитель для ручной дуговой сварки штучными электродами, сварки сплошной проволокой в среде защитных газов, сварки газозащитной и самозащитной порошковой проволокой, аргодуговой сварки на постоянном токе, сварки под флюсом проволокой диаметром до 2 мм и воздушно-дуговой строжки.[71]



Рисунок 5.3 – Lincoln Electric Idealarc DC-400.

Модель DC-400 предназначена для использования со всеми видами сварки открытой дугой, на всех рекомендованных для нее режимах в диапазоне выдаваемой машиной мощности. Конструкция источника DC-400 предполагает его использование с механизмами подачи проволоки для полуавтоматической сварки LN-7, LN-7GMA, LN-8, LN-9, LN-9GMA, LN-23P, LN-25 и LN-742; с системами подачи проволоки для автоматической сварки NA-3, NA-5 и NA-5R; а так же со сварочными тракторами для автоматической сварки LT-56 и LT-7 в пределах выходной мощности машины (400 А при ПВ100%). Дополнительный блок диодов, устанавливаемый в DC-400, необходим для полноценного использования возможностей систем автоматической сварки NA-3, NA-5 и NA-5R, а именно для включения в сварочный цикл обеспечиваемой ими функции холодного старта (Cold Start, Cold Electrode Sensing). Эта особенность автоматических сварочных головок позволяет подавать сварочный потенциал на проволоку только в момент ее касания свариваемой детали, исключая неумышленные замыкания ее на корпус сварочного оборудования.[71]

Особенностями источника являются:

- Большие, удобно расположенные переключатели для быстрого выбора сварочных процессов: MMA/TIG/CAC-A – падающая ВАХ, MIG/MAG/FCAW – жесткая ВАХ, SAW – жесткая ВАХ.
- Система контроля форсирования дуги – Arc Force Control устанавливает ток короткого замыкания для мягкой дуги или жесткой дуги при падающей вольтамперной характеристике (MMA/TIG).
- Управление дугой – Arc Control позволяет контролировать пинч-эффект для регулирования уровня и скреобразования, текучести металла и формы шва при сварке в среде защитных газов и порошковой проволокой.
- $\pm 10\%$ компенсации входного (сетевого) напряжения для обеспечения стабильности выходных сварочных характеристик.
- Соответствуют требованиям стандартов IEC974-1, ROHS, CE и ГОСТ-Р.

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
2БМ4А	Бородиной Татьяне Васильевне

Институт	Природных ресурсов	Кафедра	Транспорта и хранения нефти и газа
Уровень образования	Магистр	Направление/ специальность	21.04.01. «Нефтегазовое дело», профиль «Надежность и долговечность газонефтепроводов и хранилищ»

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	<i>Оценка затрат на проведение научно-исследовательской работы «Исследование технологической адаптации автоматической сварки неповоротных стыков магистральных трубопроводов», направленной на анализ перспективности способа сварки в среде углекислого газа</i>
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	1. ЕНиР. Сборник Е22. Сварочные работы. Вып. 2 Трубопроводы. 2. РД-08.00-60.30.00-КТН-050-1-05
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	1. Налоговый кодекс РФ 2. ФЗ-213 от 24.07.2009 в редакции от 09.03.2016г. № 55-ФЗ

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	1. <i>Обоснование перспективности автоматических способов сварки в целях повышения технико-экономических показателей при строительстве магистральных трубопроводов.</i>
2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	1. <i>Составление плана проекта с учетом необходимых временных и трудовых затрат.</i>
3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	1. <i>Оценка эффективности применения технологий автоматической сварки неповоротных стыков магистральных трубопроводов</i> 2. <i>Расчет затрат на реализацию мероприятия.</i>

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

*Расход сварочных материалов
Расчет затрат на материалы
Расчет времени на проведение мероприятия
Расчет фонда оплаты труда
Расчет амортизационных отчислений
Затраты на проведение организационно-технического мероприятия*

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	01.02.2016
---	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент кафедры ЭПР	Романюк В.Б.	к.э.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ4А	Бородина Татьяна Васильевна		

6 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

В настоящее время в нашей стране разрабатывается и реализуется много крупных проектов по строительству и ремонту магистральных и промышленных трубопроводов. Возросшие масштабы строительства и ремонта трубопроводного транспорта, большая их протяженность, требуют высокого темпа прокладки при их сооружении.

Основным технологическим процессом при строительстве магистральных трубопроводов является сварка. В настоящее время сварку трубопроводов производят в различных климатических (от 60° С до -50° С) и почвенно-геологических условиях. Основной задачей всех видов сварки является качественное выполнение сварки неповоротных стыков труб. Главная проблема сварки неповоротных стыков труб заключается в том, что при сварке постоянно изменяется пространственное положение сварочной ванны от нижнего до потолочного положения. На сварочную ванну в каждом пространственном положении действует различный комплекс сил. Это осложняет задачу формирования корневого и последующих слоев шва в связи с возникновением прожогов, наплывов и других дефектов сварного соединения.

Для автоматизации сварки неповоротных стыков необходимо обеспечить направленный и управляемый перенос электродного металла, а также удержание расплавленного металла сварочной ванны во всех пространственных положениях. Применением импульсного питания сварочной дуги можно добиться получения качественного сварного шва с требуемой геометрией.

Для расчета эксплуатационных затрат на строительство трубопровода и устранение дефектов проведем экономическое сравнение перспективности выбранного способа на примере:

1. Автоматизированной сварки в среде углекислого газа

2. Автоматизированной сварки в среде углекислого газа импульсным питанием.

Рассчитаем так же эксплуатационные затраты на сварку одного неповоротного стыка. Эксплуатационные затраты на сварку одного неповоротного стыка состоят из следующих элементов:

- расход сварочных материалов;
- затраты на материалы;
- затраты на оплату труда;
- затраты на страховые взносы;
- затраты амортизационные отчисления
- затраты на проведение мероприятия;

6.1 Расход сварочных материалов

Для определения экономической эффективности и сравнения взят автоматизированный способ сварки в среде углекислых газов и способ автоматизированной сварки в среде углекислого газа импульсным питанием.

Расход сварочных материалов при автоматизированной сварке в среде углекислого газа

Расход сварочной проволоки $G_{э.п}$,

$$G_{э.п} = K_m \cdot G_n, \quad (15)$$

где F_n – площадь наплавленного металла, $F_n = 1,54 \text{ см}^2$;

$l_{ш}$ – длина шва, $l_{ш} = 320,3 \text{ см}$;

γ – плотность металла; $\gamma = 7,8 \text{ г/см}^3$.

$$G_n = F_n \cdot l_{ш} \cdot \gamma$$

$$G_n = 1,54 \cdot 320,3 \cdot 7,8 = 3847,4$$

где K_m – коэффициент расхода электродных материалов, $K_m = 1,15$.

Таким образом, расход сварочной проволоки равен:

$$G_{э.п} = 3847,4 \cdot 1,15 = 4424,5 \text{ г.}$$

Расход углекислого газа на сварку одного неповоротного стыка

$$G_y = G_p \cdot t_{пр}, \quad (16)$$

где G_p – рекомендуемый расход газа для данного процесса, $G_p = 12 \text{ л/мин}$;

$t_{пр}$ – время одного прохода:

$$t_{пр} = l_{ш} / V_{св}. \quad (17)$$

Для корневого шва: $t_{пр} = 320,3 / 0,34 / 60 = 16 \text{ мин}$;

Для последующих слоев: $t_{пр} = 3 \cdot 320,3 / 0,2 / 60 = 80 \text{ мин}$.

Таким образом, расход углекислого газа равен:

$$G_y = 12 \cdot (16 + 80) = 1152 \text{ л.}$$

Зная плотность углекислого газа ($1,96 \text{ г/л}$), можно вычислить массовый расход CO_2 , он будет равен 2258 г или 2,258 кг.

Расход сварочных материалов при автоматизированной сварке в среде углекислого газа импульсным питанием

Расход сварочной проволоки G_s ,

$$G_{э.п} = K_m \cdot G_n, \quad (18)$$

где F_n – площадь наплавленного металла, $F_n = 1,18 \text{ см}^2$;

$l_{ш}$ – длина шва, $l_{ш} = 320,3 \text{ см}$;

γ – плотность металла; $\gamma = 7,8 \text{ г/см}^3$.

$$G_n = F_n \cdot l_{ш} \cdot \gamma$$

$$G_n = 1,18 \cdot 320,3 \cdot 7,8 = 2948,0$$

где K_m - коэффициент расхода электродных материалов, $K_m = 1,15$.

Таким образом, расход сварочной проволоки равен:

$$G_{э.н} = 2948,0 \cdot 1,15 = 3392 \text{ г.}$$

Расход углекислого газа на сварку одного неповоротного стыка

$$G_y = G_p \cdot t_{np}, \quad (19)$$

где G_p – рекомендуемый расход газа для данного процесса, $G_p = 12 \text{ л/мин}$;

t_{np} – время одного прохода:

$$t_{np} = l_{ш} / V_{св}. \quad (20)$$

Для корневого шва: $t_{np} = 320,3 / 0,31 / 60 = 17 \text{ мин}$;

Для последующих слоев: $t_{np} = 2 \cdot 320,3 / 0,18 / 60 = 60 \text{ мин}$.

Таким образом, расход углекислого газа равен:

$$G_y = 12 \cdot (17 + 60) = 924 \text{ л.}$$

Зная плотность углекислого газа ($1,96 \text{ г/л}$), можно вычислить массовый расход CO_2 , он будет равен 1811 г или 1,811 кг.

6.2 Расчет затрат на материалы

К материальным расходам относятся затраты на приобретение: сырья, основных и вспомогательных материалов, используемых в производственном процессе.

Проведем расчет затрат на приобретение сварочных материалов для двух видов сварки. Расчет стоимости материалов можно свести в таблицу.

Таблица 6.1 – Расчет стоимости материалов на проведение мероприятия

Наименование материалов	Метод сварки: CO ₂			Метод сварки: CO ₂ И		
	кол-во, кг	Цена, руб/кг	Сумма, руб	кол-во, кг	Цена, руб/кг	Сумма, руб.
Углекислый газ	2,258	6,8	15,4	1,811	6,8	12,3
Сварочная проволока	4,425	80	354	3,392	80	271,4
Итого:			369,4			283,7

Итого: 3 (CO₂) составляют 369,4 руб;

3 (CO₂И) составляют 283,7 руб;

$\Delta = 3 (CO_2) - 3 (CO_2И) = 85,7$ руб.

6.3 Расчет времени на проведение мероприятия

Определим нормы времени для автоматизированной сварки и в среде углекислого газа [50]. Время на проведение мероприятия включает в себя основное время выполнения проходов автоматизированной сваркой в среде углекислого газа с импульсным питанием и без него. Помимо этого, учтем вспомогательное время, связанное с подготовкой стыка к сварке и со сваркой самого шва.

Таблица 6.2 – Основное время для автоматизированной сварки в среде углекислого газа при постоянной и импульсной подаче питания

Исходные данные и расчетная формула	CO ₂	CO ₂ И
F_H – площадь наплавленного металла, см ²	1,54	1,18
F_{H1}/F_{H2} – за первый и последующий проходы, см ²	0,22/0,44	0,24/0,47
γ – плотность наплавляемого металла, г/см ³	7,8	7,8
$I_{св}$ – сварочный ток, А	300	300

	250	250
α_H – коэффициент наплавки, г/А·ч	9,0	8,5
Длина шва $l_{шв}$, см	320,3	320,3
Время сварки стыка, мин $t_{св} = \left(\frac{F_{H1} \times \gamma \times 60}{I_{св1} \times \alpha_H} + \frac{2F_{H2} \times \gamma \times 60}{I_{св2} \times \alpha_H} \right) \times l_{шв}$	105	80

Таблица 6.3– Вспомогательное время, мин

Операции	СО ₂	СО ₂ И
Подготовка кромок кромкострогательным станком	10	10
Зачистка кромок	5	5
Установка центратора	15	15
Центрирование труб	5	5
Смена кассет с проволокой	2	1
Зачистка шва после выполнения каждого прохода	4	3
Шлифовка облицовочного шва	15	15
Другие операции	10	10
Итого	66	64

На выполнение мероприятия автоматизированной сваркой в среде СО₂ 171 минут, т.е. примерно 3 часа.

На выполнение мероприятия автоматизированной сваркой в среде углекислого газа импульсным питанием будет затрачено 144 минут, т.е 2 часа 20 мин.

6.4 Расчет затрат на оплату труда

К расходам на оплату труда относятся:

- Суммы, начисленные по тарифным ставкам, должностным окладам, сдельным расценкам или в процентах от выручки от реализации продукции (работ, услуг) в соответствии с принятыми на предприятии (организации) формами и системами оплаты труда.
- Надбавки по районным коэффициентам, за работу в районах крайнего Севера и др.

Расчет заработной платы можно свести в таблицу.

Таблица 6.4 – Расчет заработной платы

Профессия	Разряд	Кол-во человек		Тарифная ставка, руб./час	Время на проведение мероприятия, ч.		Тарифный фонд ЗП, руб.		Сев. и рай. коэф.. 50%+60%		Доплата за вредность 4%		Заработная плата с учетом надбавок, руб.	
		СО ₂	СО ₂ И		СО ₂	СО ₂ И	СО ₂	СО ₂ И	СО ₂	СО ₂ И	СО ₂	СО ₂ И	СО ₂	СО ₂ И
Мастер	8	1	1	360	3	2.2	1080	792	1188	871	43,2	31,68	2311,2	1695
Монтажник	4	2	2	200	3	2.2	1200	880	1320	968	48	35,2	2568	1883,2
Электросварщик	5	2	2	280	3	2.2	1680	1232	1848	1355	67,2	49,28	3595,5	2636,3
Слесарь	5	1	1	240	3	2.2	720	528	792	581	28,8	21,12	1540,8	1130,1
Итого							4680	3432	5148	3775	187,2	137,3	10016	7345

Итого: 3 (СО₂) составляют 10016 руб;

3 (СО₂И) составляют 7345 руб;

$$\Xi = 3 (\text{CO}_2) - 3 (\text{CO}_2\text{И}) = 2671 \text{ руб.}$$

6.5 Затраты на страховые взносы

Затраты на страховые взносы в пенсионный фонд, фонд социального страхования, фонд обязательного медицинского страхования и обязательного социального страхования от несчастных случаев на производстве представлены в таблице 17. Рассчитывая затраты на страхование от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний, выбираем согласно [У] класс I с тарифом 0,2 для транспортирования по трубопроводам нефти и нефтепродуктов (код по ОКВЭД - 60.30.1).

Таблица 6.5 – Расчет страховых взносов

Показатель	Мастер	Монтажник	Электросварщик	Слесарь
Заработная плата, руб				
CO ₂	2311,2	2568	3595,5	1540,8
CO ₂ И	1695	1883,2	2636,3	1130,1
ФСС (2,9 %)				
CO ₂	67	74,47	104,27	44,68
CO ₂ И	49,2	54,61	76,45	32,77
ФОМС (5,1%)				
CO ₂	117,87	130,97	183,37	78,58
CO ₂ И	86,45	96,04	134,45	57,64
ПФР (22%)				
CO ₂	508,46	564,96	791,01	338,98
CO ₂ И	372,9	414,30	579,99	248,62
Страхование от несчастных случаев (тариф 0,2)				
CO ₂	4,62	5,14	7,19	3,08
CO ₂ И	3,39	3,77	5,27	2,26
Всего затрат, руб				

CO ₂	3024,68
CO ₂ И	2218,07

6.6 Затраты на амортизационные отчисления

Затраты определяются, исходя из балансовой стоимости основных производственных фондов и нематериальных активов и утвержденных в установленном порядке норм амортизации, учитывая ускоренную амортизацию их активной части. Нормы амортизации для сварочного аппарата выбираем согласно единым нормам амортизационных отчислений на полное восстановление основных фондов народного хозяйства СССР (утв. постановлением СМ СССР от 22 октября 1990 г. N 1072).

Расчет амортизационных отчислений при строительстве и устранении дефектов трубопровода с применением автоматической сварки в среде CO₂ представлен в таблице 6.6.

Таблица 6.6 – Расчет амортизационных отчислений при строительстве трубопровода автоматизированными способами сварки в среде CO₂

Объект	Стоимость руб.	Норма амортизации %	Норма амортизации в год, руб.	Норма амортизации в час, руб.	Кол-во	Время работы, час.	Сумма амортизации, руб.
Сварочный аппарат CRC-Evans M300C (для CO ₂)	3000000	11	330000	37,67	1	171	6441,8
Сварочный аппарат CRC-Evans M300C (для CO ₂ И)	3000000	11	330000	37,67	1	144	5424,5

Расчет амортизационных отчислений показывает, что при автоматической сварке в среде CO₂ без импульсной подачи питания амортизационные отчисления составят 6441,8 руб, тогда как при

автоматической сварки с импульсной подачей питания этот же показатель составляет 5424,5 руб. Соответственно, экономия затрат на данном этапе составляет 1017,3 руб.

6.7 Затраты на проведение мероприятия

По результатам вышеперечисленных расчетов затрат, рассчитывается общая сумма затрат на проведение организационно-технического мероприятия (Таблица 6.7).

В таблице 6.7 учитываются так же прочие расходы, в число которых входят средства индивидуальной защиты, питание и перевозка бригады рабочих, составляют 10% от фонда оплаты труда.

Таблица 6.7 – Затраты на проведение организационно-технического мероприятия

Состав затрат	Сумма затрат, руб.	
	CO ₂	CO ₂ И
Материальные	369,4	283,7
Оплата труда	10016	7345
Страховые взносы	3024,68	2218,07
Амортизационные отчисления	6441,8	5424,5
Прочие расходы	1001,60	734,50
Накладные расходы (20%)	4170,70	3201,15
Плановые накопления (5%)	1251,21	960,35
Итого	26275,38	20167,27

Экономический расчет показал, что затраты на сварку одного неповоротного стыка автоматической сваркой в среде углекислого газа с постоянной подачей питания на 6108,11 руб. больше, чем сварки с импульсной подачей питания. Следовательно переход к новому методу сварки в среде углекислого газа с импульсной подачей питания перспективен и позволяет снизить затраты и количество времени на строительство трубопровода.

7 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ТРУБОПРОВОДОВ АВТОМАТИЗИРОВАННЫМ СПОСОБОМ СВАРКИ В СРЕДЕ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА

Ответственность за соблюдение требований промышленной безопасности, а также за организацию и осуществление производственного контроля несут руководитель эксплуатирующей организации и лица, на которых возложены такие обязанности в соответствии с должностными инструкциями.

При строительстве магистральных трубопроводов организации, выполняющей работы, необходимо уделять особое внимание производственной и экологической безопасности работников и окружающей среды.

Социальная или корпоративная социальная ответственность (как морально-этический принцип) – ответственность перед людьми и данными им обещаниями, когда организация учитывает интересы коллектива и общества, возлагая на себя ответственность за влияние их деятельности на заказчиков, поставщиков, работников, акционеров (ГОСТ Р ИСО 26000-2012) [37].

Суровые климатические условия серьезно отразились на требованиях к качеству сварки и значительно повысили её трудоемкость. Магистральный трубопровод, проложенный на таких участках, подвержен дополнительным физическим и механическим нагрузкам. Работать в условиях большой влажности воздуха, низких температурах, сильных порывах ветра также является сложной задачей.

7.1 Профессиональная социальная безопасность

На этапе строительства магистрального трубопровода присутствуют опасные и вредные производственные факторы (таблица 11), которые могут

привести к ухудшению состояния здоровья или смерти рабочих, поэтому необходимо предусматривать мероприятия для защиты от них.

Таблица 7.1 – Основные элементы производственного процесса, формирующие опасные и вредные факторы при строительстве магистрального трубопровода на открытом воздухе в зимнее время

Наименование видов работ	Факторы (ГОСТ 12.0.003 – 74 ССБТ с измен. 1999 г.)		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
1	2	3	4
Земляные работы; Подъем, укладка нефтепровода на опоры; Сварочно-монтажные работы; Изоляционно-укладочные работы; Испытание нефтепровода.	1.Отклонение показателей климата на открытом воздухе; 2.Превышение уровней шума и вибрации; 3.Тяжесть и напряженность физического труда.	1.Электрический ток; 2.Пожаро- и взрывоопасность 3.Электрическая дуга и металлические искры при сварке 4.Движущиеся машины и механизмы производственного оборудования (в т.ч. грузоподъемные)	ГОСТ 12.0.003-74[32] ГОСТ 12.1.003-83[25] ГОСТ 12.1.004-91[26] ГОСТ 12.1.005-88[28] ГОСТ 12.1.010-76[36] ГОСТ 12.1.011-78[37] ГОСТ 12.4.011-89[27] ГОСТ 12.1.019-79[45].

7.1.1 Анализ вредных производственных факторов и обоснование мероприятий по их устранению

Вредными производственными факторами принято называть факторы, которые могут оказать отрицательное влияние на работоспособность, а так же вызвать профессиональные заболевания и многие другие неблагоприятные последствия для человека. [32]

1. Отклонение показателей климата на открытом воздухе

На этапе строительства на участках контакта с многолетнемерзлыми грунтами работы ведутся преимущественно в зимнее время года, когда грунт находится в мерзлом состоянии. В летнее время, из-за оттаивания грунта, проезд и движение техники становится невозможным.

Резкие изменения температуры окружающей среды, да и просто работа в условиях пониженных температур несет отрицательное влияние на здоровье человека. Двигательная активность работника обеспечивается всеми жизненными процессами в теле человека. Энергии на преобразование теплообмена используется больше, чем на выполнение самой работы. Нарушение баланса тепла может привести к перегреву либо, наоборот, к переохлаждению человека. Это приводит к нарушению в работе, снижению активности и т.д.

Организации, работники которых трудятся на открытом воздухе, обязаны придерживаться ряда ограничений по температурным режимам. Температурные режимы, при которых приостанавливаются работы на открытом воздухе показаны в таблице 12.

Таблица 7.2 – температурный режим, при котором приостанавливаются работы на открытом воздухе [28]

Скорость ветра, м/с	Температура воздуха °С
При безветренной погоде	– 40
Не более 5,0	– 35
5,1–10,0	– 25
10,0–15	–15
15,1–20,0	–5
Более 20,0	0

Работники, которые трудятся на открытом воздухе при низких температурах могут получить следующие травмы:

- переохлаждение организма (гипотермии);
- обморожение (руки, пальцы, нос).

Для профилактики обморожений работники должны быть обеспечены средствами индивидуальной защиты, в которые входит комплект утепленной одежды. Комплект одежды включает: куртку (телогрейку); ватные штаны; свитер; головной убор (шапка); перчатки; обувь.

Одежда должна соответствовать всем требованиям, подходить по размеру и не сковывать движения. Современная спецодежда изготавливается

из качественных утеплителей: тинуслейт, синтепон, холофайбер. Для удобства работника, одежда оснащается дополнительными эргономичными деталями: капюшон, функциональные карманы. В ветряную погоду работники должны быть обеспечены средствами защиты лица (специальными масками).

Помимо одежды к работам должны допускаться работники с хорошей физической формой, и годные по здоровью. Доставка людей к рабочему месту осуществляется в специальных автомобилях, с системой отопления салона[27].

2. Превышение уровней шума и вибрации

Источником шума при строительстве трубопроводов являются машины и оборудование: экскаваторы, бульдозеры, трубоукладчики и т.д. Они сопровождаются огромным количеством звуков, которые, при долгосрочном воздействии на человека, могут принести вред слуху и дискомфорт.

Шумовое загрязнение на рабочем месте отрицательно влияет на работающих: замедляется скорость реакций, увеличивается расход энергии при одной и той же физической нагрузке, снижается внимание и т.п. В итоге снижается качество выполняемой работы и производительность труда. Следствием продолжительного воздействия шума на человека являются развитие такие заболевания как шумовая болезнь, снижение слуховой чувствительности, изменение функций пищеварения, сердечно-сосудистая недостаточность. При повышенном уровне вибрации у человека наблюдается повышение утомляемости, увеличение времени зрительной реакции, нарушение опорно-двигательного аппарата[25].

Знание физических законов процесса распространения и излучения шума позволит принимать решения, воздействующие на уменьшение его негативного воздействия на человека.

Допустимый уровень звука при работе на производстве зависят от тяжести труда. Максимальный уровень шума при работе с инструментом в быту не должен превышать 80 дБА[25].

Длительное действие шума > 85 дБ в соответствии с нормативными документами СН 2.2.4/2.1.8.562-96 [33] и ГОСТ 12.1.003-83 [25], приводит к постоянному повышению порога слуха, к повышению кровяного давления.

Для снижения воздействия шума на человека работники оснащаются специальными средствами защиты – наушниками или вкладышами. Все инструменты, которыми производятся работы, проходят тестирование на уровень шума, и допускаются к работе с виброзащитой или глушителем. Работа должна проходить с небольшими перерывами для снижения воздействия вибрации и шума на человека.

3. Тяжесть и напряженность физического труда

Магистральные трубопроводы расположены далеко от населенных пунктов и работникам приходится ездить в командировки или работать вахтовым методом. Нахождение вне дома, плюс тяжелый труд сказываются на эмоциональном состоянии работника и может привести к заболеваниям.

Для недопущения заболеваний людей при напряженном труде, организации должны придерживаться ряда требований:

- обеспечить людям 8-ми часовой рабочий день;
- обеденный перерыв;
- комфортные условия проживания;
- небольшие перерывы между рабочим процессом;
- своевременная заработная плата.

При соблюдении этих правил, риск возникновения недугов из-за тяжести труда минимален.

7.1.2 Анализ опасных производственных факторов и обоснование мероприятий по их устранению

Опасными производственными факторами называются факторы, способные при определенных условиях вызывать острое нарушение здоровья и гибели человека. [32].

1. Электрический ток

Один из опасных факторов производства, который не предупреждает о своем наличии (нет явных признаков таких как: запах, свечение и т.д.) – это электрический ток. Источником электрического тока при строительстве или монтаже нефтепровода является передвижная электростанция, или подключение к трансформаторным станциям.

Опасность электрического тока возникает при ряде нарушений:

- нарушение изоляции проводов;
- неправильное или отсутствие заземления;
- обрыв проводки.

Основными видами производственного травматизма и заболевания при сварке в среде защитных газов являются: поражение электрическим током, действие лучистой энергии дуги, в частности его ультрафиолетового спектра, отравление, пневмокониоз, электроофтальмия, поражение при взрыве баллонов и ряд других факторов, связанных с производством сварочных работ (возникновение пожаров, ожоги расплавленным металлом).

Поражение электрическим током может произойти как непосредственно во время сварки, так и в процессе подключения источником питания, а также при работе на неисправном и незаземленном оборудовании. Характер и степень поражения зависит от напряжения тока, электросопротивления тела человека и наличия средств индивидуальной защиты. Для человека травмоопасным значением силы электрического тока является 0,15 Ампер, или переменное и постоянное напряжение больше 36 В [45].

Поражения от действия электрического тока могут быть разными: от мелких и крупных ожогов кожного покрова, до сокращения мышц сердца, что приводит к его остановке. Различают несколько видов электрических ожогов:

- покраснение кожи;
- образование на поверхности кожи пузырей и волдырей;
- обугливание кожи.

Ожоговые раны очень долго затягиваются, а поражение 2/3 поверхности кожи всего тела, практически в 85% случаев приводит к летальному исходу.

Для предотвращения поражения человека от электрического тока при строительстве и монтаже нефтепроводов используют следующие средства защиты:

- коллективные средства электрозащиты, в которые входят: оснащение
- всех опасных электроприборов специальными предупредительными табличками; оборудование электронными системами защиты; изоляция основных электроопасных узлов; контроль за состоянием электрических цепей, заземление и зануление приборов, работающих от электричества;
- индивидуальные средства защиты, в которые входят: резиновые перчатки (электропоглащающие); диэлектрическая обувь; изолированные подставки под оборудование и т.д.

Для работы с электроприборами допускаются люди специально обученные и имеющие удостоверение по электробезопасности.

В случае поражения электрическим током необходимо до прибытия врача оказать пострадавшему первую помощь: прежде всего, не касаясь пострадавшего, следует освободить его от действия электрического тока, выключив рубильник или вывинтив пробки в щите. Если этого нельзя сделать, можно перерезать или перерубить провода топором на деревянной рукоятке (каждый провод отдельно). При этом необходимо следить за тем,

чтобы спасающий не попал под действие тока. Поэтому рукоятку применяемого инструмента следует обернуть сухой шерстяной, шелковой или прорезиненной тканью. Когда нельзя быстро отключить электрический ток, нужно оттащить пострадавшего от провода, а при поражении — от оборвавшегося конца провода, отбросив провод, например, сухой палкой. Оттаскивать пострадавшего следует только за концы одежды, не прикасаясь к его телу незащищенными руками. Если пострадавший судорожно обхватил провод, нужно разжать его руки, отгибая палец за пальцем от провода. Однако это можно делать только в резиновых перчатках и на изолирующей подставке. После освобождения пострадавшего от действия электрического тока дальнейшие действия зависят от состояния его организма. Прежде всего нужно вызвать врача. Если у пострадавшего есть дыхание и пульс, его необходимо осторожно отнести от места поражения, удобно уложить, расстегнуть одежду, снять пояс и предложить соблюдать покой. Если пострадавший не подает признаков жизни, следует немедленно приступить к искусственному дыханию. Даже в тех случаях, когда естественное дыхание не появляется, нужно не оставлять попыток оживить пострадавшего. Искусственное дыхание можно делать в течение 2 ч. После того как пострадавший придет в сознание, он должен продолжать лежать под присмотром.

2. Пожаро- и взрывоопасность

Источником пожара на линейной части трубопровода может быть: электрическое оборудование, которое работает неправильно и в следствии нагрева происходит воспламенение; неправильное отношение к продуктам отходов (бутылкам и окуркам); искры от сварки и т.д. Взорваться в свою очередь может баллон с газом или кислородом, канистра с горючим материалом и т.д.

Последствия взаимодействия открытого огня и человека приводит к ожогам различных степеней у последнего, не исключение и летальный исход.

Взрыв же для человека опасен, если он находится в эпицентре, но взрыв, как правило, сопровождается пожаром, поэтому опасность нельзя недооценивать.

Тушение пожара на трубопроводе производится специальными средствами пожаротушения: огнетушителями пеногонными типа ОП-10 или ОУ-10, стволы с водой, сухой песок, кошма. При возгорании газа применение пенных огнетушителей малоэффективно, поэтому рекомендуется применять углекислотные огнетушители типа ОУ-1, ОУ-3. Для постоянного контроля, на пожароопасных работах дежурит пожарный экипаж. Для предотвращения небольшого очага возгорания подойдут подручные средства: одеяла, вода[34].

Постоянный мониторинг и внимательное отношение к работе в пожароопасной зоне позволяет избегать возгораний и взрывов.

3. Электрическая дуга и металлические искры при сварке

При работе со сваркой необходимо особое внимание уделять безопасности. Опасность получения травмы присутствует не только у самого сварщика, но и у окружающего его персонала.

Искры, электрическая дуга, брызги раскаленного металла, которые образуются во время сварки, при попадании на открытую область человеческой кожи и в глаза несут серьезную опасность получения травм.

В процессе работы на работника возможно воздействие следующих опасных и вредных производственных факторов [32]:

- твердые и газообразные токсические вещества в составе дыма;
- интенсивное тепловое (инфракрасное) излучение свариваемых деталей и сварочной ванны;
- искры, брызги, выбросы расплавленного металла и шлака;
- высокочастотный шум;
- статическая нагрузка и др.

Сварщики оснащаются специальными сварочными костюмами, в комплект которых входят отражающие куртки и штаны.

При проведении работ не допускается курение. Сварщик обязан быть обучен и исполнять требования пожарной безопасности.

Корпуса, а также все открытые проводящие части применяемого передвижного электрооборудования должны быть защищены от косвенного прикосновения и т.д. в соответствии с требованиями [34] путем заземления с помощью переносных заземлителей.

Сопротивление заземляющего устройства для электроустановок с глухозаземленной нейтралью для питания напряжением до 1 кВ не должно превышать 4 Ом, а для электроустановок с изолированной нейтралью напряжением до 1 кВ – 10 Ом, при выполнении условия, указанного в ПУЭ (пункт 1.7.104). [34]

Для этого рассчитывается сопротивление одиночных заземлителей растеканию тока в однородном грунте [26]:

$$R = \frac{\rho}{2\pi \cdot l} \cdot \ln \frac{4l}{d}, \quad (28)$$

где ρ - приближенные значения удельного электрического сопротивления грунта для торфа=10-30 Ом·м принимаем -20 Ом·м;

d – диаметр стержня -4,5 см;

l - длина стержня согласно ПУЭ = 0,5-0,7 м принимаем -0,6 м.

$$R = \frac{20}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,6} \cdot \ln \frac{4 \cdot 0,6}{0,045} = 21,1 \text{ Ом} \cdot \text{м}.$$

Согласно ГОСТ 12.1.038-82 [34] сопротивление не должно превышать 25 Ом·м. Полученное сопротивление не превышает нормативного.

4. Движущие машины и механизмы производственного оборудования (в т.ч. грузоподъемные)

Строительство трубопровода связан с работой тяжелой техники: экскаваторов, бульдозеров, трубоукладчиков. Движущиеся части этой техники (ковш экскаватора, отвал бульдозера) при невнимательном

отношении могут привести к травмам. Отсутствие защитных средств приводит к ушибам, переломам и вывихам различных частей тела человека.

Работник, при движении техники в зоне проведения работ, обязан носить головной убор (каска). Находиться в зоне работы техники недопустимо. По полосе движения техники и подвижного оборудования должны находиться предупреждающие таблички, которые информируют об опасности.

В мероприятия для обеспечения безопасности работников при проведении подготовительных и основных работ с применением средств коллективной и индивидуальной защиты входят определенные этапы.

До начала работ:

1) оформить наряд – допуск на проведение газоопасных, огневых работ и работ повышенной опасности.

2) провести внеочередной инструктаж всем членам бригады по безопасным методам и приёмам ведения газоопасных, огневых работ и работ повышенной опасности, а также по правилам поведения во взрыво- и пожароопасной обстановке и других опасных условиях и обстоятельствах с росписью в Журнале инструктажей на рабочем месте и наряде-допуске.

Ознакомить всех руководителей, специалистов, механизаторов и бригадиров с данным Планом производства работ до начала работ, выборочно опросить персонал по усвоению требований безопасности отраженных в разделе;

3) до начала работ установить наличие и обозначить знаками расположение всех коммуникаций в радиусе проведения работ;

4) после доставки и расстановки всё электрооборудование, жилые вагоны, электрические аппараты следует заземлить;

5) проверить взрывозащиту и изоляцию применяемого оборудования.

7.2 Экологическая безопасность

Источниками неорганизованных выбросов в воздушный бассейн являются [28]:

- автотранспорт при перевозке строительных материалов;
- работающие строительные машины и механизмы;
- сварочные работы.

Загрязнение атмосферного воздуха в период проведения работ происходит за счет неорганизованных выбросов и является кратковременным.

К загрязняющим веществам относятся продукты неполного сгорания топлива в двигателях строительных машин и механизмов, вещества, выделяющиеся при сварке труб, выполнении изоляционных, земляных работ и при доставке строительных материалов, представлены в таблице 11.

При выполнении работ необходимо соблюдать требования по защите окружающей среды, условия землепользования, установленные законодательством по охране природы, СНиП 12-01-2004 [40], СНиП III-42-80* [41], и другими нормативными документами.

Перед началом работ необходимо следует выполнить:

- оформить в природоохранных органах все разрешения, согласования и лицензии, необходимые для производства работ по данному объекту;
- заключить договора со специализированными организациями на сдачу отходов, нефтезагрязненного грунта, сточных вод образующихся в процессе производства работ;
- оборудовать места временного размещения отходов в соответствии с нормативными требованиями.

При организации работ необходимо осуществлять мероприятия и работы по охране окружающей среды, которые должны включать

предотвращение потерь природных ресурсов, предотвращение попадания загрязняющих веществ в почву, водоемы и атмосферу.

Загрязнение атмосферы во время производства работ носит временный обратимый характер.

Проведение работ, движение машин и механизмов, складирование и хранение материалов в местах, не предусмотренных проектом, ЗАПРЕЩАЕТСЯ.

Загрязнение атмосферного воздуха во время проведения работ происходит за счет несанкционированных выбросов, что является кратковременным.

К загрязняющим веществам относятся продукты неполного сгорания топлива в двигателях строительных машин и вещества, выделяющиеся при сварке труб, выполнении изоляционных, земляных работ и при доставке строительных материалов (таблица 7.3).

Таблица 7.3 – Перечень загрязняющих веществ [28]

Наименование Загрязняющего вещества	Код	ПДК м.р. мг/м ³ для населения	ПДКр.з.** мг/м ³	Класс опасности
Диоксид азота	0301	0,085	2,0	2
Сажа	0328	0,15	4,0	3
Сернистый ангидрид	0330	0,5	10	3
Оксид углерода	0337	5,0	20	4
Фториды	0344	0,2	0,5	2
Предельные углеводороды C1-C5	415	50	300	4
Предельные углеводороды C6 <C10	0416	30	300	4
Бензол	0602	0,3	15	2
Толуол	0621	0,6	5	3
Бенз(а)пирен	0703	0,000001	0,000 1 5	1
Углеводороды от сжигания дизельного топлива (по керосину)	2732	1,2 (ОБУВ)	300	4
Пыль неорганическая, содержащая SiC'i 20-70%	2908	0,3	4,0	3

7.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

При производстве сварочных работ наиболее вероятной ситуацией чрезвычайного характера является пожар. Пожар может возникнуть из-за искр, образующихся при сварке, так же причиной пожара может стать высокая температура металла, нагревающегося в процессе сварки.

При обеспечении пожарной безопасности ремонтных работ следует руководствоваться ППБ 01-03 [42], РД-13.220.00-КТН-367-06 [43] и другими утвержденными в установленном порядке региональными СНиП, НД, регламентирующими требования пожарной безопасности.

Места, где проводятся сварочные работы, должны быть укомплектованы первичными средствами пожаротушения[43]:

- асбестовое полотно размеров 2×2 м – 2 шт.;
- огнетушители порошковые ОП-10 – 10 шт., или углекислотные
- ОУ-10 – 10 штук или один огнетушитель ОП-100 (ОП-50 2 шт.);
- лопаты – 2 шт.;
- ведра – 2 шт.;
- топор, лом – по 1 шт.

Допуск работников к проведению работ должен осуществляться после прохождения ими противопожарного инструктажа. Если происходит изменение специфики работ, то необходимо провести внеочередной инструктаж.

Вся передвижная техника в охранной зоне МН должна быть обеспечена искрогасителями заводского изготовления.

Машины, сварочные аппараты, компрессоры, задействованные в производстве подготовительных и огневых работ, должны оснащаться не менее чем двумя огнетушителями ОУ-10, ОП-10.

Приказом устанавливается соответствующий противопожарный режим, в котором должно быть установлены [43]:

- порядок утилизации горючих отходов, места хранения промасленной спецодежды;

- порядок отключения от питания электрооборудования в случае пожара;
- последовательность проведения огневых и пожароопасных работ, действия и обязанности работников при возникновении пожара;
- порядок и сроки прохождения внеочередного противопожарного инструктажа, время проведения занятий по подготовке к борьбе с пожаром, а также назначены ответственные за их проведение.

Горючие отходы, мусор должны складироваться на специально отведенных для этого местах выделенных площадках в специальной таре, а затем должны быть утилизированы.

Место проведения работ необходимо обеспечить прямой связью с ближайшим подразделением пожарной охраны или оператором НПС.

Спецодежда рабочих с маслами, лаками, красками должна храниться в подвешенном виде в металлических шкафах, установленных в специально отведенных для этой цели местах.

При работе категорически запрещается курить на рабочем месте.

На рабочих местах должны быть вывешены предупредительные надписи: “Не курить”, “Огнеопасно”, “Взрывоопасно”.

В случае возникновения пожара использовать пенные, порошковые, углекислотные огнетушители или приспособления для распыления воды.

Весь переносной электроинструмент должен быть обязательно подключен через устройство защитного отключения (УЗО).

Производство сварочных работ запрещено во время снега или дождя без использования специальной сварочной палатки над местом проведения работ и при скорости ветра больше 10 м/с.

Запрещается проведение сварочно-монтажных и погрузочно-разгрузочных работ в грозу.

При перевозке баллонов с газом на них должны быть навинчены защитные колпаки. Нахождение людей в кузове автомобиля при перевозке баллонов с газом строго запрещено.

Баллоны для газа должны периодически проходить технический осмотр. На горловине баллона должна быть нанесена дата следующего технического осмотра. Баллоны не прошедшие освидетельствование к эксплуатации не допускаются. Баллоны должны быть укрыты от воздействия прямых солнечных лучей, а расстояние от источников открытого огня до баллонов должно быть не менее 5 м. Редукторы, которые используют для снижения давления, должны быть выкрашены в тот же цвет, что и газовый баллон. Запрещается использование редукторов, которые имеют неисправные или не проверенные манометры. Запрещается подогревать баллоны для повышения давления.

7.4 Законодательное регулирование проектных решений

Подрядные организации, дочерние компания и акционерные общества, которые занимаются строительством трубопроводов и осуществляют на магистральных трубопроводах транспорт нефти, обязаны обеспечивать своих работников всеми материальными и социальными благами в соответствии с трудовым кодексом РФ от 30.12.2001 №197-ФЗ [44].

В соответствии со статьей «Право работника на труд в условиях, отвечающих требованиям охраны труда» работник имеет право на:

- рабочее место;
- своевременную оплату;
- социальное страхование от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний;
- получение достоверной информации от работодателя об условиях и охране труда;
- отказ от выполнения работ в случае опасности для жизни;
- обеспечение средствами индивидуальной защиты;
- обучение за счет работодателя;
- медицинский осмотр и т.д;

Часть трубопроводов проложены в районах крайнего севера. Работники, которые трудятся в условиях крайнего севера, имеют дополнительные льготы в соответствии с законом РФ от 19.02.1993 N 4520-1 «О государственных гарантиях и компенсациях для лиц, работающих и проживающих в районах Крайнего Севера и приравненных к ним местностях»[44].

Одной из основных льгот, предоставляемых данной категории работников, является районный коэффициент. Согласно ст. 315 ТК РФ[44] оплата труда в районах Крайнего Севера и приравненных к ним местностях осуществляется с применением районных коэффициентов и процентных надбавок к заработной плате.

Кроме того, коэффициент начисляется на надбавки и доплаты к тарифным ставкам (должностным окладам) и компенсационные выплаты, связанные с режимом работы и условиями труда, к которым относятся надбавки[44]:

- за классность, звание по профессии, непрерывный стаж работы по специальности и т.д.;
- должностным лицам и гражданам, допущенным к государственной тайне;
- за выслугу лет (непрерывную работу), а также вознаграждение за выслугу лет, выплачиваемое ежеквартально или единовременно;
- по итогам работы за год;
- за условия труда при работе в ночное время, сменную работу, за совмещение профессий (должностей).

В состав заработка, где начисляется районный коэффициент, не включаются: процентные надбавки к заработной плате за работу в районах Крайнего Севера и приравненных к ним местностях, а также в южных районах Восточной Сибири и Дальнего Востока; все виды выплат по среднему заработку (отпускные, оплата обучения работников, направленных на профессиональную подготовку, повышение квалификации или обучение

вторым профессиям, и др.); материальная помощь; единовременные поощрительные выплаты, не предусмотренные системой оплаты труда организации

Северянам также должна выплачиваться процентная надбавка к заработной плате. В отличие от районного коэффициента при выплате надбавок необходимо учитывать стаж работы в данных районах или местностях. Размер процентной надбавки и порядок ее выплаты (как и районный коэффициент) устанавливаются Правительством РФ (ст. 317 ТК РФ, ст. 11 Закона N 4520-1)[44].

Статья 116 ТК РФ устанавливает северянам ежегодные дополнительные оплачиваемые отпуска. При этом работодатели с учетом своих производственных и финансовых возможностей могут самостоятельно устанавливать для работников дополнительные отпуска, порядок и условия предоставления которых, определяются коллективными договорами или локальными нормативными актами, которые принимаются с учетом мнения выборного органа первичной профсоюзной организации.

Кроме своих работников, нефтеперекачивающие организации точно так же, обязаны следить за негативным влиянием их деятельности на окружающую среду, и защищать население от чрезвычайных ситуаций. В основу управления положен закон РФ «О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера»[39].

Согласно [39] комплекс мероприятий по защите населения включает:

- оповещение населения об опасности, его информирование о порядке действий в сложившихся чрезвычайных условиях;
- эвакуационные мероприятия;
- меры по инженерной защите населения;
- меры радиационной и химической защиты;
- медицинские мероприятия;
- подготовку населения в области защиты от чрезвычайных ситуаций.

Магистральные трубопроводы относятся к опасным производственным объектам, поэтому организации, занимающиеся их эксплуатацией, подчиняются Федеральному закону от 21 июля 1997 г. №116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов»[46].

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Раздел 2

AUTOMATIC WELDING IN SHIELDING GASES

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ4А	Бородина Татьяна Васильевна		19.05.16

Консультант – лингвист кафедры ИЯПР:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Швагрукова Е.В.	к.ф.н., доцент		19.05.16

2. AUTOMATIC WELDING IN SHIELDING GASES

1. PULSED WELDING PLASMA SOURCE

1.1 Introduction

Argon-arc welding with a non-consumable electrode provides a high weld quality when constructing metal structures for critical applications. One of the disadvantages of this method is low melting capacity. Various methods and means to eliminate this disadvantage can be found in literature. The dynamic mode of arc burning is among them. This method allows increasing the melting capacity by 25-30 % [54] with a more concentrated heat input into the product, in comparison with the conventional welding mode. This improves weld formation and mechanical properties of the welded joint.

It is known [54, 55] that in the dynamic mode of arc burning the pulse duration is to be less than 450 μs . The resumption of the electric discharge occurs through gas molecule ionization in the arc gap. When the arc is powered by short-time current pulses with a steep front and edge, ionization processes lag behind the change in the current, and the arc discharge does not become steady. This process provides a contracted arc column and anode spots adjacent to the column. The arc discharge in the dynamic mode is characterized by a greater density of the energy input into the product and greater melting capacity if compared with those of the arc discharge by a stationary arc with the current equal to the average current of the dynamic mode. Since the concentration of the heat input in the product in the dynamic mode is greater due to the arc energy parameters without auxiliary structures and devices used, the study of this discharge for practical purposes is of great interest.

The lack of technical means for implementation of the dynamic mode of arc burning hinders its wide application.

1.2 Theoretical analysis

The analysis of the scientific literature showed that the energy storage of the electrical network and its further conversion into the welding current pulses can be provided by chemical elements; a centrifugal mass; magnetic elements; coaxial cables and forming lines.

Electrochemical energy storage devices utilize the energy from chemical reactions for energy storage and regeneration [56]. When using an accumulator, the energy is accumulated due to the chemical reactions between the electrodes

immersed in the electrolyte solution. The upper limit of the currents flowing through the accumulator is equal to 300 A. To use the accumulator as the energy storage device, for the dynamic mode of arc welding, in particular, is not rational due to the increased heat losses and, consequently, low efficiency, if compared to the stationary mode and other energy storage devices.

The rotating masses are most economical in comparison with capacitors and inductors. The accumulation of energy in the inductive load occurs in two stages: 1) the prime mover of small capacity accelerates the rotor of the impact-excited generator up to the nominal speed; 2) the impact excited generator converts the stored kinetic energy into the electromagnetic one and transmits it to the inductive load. The losses of the rotating mass energy are insufficient if compared with the transmitted energy, i.e. the efficiency of the charging unit is high, and the weight-size parameters of the system are large.

A homogeneous artificial forming line (AFL) is of great importance in creation of the current pulse which provides the dynamic mode of arc burning [4, 5].

The line (Figure 1) consists of L_c and C_c cells with equal inductance values of chokes L_c and capacitances C_c . When analyzing the processes occurring in this line, the resistance of the chokes is typically taken into account and the losses in the capacitors are neglected.

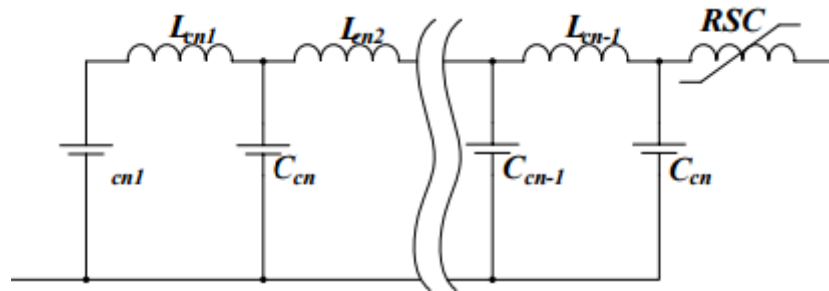


Figure 1 – Equivalent circuit of the homogeneous artificial line.

In this system, the capacitor is charged through charging choke L_o and the charge thyristor, and discharging to the arc gap is carried out through the discharge thyristor. The discharge of this line produces rectangular pulses with a steep front and edge. The disadvantage of the system is a limited pulse formation frequency due to a sufficiently long phase of capacitor pre-charging and possible occurrence of the through current which causes failure.

In addition to the AFL, coaxial cables or stripline circuits can be used as a device for pulse formation and energy storage [60]. Such lines are used to generate

pulses of nanosecond duration. However, their practical application is attended by structural difficulties; limited duration (from 20 ns to 0.5 μ s); low operating voltage.

1.3 Practical implementation

To eliminate the identified shortcomings, the discharge of the forming element (FE) and its recharge are to be combined within the time of the pulse current travelling through the arc gap. For this purpose, the FE is included in the diagonal of the bridge converter, and the other diagonal of the bridge converter is connected in series with the welding arc to the external circuit of the constant current source.

A functional diagram of the developed experimental model of the power system is presented in Figure 2 [59].

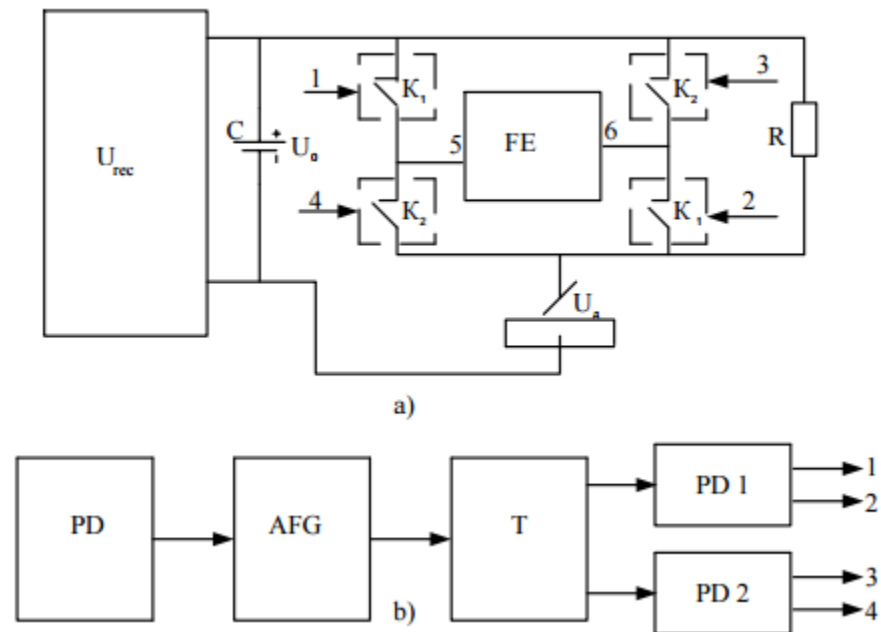


Figure 2 – A functional scheme of the device.

The device consists of three-phase rectifier U_{rec} with a rigid external characteristic and regulated open circuit voltage. To reduce the internal resistance to output terminals U_{rec} , the capacitor bank of high capacitance C is connected.

The connection of the FE to the diagonal of the bridge and presence of capacitor bank C allows for FE recharging from the opposite polarity through the arc gap, in the sequential opening of key pairs $K_1 - K_1$ and $K_2 - K_2$, without pre-charging from the power supply unit.

To ensure the arc continuity within the inter pulse interval, the interval is shunted by resistor R to provide the background current flow through the arc gap. The range of the background current values is limited by a minimum value (requirements for the arc physical stability and protection), and by a maximum value (technological requirements).

The power supply unit (PSU) supplies power to the control circuit. The frequency of the device operation is determined by the adjustable frequency generator (AFG) capable of varying frequency from a few hertz to several thousand hertz with a corresponding decrease in the welding current pulse width. The sequence of pulses from the generator is supplied to the input of the T-trigger to divide the frequency by two. The pulse sequence frequency is two times less than the adjustable generator frequency, and the pulses shifted relative to each other by the period of the generator pulse frequency are fed to keys K1 – K1 and K2 – K2 from the two outputs of the T-trigger.

The AFL consisting of n-th number of cells is used as a forming element of the FE (Figure 3). In turn, each cell consists of series-connected capacitor Cc and choke Lc .

The last cell choke is designed as a rapidly saturated choke (RSC) with the core having a rectangular magnetization curve, and the inductance in a saturated state is equal to the inductance of the cell chokes.

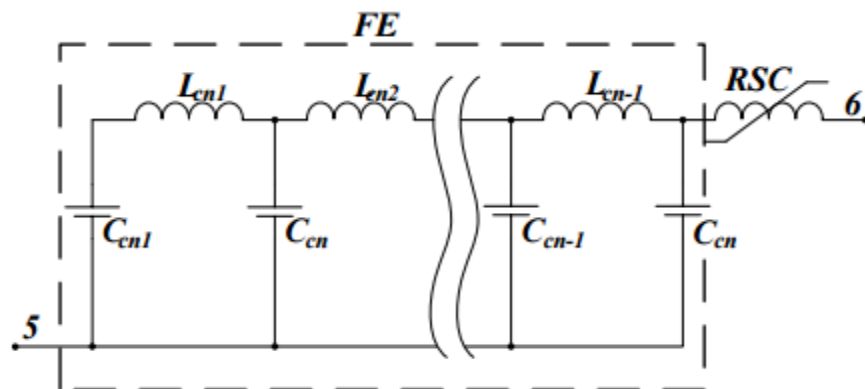


Figure 3 – A forming element

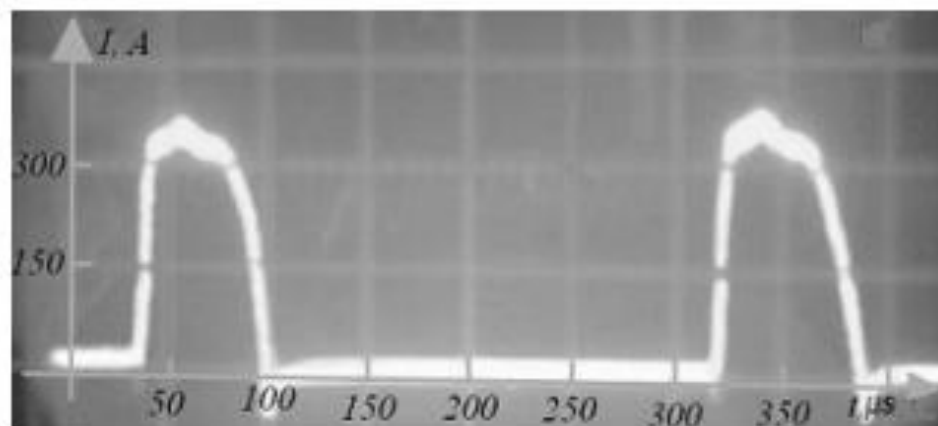
The device operates as follows. When feeding the control pulses to keys K1 – K1 located in the opposite arms of the bridge, the lower plates of capacitors Cc are negatively charged and the upper plates of the AFL capacitor are positively charged. Capacitor bank C is always charged from rectifier Urec with the upper plates being positive. When keys K1 - K1 are opened under total power supply voltage Urec and the voltage of charged capacitors Cc , the AFL is recharged as

follows: rectifier Urec (plus) – key K1 – FE – RSC – key K1 – arc gap (between the product and the electrode) – rectifier (minus). When recharging is completed, capacitors Cc change their polarity: the lower plates become positive, and the upper plates become negative.

When keys K2 – K2 are opened, the recharging process of the AFL is similar to the recharging process with keys K1 – K1 opened. In this case, unipolar current pulses travel through the arc gap.

The energy is transferred from the device to the welding arc via the coaxial cable to reduce the welding circuit inductance. The oscillogram of the welding process was recorded by a non-inductive shunt.

Figure 4 shows typical oscillograms of one of the dynamic arc welding recorded under the following parameters: the arc length (distance from the electrode end to the plate surface) was maintained equal to 3.5 mm. The welding conditions were as follows: $I_p = 320$ A; $I_{ii} = 16$ A; pulse duration was $70 \mu\text{s}$; $U_p = 32$ V. The tungsten electrode had a spherical surface that enhances the operational life and did not violate the spatial stability of the arc column in the dynamic burning mode. The pulse frequency of the welding current was 3.3 kHz.



a

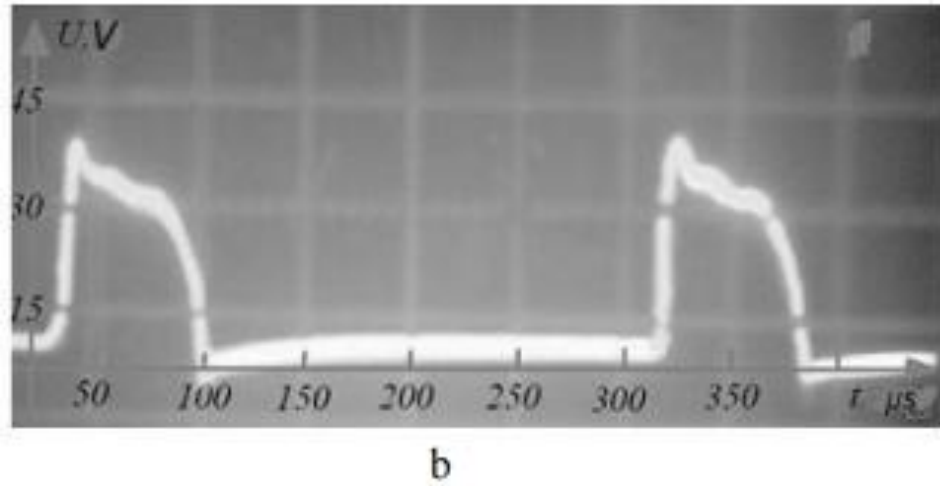


Figure 4 – Oscillograms of a – arc current pulse, and b – arc voltage.

The current pulse amplitude in the welding circuit was determined by [56]:

$$I_p = \frac{U + U_c - U_d}{2\rho}; \quad (1)$$

Where U , U_c , U_d are voltages of power supply U_{rec} , the AFL charge, and the arc gap, respectively; $\rho = \sqrt{L_c/C_c}$ is the AFL impedance; L_c is the choke inductance of the AFL cell; C_c is the capacitance of the AFL cell capacitor.

The superimposed oscillations occur at the top of the current pulses; the number of oscillations depends on the number (n) of the AFL cells. The value of the first maximum spike of the current and voltage oscillations [59] is virtually independent of the number of the AFL elements and it is determined by the parameters of the first cell. However, due to severe requirements for the constancy of the pulse peak, the peak is to be corrected. [56]. A rapidly saturated choke is used for the first oscillation spike reduction and smooth transition from the background current to the pulse (at low currents). The active duration of the current pulse to be formed is [3]:

$$t_p = 2,2n\sqrt{L_c \cdot C_c}; \quad (2)$$

where n is the number of cells in the forming line.

The high rate of the current rise and arc voltage assumes that the arc behaves like active resistance within the edge pulse interval. When the current of the pulse peak arc is conventional dc, the voltage drops smoothly due to the development of the ionization processes in the arc column. The properties of the arc column as

nonlinear energy storage are observed at the pulse edge. A large number of charge carriers in the arc column facilitate the transition of the arc column voltage to the negative region. This owes to the fact that the number of charge carriers from the power supply required to provide the background current flow should be less than the number of carriers in the arc column volume.

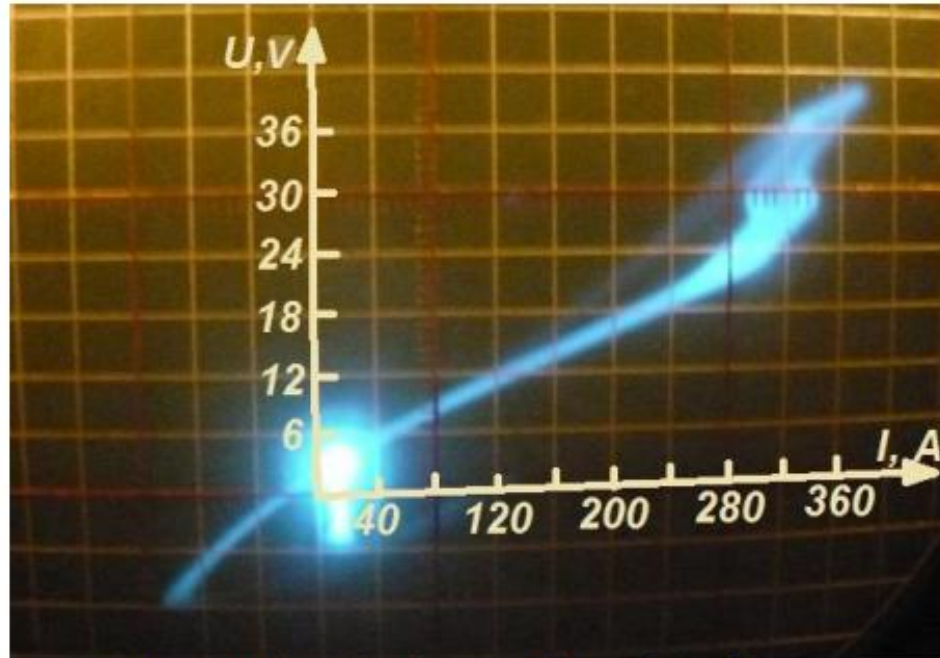


Figure 5 – A dynamic volt-ampere characteristic of the arc.

The dynamic volt-ampere characteristic (DVAC) of the arc presented in Figure 5 indicates a dynamic mode of arc burning, which causes the hysteresis. The upper branch of the DVAC corresponds to the pulse front edge, but the branch cannot be clearly seen on the oscilloscope screen because of the rapid rise of the current and arc voltage. The lower branch of the DVAC corresponds to the pulse edge.

1.4 Conclusion

The pulsed device consisting of a bridge converter with the AFL-based forming element connected to one of its diagonals, which is connected in series with the welding circuit, enables generating welding current pulses of a near rectangular shape, provides a dynamic mode of arc burning, and increases its reliability.

The proposed circuit of the power unit increases the frequency of welding current pulse generation through combining the charging and recharging processes of the AFL during the welding current pulse.

The proposed circuit, if compared to known circuits, enhances the AFL efficiency with the same cell parameters through generating current pulses under the total effect of the power supply and pre-charged capacitors of the homogeneous artificial line to increase the current amplitude.

2. CONTROL OF THE ELECTRODE METAL TRANSFER BY MEANS OF THE WELDING CURRENT PULSE GENERATOR

2.1 Introduction

A number of power supplies have been developed for pulsed arc welding with a consumable electrode. They are made as separate pulse generators, which operate in aggregate with standard power supplies or in combination with a normal power supply [64, 65].

The easiest way to form welding current pulses is by means of direct or transformed discharging current or a capacitor bank of charging current through the arc space.

Figure 6 shows an equivalent circuit to form welding current pulses in this type of devices.

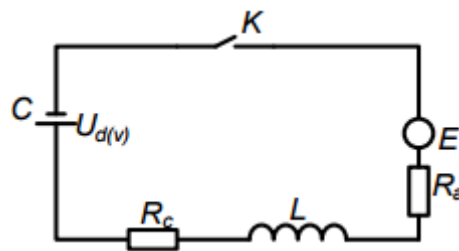


Figure 6 – An equivalent welding current pulse-forming circuit, where L is the total inductance of the circuit; C is a capacitor bank; K is a half-controlled switching device; $U_d (v)$ is capacitor charge voltage; R_c is circuit resistance, R_a is arc resistance.

When welding with a consumable electrode in shielding gas environment, the arc static characteristic is of a restoring character. In the working area, it may be represented in the form of emf and arc resistance R_a connected in series.

The process occurs in a decaying oscillatory or aperiodic manner, which depends on the circuit parameters. The pulse amplitude in these devices is adjusted by changing the capacitor charge voltage, and the pulse length is adjusted by changing the capacitance value or inductance that simultaneously affects the current pulse amplitude [66].

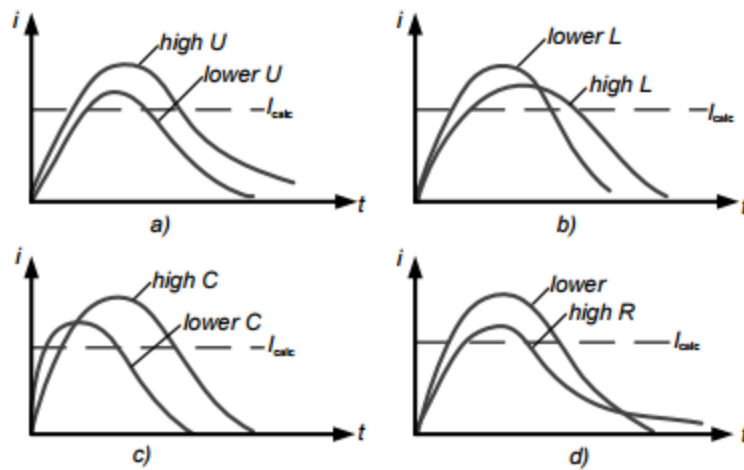


Figure 7 – Dependence of the aperiodic discharge current waveform on adjustable parameters; a) capacitor voltage, b) inductance, c) capacitance, d) real resistance.

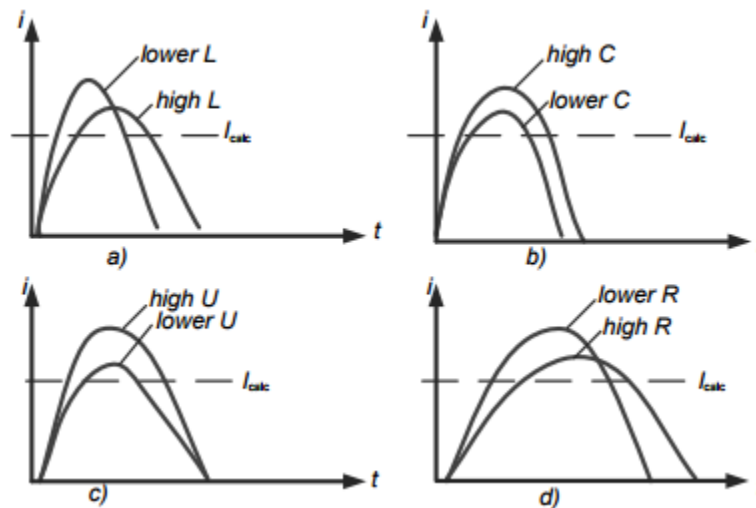


Figure 8 – Dependence of the current waveform on adjustable parameters under decaying oscillatory discharge; a) inductance, b) capacitance, c) capacitor voltage, d) real resistance.

Figures 7 and 8 show the curves of the current change over time and the impact of the change in one of the variables on the current curve for aperiodic and oscillatory processes, respectively.

The required pulse amplitude of the welding current, which detaches a droplet from the electrode, is determined by equation

$$I \geq 2\pi \cdot \sqrt{\frac{4.2(T_{cr} - T_e) \cdot R_e}{\left(\frac{M}{\gamma}\right)^{\frac{2}{3}} \mu_0 \cdot \ln\left(\frac{R_c}{R_e}\right)}} \quad (3)$$

where T_{cr} is critical temperature of the metal electrode wire, °K; T_e is a melting point of the metal electrode wire, °K; R_e is an electrode wire radius, m; M is molecular weight of the metal electrode; γ is specific weight g/cm³; R_c is an arc column radius, m.

To enhance the stability of the electrode material transfer, the current pulse amplitude value should have a 1.2 ... 1.3 time increase (1), i.e.

$$I = (1.2 \div 1.3) I_{calc} \quad (4)$$

In case of large disturbances in the arc voltage, the pulse amplitude is to be increased.

Figures 4 and 8 show a conventionally plotted horizontal line corresponding to the calculated value of the desired pulse amplitude value. The time during which the current pulse has an effective impact on the molten metal at the end of the electrode is determined as the time during which the pulse current exceeds the calculated current value.

Figures 7 and 8 demonstrate that the total pulse duration measured at the base does not provide data on the time of the effective impact on a droplet. This may explain a wide spread of the values of pulse duration required for droplet detachment in the published data, as it is determined as the total duration of the pulse at the base.

As can be seen in Figures 7 and 8, a change of a single parameter causes a change in both amplitude and duration of the welding current pulses, therefore, the amplitude and duration of the current pulses cannot be controlled independently.

To obtain a uniform criterion when assessing the current pulse duration required for detachment of a droplet, it is recommended to use the concept of the active current pulse duration for any pulse shape. It is to be formed for the current value equal to the calculated current value.

According to the suggested criterion, the active duration of a sinusoidal current pulse is 0.378 ... 0.445 I of the total duration. Due to the pulse, undesirable

heat input into the product occurs within the rest of the time, which deteriorates the quality and energy data of welding.

A major shortcoming of sine and aperiodic current pulses is insignificant front and edge steepness. Under the impact of external disturbances, such kind of steepness disturbs the transfer stability as the active duration changes significantly (this pulse shape is not optimal).

Figure 9 shows the shapes of the welding current pulse, which can be formed depending on the principles and techniques used.

A horizontal line plotted in Figure 9 corresponds to the calculated value of the current pulse amplitude.

The analysis of the presented pulse shape shows that virtually all of the pulses introduce the energy in the arc space, which exceeds the energy required to detach a droplet and accelerate its transfer to the molten pool. In Figure 9, it is shown in shaded areas. Trapezoidal pulses are the most preferable to this effect. The active duration of these pulses tap under the calculated pulse amplitude of the welding current pulse significantly differs from total pulse duration t_{tp} . Hence, it can be concluded that for energy reasons near rectangular or at least near trapezoidal pulses are most preferable

The energy of the pulse of this shape is minimal, if compared to other pulse shapes, which is advantageous in terms of both quality and energy. The stability of the electrode metal transfer is considerably higher, since the active pulse duration during welding under arc voltage disturbance changes insignificantly.

A near trapezoidal current pulse shape can be formed using the artificial forming line [67,68]. Figure 10 shows an electrical schematic of the pulse generator power unit based on a homogeneous artificial line.

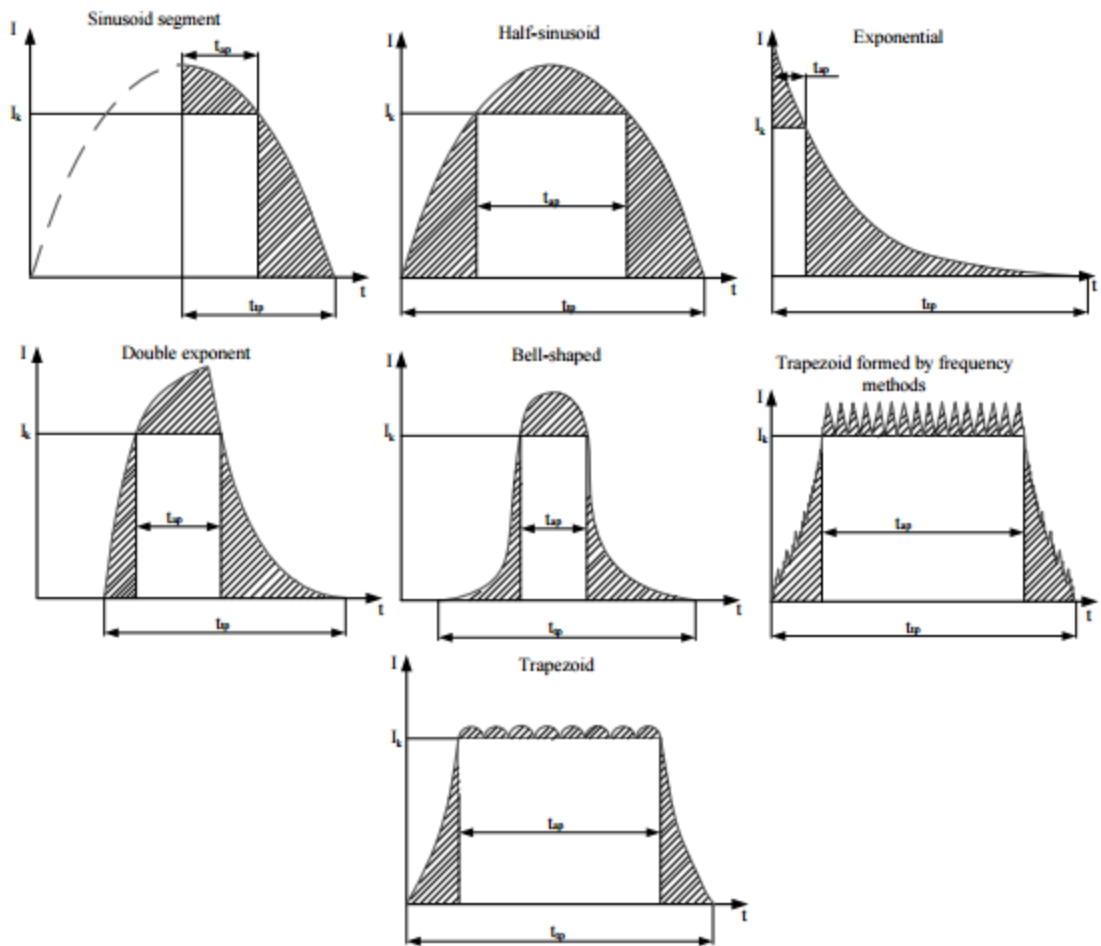


Figure 9 – Shapes of the welding current pulse.

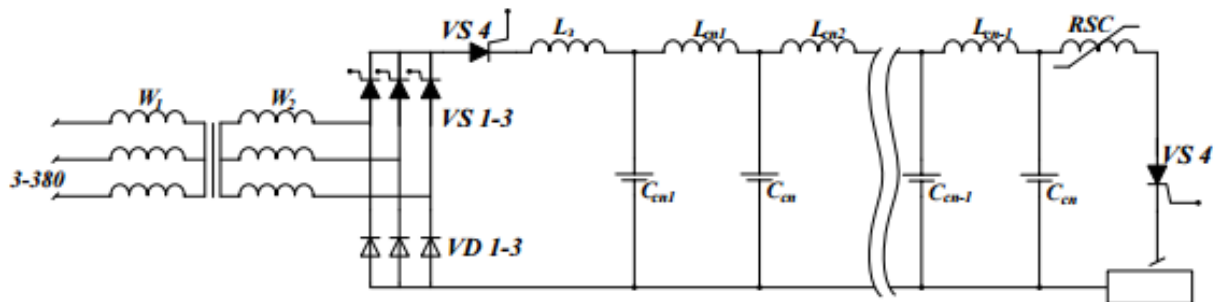


Figure 10 – An electrical schematic of the generator power unit.

Artificial line is a three-phase step-down transformer, primary windings, secondary windings, a discharge thyristor, a charging choke coil, cell choke coils, cell capacitors, a rapidly saturated choke coil.

The artificial forming line consists of homogeneous elements with lumped parameters. Each of the elements is a cell consisting of choke coil L_c and capacitor C_c connected in series.

Rectangular-shaped pulses are generated due to the discharge of the pre-charged line to the welding arc. A rectifier with stepped regulation of the idling mode for varying the line charge voltage is used to charge the forming line, and, hence, the amplitude of current pulses. The inductance value of charging choke coil L_3 is chosen such that the minimum duration of the pulse repetition could exceed the half-period of the charging circuit natural oscillations, since small value L_3 has no significant effect on the process of capacitor charging.

The discharge of the forming line to the arc space is carried out when thyristor VS4 is open. The shape of the current pulse is near trapezoidal with the amount of ripples at the top equal to the number of cells n . At first, the direct wave of the forming line discharge travels causing the discharge of cell capacitors C_c by one half. Then, a backward wave travels causing the complete discharge of the capacitors and the overcharge of the capacitors with an opposite polarity up to the voltage sufficient to turn off thyristor VS4 by reverse voltage.

For a larger number of cells ($n > 8$), the depth of ripples at the top of the pulse is insignificant, but this causes a high rate of the current rise both at the beginning of the pulse front and during the current edge decrease. This can cause failure in the arc zone shielding, electrode metal spattering and weld deterioration.

Theoretical and experimental studies [69,70] proved that a rapidly saturated choke coil used as the last cell choke coil with a rectangular hysteresis loop results in a bell-shaped pulse. The inductance of this type of the choke coil is comparable with the inductance of cell L_c in a saturated state. The rapidly saturated choke coil at the beginning of the pulse front is unsaturated and its inductance is greater than that of cell L_c . This ensures a smooth current change at the beginning of the front and at the end of the pulse edge.

The combination of the parameters of the device, such as a forming line and a rapidly saturated choke coil, which is the choke coil of the last cell of the forming line, results in a bell-shaped pulse with a cut and almost flat top. This fact provides the optimum pulse shape, minimum energy input during a pulse, an increase in the electrode metal transfer stability, and improvement of the welded joint quality.

The experimental test has shown that in Al-based alloy welding using a 1.2 mm diameter wire, the developed pulse shapes provide the total duration of 0.6...0.9 ms, and the duration of sinusoid shaped pulses is 1.5-2.3 ms. In addition, the stability of the electrode metal transfer into the molten pool is provided.

The parameters of Lc–Cc cells should be fulfilled according to the following relation:

$$\sqrt{\frac{L_c}{C_c}} = \rho > R_c, \quad (5)$$

where Lc is cell choke inductance; Cc is cell capacitance; ρ is cell wave resistance; Rc is welding circuit resistance.

The current pulse amplitude is determined by

$$I = \frac{U_c - U_a}{2\rho}, \quad (6)$$

where Uc is capacitor charge voltage in the artificial forming line; Ua is arc space voltage.

The pulse duration is determined by

$$t_p = 2n\sqrt{L_c - C_c} \quad (7)$$

The maximum current pulse frequency is 300 Hz.

It can be smoothly varied within the range of 0...300 Hz.

The advantages of the device are as follows:

- the possibility to smoothly adjust the current pulse frequency;
- input of the minimum energy required to transfer a droplet within the pulse duration;
- independence of the active pulse duration of the welding current on the arc space voltage disturbances.

The experimental studies have shown that application of the considered pulse shape formed by means of an artificial forming line can be extended. In particular, the considered pulse shape can be used to control electrode metal transfer for gas mixtures and self-shielded flux-cored wires in a straight polarity manner. The pulse actual shape is shown in Figure 11.

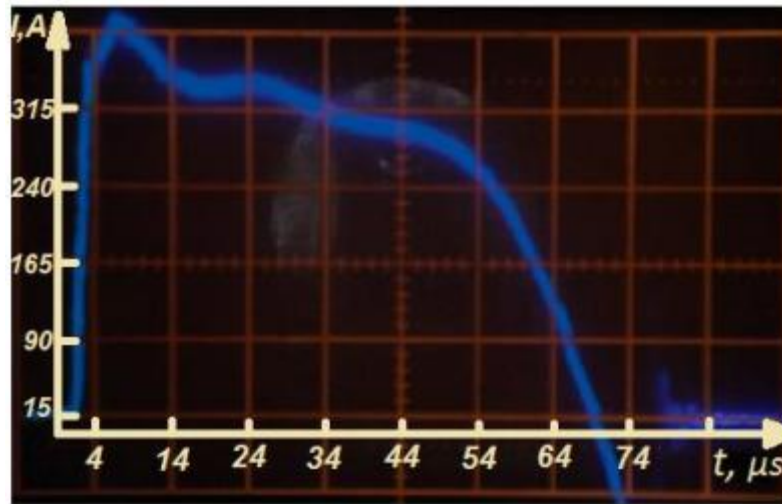


Figure 11 – The actual shape of the pulse

The discharge of the artificial forming line to the arc space is a near trapezoidal pulse with a number of pulses at the top equal to the number of cells n .

2.2 Conclusion

A homogeneous artificial line is the most prospective for the development of a welding current pulse generator with energy storage.

According to the pulse shape estimated by the criteria parameter, the trapezoidal shape is optimal, and the edge duration is about 3 times greater than the pulse front duration.

Presence of the rapidly saturated choke coil in the welding circuit allows reducing both the rate of the pulse current rise at the initial stage and the rate of the decrease in the pulse edge current at the final stage. This fact has a beneficial effect on the welding process.

Active duration of the current pulse does not change significantly under the arc voltage disturbances. It is possible to adjust the welding current pulse frequency smoothly. The input of the minimum pulse energy required to transfer a droplet is provided.

Consistent productivity, high quality and low costs are all key components in a successful welding operation. Gaining these advantages depends on everything from the equipment and filler metals to the skill of the welding operators and the techniques being used in the process. The shielding gas also plays a critical role.

Both the gas metal arc welding (GMAW) process (using solid or metal-cored wires) and the gas-shielded flux-cored arc welding (FCAW) process require the use of an external shielding gas, each type of which offers distinct characteristics.

Knowing how to select the appropriate one for the application can go far in helping obtain the desired welding performance and minimizing the downtime for rework caused by poor weld quality.

To help, following are some basics of what you should know about shielding gases.

The role of shielding gases

The primary purpose of shielding gas is to protect the molten weld pool against elements in the atmosphere, including oxygen, nitrogen and hydrogen. The reaction of these elements with the weld pool can create a host of problems, including (but not limited to) porosity and excessive spatter.

Shielding gas also plays an important role in determining weld penetration profiles, helping maintain arc stability and achieving the desired mechanical properties in the finished weld. Shielding gas can also affect the transfer of the filler metal from the arc to the weld joint, which in turns contributes to the efficiency of the welding process and the quality of the weld. Other important factors that shielding gas help determine include the weld bead appearance, and weld toughness and strength.

Selecting the right shielding gas

The four most common shielding gases used in the welding process are carbon dioxide, argon, helium and oxygen. Each has specific characteristics and factors such as cost, available labor (i.e., for weld preparation) and the weld properties desired — all considerations when selecting which shielding gas is best for a given welding application.

Carbon dioxide (CO₂): This gas is the most common of the reactive gases used in the welding process and also the least expensive of the shielding gases. It is also the only

one able to be used without the addition of an inert gas. One of the biggest advantages of pure CO₂ is that it provides deep weld penetration, which is useful when welding thick material. It does, however, tend to create a less stable arc and more spatter than when it is mixed with other gases, including argon. This additional spatter can lead to downtime for post-weld cleaning. Pure CO₂ is also limited to use in short circuit welding processes.

Argon: When welding aluminum, magnesium or titanium, it is common to use 100 percent argon as a shielding gas due to its stable arc features. Adding argon to a CO₂ shielding gas is also an option for materials like carbon steel. It provides consistent weld quality and appearance and good weld pool control, and can help minimize post-weld cleanup. Argon also produces a narrow penetration profile, making it useful for fillet and butt welds.

Typical mixtures include a balance of 75 to 95 percent argon with 25 to 5 percent CO₂. An argon/CO₂ shielding gas mixture allows the use of a spray transfer process, which lends itself to high productivity rates and visually appealing welds.

Helium: Helium is generally used when welding non-ferrous metals. It is also used in a tri-mix formula of argon and CO₂ for welding stainless steels. The gas produces a wide, deep penetration profile, making it suitable for welding thick materials, and also creates a hot arc, which helps increase travel speeds and productivity rates. Helium is typically used in ratios of 25 to 75 percent helium with an appropriate balance of argon. Adjusting these ratios changes the weld penetration, bead profile and travel speeds.

It's important to note that helium is more expensive than other gases and requires a higher flow rate than argon (because it is so light). For this reason, it's imperative that companies calculate the value of the productivity increase against the increased cost of this gas.

Oxygen: Oxygen is a reactive gas typically used in ratios of 9 percent or less. The addition of the gas to a mixture with argon helps to improve weld pool fluidity, weld penetration and arc stability, particularly when welding carbon, low alloy and stainless steels. Because the gas causes oxidation of the weld metal, it is not recommended for use with aluminum, magnesium, copper or other exotic metals.

Tips for getting the most out of your shielding gas

To achieve the best results out of a chosen shielding gas, it's important to select the proper front-end consumables. These consumables — the gas diffuser, contact tip and nozzle — play a critical role in delivering the shielding gas to the weld pool and also protecting it from the atmosphere. Consider these tips to help with the selection.

1. Choose consumables that have a smooth surface to help resist spatter build-up that could block shielding gas flow and lead to issues, such as porosity.
2. Choose an appropriate size nozzle for the application. A nozzle that is too narrow for the application can easily become clogged with spatter, again, hindering its ability to deliver enough shielding gas to the weld pool to protect it.
3. Consider using nozzles with a built-in spatter guard. These designs add a second phase of shielding gas diffusion, resulting in even smoother, more consistent shielding gas flow.
4. Be certain to select quality gas diffusers to ensure smooth and balanced gas flow. Consult with a trusted welding distributor for recommendations.

A long-distance oil/gas pipeline is connected by joints of steel pipes with an average length of 12 m upon pipe joint welding. The whole joint welding procedure is composed of pipe end grooving, joint matching, root welding, hot welding, filling welding and cover welding with steel pipe fixed during welding, and manual arc welding. Semi-automatic welding or automatic welding can also be used to weld pipe joints at all positions. Full-position welding of pipes generally takes downward welding at present. Compared with the single welding state of plane welding, the whole all-position welding process of pipes is a complex changing process from a plane welding state to a vertical welding state and then to

an overhead welding state, and welding parameters also change in real-time with different welding positions.

The welding torch of a self-shielded flux core wire is mounted on a welding carrier on the guide rail fixed near a pipe joint to be welded. Welding parameters are preset in the auto-control system to accurately control the spatial position of welding torch, welding speed, wire feeding speed, welding voltage, amplitude, swing trace, swing rate, etc., thus to realize an efficient and all-position automatic welding of pipe girth welded joints. Arc striking starts from a 12 o'clock position by a welding carrier at first during welding, and welding is toward a 6 o'clock position along one side of a girth welded joint, then another welding carrier is moved to the 12 o'clock position afterwards for arc striking, and welding is conducted at the 6 o'clock position along the other side of the girth welded joint. The minimum time interval of arc striking is maintained on the premise of no interference between the space of the two welding carriers to ensure a basic symmetrical stress on both sides of the welded joint during welding, thus to realize hot welding, filling welding and cover welding of a girth welded joint in sequence. It should be noted that deslagging is required for the previous welding layer before the welding of the next layer.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. В ходе выполнения работы был проведен анализ основных сил, действующих на сварочную ванну в процессе сварки в среде углекислого газа для неповоротного стыка магистрального трубопровода.
2. В ходе исследований было установлено, что для удержания сварочной ванны в процессе сварки необходимо изменять угол наклона электрода и длительность импульсов
3. Экспериментально доказано, что сварочная ванна при импульсном питании сварочной дуги совершает колебания с частотой следования импульсов, при этом находясь в динамическом равновесии в любых пространственных положениях.
4. Экономическая оценка показала, что применение нового метода сварки в среде углекислого газа с импульсным питанием эффективнее существующего способа сварки в среде CO_2 . Экономия затрат на сварку 1 км трубопровода резервуара составляет 509 000 руб.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Юфин В. А. Трубопроводный транспорт нефти и газа. – М. : Недра, 1976.
- 2 Технологии и оборудование дуговой сварки и резки
- 3 Полосков С. И., Ищенко Ю. С, Букаров В. А. Анализ факторов, определяющих формирование сварочной ванны при орбитальной сварке неповоротных стыков труб // Сварочное производство.-2003.-№2. - С. 11-19.
- 4 Селяненок В. Н., Сайфиев Р. З., Ступаченко М. Г. Способ измерения давления сварочной дуги постоянного тока // Сварочное производство.-1975.-№6.- С. 32-33.
- 5 Веревкин А.В - Повышение эффективности сварки в CO₂ неповоротных стыков магистральных трубопроводов за счет изменения импульсного питания сварочной дуги. 2010 г. 143 стр. Степанов В. В., Селяненок В. Н., Вольман И. Ш., Загоруйко Б. Г. Электродинамические силы в ванне при сварке тонких пластин // Сварочное производство.-1979.-№5.- С. 5-6.
- 6 Пацкевич И.Р., Деев Г.Ф. Поверхностные явления в сварочных процессах. — М., «Металлургия», 1974. - 120 с.
- 7 Воропай Н.М. Поверхностное натяжение расплавленного металла сварочной проволоки // Автоматическая сварка. -1973. -№5 - С. 23-25.
- 8 Ерохин А.А. Основы сварки плавлением. - М., «Машиностроение», 1973. — 448 с.57
- 9 Антонец Д. П., Псарас Г. Г. Экспериментальное определение веса, формы и размеров сварочной ванны // Сварочное производство.-1970.-№5. С. 43-44.
- 10 Березовский Б. М. Смачивание и растекание сварочной ванны на поверхности металла// Автоматическая сварка.-1983.-№10. - С. 31-34.52
- 11
12. Чудинов М.С., Таран В.Д., Формирование шва при сварке неповоротных стыков труб с полупринудительным удержанием сварочной ванны // Сварочное производство.-1970.-№ 10. — С. 6-7.

13. Князьков А.Ф., Веревкин А.В., Князьков С.А. Особенности удержания сварочной ванны в положениях отличных от нижнего // IV Международная научно-техническая конференция «Современные проблемы машиностроения» г. Томск Изд-во ТПУ,- 2008. - С. 323-328
14. Шейко П. П., Жерносеков А. М., Шимановский Ю. О. Импульсно-дуговая сварка плавящимся электродом с автоматической стабилизацией параметров режимов // Автоматическая сварка.-2004.-№1. -С. 8-11.
15. А.с. №522014, В23К9/16, 1974 Способ импульсно-дуговой сварки плавящимся электродом. Зайцев А.И., Князьков А.Ф., Дедюх Р.И. и др.
16. Князьков А.Ф., Крампит Н.Ю., Петриков А.В. Способ импульсно-дуговой сварки // Патент на изобретение № 2133660 от 27.07.99г.
17. Ленивкин В. А., Дюргеров Н. Г., Сагиров Х. Н., Кастанаев В. М., Кленов Г. И., Байдуганов Ю. А. Особенности формирования шва при импульсно-дуговой сварке плавящимся электродом // Сварочное производство.-1973.- №2. - С. 29-31.
18. Чернышов Г.Г. О движении металла в сварочной ванне // Сварочное производство.-1973.- №6 — С. 34-36.
19. Чернышов Г. Г., Спицын В. В. Динамическое воздействие дуги, горящей в среде CO₂, на сварочную ванну // Сварочное производство.-1971.- №4. - С. 8-9.
20. Ерохин А. А., Ищенко Ю. С. Некоторые закономерности формирования провара при сварке неповоротных стыков труб // Сварочное производство.- 1967.- №4. - С. 16-18.
21. Князьков А.Ф., Веревкин А.В., Евдокимов Д.С. Влияние длительности импульсов на геометрию шва при сварке с импульсным питанием дуги в среде CO₂ // XIV Международная конференция «Современные техника и технологии» г. Томск Изд-во ТПУ, 2008.- Т.1. С. 254-256.
22. Князьков А.Ф., Веревкин А.В. Влияние угла наклона электрода на геометрию шва при сварке с импульсным питанием дуги в среде CС₂ // XIV

Международная конференция «Современные техника и технологии» г. Томск Изд-во ТПУ, 2008.- Т.1. - С. 256-257.

23. Князьков А.Ф., Веревкин А.В., Князьков С.А. Автоматизация сварки неповоротных стыков при строительстве магистральных трубопроводов. // Международная научно-техническая конференция «Новые материалы и технологии на рубеже веков» Пенза 2000 г. 4.2. — С. 168-170.

24. Сварка в машиностроении: Справочник, в 4-х т./ Под. ред. Г. А. Николаев и др.- М.: Машиностроение, 1978.

25. ГОСТ 12.1.003-83 Шум. Общие требования безопасности

26. ГОСТ 12.1.004-91 Пожарная безопасность. Общие требования.

27. ГОСТ 12.4.011-89 Средства защиты рабочих. Общие требования и классификация.

28. ГОСТ 12.1.005-88 Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.

29. Р 51-31323949-58-2000 Инструкция по применению стальных труб в нефтяной и газовой промышленности.

30. РД 153-006-02 Инструкция по технологии сварки при строительстве и капитальном Строительстве магистральных нефтепроводов

31. ГОСТ 12.1.011-78 Система стандартов безопасности труда

32. ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.

33. СН 2.2.4/2.1.8.562-96 Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки

34. ГОСТ 12.1.038-82 Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов.

35. СНИП 2.05.06-85 Магистральные трубопроводы.

36. ГОСТ 12.1.010-76 ССБТ. Взрывобезопасность. Общие требования

37. ГОСТ Р ИСО 26000-2012 Руководство по социальной ответственности

38. ГОСТ 8050-85 Двуокись углерода газообразная и жидкая. Технические

условия.

39. Федеральный закон от 21.12.1994 N 68-ФЗ (ред. от 15.02.2016) "О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера".

40. СНиП 12-01-2004 Организация, механизация и техническая помощь при строительстве трубопроводов.

41. СНиП III-42-80 Строительные нормы и правила магистральных трубопроводов.

42. Технический регламент о безопасности магистральных трубопроводов для транспортировки жидких и газообразных углеводородов.

43. РД-13.220.00-КТН-367-06 Пожарная охрана объектов магистральных нефтепроводов ОАО "АК "Транснефть" и дочерних акционерных обществ

44. Трудовой кодекс РФ.

45. ГОСТ 12.1.019-79 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.

46. Федеральный закон от 21 июля 1997 г. №116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов»

47. Технология и оборудование сварки плавлением и термической резки / Под. ред. А. И. Акулов - М.: Машиностроение, 2003- 560 с.

48. 3. Геворкян В. Г. Основы сварочного дела.- М. : Высшая школа, 1985.- 168с.

49. 4 Томас К.И. Технология сварочного производства: учебное пособие / К.И. Томас, Д.П. Ильщенко; Юргинский технологический институт. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – 247 с..

50. Заруба И.И., Касаткин Б.С., Каховский Н.И. и др. Сварка в углекислом газе. - Киев, 1960. — 224 с.

51 . Мазель А.Г., Тарлинский В.Д., Шейнкин И.А., и др. Современные способы сварки магистральных трубопроводов плавлением. - М.: Недра, 1979. - 256 с.

53. Мазель А.Г., Тарлинский В.Д., Шейнкин И.А., и др. Современные

- способы сварки магистральных трубопроводов плавлением. - М.: Недра, 1979. - 256 с.
54. Slavin G, Stolpner E 1974 Welding production 2 3–5
55. Knyaz'kov A, Biryukova O 2011 Bullet. of the Tomsk Polytech. Univ: Power Engineer. 318 104–107
56. Nekrasov V, Gavrilov G 1968 Electricity 12 82
57. Zaitsev A, Knyaz'kov A 1969 Electricity 10 54
58. Knyaz'kov A, Knyaz'kov S, Lolyu Ya, Pronyaev A Patent No. RU 2294269
59. Knyaz'kov A, Knyaz'kov V, Biryukova O, Ustinov V Patent No. RU 2343051
60. Itskhohi Ya, Ovchinnikov N 1972 Pulsed and digital devices (Moscow: Izd Soviet radio)
61. Knyaz'kov A, Krampit N, Krampit A 2008 Welding International 22(8) 534–535
62. Knyaz'kov A, Knyaz'kov V 2010 Welding International 24(12) 955–957
- 63 Knyaz'kov A, Dementsev K, Knyaz'kov V 2013 Welding International 27(2) 147–149
64. T. Cunha, A. Voigt, C. Bohorquez 2016 Journal of Materials Processing Tech 231 449–455
65. Brumm S, Burkner G Conference MEFORM 2015
66. Zaitsev A, Knyaz'kov A 1969
67. Knyaz'kov A, Knyaz'kov S, Lolyu Ya, Pronyaev A Patent No. RU 2294269
68. Itskhohi Ya, Ovchinnikov N 1972 Pulsed and digital devices (Moscow:IzdSoviet radio)
69. Knyaz'kov A, Knyaz'kov V 2010 Welding International 24(12) 955–957
70. Knyaz'kov A, Dementsev K, Knyaz'kov V 2013 Welding International 27(2) 147–149
71. Электронный ресурс <http://lincolnweld.ru/>