

Школа **Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности**
 Направление подготовки **15.04.01 Машиностроение**
 Отделение **электронной инженерии**

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Разработка и регулирование процесса орбитальной сварки труб поверхностного нагрева диаметром до 60 мм с программированием режима

УДК 621.791.75.03:621.643:004.415

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1ВМ91	Щербаков Владислав Владимирович		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Киселев А.С.	к.т.н., доцент		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Гасанов М.А.	д.э.н., профессор		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Федорчук Ю.М.	д.т.н., профессор		

Нормоконтроль

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Наталинова Н.М.	к.т.н., доцент		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭИ	А.С. Киселев	к.т.н.		

Планируемые результаты освоения ООП

Код компетенции СУОС	Наименование компетенции СУОС
Универсальные компетенции	
УК(У)-1	Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий
УК(У)-3	Способен организовывать и руководить работой команды, вырабатывая командную стратегию для достижения поставленной цели
УК(У)-5	Способен анализировать и учитывать разнообразие культур в процессе межкультурного взаимодействия
Общепрофессиональные компетенции	
ОПК(У)-1	Способностью формулировать цели и задачи исследования, выявлять приоритеты решения задач, выбирать и создавать критерии оценки
ОПК(У)-2	Способностью применять современные методы исследования, оценивать и представлять результаты выполненной работы
ОПК(У)-3	Способностью использовать иностранный язык в профессиональной сфере
ОПК(У)-4	Способностью осуществлять экспертизу технической документации
ОПК(У)-5	Способностью организовывать работу коллективов исполнителей, принимать исполнительские решения в условиях спектра мнений, определять порядок выполнения работ, организовывать в подразделении работы по совершенствованию, модернизации, унификации выпускаемых изделий, и их элементов, по разработке проектов стандартов и сертификатов, обеспечивать адаптацию современных версий систем управления качеством к конкретным условиям производства на основе международных стандартов
ОПК(У)-6	Способностью к работе в многонациональных коллективах, в том числе при работе над междисциплинарными и инновационными
ОПК(У)-7	Способностью обеспечивать защиту и оценку стоимости объектов интеллектуальной деятельности
ОПК(У)-8	Способностью проводить маркетинговые исследования и подготавливать бизнес-планы выпуска и реализации перспективных и конкурентоспособных изделий в области машиностроения

ОПК(У)-9	Способностью обеспечивать управление программами освоения новой продукции и технологий, проводить оценку производственных и непроизводственных затрат на обеспечение требуемого качества продукции, анализировать результаты деятельности производственных подразделений
ОПК(У)-10	Способностью организовывать работу по повышению научно-технических знаний работников
ОПК(У)-11	Способностью подготавливать отзывы и заключения на проекты стандартов, рационализаторские предложения и изобретения в области машиностроения
ОПК(У)-12	Способностью подготавливать научно-технические отчеты, обзоры, публикации по результатам выполненных исследований в области машиностроения
ОПК(У)-13	Способностью разрабатывать методические и нормативные документы, предложения и проводить мероприятия по реализации разработанных проектов и программ в области машиностроения
ОПК(У)-14	Способностью выбирать аналитические и численные методы при разработке математических моделей машин, приводов, оборудования, систем, технологических процессов в машиностроении
Профессиональные компетенции	
ПК(У)-1	Способностью разрабатывать технические задания на проектирование и изготовление машин, приводов, оборудования, систем и нестандартного оборудования и средств технологического оснащения, выбирать оборудование и технологическую оснастку
ПК(У)-2	Способностью разрабатывать нормы выработки и технологические нормативы на расход материалов, заготовок, топлива и электроэнергии в машиностроении
ПК(У)-3	Способностью оценивать технико-экономическую эффективность проектирования, исследования, изготовления машин, приводов, оборудования, систем, технологических процессов, принимать участие в создании системы менеджмента качества на предприятии
ПК(У)-8	Способностью организовать и проводить научные исследования, связанные с разработкой проектов и программ, проводить работы по стандартизации технических средств, систем, процессов оборудования и материалов
ПК(У)-9	Способностью разрабатывать физические и математические модели исследуемых машин, приводов, систем, процессов, явлений и объектов, относящихся к профессиональной сфере, разрабатывать методики и организовывать проведение экспериментов с анализом их результатов
ПК(У)-10	Способностью и готовностью использовать современные психолого-педагогические теории и методы в профессиональной деятельности

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа **Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности**
 Направление подготовки **15.04.01 Машиностроение**
 Отделение **электронной инженерии**

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП

_____ А.С. Киселев
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

магистерской диссертации

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
1ВМ91	Щербакову Владиславу Владимировичу

Тема работы:

Разработка и регулирование процесса орбитальной сварки труб поверхностного нагрева диаметром до 60 мм с программированием режима

Утверждена приказом директора (дата, номер)	22-74/с от 22.01.2021
---	-----------------------

Срок сдачи студентом выполненной работы:	22.06.2021
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе</p> <p><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>	<p>Процесс сварки неплавящимся вольфрамовым электродом в аргоне</p>
---	--

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p><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>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Литературный обзор. 2. Анализ комплекса сил, действующих на сварочную ванну, при изменяющемся пространственном положении. 3. Разработка модели комплекса сил, действующих на сварочную ванну. 4. Разработка способа сварки корневого слоя при орбитальной сварке труб малых диаметров. 5. Экспериментальная часть. 6. Финансовый менеджмент, ресурсо-эффективность и ресурсосбережение. 7. Социальная ответственность. 8. Заключение.
--	---

<p>Перечень графического материала</p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Название темы, цель, задачи 2. Зависимость критической массы G сварочной ванны от положения в пространстве и толщины металла. 3. Комплекс сил, действующих на сварочную ванну 4. Модель сварочной ванны 5. Графики зависимости равнодействующей силы поверхностного натяжения от угла поворота сварочной головки в процессе сварки и построение сегментированной модели трубы 6. Обзор экспериментальной установки 7. Экспериментальная часть 8. Выводы по работе
--	---

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы
(с указанием разделов)

Раздел	Консультант
1-5	Киселев А.С.
6	Гасанов М.А.
7	Федорчук Ю.М.

Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:

Реферат
1.1 Критическая масса сварочной ванны в процессе орбитальной сварки
1.2 Основные силы, действующие на сварочную ванну

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	05.02.2021
---	------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Киселев А.С.	к.т.н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1ВМ91	Щербаков Владислав Владимирович		

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

Студенту:

Группа	ФИО
1ВМ91	Щербакову Владиславу Владимировичу

Школа	Магистратура	Отделение школы (НОЦ)	15.04.01
Уровень образования		Направление/специальность	«Машиностроение»

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Оклад руководителя - 43200 руб. Оклад студента - 25000 руб.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Премияльный коэффициент руководителя 30%; Премияльный коэффициент студента 30%; Надбавки руководителя 20-30%; Надбавки инженера 20-30%; Дополнительной заработной платы 12%; Накладные расходы 16%; Районный коэффициент 30%.
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды 30,2 %

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ	-Анализ конкурентных технических решений.
2. Разработка устава научно-технического проекта	-Цель и результат НИ.
3. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	Формирование плана и графика разработки: - определение структуры работ; - определение трудоемкости работ; - разработка графика Гантта. Формирование бюджета затрат на научное исследование: - материальные затраты; - заработная плата (основная и дополнительная); - отчисления на социальные цели; - накладные расходы.
4. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	- Определение эффективности исследования.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. «Портрет» потребителя результатов НТИ
2. Сегментирование рынка
3. Оценка конкурентоспособности технических решений
4. Матрица SWOT
5. График проведения и бюджет НТИ
6. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НТИ
7. Потенциальные риски

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Гасанов М.А.	д-р экон. наук		27.02.2021

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1ВМ91	Щербаков Владислав Владимирович		27.02.2021

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА

«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
1ВМ91	Щербакову Владиславу Владимировичу

Школа	ИШНКБ	Отделение (НОЦ)	Электронной инженерии
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	15.04.01 «Машиностроение»

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:
Тема дипломной работы: «Разработка и регулирование процесса орбитальной сварки труб поверхностного нагрева диаметром до 60 мм с программированием режима»

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
<p>1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения</p>	<p>Разработка способа для автоматической дуговой орбитальной сварки в импульсном режиме в среде защитного газа аргона. Данная разработка является методом повышения эффективности процесса сварки неплавящимся электродом.</p>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<p>1. Производственная безопасность 1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности: 1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p>	<p>1. Вредные факторы: 1.1 Недостаточная освещенность; 1.2 Нарушения микроклимата, оптимальные и допустимые параметры; 1.3 Шум, ПДУ, СКЗ, СИЗ; 1.4 Повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны, ПДК, класс опасности, СКЗ, СИЗ. 1.5 Повышенный уровень электромагнитного излучения, ПДУ, СКЗ, СИЗ; 2. Опасные факторы: 2.1 Электроопасность; класс электроопасности помещения, безопасные номиналы I, U, R_{заземления}, СКЗ, СИЗ; Проведен расчет освещения рабочего места; представлен рисунок размещения светильников на потолке с размерами в системе СИ; 2.2 Пожароопасность, категория пожароопасности помещения, марки огнетушителей, их назначение и ограничение применения; Приведена схема эвакуации; 2.3 Движущаяся часть установки для сварки неплавящимся электродом.</p>
<p>2. Экологическая безопасность:</p>	<p>Наличие промышленных отходов (бумага-черновики, вторцвет- и чермет, пластмасса, перегоревшие люминесцентные лампы, оргтехника, обрезки монтажных проводов, огарки электродов) и способы их утилизации.</p>
<p>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</p>	<p>Рассмотрены 2 ситуации ЧС: 1) природная – сильные морозы зимой, (аварии на электро-, тепло-коммуникациях, водоканале, транспорте); 2) техногенная – несанкционированное проникновение посторонних на рабочее место</p>

	(возможны проявления вандализма, диверсии, промышленного шпионажа), представлены мероприятия по обеспечению устойчивой работы производства в том и другом случае.
4. Перечень нормативно-технической документации:	(ГОСТы, СанПиНы, СНиПы);

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Федорчук Ю.М.	д.т.н., профессор		20.05.2021

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1ВМ91	Щербаков Владислав Владимирович		20.05.2021

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа **Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности**
 Направление подготовки **15.04.01 Машиностроение**
 Уровень образования **магистратура**
 Отделение **электронной инженерии**
 Период выполнения _____ (осенний / весенний семестр 2020 /2021 учебного года)

Форма представления работы:

магистерская диссертация

(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	22.06.2021
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
10.03.2021 г.	Сбор литературных данных	5
31.03.2021 г.	Анализ комплекса сил, действующих на сварочную ванну, при изменяющемся пространственном положении	10
09.04.2021 г.	Разработка модели комплекса сил, действующих на сварочную ванну	10
15.04.2021 г.	Разработка способа сварки корневого слоя при орбитальной сварке труб малых диаметров	15
30.04.2021 г.	Экспериментальная часть	20
24.05.2021 г.	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	10
31.05.2021 г.	Социальная ответственность	10
02.06.2021 г.	Английский язык	10
04.06.2021 г.	Заключение	5
06.06.2021 г.	Презентация	5

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭИ	А.С. Киселев	к.т.н.		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭИ	А.С. Киселев	к.т.н.		

Реферат

Выпускная квалификационная работа 112 с., 23 рис., 30 табл., 19 источников.

Ключевые слова: орбитальная сварка, импульсное питание, критическая масса сварочной ванны, сварочная ванна, комплекс сил, модель комплекса сил, составляющие равнодействующей силы.

Объектом исследования является: процесс сварки неплавящимся вольфрамовым электродом в аргоне.

Предмет исследования – сварочная ванна, провисающая, стекающая или отвисающая от трубы в процессе сварки неповоротных стыков труб в определенном пространственном положении при сварке на постоянном токе.

Цель работы – разработка процесса орбитальной сварки корневого слоя труб поверхностного нагрева с программированием режима сварки.

В процессе исследования проводились анализ комплекса сил, действующих на сварочную ванну в процессе сварки и способы сварки неплавящимся электродом с применением импульсного питания сварочной дуги, проведен анализ моделей сварочной ванны и предложено феноменологическое описание сварочной ванны.

В результате исследования разработан способ сварки дугой, горячей в импульсном режиме и оборудование обеспечивающее его реализацию.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: простое в изготовлении и эксплуатации оборудование, имеющий высокую надежность и широкий диапазон регулирования сварочных параметров.

Область применения: данный способ сварки может применяться в разных отраслях: нефтяной, газовой, электрической промышленности, а также в коммунальном, сельском хозяйстве и кораблестроении.

В будущем планируется минимизировать конструкцию сварочного аппарата, а также запатентовать данный способ сварки.

Определения, сокращения и нормативные ссылки

В настоящей работе применены следующие термины с соответствующими определениями.

Орбитальная сварка – специализированный способ сварки, при котором дуга механически поворачивается на 360° (180 градусов в двойной сварке) вокруг статической заготовки, представляющей собой такой предмет как труба или др.

Сварочная ванна – слой расплавленного металла на поверхности свариваемых изделий, образующихся в процессе сварки.

Критическая масса – масса сварочной ванны, при которой расплавленный металл не стекает.

Импульсное питание – подача импульсов с высокой величиной тока и частотой.

В данной работе использованы ссылки на следующие стандарты:

1. СН 2.2.4/2.1.8.562–96 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки. Санитарные нормы»
2. ГОСТ 12.1.029-80 ССБТ «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Средства и методы защиты от шума. Классификация»
3. ГОСТ 12.1.012–2004 ССБТ «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Вибрационная безопасность. Общие требования»
4. ГОСТ 12.1.045–84 ССБТ «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электростатические поля. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля»
5. СанПиН 2.1.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания»
6. СанПиН 2.2.4.548–96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений»

7. СН 2.2.4/2.1.8.566–96 «Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий. Санитарные нормы»
8. СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95*»
9. ГОСТ 12.1.005–88 «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны (с Изменением N 1)»
10. ГОСТ 12.1.035–81 «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Оборудование для дуговой и контактной электросварки. Допустимые уровни шума и методы измерений»
11. ГОСТ 12.1.005-88 «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны»
12. ГОСТ 12.1.004-91 «Пожарная безопасность. Общие требования»
13. ГОСТ 12.1.010-76 «Взрывобезопасность. Общие требования»
14. ОСТ 54 30013-83 «Электромагнитные излучения СВЧ. Предельно допустимые уровни облучения. Требования безопасности»
15. ПУЭ-7 «Правила устройства электроустановок. Издание 7»
16. ГОСТ 12.1.019-2017 «Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты»
17. ТКП 181-2009 «Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей»
18. СП 12.13130.2009 «Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности»
19. ГОСТ 12.4.021-75 «Системы вентиляционные. Общие требования»
20. СП 60.13330.2012 «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха»
21. ГОСТ Р 51057-2001 «Огнетушители переносные»

В настоящей работе использованы следующие сокращения:

- G_B – масса сварочной ванны;
- I_d – ток дуги;
- U_d – напряжение на дуге;
- $I_{св}$ – сварочный ток;
- I_i – ток импульса;
- $I_{п}$ – ток паузы;
- $T_{и}$ – период следования тепловых импульсов за счет тока;
- $t_{и}$ – полная длительность импульса;
- t_c – время паузы;
- H – глубина сварочной ванны;
- B – ширина сварочной ванны;
- L – длина сварочной ванны;
- V – объем сварочной ванны;
- $V_{св}$ – скорость сварки.

Оглавление

Введение.....	17
1. Обзор литературы.....	20
1.1 Критическая масса сварочной ванны в процессе орбитальной сварки.....	20
1.2 Основные силы, действующие на сварочную ванну.....	23
1.2.1 Механическое (силовое) воздействие дуги.....	23
1.2.2 Поверхностное натяжение, действующее на сварочную ванну.....	25
1.2.3 Вес сварочной ванны.....	30
2 Объект и методы исследования.....	32
2.1 Материал сварной конструкции.....	32
2.2 Определение эквивалента углерода.....	33
2.3 Разработка модели комплекса сил, действующих на сварочную ванну ...	35
2.4 Характеристика сварочной ванны.....	35
2.5 Геометрические размеры сварочной ванны.....	36
2.6 Модели сварочных ванн.....	37
2.7 Комплекс сил, действующих на сварочную ванну.....	38
2.7.1 Расчет составляющих силы поверхностного натяжения.....	39
2.8 Модель сварочной ванны для характеристики.....	40
3 Описание экспериментальной установки.....	49
3.1 Сварочная головка.....	50
3.1.1 Устройство и работа головки.....	51
3.2 Автомат.....	52
3.3 Система импульсного питания сварочной дуги.....	52
3.4 Блок управления.....	54

3.5 Описание центрирующего устройства.....	56
3.6 Центрирование труб и установка зазора.....	58
4 Разработка программных режимов сварки и контроль качества	60
4.1 Разработка программных режимов сварки.....	60
4.2 Контроль качества.....	61
5 Эксперимент и результаты.....	66
6 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	70
6.1 Потенциальные потребители результатов исследования	70
6.2 Анализ конкурентных технических решений	71
6.3 SWOT – анализ	72
6.4 Определение возможных альтернатив проведения научных исследований	73
6.5 Планирование научно-исследовательских работ.....	75
6.5.1 Структура работ в рамках научного исследования	75
6.5.2 Определение трудоемкости выполнения работ	75
6.5.3 Разработка графика проведения научного исследования	76
6.5.4 Расчет материальных затрат НТИ	80
6.5.5 Основная и дополнительная заработная плата исполнителей темы... 81	
6.5.6 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления).....	82
6.5.7 Накладные расходы.....	83
6.5.8 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта	83
6.6 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.....	84
7 Социальная ответственность	87

7.1 Введение.....	87
7.2 Производственная безопасность.....	88
7.2.1 Вредные факторы.....	89
7.2.1.1 Отклонение показателей микроклимата.....	89
7.2.1.2 Уровень шума на рабочем месте.....	90
7.2.1.3 Освещенность рабочей зоны.....	91
7.2.1.4 Повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны.....	96
7.2.1.5 Повышенный уровень электромагнитных излучений.....	97
7.2.2 Опасные факторы.....	99
7.2.2.1 Электрический ток.....	99
7.2.2.2 Пожарная опасность.....	103
7.2.2.3 Движущаяся часть установки для сварки неплавящимся электродом.....	106
7.3 Экологическая безопасность.....	107
7.4 Безопасность в условиях ЧС.....	108
Заключение.....	110
Список использованных источников.....	111
Приложение I (Справочное).....	113

Введение

В бытовом и промышленном масштабах применяются трубы различных диаметров. Для их соединения существует множество способов. Самый распространенный метод для металлических изделий – сварка. Учитывая диаметры изделий, у каждой категории есть свои особенности. Например, трубы малого диаметра имеют свои сложности в ключе соединения при помощи сварки, требующие привлечения опытного сварщика.

При сварке труб малого диаметра сварка делается за один проход, поэтому металл все время нагревается, что может привести к пережогу и изменяются силы, действующую на сварочную ванну. Необходим подбор определенных параметров сварки, чтобы не превысить значения температуры и критической массы сварочной ванны в процессе сварки.

Одним из наиболее актуальных инструментов для выполнения данных работ является орбитальная сварка. Обычные виды сварки хорошо обрабатывают лишь потолочный шов. В то же время, остальные участки соединения получаются неравномерными и плохо обрабатываемыми.

Объектом исследования является: процесс сварки неплавящимся вольфрамовым электродом в аргоне.

Предмет исследования – сварочная ванна, провисающая, стекающая или отвисающая от трубы в процессе сварки неповоротных стыков труб в определенном пространственном положении на постоянном токе.

Научная новизна исследования состоит в том, что в работе впервые изучено влияние основных сил, действующих на сварочную ванну в процессе орбитальной сварки.

Практическая значимость полученных результатов состоит в использовании передовых технологий, с помощью которых можно добиться снижения затрат на производство и повысить качество продукции.

Из преимуществ для орбитальной сварки можно выделить следующие:

1) возможна сварка практически любых металлов и сталей, включая стали с ограниченной свариваемостью, в том числе никелевые сплавы, алюминий, медь, титан, цирконий и их сплавы.

2) возможна сварка во всех пространственных положениях;

3) процесс сварки, вероятность образования дефектов в котором менее 1%;

4) не образуются вредные дымы и шлак в процессе работы;

5) широкий диапазон регулирования параметров режима сварки;

6) возможность вести сварку и с присадочной проволокой, и без присадочной проволоки;

7) возможность автоматического управления напряжением на дуге.

В то же время в технологии орбитальной сварки есть и недостатки. В их число входят:

1) сравнительно низкая производительность в сравнении с другими видами дуговых процессов;

2) разработка технологии и режимов сварки требует больших усилий;

3) более дорогое оборудование, требующее наибольшего ухода и капитальных инвестиций в сравнении с оборудованием для ручной дуговой сварки.

В работе планируется разработать способ сварки, при котором будут автоматически меняться параметры напряжения дуги, когда масса сварочной ванны будет приближаться к ее критическому значению.

Таким образом, решение задач, связанных с изучением особенностей и контролем процесса с помощью программирования режимов автоматической аргонодуговой сварки является актуальным и своевременным [1].

Целью данной работы является разработка процесса орбитальной сварки корневого слоя труб поверхностного нагрева с программированием режима сварки.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- 1) Произвести анализ современного состояния орбитальной сварки труб поверхностного нагрева.
- 2) Разработать модель комплекса сил, действующих на сварочную ванну;
- 3) Разработать способ сварки корневого слоя для труб малых диаметров при орбитальной сварке;
- 4) Разработать экспериментальную установку.
- 5) Провести проверку.

1 Обзор литературы

1.1 Критическая масса сварочной ванны в процессе орбитальной сварки

Основная проблема при орбитальной сварке неповоротного стыка трубы – постоянно меняющееся от нижнего до потолочного пространственное положение сварочной ванны. Главную же роль при формировании сварного шва играет текучесть, то есть масса сварочной ванны.

Массу сварочной ванны определяют скоростью плавлений основных и электродных металлов, а также скоростью их затвердевания. В процессе орбитальной сварки масса сварочной ванны будет зависеть от режима сварки, а также диаметра электрода [2-4].

Критическая масса сварочной ванны зависит от пространственного положения сварочной ванны, а также от толщины свариваемого изделия (в данном случае трубы). График зависимости критической массы ванны от ее положения в пространстве представлен на рисунке 1.

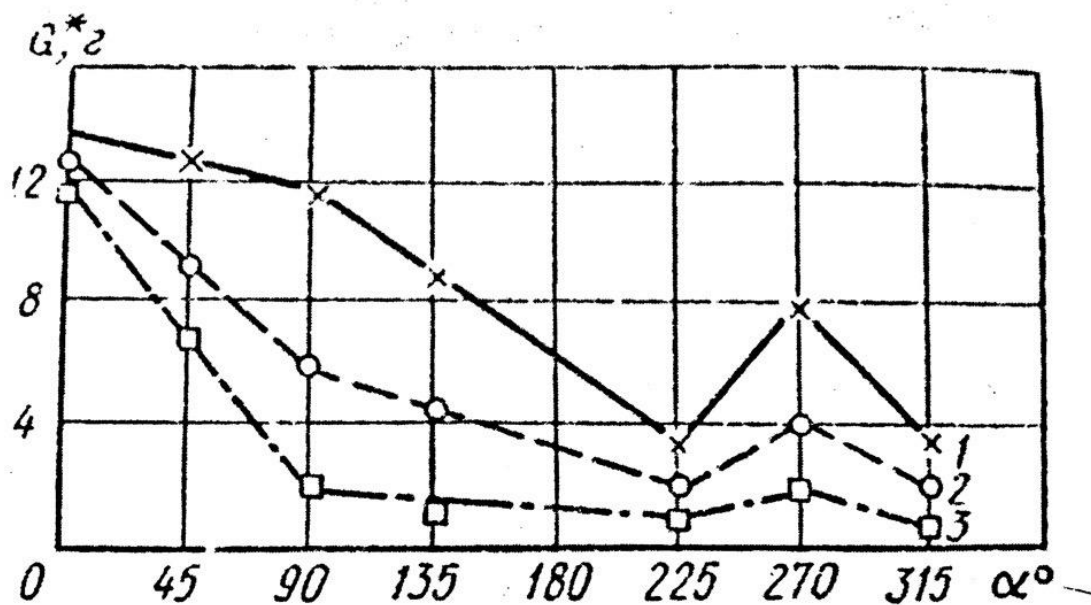


Рисунок 1 – Зависимость критической массы G ванны от положения в пространстве и толщины металла: 1-6, 2-4 и 3-2 мм

Поскольку критическая масса сварочной ванны зависит от ее положения в пространстве, режим орбитальной сварки должен изменяться с изменением пространственного положения ванны. Поэтому для сварки труб малых диаметров целесообразно применять автоматическую аргодуговую сварку неплавящимся электродом, иначе называемую орбитальной сваркой. Благодаря этому способу сварки увеличится производительность и качество сварного соединения.

Положение поверхности жидкого металла сварочной ванны, а значит и очертание шва, будут зависеть от комплекса сил, действующих на нее, а именно от силы тяжести, механического действия сварочного источника, электромагнитной объемной силы и силы поверхностного натяжения.

Под действием этих сил расплавленный металл сварочной ванны течет, стремясь занять положение, отвечающее изменяющемуся равновесию при сварке. Это течение ванны ограничивается быстрой потерей им подвижности (затвердеванием) вследствие быстрого охлаждения при удалении от зоны, нагреваемой сварочным источником (рис. 2).

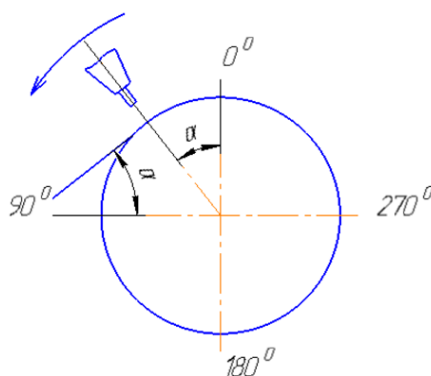


Рисунок 2 – Положение сварочной ванны при орбитальной сварке неповоротного стыка против часовой стрелки

В квазистационарном состоянии поверхность сварочной ванны у фронта затвердевания сохраняет постоянное положение (или колеблется около него). Изменение положения поверхности в процессе сварки приводит к изменению профиля шва. Так, например, на поверхности шва

образовываются чешуйки. Поэтому разрабатывается система управления критической массой сварочной ванны для равномерного формирования сварного шва. Чем больше будет толщина изделия и объем сварочной ванны, тем больше будет влияние угла наклона ванны к горизонту тем больше

Стоит отметить, что при углах 90 и 270° , критическая масса немного больше при угле 90° . Это объясняется тем, что при сварке на спуск ($\alpha=90^\circ$) точка, определяющая величину проплава, располагается сверху ванны. При сварке на участке от 0° до 90° направление вытекания сварочной ванны будет по касательной к свариваемой поверхности. При сварке на участке от 90° до 180° наиболее вероятным направлением вытекания сварочной ванны будет по направлению силы тяжести. Поэтому уравнения равновесия сварочной ванны при сварке в положениях от 0° до 90° и от 90° до 180° будут разными. (рис. 3).

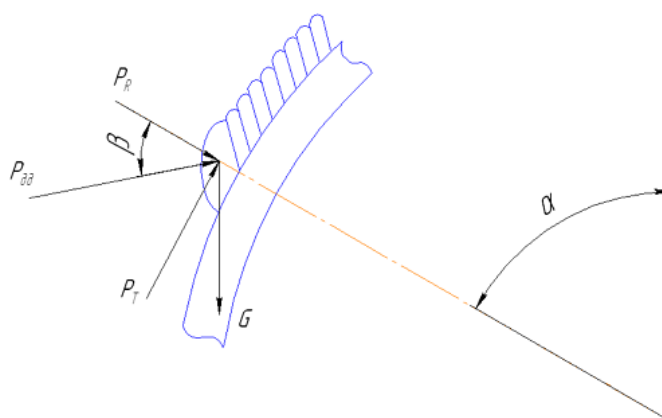


Рисунок 3 – Продольный разрез ванны при разных ее пространственных положениях при сварке на спуск трубы со стенкой толщиной 5 мм

При сварке же на подъем ($\alpha=270^\circ$) точка проплава оказывается снизу сварочной ванны. В этой точке гидростатическое давление будет больше, что будет способствовать вытеканию металла. Так же при этом угле способствовать вытекаю будут наклон стенок ванны и положение горелки.

1.2 Основные силы, действующие на сварочную ванну

Стоит сразу отметить, что при орбитальной сварке к корневому слою предъявляются повышенные требования, так как при повышенных в нем дефектах весь шов будет некачественным. При орбитальной сварке вместе с изменением пространственного положения будут изменяться составляющие комплекса сил и их равнодействующая. Комплекс сил состоит из [5, 6]:

- сил от воздействия сварочной дуги;
- сил поверхностного и межфазного натяжения;
- веса жидкого металла сварочной ванны.

В работах [5,6] описывается влияние комплекса вышеперечисленных сил на форму шва и вид поверхности шва. Влияние сил при различных пространственных положениях существенно отличается, так при сварке труб в нижнем положении равнодействующая сил не имеет особого значения. При рассмотрении влияния сил в других пространственных положениях (потолочное, горизонтальное и вертикальное) окажется что они играют главную роль в формировании сварного соединения и именно от них зависят форма и поверхность шва.

При исследовании закономерности формирования шва необходимо рассмотреть более детально влияние каждой силы, действующей на сварочную ванну, в каждом пространственном положении. Это даст более яркое представление процесса, что позволит создать модель процесса.

1.2.1 Силовое воздействие дуги

Несмотря на большое количество работ [7-12] по изучению воздействия дуги на сварочную ванну, полного представления об этом процессе нет. Это связано с тем, что процессе сопровождается огромным количеством хаотичных магнитных полей, вызванных перемещением электрических зарядов в дуге.

На данный момент процесс воздействия сварочной дуги разделяют по характеру воздействия на сварочную ванну на три составляющих [4]:

- газокINETическая;
- электромагнитная (действующая в ванне);
- реактивного давления паров и газов.

Несмотря на то, что по характеру воздействия выделяется всего три силы, силовое воздействие дуги представляет собой комплекс различных сил.

В силу хаотичности процесса горения дуги и обдува защитным газом невозможно создать точной зависимости величины силового воздействия дугой от приведённых сил. Однако существуют исследования по данному процессу. В работах [13-16] после ряда экспериментов была выведена формула, определяющая силовое влияние дуги на сварочную ванну:

$$P_{\partial} = kI^2 \quad (1)$$

где k – коэффициент пропорциональности, который зависит от способа сварки и сварочных материалов (Н/А^2);

I – сварочный ток, (А).

Как уже было описано выше, силовое воздействие дуги на ванну представляется как совокупность нескольких сил (газокINETической, электромагнитной и реактивного давления паров). ГазокINETическая сила действует на ванну подобно давлению струи на преграду и определяется характеристиками струи плазмы от электрода к ванне (рис.4).

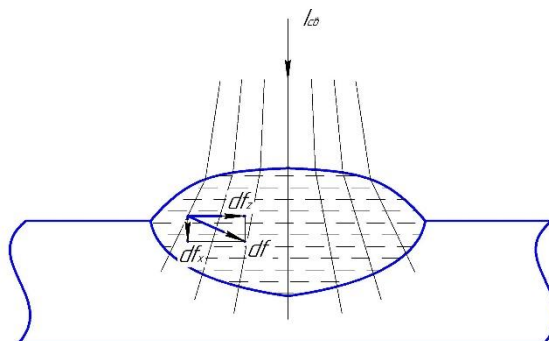


Рисунок 4 – Действие электромагнитной силы в процессе сварки

где df_z, df_x – осевая и радиальная составляющие электромагнитной силы;

$I_{св}$ – сварочный ток.

Электромагнитная сила направлена по нормали к поверхности в сторону изделия (рисунок 4) [13], так как это обусловлено взаимодействием магнитного поля дуги с током в сварочной ванне.

Вследствие металлургических процессов, протекающих в сварочной ванне, происходит испарение металла с поверхности сварочной ванны и выброс газов.

Предполагается, что сварка будет производиться в импульсном режиме питания дуги. Это позволит уменьшить влияние механического влияния дуги по время тока паузы [6, 15], то есть импульсно воздействовать на сварочную ванну. В работе [17] установлено, что давление дуги при импульсной дуговой сварке пропорционально квадрату амплитудного значения импульсного сварочного тока. Так же было установлено, что частота тока мало влияет на давление дуги, а длительность импульсов носит нулевой характер.

Исходя из перечисленной выше информации можно представить модель силового воздействия сварочной дуги на расплавленный металл: на импульсном режиме питания дуги силовое воздействие имеет скачкообразный характер; при включении тока импульса в сторону ванны происходит удар потоком газа, плазменный поток мгновенно увеличивает свою кинетическую энергию, увеличивается газокинетическая сила; так же повышается действие электромагнитных сил газов и паров.

1.2.2 Влияние сил поверхностного натяжения

Поверхностное натяжение – это одна из основных свойств жидкостей. Оно характеризует наличие свободной поверхностной энергии. При этом жидкость пытается принять форму с минимальной площадью поверхности.

Стремление жидкости принять минимальную площадь поверхности связано с силами межмолекулярного взаимодействия [18].

Силу поверхностного натяжения, в том числе и для жидкого металла, определяют с помощью уравнения Лапласа:

$$P = \sigma \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) \quad (2)$$

где P – сила поверхностного натяжения;

σ – коэффициент поверхностного натяжения (зависит от температуры и различных примесей на границе фаз);

R_1, R_2 – главные радиусы рассматриваемой поверхности.

Исходя из формулы видно, что силы поверхностного натяжения невозможно определить без данных о главных радиусах рассматриваемой поверхности и коэффициента поверхностного натяжения. Возникает проблема с определением этих параметров при сварке так как поверхность сварочной ванны имеет непостоянную сложную форму, жидкий металл постоянно добавляется с электрода и кристаллизуется в шве, а из расплавленного металла выделяются пузырьки газа. При такой модели радиусы кривизны помимо различия по длине шва меняют свои значения во времени. Так же из-за непостоянного термического равновесия, как внутри ванны, так и на границе металл - газ, коэффициент поверхностного натяжения будет различен по всей поверхности в очень большом диапазоне значений.

Помимо того, что параметры для определения сил поверхностного натяжения различны в каждой точке ванны, образуется ещё одна граница раздела вызванная шлаковой коркой. На границах раздела этих фаз действуют поверхностное и межфазовые натяжения. Вдобавок, шлак и жидкий металл взаимодействуют между собой химическими реакциями, за счёт чего изменяется концентрация этих фаз. Перечисленные факторы напрямую влияют на величину силы поверхностного напряжения.

Экспериментальное определение поверхностного натяжения позволит понять, как ведёт себя капля расплавленного металла при разных параметрах сварки. Методики измерения различны, исходя из работ [4, 5, 6, 13, 16] можно выделить следующие методы определения поверхностного натяжения:

- метод отрыва от кольца,
- метод максимального давления в капле или газовом пузырьке,
- метод измерения по весу капель,
- метод висячей капли,
- метод неподвижной капли,
- метод капиллярного поднятия.

Несмотря на разнообразие методик и чистоту их выполнения, полного отражения всех процессов, происходящих в сварочной ванне, они не несут, соответственно невозможно достоверно определить значения сил поверхностного натяжения. Это видно исходя из того, что данные авторов незначительно расходятся, в том числе и из-за отличающихся условий проведения эксперимента. Для достоверности данных под каждый способ сварки выбирают метод наиболее приближенный к реальным условиям процесса сварки. Значения поверхностного натяжения определяются для каждой марки сталей с определённым защитным газом.

Определение коэффициента поверхностного натяжения методом «висячей капли» [5] производится следующим образом: с помощью постороннего источника нагрева постепенно оплавлялся конец проволочного образца, расположенного вертикально в вакууме, до образования капли. В результате эксперимента коэффициент поверхностного натяжения для проволоки Св-08Г2С имел значение $\sigma = 1038 \frac{\text{мДж}}{\text{М}^2}$. Недостатком этого метода является то, что реальные условия будут отличаться от экспериментальных, так как граница перехода в вакууме и защитном газе отличаются.

Ещё один метод определения коэффициента поверхностного натяжения описан в работе [19]. С помощью камеры фиксировалось поведение

капли при сварке. Сам электрод был расположен вертикально, а капля проецировалась на экран при отрыве. В качестве электрода были выбраны электроды ЦП диаметром 2,5 мм. Коэффициент поверхностного натяжения в данном случае колебался в диапазоне 1270-1310 эрг/см².

Используя метод висячей капли прибегают у следующей формуле для определения поверхностного натяжения:

$$\sigma = \frac{\gamma g d_e}{H_f} \quad (3)$$

где γ – плотность;

g – ускорение силы тяжести;

d_e – наибольший диаметр висящей капли;

H_f – функция от отношения диаметра d_k , расположенного на высоте, равной максимальному диаметру d_e , к максимальному диаметру d_c .

Основным параметром, влияющим на значение коэффициента поверхностного натяжения, является температура. При сварке её значения колеблется от температуры плавления до температуры кипения металла, причём металл, имеющий значения температуры близкие к плавлению расположен ближе к периферии ванны, а температура кипения располагается под дугой. Повышение температуры равномерно снижает силы притяжения между молекулами, что ведёт к уменьшению поверхностного натяжения.

Исходя их этих данных поверхностное натяжение будет уменьшаться от периферии к источнику тепла.

В работе [12] эксперименты проводили методом лежащей капли в среде CO₂, меняя температуры. В качестве использовали сталь Св-08Г2С в виде проволоки. Для значения температуры $T_1 = 1703^\circ\text{C}$ коэффициент поверхностного натяжения составил $\sigma = 800 \frac{\text{мДж}}{\text{М}^2}$, в то время как при температуре $T_2 = 1530^\circ\text{C}$ произошло увеличение коэффициента и его значение составило $\sigma = 1050 \frac{\text{мДж}}{\text{М}^2}$.

В работе [13] приводился следующий способ определения сил поверхностного натяжения: используя потолочное пространственное положение подбирались режимы для обеспечения предела равновесия. Далее наплавляли шов с симметричной сварочной ванной. Силу поверхностного натяжения определяли из условия равновесия (рис. 5):

$$G - P_R - P_\delta = 0 \quad (4)$$

где G – вес расплавленного металла сварочной ванны, гс;

P_R – нормальная составляющая силы поверхностного натяжения, гс;

P_δ – давление дуги, гс.

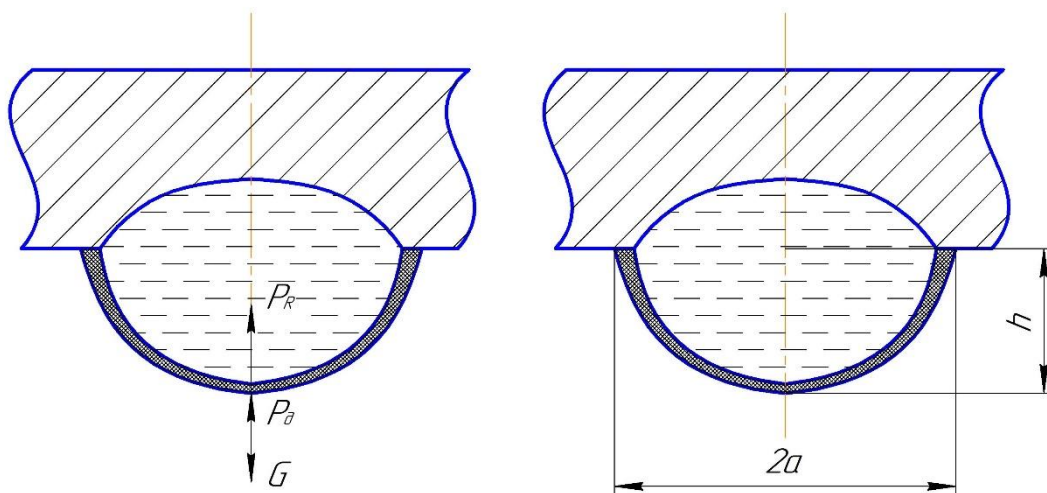


Рисунок 5 – Действие сил на симметричную сварочную ванну при сварке
в потолочном положении

Главные радиусы рассматриваемой поверхности можно вычислить из диаметра основания сварочной ванны $2a$ и высоты сварочной ванны h . Произведя преобразования формул (1) и (4) пришли к следующей формуле:

$$\sigma' = \frac{(G - kI^2)\sqrt{a^2 + 4h^2}}{4\pi ah} \quad (5)$$

где k – коэффициент пропорциональности, зависящий от способа сварки и типа наплавляемого материала (H/A^2);

I – ток сварки (А).

Анализируя вышеперечисленные методы определения поверхностного натяжения сделан вывод, что наиболее схожая с нашим методом сварки, а соответственно обеспечивающая максимально приближенные к реальным значения поверхностного натяжения, модель, предложенная в работе [14]. Она наиболее полно учитывает процессы, происходящие при сварке.

Для определения нормальной и тангенциальной составляющей силы поверхностного натяжения используют выражения [15,17]:

$$P_R = \frac{4\pi ha\sigma'}{\sqrt{a^2 + 4h^2}}; P_T = \frac{8\sigma'h^2}{1.7\sqrt{a^2 + 4h^2}} \quad (6)$$

где P_T – тангенциальная составляющая силы поверхностного натяжения, Дин;

P_R – нормальная составляющая силы поверхностного натяжения, Дин;

a – полуширина шва, см.

h – высота наплавки, см;

σ' – коэффициент приведенного поверхностного натяжения, Дин/см;

1.2.3 Вес сварочной ванны

В зависимости от тепловых вложений масса сварочной ванны может меняться. Основные параметры, влияющие на этот процесс: мощность источника, теплоотвод, условия передачи тепла от источника к изделию, температуры капли электродного металла и скорости плавления металла [19].

Изменение массы ванны ведёт и к изменению её текучести. Влияние текучести при сварке в нижнем положении мало сказывается на равнодействующую сил. Этот параметр в основном влияет на усиление сварного шва.

Всё кардинально меняется при рассмотрении потолочного положения сварки. Увеличивая тепловые вложения и массу расплавленного металла, наступает момент перевешивания сил поверхностного натяжения и

воздействия дуги. Происходит смена направления равнодействующей и расплавленный металл начинает вытекать, образуя за собой натёки.

Для определения величины веса сварочной ванны воспользуемся формулой (7), представленной в книге [4]:

$$G_s = 0,085 \frac{\alpha \rho}{\lambda^2 T_{пл}^2} \cdot \frac{q_0^2}{v_{св}} \quad (7)$$

где α – коэффициент температуропроводности стали 20, см²/с;

ρ – плотность стали 20 при температуре плавления, кг/м³;

λ – коэффициент теплопроводности стали 20, Вт/см·°С;

q_0 – мощность дуги, Вт.

Выводы по первой главе:

Анализ современного состояния орбитальной сварки труб показывает, что нет способа стабильного формирования корневого слоя сварного шва при орбитальной сварке: предложенные варианты только улучшают процесс сварки труб малого диаметра, но задача окончательно не решена. В перспективе является управление критической массой ванны, тогда не будет ни провисаний, ни отвисаний, ни наплывов.

2 Описание сварной конструкции

Изготавливаемым изделием является труба, получаемая в процессе сварки двух труб встык, диаметром 60 мм и толщиной стенок 5 мм. Данная конструкция будет использоваться в котлах атомных электростанций под высоким давлением, поэтому необходимы требования при изготовлении конструкции (рис. 6):

- Поскольку конструкция находится под высоким давлением, то все соединения должны быть заварены встык и с полным проваром;
- Последующая обработка и очистка швов не допустима.

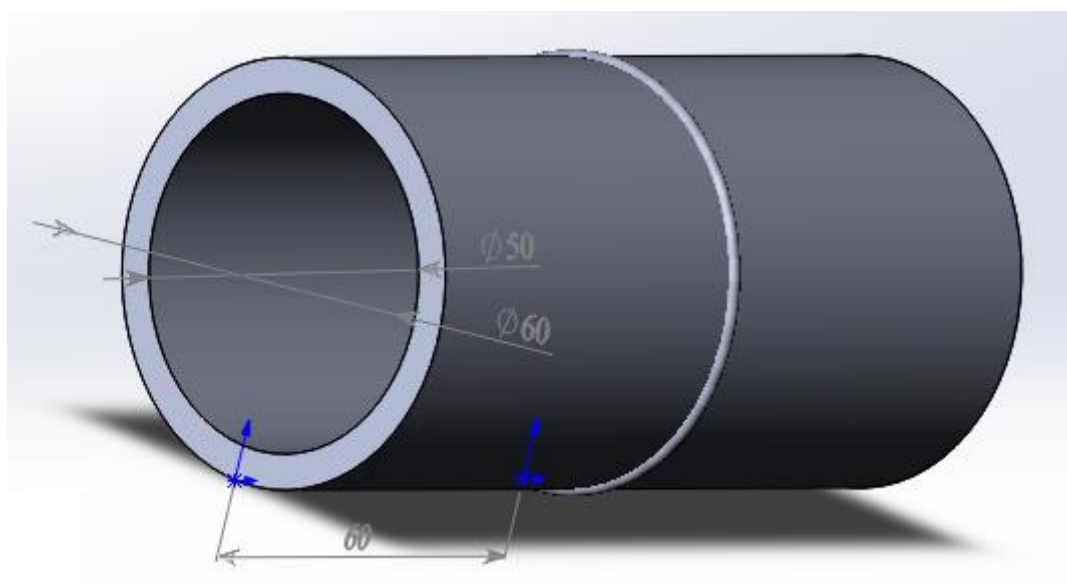


Рисунок 6 – Схема сварной конструкции

2.1 Материал сварной конструкции

В качестве материала используется Сталь 20. Сталь 20 относится к конструкционным углеродистым качественным сталям ГОСТ 1050-88 [4, с.82].

Применение: гидравлика, металлоконструкции, трубы перегревателей, трубопроводов котлов высокого давления, коллекторов и др.

Заменители: Сталь 15, Сталь 25, Сталь 15ХФА, Сталь 20Ф, Сталь 13ХФА, Сталь 09СФА.

Виды поставки: трубы ГОСТ 8731-74, ГОСТ 5654-76, ГОСТ 1070-91, ГОСТ 8732-78, ГОСТ 10705-80, ГОСТ 8733-74, ГОСТ 550-75.

Механические свойства и химический состав стали 20 приведены в таблицах 1 и 2 соответственно.

Таблица 1 – Механические свойства стали 20 при комнатной температуре

Состояние поставки	Термообработка	Сечение, мм	σ_B , Мпа	$\sigma_{0,2}$, Мпа	δ , %
Прокат горячекатаный	Нормализация	до 80	430	255	26

Таблица 2 – Химический состав стали 20

C, %	Si, %	Ni, %	Mn, %	As, %	P, %	S, %	Cr, %	Cu, %
0,17-0,24	0,17-0,34	до 0,25	0,35-0,65	до 0,8	до 0,04	до 0,04	до 0,25	до 0,25

2.2 Определение эквивалента углерода

Под влиянием нагрева и охлаждения металла при сварке меняются его структура и физические свойства. Для оценки свариваемости сталей используют понятие углеродный эквивалент. Свариваемостью называют способность стали определённого химического состава принимать высококачественное сварное соединение при сварке каким-либо способом без наличия трещин, несплошностей и других дефектов.

В основном на свариваемость стали влияют легирующие элементы и углерод содержащиеся в ней. Чтобы предварительно определить свариваемость стали с известным химическим составом прибегают к формуле, определяющей эквивалентное содержание углерода [7]:

$$C_{\text{ЭКВ}} = C + \frac{Mn}{20} + \frac{Ni}{15} + \frac{Cr+Mo+V}{10} \quad (8)$$

Исходя из полученного эквивалентного содержания углерода в стали определяют её свариваемость по четырём группам свариваемости:

- 1 – хорошая свариваемость ($C_{\text{ЭКВ}} \leq 0,25\%$);
- 2 – удовлетворительная свариваемость ($0,25\% < C_{\text{ЭКВ}} \leq 0,35\%$);
- 3 – ограниченная свариваемость ($0,35\% < C_{\text{ЭКВ}} \leq 0,45\%$);
- 4 – плохая свариваемость ($C_{\text{ЭКВ}} > 0,45\%$).

Про свариваемость стали 20 можно сказать следующее: ограничения по сварке отсутствуют. Она не требует подогрева и последующей термообработки. Однако существуют ограничения, накладываемые на химико-термически обработанные стали. Так же существуют рекомендации по сварке стали 20 описанные в литературе и нормативных документах.

Чаще всего при сварке стали 20 используют электродуговые способы, такие как механизированная сварка в среде углекислого газа или порошковой проволокой, ручная дуговая сварка и аргонодуговая сварка. Последняя удобнее всего для сварки тонких деталей.

Для того чтобы теоретически оценить свариваемость стали 20, нужно подсчитать эквивалент углерода, используя таблицу 2, по формуле (8):

$$C_{\text{ЭКВ}} = 0,2 + \frac{0,65}{20} + \frac{0,25}{15} + \frac{0,25 + 0 + 0}{10} = 0,258\%,$$

где вместо символьных обозначений вставлены процентные содержания элементов в стали 20.

$C_{\text{ЭКВ}} = 0,258\% \rightarrow 0,25\% < C_{\text{ЭКВ}} \leq 0,35\%$ – удовлетворительная свариваемость.

К группе “удовлетворительно свариваемые” преимущественно относят стали не нуждающиеся в подогреве в нормальных производственных условиях, либо нуждаются в частичном подогреве для предотвращения образования трещин.

2.3 Разработка модели комплекса сил, действующих на сварочную ванну

Для оценки распределения сил для каждого определенного положения трубы в сечении при сварке труб малого диаметра необходимо разработать модель сварочной ванны.

В процессе работы будут рассмотрены некоторые особенности их действия и влияние на формирование сварочной ванны и сварного шва, а также сделан анализ для оптимизации технологии орбитальной сварки.

2.4 Характеристика сварочной ванны

Сварочную ванну можно рассмотреть, как находящуюся в квазистационарном состоянии. В результате разогрева выше температуры плавления в процессе сварки количество расплавленного металла и закристаллизовавшегося уравнивается друг друга во времени. В зависимости от количества введённого тепла и параметров режима регулируется объём жидкой фазы, форма и размеры шва.

Для определения расчётной оценкой формы, объёма и размеров сварочной ванны необходимо применить сложное аналитическое решение. В данный момент такие решения отсутствуют.

Исходя из практики можно сказать, что размеры сварочной колеблются в пределах: глубина до 7 мм, ширина 8-16 мм, длина 10-30 мм, и зависят от параметров режима сварки [18].

Рассматривая сварочную ванну сверху видно форму эллипса, который вытянут вдоль направления сварки. Поперечное же сечение сварочной ванны зависит от условий и режима сварки и изменяется в широких пределах.

Помимо теплофизических свойств материала и параметров режима сварки на размеры сварочной ванны влияет комплекс сил, действующий на поверхности сварочной ванны, который описанный в первой главе.

При сварке в различных пространственных положениях для обеспечения нормального формирования шва жидкий металл сварочной ванны должен находиться в статическом равновесии. Так как сварочная ванна непрерывно перемещается со скоростью сварки вслед за источником тепла, то по принятой терминологии это состояние равновесия можно назвать квазистатическим.

Для дуговой сварки наиболее характерна близкая к полуокружности форма провара

2.5 Геометрические размеры сварочной ванны

Под действием импульсной дуги происходит плавление изделия в месте сварки, в результате чего образуется сварочная ванна. Форма сварного шва напрямую зависит от формы и размеров сварочной ванны, так как металл кристаллизуется из последней.

Геометрические параметры, характеризующие сварочную ванну: длина (L), ширина (B), глубинна проплавления (H), площадь заполнения ванны (F). Ванну характеризуют следующими геометрическими параметрами изображёнными на рисунке 7.

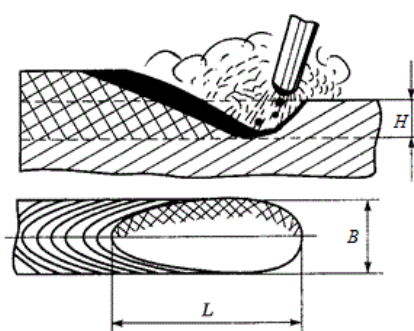


Рисунок 7 – Геометрические параметры сварочной ванны

Для определения размеров сварочной ванны используют поперечные и продольные микрошлифы уже закристаллизовавшегося металла (шва). Однако этот метод не позволяет с высокой точностью определять длину сварочной ванны и её составные части площади поверхности. Помимо

микрошлифов в литературе предлагают другие различные методики определения геометрических размеров сварочной ванны, такие как метод удаления под действие собственного веса, метод опрокидывания, метод выдувания. Эти методы основаны на отделении сварочной ванны от твёрдой фазы с минимальным изменением её формы.

2.6 Модели сварочных ванн

Модель есть представление некоторого реального процесса, устройства или концепции [16]. Данная работа есть феноменологическая модель, охватывающая набор наблюдаемых явлений, которую можно использовать для прогнозирования. При работе с феноменологическими моделями можно определить в какой области науки и техники перспективно развитие разработки, а также определить требования к материалу.

Проанализировав литературу, можно сказать, что существует несколько моделей формирования сквозного шва. Модели можно классифицировать по сложности и приближённости к реальному процессу сварки. Так же у каждой модели есть свои условия реализации. Можно сказать, что с возрастанием сложности применяемой модели, а соответственно и увеличении количества факторов, влияющих на процесс сварки, результаты моделирования приближаются к реальным значениям. Известные модели можно разделить на 5 групп:

– эмпирические и экспериментально-статические модели. Эта группа моделей аппроксимируя результаты эксперимента показывает связь режимов сварки с геометрическими размерами шва;

– модель баланса давлений. Основная суть модели – равновесие давлений между кромками, действующих на расплавленный металл сварочной ванны;

– модель баланса сосредоточенных сил. В данной модели используют поверхностные интегралы или интегралы по объёму, с помощью которых

определяют равнодействующие силовых факторов и их главные векторы. Для расчёта интегралов необходимо задать форму межфазной поверхности;

– плоские капиллярно-гидростатические модели. Решение данной модели основанной на упрощённом (двухмерном) основном уравнении теории капиллярности. Чтобы прийти к такому уравнению и получить возможность его решить необходимо прийти к допущению, а именно: опустить движение расплавленного металла в сварочной ванне;

– объёмная тепловая капиллярно-гидростатическая модель. К методике расчёта капиллярно-гидростатической модели добавляется уравнение теплопроводности численным методом. Это позволяет выполнить объёмное моделирование.

2.7 Комплекс сил, действующих на сварочную ванну

Как уже выше излагалось, на сварочную ванну действуют следующие силы [5, 6]:

а) силовое воздействие сварочной дуги (комплекс электромагнитной и газокинетической сил);

б) вес жидкого металла сварочной ванны;

в) силы поверхностного и межфазного натяжения.

Ссылаясь на работы [16, 17] был произведён анализ комплекса сил. В работах рассмотрены величины приведённого натяжения и даны измерения для них. Данные сведены в таблице 3.

Таблица 3 – Результаты вычислений, полученные в работах [45, 46]

Среднее значение сварочного тока в момент выключения дуги I , (А)	Общее давление дуги $P_{од}$, (гс)	Общий вес сварочной ванны $G_в$, (гс)	Размеры наплавки		Значения приведенного натяжения, Дин/см
			Полудиаметр точки a , см	Высота точки h , см	
212	2,20	5,40	0,82	0,44	882
200	2,00	5,51	0,78	0,48	812
190	1,78	5,44	0,81	0,53	876
134	0,89	4,34	0,77	0,51	940
170	1,43	4,46	0,74	0,33	960
170	1,43	4,40	0,82	0,35	876

2.7.1. Расчет составляющих силы поверхностного натяжения

Составляющие силы поверхностного натяжения вычисляются по формуле (9):

$$P_R = \frac{4\pi h a \sigma'}{\sqrt{a^2 + 4h^2}}; P_T = \frac{8\sigma' h^2}{1.7\sqrt{a^2 + 4h^2}} \quad (9)$$

Для построения модели сварочной ванны выберем первый режим, предложенный в таблице 3: $G_в = 5,4$ гс, $a = 0,82$ см, $h = 0,44$ см, $\sigma = 882$ Дин/см.

1. Радиальная составляющая силы поверхностного натяжения:

$$P_R = \frac{4 \cdot 3,14 \cdot 882 \cdot 0,44 \cdot 0,82}{\sqrt{0,82^2 + 4 \cdot 0,44^2}} = 3300 \text{ Дин} = 3,3 \text{ гс}$$

2. Тангенциальная составляющая силы поверхностного натяжения:

$$P_T = \frac{8 \cdot 882 \cdot 0,44^2}{1.7\sqrt{0,82^2 + 4 \cdot 0,44^2}} = 677 \text{ Дин} = 0,7 \text{ гс}$$

2.8 Модель сварочной ванны для характеристики

Постоянное изменение пространственного положения сварочной ванны и сварочной головки при сварке неповоротных стыков трубопроводов ведёт к изменению направления и значения результирующей сил, её тангенциальной и нормальной составляющей. Управление этими силами посредством изменения режимов сварки позволит обеспечить требуемую форму шва на всех участках сварки. В основе этого процесса лежит динамическая стабилизация сварочной ванны.

Назначить режимы сварки на отдельных участках можно определив равнодействующую для каждого участка и влияние сил составляющих её. Для наглядности графически в виде векторов строятся действующие на ванну силы. При этом рассматривают только силы поверхностного натяжения и вес сварочной ванны. Сила действия дуги не рассматривается, так как она считается внешним воздействием. Помимо этого, возникает неоднозначность в распределении сил, действующих на сварочную ванну. Эта проблема решается вводом допущений: сварочная ванна является точкой приложения сил, а все силы считаются сосредоточенными.

Построение ведется следующим образом: так как вес варочной ванны и сила поверхностного натяжения являются постоянной величиной, его откладывают во всех рассматриваемых позициях; далее строят равнодействующую этих сил, по которой судят о направлении движения сварочной ванны (рис. 8):

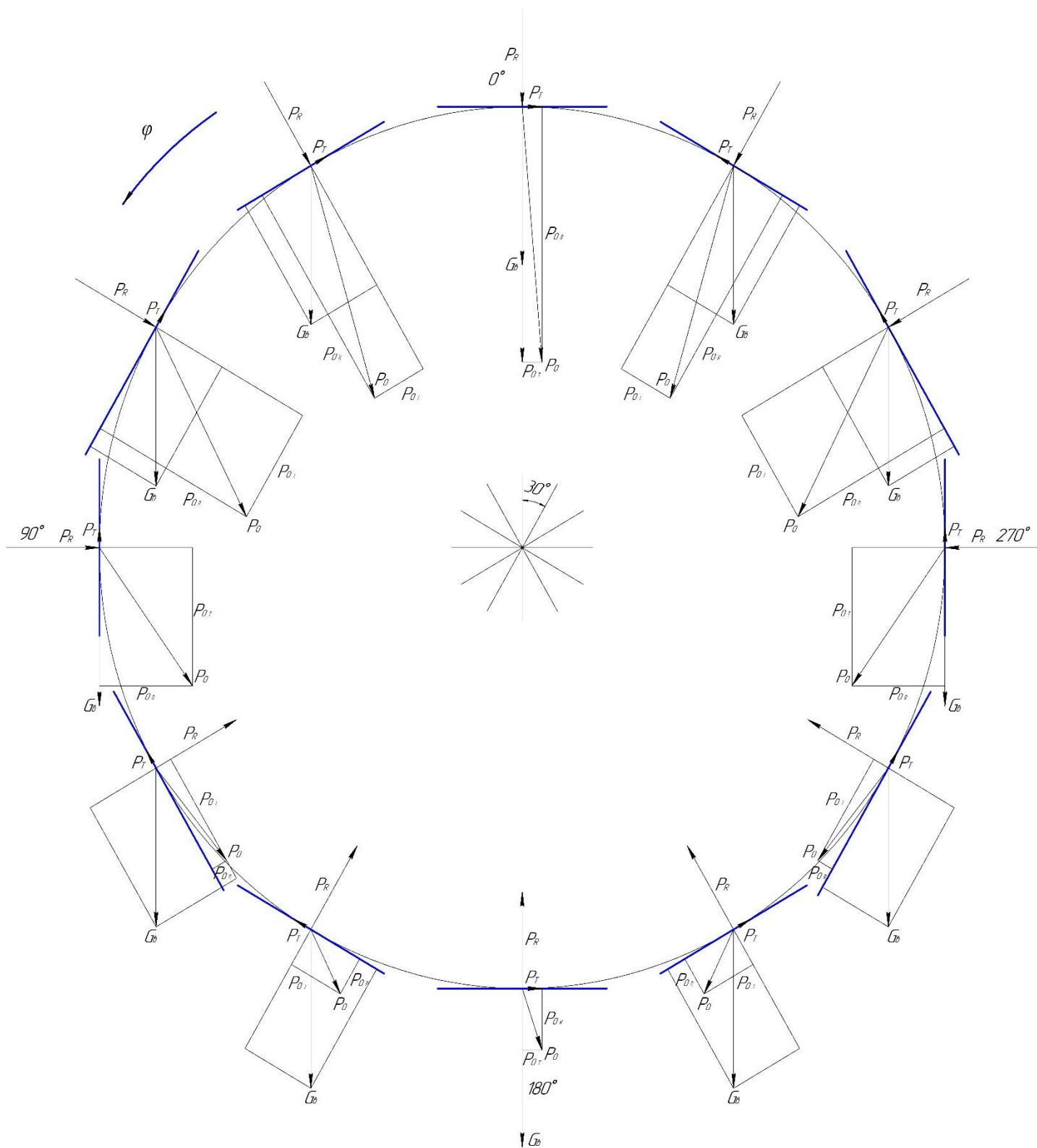


Рисунок 8 – Модель сварочной ванны, показывающая направление равнодействующих сил для каждого положения в масштабе 10:1

где:

P_R – нормальная составляющая силы поверхностного натяжения, гс;

P_T – тангенциальная составляющая силы поверхностного натяжения, гс;

P_0 – равнодействующая сила, гс;

P_{0_T}, P_{0_R} – тангенциальная и нормальная составляющие равнодействующей силы, гс;

G_6 – вес сварочной ванны, гс.

Теперь внесем все данные из программы Kompas-3D в таблицу 4.

Таблица 4 – Результаты, полученные при построении модели

Поворот сварочной головки на угол φ , °	Значение равнодействующей силы P_0 , гс	Значение тангенциальной составляющей равнодействующей силы P_{0_T} , гс	Значение нормальной составляющей равнодействующей силы P_{0_R} , гс
0	8,73	0,7	8,7
30	8,22	-2	7,98
60	7,2	-3,98	6
90	5,74	-4,7	3,3
120	4,02	-3,98	0,6
150	2,43	-2	-1,38
180	2,22	0,7	-2,1
210	2,43	-2	-1,38
240	4,02	-3,98	0,6
270	5,74	-4,7	3,3
300	7,2	-3,98	6
330	8,22	-2	7,98
360	8,73	0,7	8,7

После этого будут изображены графики $P_0 = f(\varphi)$, $P_{0_T} = f(\varphi)$ и $P_{0_R} = f(\varphi)$, по которым можно сделать вывод о влиянии сил на сварочную ванну и будут описаны действия для оптимизации технологии орбитальной сварки труб малых диаметров (рис. 9):

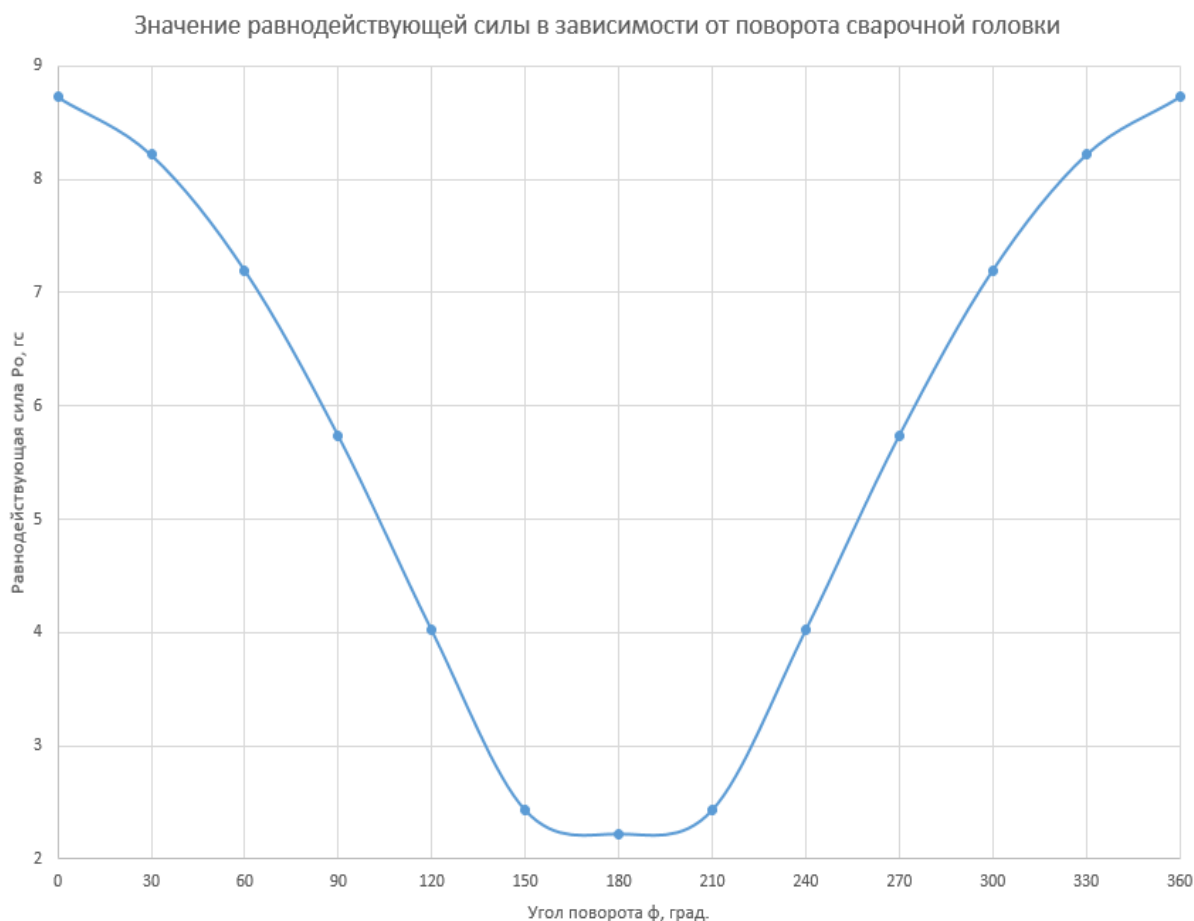


Рисунок 9 – График зависимости равнодействующей силы от угла поворота сварочной головки по абсолютным значениям

Из рисунка 9 и модели сварочной ванны видно, что результирующая сила с увеличением угла сечения трубы уменьшается за счет увеличения нормальной составляющей, противоборствующей отвисанию сварочной ванны по направлению силы тяжести. Так же согласно [12] при угле 0-150° сварка производится на спуск. С увеличением угла тангенциальная составляющая результирующей силы меняет свое направление так как положение сварки меняется “со спуска” “на подъем”. Для дальнейшего

исследования действия сил, влияющих на сварочную ванну в определенном пространственном положении необходимо построить график зависимости составляющих этой силы и угла поворота сварочной головки (рис. 10).

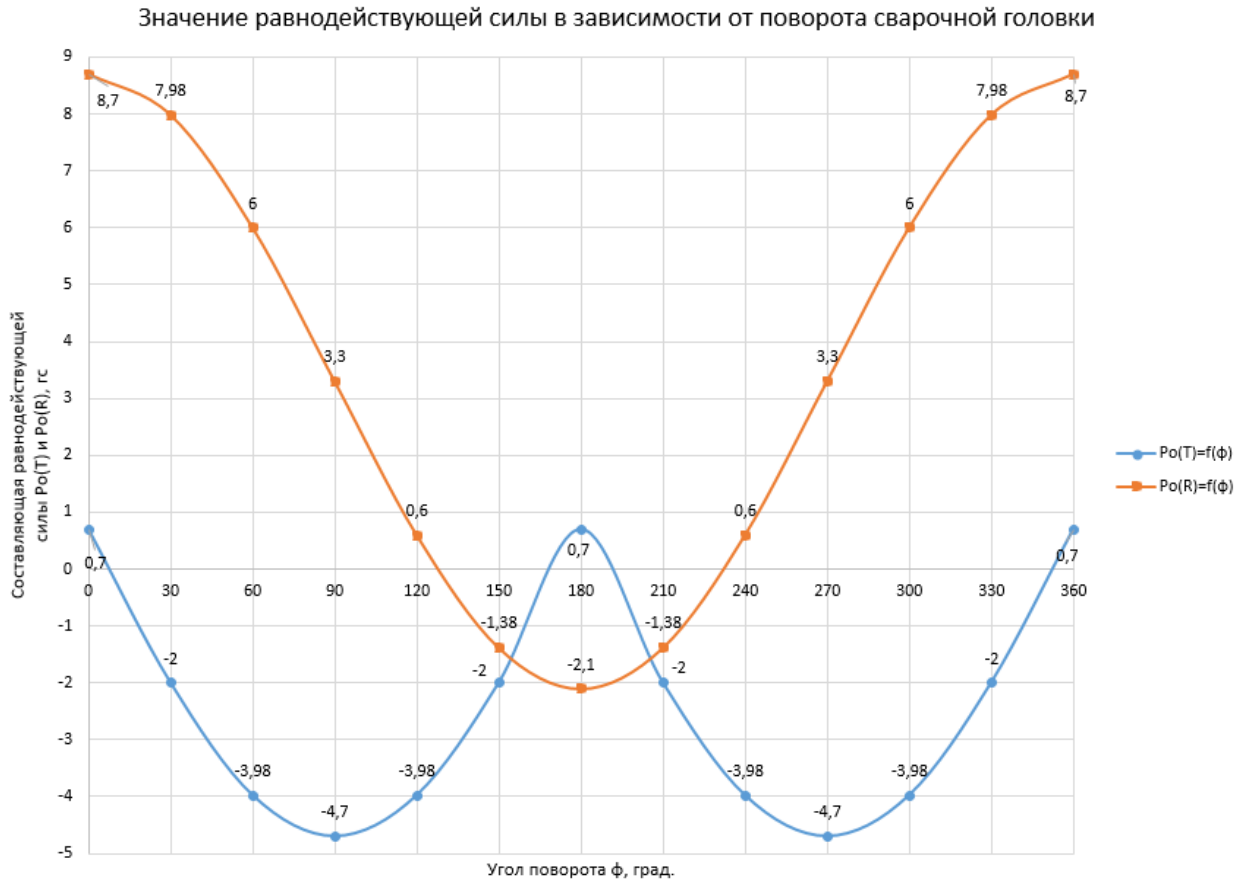


Рисунок 10 – График зависимости нормальной и тангенциальной составляющих равнодействующей силы от угла поворота сварочной головки

Из рисунка 10 видно, что при $\varphi = 10-30^\circ$ появляется тангенциальная составляющая равнодействующей силы, в связи с чем сварочная ванна стремится вытечь. При $\varphi = 130-140^\circ$ появляется нормальная составляющая равнодействующей силы, стремящаяся оторвать сварочную ванну. При $\varphi = 160^\circ$ составляющие становятся равны. Далее, при увеличении угла сварочной головки до $\varphi = 180^\circ$ будет увеличиваться нормальная и уменьшаться тангенциальная составляющие равнодействующей силы.

Таким образом, для правильного формирования сварного шва на участке $\varphi = 0-130^\circ$ необходимо компенсировать тангенциальную составляющую равнодействующей силы, для участка $\varphi = 130-160^\circ$ - уже обе составляющие. При $\varphi = 160-180^\circ$ тангенциальная составляющая становится очень мала и требуется удержание нормальной составляющей на всем участке.

Сваривая неповоротный стык труб возникают проблемы с удержанием расплавленного металла сварочной ванны. Пространственное положение ванны и сварочной головки постоянно меняется, вместе с этим меняется равнодействующая сил, действующая на ванну. Чтобы удержать ванну в нижних положениях необходимо корректировать режимы сварки, что провоцирует изменение поперечного сечения сварного шва, уменьшая его. Для заполнения разделки приходится накладывать нежелательные дополнительные корректирующие швы.

Получение шва постоянного сечения без дефектов, выполненного на одном режиме, возможно если корректировать силы, действующие на ванну, не давая металлу вытекать.

Один из способов корректирования равнодействующей сил – изменение размеров сварочной ванны и скорости охлаждения поверхности, что непосредственно влияет на поверхностное натяжение в процессе сварки. Ширину шва можно увеличить с помощью колебательного механизма, увеличив тем самым площадь контакта жидкого металла с оплавленными кромками. Однако это приводит к возможным дефектам, по типу не сплавления кромок, и усложняет конструкцию автомата. Второй способ изменения размеров поперечного сечения – увеличения погонной энергии, однако это увеличивает площадь поперечного сечения, а соответственно и вес варочной ванны.

Контролировать силовое воздействие дуги можно подобрав способ сварки, его режимы и сварочные материалы. Так же зависимости от формы тока и состояния дугового промежутка (защитный газ, испарения ванны и т.д.)

будет меняться характер воздействия дуги на сварочную ванну. Помимо этого, направлением сварочной головки можно менять направление силового воздействия дуги формируя качественный шов.

Более наглядно рассмотреть, как будет вести себя сварочная ванна в определенных положениях, можно благодаря рисунку 11.

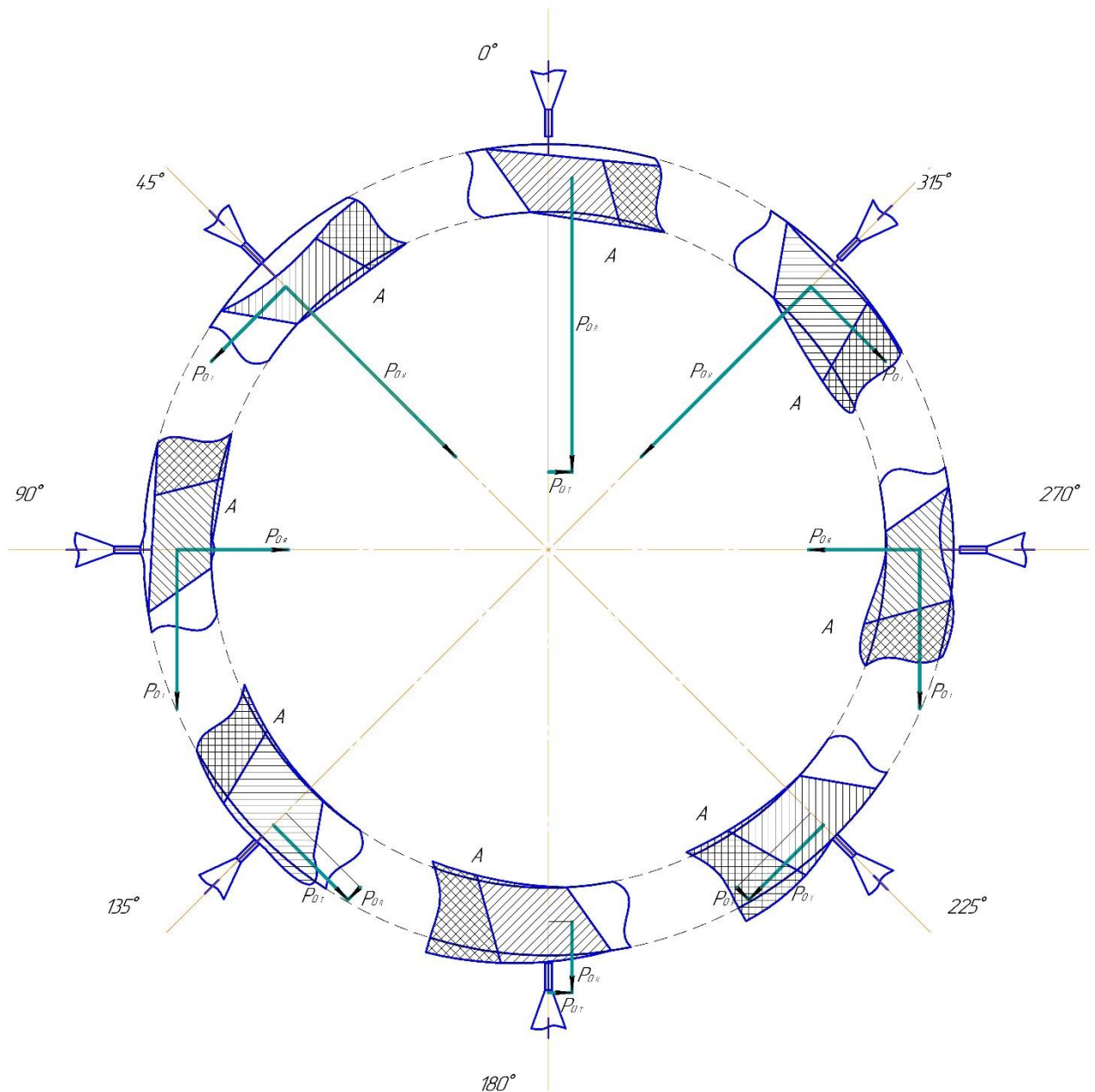


Рисунок 11 – Сегменты трубы, по которым определяется поведение сварочной ванны в каждом положении

Пространственное положение и толщина металла напрямую влияют на критическую массу ванны. С увеличением толщины металла увеличивается объём ванны, следовательно, влияние угла наклона к горизонту ванны тоже увеличивается

В положении 0° сварочная ванна будет провисать за счет нормальной составляющей равнодействующей силы по направлению силы тяжести. Точка А, определяющая величину проплава, располагается наверху ванны. При положении 45° сварочная ванна стекает за счет увеличивающейся тангенциальной составляющей равнодействующей силы. При положениях $90-180^\circ$ сварочная ванна будет отвисать за того, что тангенциальная составляющая равнодействующей силы в этих положениях будет больше нормальной составляющей этой силы. В положениях же $180-0^\circ$ отвисание будет происходить не только за счет того, что тангенциальная составляющая равнодействующей силы больше нормальной, но и за счет того, что сварочная горелка будет располагаться в верхней части сварочной ванны (315°). Точка А в этих положениях будет располагаться снизу сварочной ванны.

В результате проделанной работы можно сделать вывод, что сварочная ванна отрывается и течет при сварке потому, что сила поверхностного натяжения не выдерживает собственного веса сварочной ванны, что способствует ее вытеканию. Для того, чтобы этого избежать, можно пойти двумя путями:

- 1) компенсировать силы – управление величиной тока и направлением электрода;
- 2) контролирование критической массы.

Первый способ довольно сложный, поэтому в третьей главе будет предложен способ контроля критической массы по напряжению дуги. Этот способ и будет разрабатываться при сварке корневого слоя без присадки.

Выводы по второй главе:

1. Зная необходимые требования к сварным швам, был подобран материал конструкции (Сталь 20), а также через определение эквивалента углерода определено, что выбранная марка стали относится к удовлетворительно свариваемым.
2. Дана характеристика сварочной ванны.
3. Составлена феноменологическая модель сварочной ванны: капиллярно-гидростатическая модель.
4. Подобраны параметры для расчета составляющих поверхностного натяжения.
5. Рассчитаны все основные силы, действующие на сварочную ванну.
6. Обосновано применение методики построения феноменологических моделей.
7. Разработана модель, с помощью которой была определена равнодействующая сил и построены графики зависимостей $P_0 = f(\varphi)$, $P_{0_T} = f(\varphi)$ и $P_{0_R} = f(\varphi)$.
8. Согласно феноменологической модели сварочной ванны произведен анализ комплекса сил, действующих на сварочную ванну, и предложены пути усовершенствования технологии орбитальной сварки труб малых диаметров.

3 Описание экспериментальной установки

Состав экспериментальной установки представлен на рисунке 12:

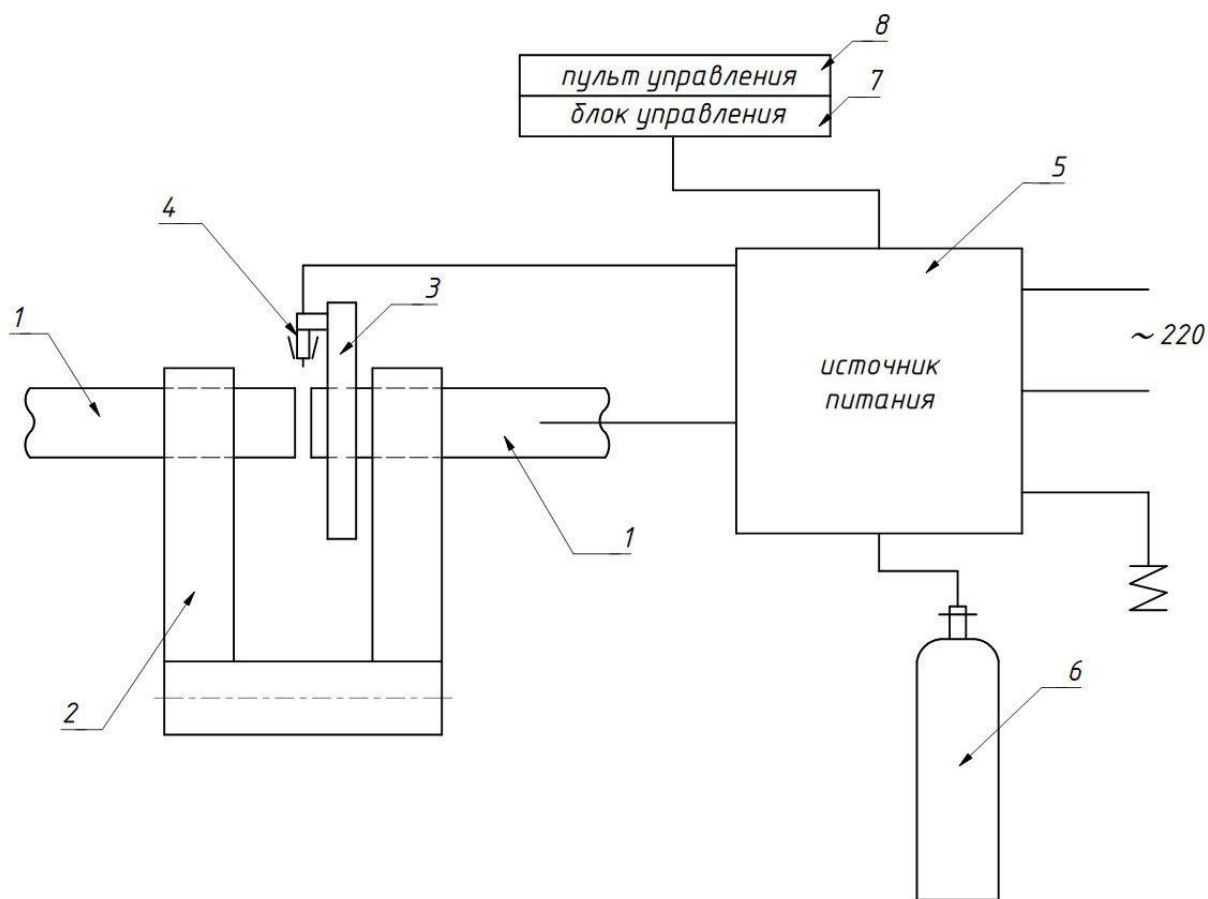


Рисунок 12 – Функциональная схема установки

На схеме представлены:

- 1 – свариваемые трубы
- 2 – центрирующее устройство
- 3 – автомат
- 4 – сварочная головка
- 5 – источник питания
- 6 – сварочный баллон
- 7 – общий блок управления
- 8 – пульт управления

3.1 Сварочная головка

Согласно техническому заданию наиболее полно удовлетворяет требованиям головка сварочная ОКА 18-45.

Головки ОКА предназначены для аргодуговой сварки неплавящимся электродом неповоротных стыков труб диаметром от 18 до 45 мм. Позволяют повысить производительность труда при проведении сварочных работ, добиться высокого качества сварных соединений при проведении сварки в любых пространственных положениях, даже при относительно невысокой квалификации персонала.

Функциональные возможности:

- простая и быстрая установка на трубе.
- высокая производительность и качество сварки.
- механизм подачи присадочной проволоки

Таблица 5 – Технические характеристики

Характеристики	Значения
Диапазон диаметров свариваемых трубопроводов	От 18 до 45 мм включительно
Скорость сварки	От 0,1 до 6,2 мм/с
Скорость подачи присадочной проволоки	От 5 до 40 мм/с
Диаметр присадочной проволоки	0,8; 1,0 мм
Диаметр электрода	2; 3 мм
Максимальный расход защитного газа	Не более – 30 л/мин
Длина соединительных кабелей сварочной головки	4,0±0,1 м
Максимальный сварочный ток	200 А
Охлаждение горелки	Тип – водяное
Номинальный режим работы ПН	t _{окр.ср.} =40°C, 100%
Давление воды	До 0,3 Мпа
Габаритные размеры головки	315×155×220 мм
Масса головки	Не более 5,8 кг
Установленная наработка на отказ	Не менее 1000 ч
Установленный срок службы головки	Не менее 5 лет

3.1.1 Устройство и работа головки

Для данной работе используется модернизированная сварочная головка ОКА 18 - 45 ИД.

Общий вид головки приведен на рисунке 13.

Головка состоит из следующих узлов: вращатель – поз.1; планшайба – поз. 2; горелка – поз. 3; кабель – поз. 4; механизм подачи проволоки – поз 5; блок катушки – поз. 6; фиксатор – поз. 7; тракт – поз. 8; канал – поз. 9; упор – поз. 10, а также ряда других деталей.

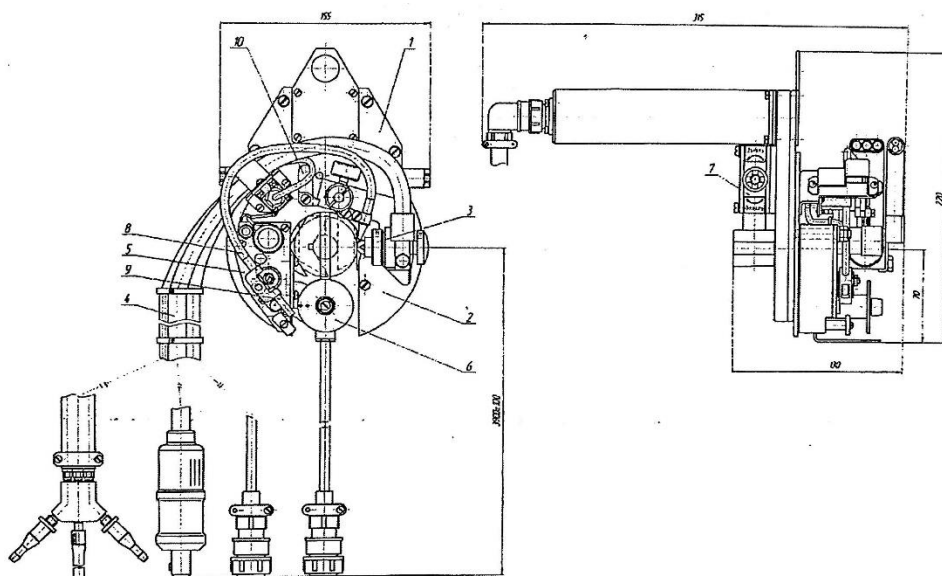


Рисунок 13 – Головка сварочная ОКА 18-45 ИД

Вращатель предназначен для вращения планшайбы и состоит из привода, в который входят электродвигатель постоянного тока ДПР-52-Н2-02, импульсный датчик ТТ-383 и четырехступенчатый планетарный редуктор, расположенные в ручке вращателя, цилиндрических зубчатых колес, расположенных в корпусе и закрытых крышкой.

На планшайбе расположены горелка с упором и механизм подачи проволоки с закрепленным на ней блоком катушки.

Горелка предназначена для крепления вольфрамового электрода, направления струи аргона в зону сварки и подвода сварочного тока к

электроду. Горелка представляет собой корпус со встроенным штунцером для присоединения кабеля токогазоподвода и трубок с охлаждающей жидкостью.

Но для производительной работы эта голова неудобна, так как при сварке на ней большую часть времени составляют вспомогательные операции. А именно центровка труб при помощи центраторов и настройка сварочной головки на стык. Прихватки требуют дополнительного времени и создают опасность возникновения дефектов, а настройка сварочной головки на стык значительно утомляет зрение.

Для повышения эффективности работы данной головки разработано центрирующее устройство, позволяющее осуществлять центрирование труб и установку автомата на стык без постановки прихваток.

3.2 Автомат

Сварочный автомат – механизм, позволяющий сварочной головке перемещаться вдоль шва. Для точной установки автомата на свариваемый стык фиксатор (тисы) предназначенный для фиксации автомата на трубе заменен на переходной фланец.

Во фланце имеются отверстия, в которые входят штифты центратора и фиксирующий винт. Поэтому автомат базируется по центратору коаксиально вращению сварной головки для всех диаметров труб, с точной установкой электрода на стык без дополнительной настройки.

3.3 Система импульсного питания сварочной дуги

В качестве источника питания выбран аппарат инверторного типа ДС 200А.33А. Он используется при сварке вольфрамовым электродом в защитном газе в связке с ДС СА У4.33 (система автоматической сварки) и при ручной сварке вольфрамовым электродом.

Источник питания ДС 200А.33А, позволяет осуществлять сварку в различных режимах (непрерывный, импульсный и шагоимпульсный) (рис. 14):

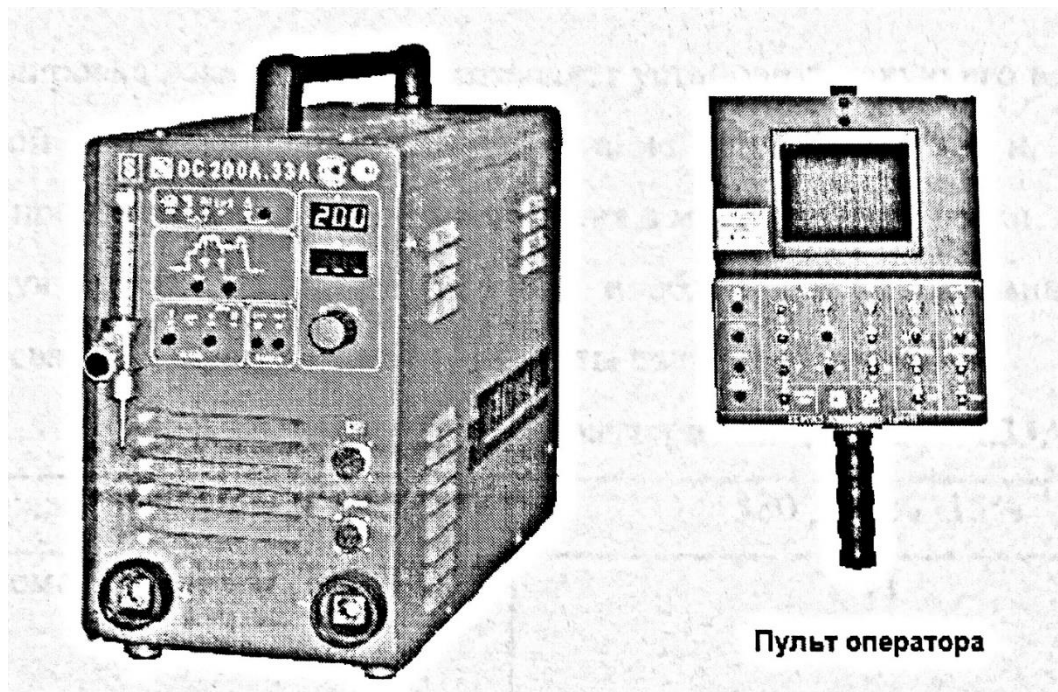


Рисунок 14 – Источник питания ДС 200А.33А и пульт управления

Можно выделить следующие особенности источника питания ДС 200А.33А:

- режимы контактного и бесконтактного зажигания дуги (малый ток),
- возможность непрерывного и импульсного питания в двух и четырёх тактном режиме,
- запоминание режимов сварки,
- управление за счёт микропроцессора.

Данный источник питания позволяет задействовать режим фокусировки дуги. При его активации дуга максимально фокусируется, за счёт стабилизации конуса дуги и уменьшения блуждания. Это позволяет упростить сварку угловых стыков, более точно управлять перемещением и размером сварочного пятна.

Источник питания позволяет регулировать фазы сварочного тока (время нарастания и спада). За счёт плавного нарастания защищают места начала сварки и уменьшают износ электрода. Плавный спад позволяет заварить кратер.

Точные значения тока и напряжения регулируются с помощью цифрового индикатора. За счёт правильной регулировки величины тока обеспечивается гарантированное зажигание сварочной дуги без прожогов изделия в месте начала сварки. Так же присутствуют системы продувки до начала сварки и после её окончания.

Аппарат обеспечен системами предохранения за счёт отключения от сети при перегреве источника питания, низком питающем напряжении (более 15 %), а также отсутствии какой-либо фазы питающего напряжения. В источнике установлен фильтр, позволяющий сохранять характеристики источника питания не зависимо от колебаний питающей цепи.

Комплекс ОКА надёжен и прост в эксплуатации, имеет заводскую гарантию 1 год и может поставляться со свидетельством о первичной аттестации НАКС.

Источник питания ДС 200А.33А. выступает в качестве выпрямителя для установки амплитуды импульсов сварочного тока.

3.4 Блок управления

В качестве блока управления выбран микропроцессорный блок ДС СА У4.33, использующийся для управления установками автоматической сварки. Его используют при работе с головками для автоматической сварки типа «ОКА», а также он идеально подходит для источников питания типа ДС.

Данный блок управления имеет ряд особенностей, позволяющих облегчить процесс орбитальной сварки, а именно:

- секторная разбивка по зонам сварки для режима работы на каждом участке с индивидуальным сварочным током, напряжением сварки, скоростями проволоки и скорости сварки,
- задание режимов сварки при многопроходном шве в каждом проходе,
- запоминание программ,
- удобство заполнения параметров режима в программу с помощью клавиатуры и автоматическое запоминание.

Блок управления обеспечен тремя режимами работы на выбор: непрерывный, импульсный и шагоимпульсный.

Непрерывный режим идеально подходит для сварки в горизонтальном положении, так как он обеспечивает постоянный сварочный ток на протяжении всего процесса сварки.

Импульсный режим же подразумевает импульсное чередование разных по величине значений сварочного тока. В данном режиме регулируются ток импульса, ток паузы, время импульса и паузы. За счёт времени и тока импульса обеспечивают проплавление сварочной ванны, но при этом количество вводимой энергии не должно допускать провисания расплавленного металла. Оставшиеся параметры времени и тока паузы устанавливаются так, чтобы обеспечить поддержание горения дуги. На этом этапе ванна частично кристаллизуется

Шагоимпульсный режим используется для получения сварных соединений более высокого качества. Исходя из названия режима можно догадаться, что движение головки происходит шагами во время паузы, а во время импульса происходит сварка, при неподвижном состоянии горелки. Так же во время паузы прекращается подача присадки. Все остальные параметры соответствуют импульсному режиму.

В данной работе используется шагоимпульсный режим, потому что трубы поверхностей нагрева относятся к высокоответственным изделиям, где необходимо получать качественные сварные швы.

3.5 Описание центрирующего устройства

Особенностью центратора является то, что имеются специальные штифты и соединительный болт, при помощи которого перед центровкой труб крепится шаблон, который позволяет фиксировано устанавливать сварной стык относительно центратора без зазора в стенке или с необходимым зазором. После установки центратора шаблон снимается. Затем на эти же штифты устанавливается автомат и закрепляется винтом.

Также комбинация позволяет быстро и без дополнительной настройки устанавливать вольфрамовый электрод сварной головки симметрично относительно разделки, что существенно снижает вспомогательное время.

Центрирующее устройство состоит из несущей трубы к которой приварены зажимные устройства состоящие из неподвижных пластин, внутри которых расположены зажимные губки закрепленные с помощью болтов. Также имеются подвижные пластины шарнирно соединенные с неподвижными, между которыми болтами закреплены губки. Рычаг при помощи которого производится прижатие детали подвижными губками между неподвижными. К одному из зажимных устройств к внутренней неподвижной пластине крепятся колонки для установки сварочного автомата через переходную пластинку.

Состав центратора:

- Неподвижная пластина;
- Подвижные пластины;
- Рычаг;
- Губки;
- Колонки;
- Устройство упора;
- Переходная пластина.

Неподвижные пластины крепятся к несущей трубе с помощью сварки. Подвижные пластины крепятся шарнирно к подвижным пластинам. С

помощью рычага происходит прижатие детали подвижными губками между неподвижными. Губки крепятся к подвижным и неподвижным пластинам болтами, при помощи которых можно произвести быструю замену губок для деталей нужного размера. Сменные губки представлены на рисунке 15.

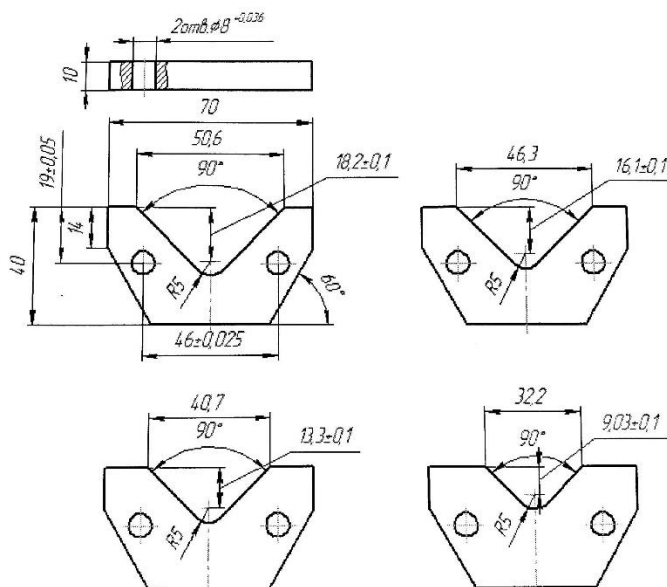


Рисунок 15 – Губки сменные

Колонки крепятся к одному из зажимных устройств к внутренней неподвижной пластине. Устройство упора предназначено для установки зазора труб в определенном месте, чтобы точно установить электрод на стык. Упор состоит из двух пластин и двух стержней. Одна пластина имеет отверстия для посадки на колонки и закрепления винтом, вторая пластина, имеющая толщину необходимого зазора между трубами соединенными с первыми пластинами двумя стержнями. Переходная пластина крепится к автомату и имеет отверстие для установки на колонки и закрепляется винтом, при этом электрод устанавливается точно, симметрично на зазор (рис. 16).

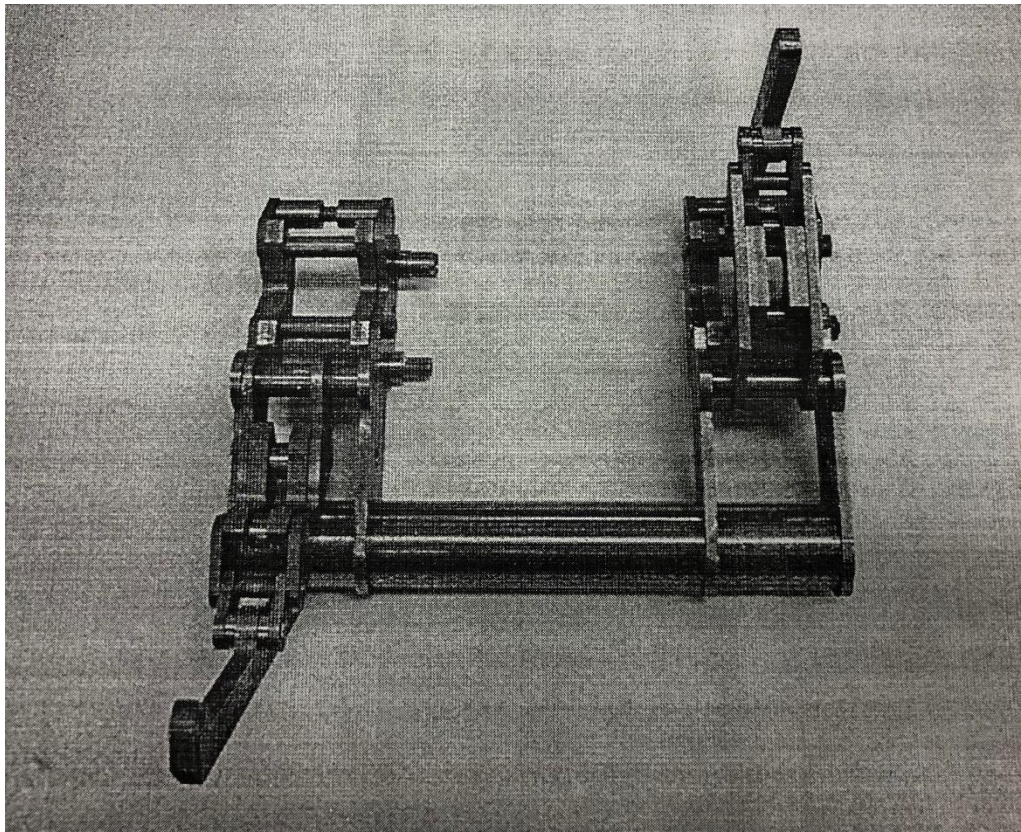


Рисунок 16 – Разработанный центратор

3.6 Центрирование труб и установка зазора

При подготовке стыковых соединений труб для сварки необходимо проверить их соответствие чертежам и требованиям НТД. Отклонение плоскости реза от угольника должно быть не выше $l + 0,5$ мм (рис. 17):

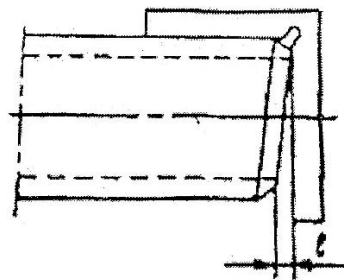


Рисунок 17 – Схема проверки перпендикулярности торцов труб

Следует также проверить:

- соответствие формы, размеров и качества подготовки кромок предъявляемым требованиям (обработку фасок под сварку и размеры кромок проверяют специальными шаблонами);

- качество зачистки наружной и внутренней поверхностей концов труб;
- правильность выполнения переходов от одного сечения к другому.

Обработку кромок труб под сварку следует производить механическим способом (резцом, фрезой) с помощью трубрезного станка. Шероховатость поверхности кромок труб, подготовленных для сварки, должна соответствовать нормам.

Фаски на трубах под сварку стыков необходимо снимать только механическим способом с помощью переносного станка.

Все местные уступы и неровности, имеющиеся на кромках собираемых труб и препятствующие их соединению в соответствии с требованиями чертежей, следует до сборки устранить с помощью абразивного круга или напильника, не допуская острых углов и резких переходов.

На всех поступающих, на монтажную площадку, трубах до начала сборки мастером (или другим ответственным лицом) должно быть проверено наличие клейм, маркировки, а также сертификатов завода-изготовителя, подтверждающих соответствие труб их назначению. При отсутствии клейм, маркировки или сертификатов блоки, трубы и детали к дальнейшей обработке не допускаются.

Для установки труб необходимо установить упор, затем надвинуть центратор на трубу до упора с той стороны, где будет установлен автомат и зажать. Затем продвинуть в центратор вторую трубу до упора и зажать, после этого снять упор. Далее на колонки через переходную пластину установить автомат и закрепить винтом.

Выводы по третьей главе:: была описана схема действия экспериментальной установки, разработано центрирующее устройство, позволяющее точно и в тоже время быстро произвести сборку стыка.

4 Разработка программных режимов сварки и контроль качества

4.1 Разработка программных режимов сварки

Для данного вида сварки не существует определенной методики расчета, поэтому воспользуемся рекомендациями, и опытными данными режима шагоимпульсно-дуговой сварки неплавящимся электродом, металла толщиной 5 мм (Сталь 20).

Шагоимпульсный режим работы отличается чередованием импульсов сварочного тока разной величины с каждым шагом головки. Регулируемыми параметрами в данном режиме являются: ток в импульсе, ток в паузе, время импульса и время паузы.

Время и величина тока импульса устанавливаются на уровне, достаточном для проплавления сварочной ванны, но не допускающем провисания расплавленного металла. Время и величина тока в паузе устанавливаются на уровне необходимом для поддержания горения дуги и позволяющем ванне частично кристаллизоваться (примерно 5:40 А). Ток зажигания устанавливают на уровне, необходимом для уверенного поджига дуги. Таким образом, имеется возможность регулировать количество вложенного в свариваемое изделие тепла и контролировать процесс образования сварочного шва.

Сварка стыка производится в два прохода при этом каждый проход разделен на четыре сектора: 1 сектор $0^{\circ} - 90^{\circ}$, 2 сектор $90^{\circ} - 180^{\circ}$, 3 сектор $180^{\circ} - 270^{\circ}$, 4 сектор $270^{\circ} - 360^{\circ}$.

Диаметр проволоки 1мм.

Ориентировочные параметры режима сварки одного стыка приведены ниже:

Таблица 6 – Окно «Программа»

ВВОД ДАННЫХ		Программа		1
Программа	1	ОКА 40-80		
		Проходов		3
		Диаметр	мм	42
		Перекрытие	мм	10

Таблица 7 – Окно «Проход»

ВВОД ДАННЫХ		Проход		1
Программа	1	Секторов		3
Проход	1	Время продува	с	2,0
		Ток зажигания	А	20
		Время нарастания	с	2,0
		Задержка вращения	с	2,0
		Задержка проволоки	с	0,1
		Время спада	с	5,0
		Время отвода пров.	с	0,30
		Время обдува	с	2,0

Таблица 8 – Шагоимпульсный режим сварки для корневого слоя

ВВОД ДАННЫХ	Сектор	1	2	3	4
Программа 1	Угол	90	90	90	90
Проход 1	Скорость сварки	2,4	2,6	2,7	2,8
	Скорость проволоки	8	8	7	6
	Ток импульса	180	180	180	165
	Ток паузы	40	40	40	40
	Время импульса	0,4	0,4	0,4	0,3
	Время паузы	0,2	0,2	0,2	0,2

Таблица 9 – Шагоимпульсный режим сварки для заполняющего слоя

ВВОД ДАННЫХ	Сектор	1	2	3	4
Программа 1	Угол	90	90	90	90
Проход 2	Скорость сварки	2,4	2,5	2,5	2,5
	Скорость проволоки	27	26	24	22
	Ток импульса	180	180	180	165
	Ток паузы	40	40	40	40
	Время импульса	0,4	0,4	0,4	0,3
	Время паузы	0,2	0,2	0,2	0,2

4.2 Контроль качества

Сварка труб высокого давления должна производиться под особым контролем это обуславливается тем что при работе под большим давлением

различные дефекты сварного шва могут привести к серьезным последствиям на предприятии.

Существуют различные способы контроля качества сварных соединений: визуальный и измерительный контроль (ВИК), капиллярные, течеискания, магнитные, радиационные, ультразвуковые.

Контроль качества швов поверхностей нагрева в первую очередь начинают с визуального и измерительного контроля его проводят с целью обнаружения таких дефектов как: трещины, поверхностные поры, свищи, прожоги. В тех случаях когда необходимо выполнить многослойный шов, визуальный и измерительный контроль проводят по окончании прохода каждого слоя.

К данному виду контроля прибегают практически всегда после выполнения сварочных работ, так как с его помощью возможно быстро и без особого труда обнаружить так называемые первичные наружные дефекты невооруженным глазом или с использованием визуально-оптических приборов. При проведении ВИК практически не прибегают к использованию дорогостоящего оборудования.

Визуальному контролю подвергаются все законченные сварные соединения труб поверхностей нагрева котлов, коллекторов и трубопроводов независимо от марки стали, категорий, типа сварного соединения, назначения и условий работы, включая сварные соединения, не работающие под давлением (приварка к трубам шипов, элементов опор, подвесок и др.).

Перед визуальным контролем сварные швы и прилегающая к ним поверхность основного металла шириной не менее 20 мм (по обе стороны шва) должны быть очищены от шлака, брызг расплавленного металла, окалины и других загрязнений. Визуальный контроль производится невооруженным глазом или с помощью лупы 4-7-кратного увеличения для участков, требующих уточнения характеристик обнаруженных дефектов, с применением, при необходимости, переносного источника света.

Недопустимыми дефектами, выявленными при визуальном контроле сварных соединений, являются: трещины всех видов и направлений; непровары (несплавления) между основным металлом и швом, а также между валиками шва; наплывы (натеки) и брызги металла; незаваренные кратеры; свищи; прожоги; скопления включений.

Таблица 10 – Нормы на допустимые дефекты

Дефект	Размерный показатель сварного соединения, мм	Допустимый максимальный размер дефекта, мм	Допустимое число дефектов на любых 100 мм шва
Отступления от размеров и формы шва	Независимо	По п. 6.5.7 РТМ-1с	–
Западания (углубления) между валиками и чешуйчатость поверхности шва	Св. 10	2,0	
Одиночные включения	Св. 40	2,5	8
Подрезы основного металла	Независимо	0,2	–
Отклонения от прямолинейности сварных стыков труб	Независимо	Просвет между линейкой и трубой на расстоянии 200 мм от стыка не должен быть более 3 мм	

Исходя из того, что к сварке труб высокого давления предъявляется высокая ответственность, сварные швы необходимо также проверять на наличие внутренних дефектов. Поэтому после успешного прохождения визуального и измерительного контроля необходимо также выполнять ультразвуковой контроль.

Существует несколько методов нахождения дефектов используя ультразвук. Наибольшую популярность получили: эхо-метод и теневой метод.

Суть теневого метода состоит в использовании двух преобразователей, где один первый является источником УЗ волн, а второй – приемником. Поэтому для снятия показаний о наличии дефектов в сварном шве

преобразователи необходимо располагать на двух противоположных поверхностях изделия.

При отсутствии дефектов в сварном шве на преобразователь-приемник все время будет попадать равное количество ультразвуковой энергии, которая попадая на пластинку вызывает в ней колебания, выдавая тем самым сигнал постоянной мощности.

Таблица 11 – Нормы на допустимые дефекты для УЗК

Размерный показатель сварного соединения	Эквивалентная площадь одиночных несплошностей, мм ²		Максимально допустимое число фиксируемых одиночных несплошностей на любых 100 мм протяженности и сварного соединения	Протяженность несплошностей	
	Минимально фиксируемая	Максимально допустимая		Суммарная в корне шва	Одиночных в сечении шва
Св. 40 до 60	5,0	10,0	10	20% внутреннего периметра соединения	Не более условной протяженности и максимально допустимой эквивалентной несплошности

Если же сварной шов имеет различного рода дефекты, то при прохождении через них УЗ волна будет преломляться, отражаться или рассеиваться. Из-за этого на преобразователь-приемник будет поступать меньшее количество энергии, что и свидетельствует о наличии дефектов. Причем по изменению энергии можно судить о величине дефекта, чем меньше энергии получил приемник тем большим дефектом обладает шов.

Данный метод можно использовать при сварки труб большого диаметра когда есть возможность установки преобразователей через стенку трубы. В нашем случае такой возможности не представляется так как диаметр нашей трубы всего 60 мм, поэтому нам больше подходит эхо-метод контроля ультразвуком.

При этом способе используется только один преобразователь, а это значит, что возможно вести контроль с одной стороны трубы. В этом способе прозвучивание ведется не непрерывно как в теновом методе, а импульсами. При этом преобразователь в момент подачи импульса работает в режиме излучателя, а в момент паузы в режиме приемника (рис. 18).

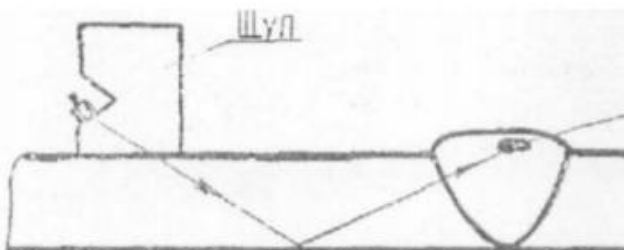


Рисунок 18 – Схема контроля шва при отражении УЗ волны от нижней стенки

Если в сварном шве имеются дефекты то при прохождении через них УЗ волна частично будет отражаться и возвращаться на преобразователь-излучатель который в момент паузы между импульсами будет работать в режиме приема, считывать всю информацию и с помощью усилителя подавать на экран.

Используя данный метод возможно исследовать весь шов от корня до усиления. Это возможно за счет отражения ультразвука от нижней поверхности трубы и его последующего возвращения в металл. Так перпендикулярно перемещая щуп относительно шва есть возможность рассмотреть весь шов целиком.

Выводы по четвертой главе: используя аргонодуговую сварку неплавящимся электродом в среде аргона были разработаны режимы при которых получается равномерное наложение сварных швов без влияния положения сварочной ванны в пространстве. Был произведен контроль качества, полученного шва, с помощью ВИК и ультразвуковым методом.

5 Эксперимент и результаты

Суть эксперимента заключается в сварке труб двумя способами: сваркой неплавящимся электродом в защитном газе (аргоне) и сваркой разработанным способом (с помощью оборудования блока САУ и сварочной головки ОКА-18) с подачей аргона.

Параметры режима для сварки неплавящимся электродом в защитном газе с помощью инвертора первым способом были заданы согласно рекомендациям по сварке низкоуглеродистых сталей и представлены в таблице 12:

Таблица 12 – Параметры режима сварки первым способом

Марка проволоки	Диаметр проволоки, мм	Сила сварочного тока, А, при положении сварки			Расход газа, л/мин
		Нижнем	Вертикальном	Потолочном	
Св-08Г2С	1	70	65	60	10

Параметры режима сварки вторым способом (с помощью блока САУ и сварочной головки ОКА-18 с программированием режима сварки) представлены в таблицах 6-9.

Ниже показаны образцы сваренных и механически обработанных труб. На (рисунке 19, а) слева изображен дефектный образец из стали 20 диаметром 45 мм и толщиной стенок 5 мм, полученный первым способом сварки. На (рисунке 19, б) будет изображен бездефектный образец также из стали 20 диаметром 60 мм и толщиной стенок 5 мм, полученный вторым способом с программированием режима сварки.



Рисунок 19 – Образцы сваренных труб

На рисунке 19 (а) представлен образец сварки первым способом сварки. На рисунке 19 (б) представлен образец сварки вторым способом сварки. При этом на характерных участках отмечены следующие дефекты, изображенные на рисунке 20.

На рисунке 20, (а) происходит провисание сварочной ванны при $\sim 0^\circ$. На рисунке 20, (б) происходит натекание сварочной ванны при $\sim 45^\circ$. На рисунке 20, (в) происходит отвисание сварочной ванны при $\sim 180^\circ$. На рисунке 20, (г) происходит отставание сварочной ванны при $\sim 315^\circ$.

Бездефектный образец изображен на рисунке 21 с теми же характерными участками, что и рисунок 20.



Рисунок 20 – Обозначение дефектов на первом образце;
 а) – провисание при $\sim 0^\circ$; б) – натекание при $\sim 45^\circ$; в) – отвисание при $\sim 180^\circ$;
 г) – отставание сварочной ванны при $\sim 315^\circ$



Рисунок 21 – Участки бездефектной трубы, сваренной способом управления критической массой

6 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

6.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Выпускная квалификационная работа по теме «Управление формированием корневого слоя при орбитальной сварке» выполняется в рамках научно-исследовательской работы для организации. Заинтересованными лицами в полученных данных будут являться сотрудники организации.

Суть работы заключается в исследовании и разработке процесса сварки неплавящимся электродом в аргоне дугой, горячей в импульсном режиме.

Таблица 13 – Сегментирование рынка

	Показатели		
	Низкий показатель	Средний показатель	Высокий показатель
Качество сварного шва	3	2	1
Скорость сварки	2,3	2	1
Возможность сварки тонкостенных труб малого диаметра	3	2	1,2

где 1 – Автоматическая аргонодуговая сварка в импульсном режиме; 2 – полуавтоматическая аргонодуговая сварка; 3 – ручная дуговая сварка.

По данным результата сегментирования можно сделать вывод, что уровень конкуренции низок. Автоматически запрограммированная

аргодуговая сварка в импульсном режиме – хороший способ сварки, благодаря которому можно получать качественные сварные соединения при сварке труб малых диаметров.

6.2 Анализ конкурентных технических решений

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения. Для этого составлена оценочная карта, приведенная в таблице 14.

Таблица 14 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических разработок

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1.Удобство в эксплуатации	0,1	3	4	3	0,5	0,2	0,3
2.Затраты сварочного материала	0,2	5	3	4	1	0,2	1
3.Качество сварного соединения	0,1	5	4	3	0,5	0,3	0,1
Экономические критерии оценки эффективности							
1.Цена	0,05	5	5	4	0,25	0,25	0,25
2.Предполагаемый срок эксплуатации	0,1	5	5	4	0,5	0,5	0,3
3.Конкурентоспособность работы	0,25	5	5	3	1,25	0,5	1
Итого	1	28	26	21	5	2,35	3,75

Где сокращения: Б_ф – Сварка неплавящимся электродом в аргоне дугой, горячей в импульсном режиме; Б_{к1} – Аргонно-дуговая сварка; Б_{к2} – Ручная дуговая сварка.

Анализ конкурентных технических решений определили по формуле:

$$K = \sum V_i \cdot B_i \quad (10)$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

V_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя.

Таким образом, конкурентоспособность разработки составила 5 в то время как двух других аналогов 2,35 и 3,75 соответственно. Результаты показывают, что данная научно-исследовательская разработка является конкурентоспособной и имеет преимущества по таким показателям, как удобство в эксплуатации, затраты на сварочные материалы, качество сварного соединения, цена и предполагаемый срок эксплуатации. Итогом данного анализа является то, что метод, предложенный в нашей научно-исследовательской работе эффективнее методов конкурентов.

6.3 SWOT – анализ

SWOT – *Strengths* (сильные стороны), *Weaknesses* (слабые стороны), *Opportunities* (возможности) и *Threats* (угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. *SWOT*-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта.

Преимущества *SWOT* анализа заключаются в том, что он позволяет достаточно просто, в правильном разрезе взглянуть на положение компании, товара или услуги в отрасли, и поэтому является наиболее популярным инструментом в управлении рисками и принятии управленческих решений.

Результатом проведения *SWOT* анализа предприятия является план действий с указанием сроков выполнения, приоритетности выполнения и необходимых ресурсов на реализацию.

Периодичность проведения *SWOT* анализа. Рекомендуется проводить *SWOT* анализа минимум 1 раз в год в рамках стратегического планирования и при формировании бюджетов. *SWOT* анализ очень часто является первым шагом бизнес-анализа при составлении маркетингового плана.

Таблица 15 – Матрица *SWOT*

Сильные стороны	Слабые стороны
<ul style="list-style-type: none"> – Отсутствие данного процесса для повышения эффективности сварки неплавящимся электродом (отсутствие конкурентов на рынке). – Широкая область применения – Использование современного оборудования – Актуальность проекта – Наличие опытного руководителя – Экономия электроэнергии 	<ul style="list-style-type: none"> – Развитие новых технологий – Перенастройка оборудования – Отсутствие квалифицированного персонала.
Возможности	Угрозы
<ul style="list-style-type: none"> – Получение качественных сварных соединений – Регулирование производительности – Повышение стоимости конкурентных разработок – Повышение эффективности сварки неплавящимся электродом 	<ul style="list-style-type: none"> – Появление новых технологий – Государство не даст средства для реализации темы. – Введение дополнительных государственных требований и сертификации программы. – Зависимость, незначительная от поставщика
<ul style="list-style-type: none"> – Применения для оборудования работающего в полевых условиях. 	

6.4 Определение возможных альтернатив проведения научных исследований

Морфологический подход основан на систематическом исследовании всех теоретически возможных вариантов, вытекающих из закономерностей строения (морфологии) объекта исследования. Синтез охватывает как известные, так и новые, необычные варианты, которые при простом переборе могли быть упущены. Путем комбинирования вариантов получают большое

количество различных решений, ряд которых представляет практический интерес.

Реализация метода предусматривает следующие этапы:

- 1 – точная формулировка проблемы исследования;
- 2 – раскрытие всех важных морфологических характеристик объекта исследования;
- 3 – раскрытие возможных вариантов по каждой характеристике.

Таблица 16 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических разработок

	1	2	3
А. Диаметр сварочной проволоки, мм	1	1	1
Б. Марка электрода	ЭВЛ-2 Ø 3-150-ТУ	ЭВЛ-2 Ø 4-150-ТУ	ЭВЧ Ø 3-200-ТУ
В. Плазмообразующий газ	Ar (высший сорт)	Ar (Сорт 1)	-
Г. Стабилизирующий газ	Ar (высший сорт)	Ar (Сорт 1)	-
Д. Защитный газ	Ar	CO ₂	Ar + CO ₂

Возможные варианты решения технической задачи:

- 1) А1Б1В2Г2Д3 – В первом случае, сварка низкоуглеродистых сталей при малых затратах на материал.
- 2) А2Б2В2Г2Д3 – Во втором случае, низкоуглеродистых или низколегированных сталей при малых затратах материал.
- 3) А3Б3В1Г1Д1 - В третьем случае, сварка хромистых (нержавеющих) сталей аустенитного класса, с повышенными требованиями к материалу.

6.5 Планирование научно-исследовательских работ

Для выполнения научных исследований формируется рабочая группа, в состав которой могут входить научные сотрудники и преподаватели, инженеры, техники и лаборанты, численность групп может варьироваться. По каждому виду запланированных работ устанавливается соответствующая должность исполнителей.

6.5.1 Структура работ в рамках научного исследования

Таблица 17 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
	1	Составление и утверждение темы проекта	
	2	Анализ актуальности темы	
	3	Поиск и изучение материала по теме	Студент
	4	Выбор направления исследований	
	5	Календарное планирование работ	
Теоретические исследования	6	Изучение литературы по теме	
	7	Подбор нормативных документов	
	8	Изучение установки	
	9	Анализ результатов	Научный руководитель, студент
	10	Вывод по цели	Научный руководитель, студент

6.5.2 Определение трудоемкости выполнения работ

$$t_{ожi} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5} \quad (11)$$

где $t_{ожi}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы чел.-дн.;

$t_{\min i}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;

$t_{\max i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_{pi} . Такое вычисление необходимо для обоснованного расчета заработной платы, так как удельный вес зарплаты в общей сметной стоимости научных исследований составляет около 65 %.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожi}}{Ч_i} \quad (12)$$

где T_{pi} – продолжительность одной работы, раб. дн.;

$t_{ожi}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.;

$Ч_i$ – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

6.5.3 Разработка графика проведения научного исследования

Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}} \quad (13)$$

где T_{ki} – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях;

T_{pi} – продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях;

$k_{\text{кал}}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} \quad (14)$$

где: $T_{\text{кал}} = 365$ – количество календарных дней в году;

$T_{\text{вых}} = 104$ – количество выходных дней в году;

$T_{\text{пр}} = 14$ – количество праздничных дней в году.

$$k_{\text{кал}} = \frac{365}{365 - 104 - 14} = 1,48.$$

Все рассчитанные значения вносим в таблицу (таблица 18).

После заполнения таблицы 18 строим календарный план-график (таблица 19).

График строится для максимального по длительности исполнения работ в рамках научно-исследовательского проекта с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени дипломирования. При этом работы на графике выделим различной штриховкой в зависимости от исполнителей.

Таблица 18 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоёмкость работ									Исполнители	Длительность работ в рабочих днях T_{pi}			Длительность работ в календарных днях T_{ki}		
	t_{min} , чел-дни			t_{max} , чел-дни			$t_{ожi}$, чел-дни									
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3		Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
Составление и утверждение темы проекта	1	1	1	3	3	3	1,8	1,8	1,8	Руководитель	2	2	2	3	3	3
Анализ актуальности темы	1	1	1	3	3	3	1,8	1,8	1,8	Рук.-студ.	1	1	1	2	2	2
Поиск и изучение материала по теме	1	1	1	5	5	5	2,6	2,6	2,6	Студ.-рук.	1	1	1	2	2	2
Выбор направления исследований	1	2	2	3	4	4	1,4	2,8	2,8	Руководитель	1	2	2	2	3	3
Календарное планирование работ	1	1	1	3	3	3	1,8	1,8	1,8	Руководитель	2	2	2	3	3	3
Изучение литературы по теме	7	7	7	14	14	14	9,8	9,8	9,8	Студент	10	10	10	15	15	15
Подбор нормативных документов	5	6	6	8	9	9	6,2	7,2	7,2	Студ.-рук.	3	4	4	5	6	6
Изучение результатов	1	2	2	2	3	3	1,4	3	3	Студент	2	3	3	3	5	5
Проведение расчетов по теме	5	6	6	8	9	9	6,2	7,2	7,2	Студент	7	8	8	10	11	11
Анализ результатов	1	1	1	4	4	4	2,2	2,2	2,2	Студ.-рук.	2	2	2	3	3	3
Вывод по цели	1	1	1	4	4	4	2,2	2,2	2,2	Студент	3	3	3	4	4	4

Таблица 19 – Календарный план-график проведения ВКР по теме

№ Работ	Вид работ	Исполнители	Т _{кi} , кал. дн.	Продолжительность выполнения работ										
				Март			апрель			май				
				1	2	3	1	2	3	1	2	3		
1	Составление и утверждение темы проекта	Руководитель	3	★										
2	Анализ актуальности темы	Рук.-студ.	2	★	◆									
3	Поиск и изучение материала по теме	Студ.-рук.	2		◆									
4	Выбор направления исследований	Руководитель	2			◆								
5	Календарное планирование работ	Руководитель	3			◆								
6	Изучение литературы по теме	Студент	15				★	★	★					
7	Подбор нормативных документов	Студ.-рук.	5					★	◆					
8	Изучение установки	Студент	6						★					
9	Моделирование сварочной ванны	Студент	3							★				
10	Изучение результатов	Студент	3									★		
11	Проведение расчетов по теме	Студент	10									★		
12	Анализ результатов	Студ.-рук.	2									★	◆	
13	Вывод по цели	Студент	1											★

★ – студент; ◆ – руководитель.

6.5.4 Расчет материальных затрат НИИ

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_m = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{расхi}, \quad (15)$$

где m – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования;

$N_{расхi}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м² и т.д.);

C_i – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м² и т.д.);

k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Транспортные расходы принимаются в пределах 15-25% от стоимости материалов.

Таблица 20 – Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество			Цена за ед., руб.			Затраты на материалы, (Z _м), руб.		
		Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3
Обечайки труб Ø42-60 мм марки стали Ст3	кг	1	1	1	50	50	50	1300	1300	1300
Сварочная проволока Св-08Г2С Ø1 мм	кг	0,5	0,5	0,5	160	160	160	2080	2080	2080
Защитный газ (высший сорт)	л	–	–	1	–	–	20	–	–	520
Защитный газ аргон (1-ый сорт)	л	–	1	–	–	18	–	–	468	–
Защитный газ в виде смеси аргона с CO ₂	л	1	–	–	15	–	–	390	–	–
Итого								3770	3848	3900

6.5.5 Основная и дополнительная заработная плата исполнителей

темы

В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20 –30 % от тарифа или оклада. Расчет основной заработной платы сводится в таблице 21.

Таблица 21 – Расчет основной заработной платы

№ п/п	Наименование этапов	Исполнители по категориям	Трудоемкость, чел.-дн.			Зарботная плата, приходящаяся на один чел.-дн., тыс. руб.			Всего заработная плата по тарифу (окладам), тыс. руб.		
			Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1	Составление и утверждение	Руководитель	2	2	2	3,6			8	8	8
2	Анализ актуальности темы	Студ.-рук.	1	1	1	4,4			5	5	5
3	Поиск и изучение	Студ.-рук.	1	1	1	4,4			5	5	5
4	Выбор направления исследований	Руководитель	1	2	2	3,6			4	8	8
5	Календарное планирование работ	Руководитель	2	2	2	3,6			8	8	8
6	Изучение литературы по теме	Студент	10	10	10	0,8			8,9	8,9	8,9
7	Подбор нормативных документов	Студ.-рук.	3	4	4	4,4			14,8	19,7	19,7
8	Изучение установки	Студент	4	6	6	0,8			3,6	5,4	5,4

Продолжение таблицы 21

9	Модернизация установки	Студент	2	3	4	0,8	1,8	2,7	3,6
10	Анализ результатов	Студ.-рук.	2	2	2	4,4	9,8	9,8	9,8
11	Вывод по цели	Студент	3	3	3	0,8	2,7	2,7	2,7
Итого:							71,6	83,2	84,1

Проведем расчет заработной платы относительно того времени, в течение которого работал руководитель и студент. Принимая во внимание, что за час работы руководитель получает 450 рублей, а студент 100 рублей (рабочий день 8 часов).

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп}, \quad (16)$$

где $Z_{осн}$ – основная заработная плата;

$Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата (12-20 % от $Z_{осн}$).

Максимальная основная заработная плата руководителя (кандидата технических наук) равна примерно 50400 рублей, а студента 31000 рублей.

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн}, \quad (17)$$

где $k_{доп}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12 – 0,15).

Таким образом, заработная плата руководителя равна 48384 рублей, студента – 28000 рублей.

6.5.6 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$Z_{внеб} = k_{внеб} \cdot (Z_{осн} + Z_{доп}), \quad (18)$$

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

Таблица 22 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб			Дополнительная заработная плата, руб		
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
Руководитель	43200	50400	50400	5184	6048	6048
Студент	25000	30000	31000	3000	3600	3720
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	30,2 %					
Итого						
Исполнение 1	23068 руб.					
Исполнение 2	27195 руб.					
Исполнение 3	27533 руб.					

6.5.7 Накладные расходы

Величина накладных расходов определяется по формуле:

$$Z_{\text{накл}} = (\sum \text{статей}) \cdot k_{\text{нр}}, \quad (19)$$

где $k_{\text{нр}}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы.

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%. Таким образом, наибольшие накладные расходы при первом исполнении равны: $Z_{\text{накл}} = 103222 \cdot 0,16 = 16516$ руб.

6.5.8 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Таблица 23 – Расчет бюджета затрат НИИ

Наименование статьи	Сумма, руб.			Примечание
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	
1. Материальные затраты НИИ	3770	3848	3900	Таблица 20
2. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	68200	80400	81400	Таблица 22

Продолжение таблицы 23

3. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	8184	9648	9768	Таблица 22
4. Отчисления во внебюджетные фонды	23068	27195	27533	Таблица 22
5. Накладные расходы	16516	19375	19616	16 % от суммы ст. 1-4
6. Бюджет затрат НИИ	119738	140466	142217	Сумма ст. 1-5

6.6 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{финр}^{исп.i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}}, \quad (20)$$

где $I_{финр}^{исп.i}$ – интегральный финансовый показатель разработки;

Φ_{pi} – стоимость i -го варианта исполнения;

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно- исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

$$I_{финр}^{исп1} = \frac{119738}{142217} = 0,84; \quad I_{финр}^{исп2} = \frac{140466}{142217} = 0,99;$$

$$I_{финр}^{исп3} = \frac{142217}{142217} = 1.$$

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_{pi} = \sum a^i \cdot b^i, \quad (21)$$

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности для i -го варианта исполнения разработки;

a^i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;
 b_i^a, b_i^p – бальная оценка i -го варианта исполнения разработки,
устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;
 n – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности рекомендуется проводить в форме таблицы (таблица 24).

Таблица 24 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерий	Весовой коэффициент параметра	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1. Сварочный материал	0,25	5	3	4
2. Удобство в эксплуатации	0,25	5	2	3
3. Защитный газ	0,15	4	4	4
4. Модернизация способа сварки	0,35	4	5	5
ИТОГО	1	4,5	3,15	3,8

$$I_{p-исп1} = 5 \cdot 0,25 + 5 \cdot 0,25 + 4 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,35 = 4,5;$$

$$I_{p-исп2} = 3 \cdot 0,25 + 2 \cdot 0,25 + 4 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,35 = 3,15;$$

$$I_{p-исп3} = 4 \cdot 0,25 + 3 \cdot 0,25 + 4 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,35 = 3,8;$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки ($I_{исп.i}$) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{исп.i} = \frac{I_{p-исп.i}}{I_{финр.i}}, \quad (22)$$

$$I_{исп1} = \frac{4,5}{0,84} = 5,35; \quad I_{исп2} = \frac{3,15}{0,99} = 3,18; \quad I_{исп3} = \frac{3,8}{1} = 3,8.$$

Сравнительная эффективность проекта ($\mathcal{E}_{ср}$):

$$\mathcal{E}_{ср} = \frac{I_{исп.i}}{I_{исп.мах}} \quad (23)$$

Таблица 25 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,84	0,99	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,5	3,15	3,8
3	Интегральный показатель эффективности	5,35	3,18	3,8
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	0,6	0,71

Сравнив значения интегральных показателей эффективности можно сделать вывод, что реализация технологии первого исполнения наилучшая с позиции финансовой и ресурсной эффективности.

7 Социальная ответственность

7.1 Введение

Объект исследования является разработка процесса сварки дугой, горячей в динамическом режиме. Данная разработка является методом повышения эффективности процесса сварки неплавящимся электродом в среде газа аргона.

В данном разделе была задача исследовать вредные и опасные факторы на человека и окружающую среду, разработать мероприятия по предотвращению данных факторов.

При эксплуатации данного способа сварки и предлагаемого процесса на работающих действуют следующие опасные и вредные факторы:

- чрезмерная запыленность и загазованность воздуха в результате конденсации паров расплавленного металла, защитного газа и покрытия электродов при аргонодуговой сварке и т.п.;

- повышенная температура поверхностей оборудования, материалов и воздуха в рабочей зоне (РЗ), особенно при сварке с подогревом изделий; рабочая зона – пространство высотой 2 м над уровнем пола или площадки, где находятся рабочие места. Действие лучистого потока теплоты не ограничивается изменениями, происходящими на облучаемом участке тела, на облучение реагирует весь организм. Под влиянием облучения в организме происходят биохимические сдвиги, наступают нарушения деятельности сердечно - сосудистой и нервной систем.

- излишняя яркость при сварке, ультрафиолетовая и инфракрасная радиация;

- влияние шума (см. средства защиты от шума) и вибраций имеет место при работе различного оборудования (вентиляторов, сварочных трансформаторов и др.);

– нервно-психические перегрузки из-за напряженности труда в связи с полуавтоматическим способом сварки. Воздействие опасных производственных факторов может привести к травме или внезапному резкому ухудшению здоровья. Это действие электрического тока, искры и брызги расплавленного металла, движущиеся машины, механизмы, превышение нормы газа аргона в воздухе и т.д. Наличие расплавленного металла, находящиеся баллон под давлением увеличивает опасность возникновения пожара.

7.2 Производственная безопасность

Таблица 26 – Опасные и вредные факторы при эксплуатации процесса сварки дугой, горячей в динамическом режиме

Источник фактора, наименование видов работ	Факторы (по ГОСТ 12.0.003-2015)		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
Проведение сварочных работ: 1) Сварка трубных заготовок; 2) Проведение ремонтных работ по заварке дефектных мест.	1. Отклонение показателей микроклимата в производственных помещениях; 2. Превышение уровня шума и вибрации; 3. Недостаточная освещенность рабочей зоны.	1. Движущиеся машины и механизмы; незащищенные подвижные элементы производственного оборудования, брызги расплавленного металла. 2. Электрический ток; 3. Находящиеся баллон под давлением.	СН 2.2.4/2.1.8.562-96 [1], ГОСТ 12.1.029-80 ССБТ [2], ГОСТ 12.1.012–2004 ССБТ [3], ГОСТ 12.1.045–84 ССБТ [4], СанПиН 2.1.3685-21 [5], СанПиН 2.2.4.548–96 [6], СН 2.2.4/2.1.8.566–96 [7], СП 52.13330.2016 [8].

7.2.1 Вредные факторы

7.2.1.1 Отклонение показателей микроклимата

Микроклимат производственных помещений – это климат внутренней среды этих помещений, который определяется действующими на организм сочетаниями температуры, влажности и скорости движения воздуха, а также температуры окружающих поверхностей. Оптимальные микроклиматические условия обеспечивают общее и локальное ощущение теплового комфорта в течение 8-часовой рабочей смены, не вызывают отклонений в состоянии здоровья и создают предпосылки для высокой работоспособности.

Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны должны соответствовать ГОСТ 12.1.005–88 [9]. Оптимальные и допустимые нормы температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха приведены в таблице 27.

Таблица 27 – Оптимальные нормы микроклимата в рабочей зоне производственных помещений (по ГОСТ 12.1.005–88)

Температура, °С	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с
19-23	40-60	≤0,2

Таблица 28 – Допустимые нормы микроклимата в рабочей зоне производственных помещений

Температура, °С	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с
15-28	20-80	≤0,5

Микроклимат производственных помещений поддерживается на оптимальном уровне системой водяного центрального отопления, естественной

вентиляцией, а также искусственным кондиционированием и дополнительным прогревом в холодное время года.

7.2.1.2 Уровень шума на рабочем месте

Шум является общебиологическим раздражителем и в определенных условиях может влиять на органы и системы организма человека. Шум ухудшает точность выполнения рабочих операций, затрудняет прием и восприятие информации. Длительное воздействие шума большой интенсивности приводит к патологическому состоянию организма, к его утомлению. Интенсивный шум вызывает изменения сердечно-сосудистой системы, сопровождаемые нарушением тонуса и ритма сердечных сокращений, изменяется артериальное кровяное давление.

Методы установления предельно допустимых шумовых характеристик оборудования для сварки изложены в ГОСТ 12.1.035–81 [10]. Шум на рабочих местах также может проникать извне через каналы вентиляции и проем двери из кабинета в коридор. Для оценки шума используют частотный спектр измеряемого уровня звукового давления, выраженного в децибелах (дБ), в активных полосах частот, который сравнивают с предельным спектром.

По характеру спектра в помещении присутствуют широкополосные шумы. Источник шумов – электродвигатели в системе охлаждения. Для рабочих помещений административно-управленческого персонала производственных предприятий, лабораторий, помещений для измерительных и аналитических работ уровень звука не должен превышать 82 дБА,

СН 2.2.4/2.1.8.562-96 [1].

Уменьшение влияния данного фактора возможно путём:

- 1) Изоляции источников шумов;
- 2) Проведение акустической обработки помещения;
- 3) Создание дополнительных ДВП или ДСП изоляционных перегородок;

7.2.1.3 Освещенность рабочей зоны

Рациональное освещение имеет большое значение для высокопроизводительной и безопасной работы. Нормирование значений освещенности рабочей поверхности при сварочных работах помещения составляет 200 лк (СП 52.13330.2016).

Различают естественное и искусственное освещение.

Естественное – обуславливают световым потоком прямых солнечных лучей и диффузионным световым потоком прямых солнечных лучей, и диффузионным светом неба, т.е. многократным отражением солнечных лучей от мельчайших взвешенных в атмосфере частиц пыли и воды.

В зависимости от напряжения зрительного аппарата при выполнении работы освещенность на предприятиях делят на восемь разрядов - от наивысшей точности до общего наблюдения за ходом производственного процесса.

Таблица 29 – нормируемые значения КЕО (СП 52.13330.2016)

Характеристика выполняемой зрительной работы	Наименьший размер объекта различения, мм	Разряд зрительной работы	Значение КЕО в при совместном освещении, %	
			верхнем и комбинированном	боковом
Наивысшей точности	Менее 0,15	I	6	2
Очень высокой точности	0,15 ... 0,30	II	4,2	1,5
Высокой точности	0,3 ... 0,5	III	3	1,2
Средней точности	от 0,5 до 1,0	IV	2,4	0,9
Малой точности	от 1 до 5	V	1,8	0,6
«Грубая работа»	Более 5	VI	1,8	0,6
Работа с самосветящимися материалами и изделиями в горячих цехах	Более 0,5	VII	1,8	0,6

Продолжение таблицы 29

Общие наблюдения за ходом производственного процесса:	-	VIIIa	1,8	0,6
периодическое при постоянном пребывании людей в помещении	-	VIIIб	0,7	0,2
периодическое при периодическом пребывании людей в помещении	-	VIIIв	0,5	0,2
Общее наблюдение за инженерными коммуникациями	-	VIIIг	0,2	0,1

Согласно СП 52.13330.2016 значение коэффициента естественной освещенности (КЕО) в производственных цехах с комбинированным освещением для общего наблюдения за ходом производственного процесса составляет 0,2.

Искусственное освещение осуществляется светильниками общего и местного освещения. Светильник состоит из источника искусственного освещения (лампы) и осветительной арматуры. Основными источниками искусственного освещения являются лампы накаливания и люминесцентные лампы.

Недостаточная освещенность может быть вызвана ошибочным расположением ламп в помещении, отсутствием окон в помещении, не правильным выбором количества осветительных приборов и не рациональной загрузкой на них электрического тока. Данный фактор может стать причиной неадекватного восприятия человека технологического процесса, его утомления, а также вызвать пульсирующие головные боли.

Для производственных помещений, а также научно-технических лабораторий коэффициент пульсаций освещенности ($K_{п}$) должен быть не больше 10%.

В целях уменьшения пульсаций ламп, их включают в разные фазы трехфазной цепи, стабилизируют постоянство прохождения в них переменного напряжения. Но самым рациональным решением данного вредного факторы является изначально правильное расположение и подключение источников света в помещении, путем замеров освещенности, при помощи люксметра, и сравнения полученных результатов с нормативными документами.

Расчёт общего равномерного искусственного освещения горизонтальной рабочей поверхности выполняется методом коэффициента светового потока, учитывающим световой поток, отражённый от потолка и стен. Длина помещения $A = 6$ м, ширина $B = 6$ м, высота = 3,5 м. Высота рабочей поверхности над полом $h_p = 0,75$ м. Согласно СП 52.13330.2016 необходимо создать освещенность не ниже 150 лк, в соответствии с разрядом зрительной работы.

Площадь помещения:

$$S = A \times B, \quad (24)$$

где A – длина, м,

B – ширина, м.,

$$S = 6 \times 6 = 36 \text{ м}^2.$$

Коэффициент отражения свежепобеленных стен с окнами, без штор $\rho_c = 50\%$, свежепобеленного потолка $\rho_{II} = 70\%$. Коэффициент запаса, учитывающий загрязнение светильника, для помещений с малым выделением пыли равен $K_z = 1,5$. Коэффициент неравномерности для люминесцентных ламп $Z = 1,1$.

Выбираем лампу дневного света ЛД-40, световой поток которой равен $\Phi_{ЛД} = 2600$ Лм.

Выбираем светильники с люминесцентными лампами типа ОДОР-2-40. Этот светильник имеет две лампы мощностью 40 Вт каждая, длина светильника равна 1227 мм, ширина – 265 мм.

Интегральным критерием оптимальности расположения светильников является величина λ , которая для люминесцентных светильников с защитной

решёткой лежит в диапазоне 1,1–1,3. Принимаем $\lambda=1,1$, расстояние светильников от перекрытия (свес) $h_c = 0,3$ м.

Высота светильника над рабочей поверхностью определяется по формуле:

$$h = h_n - h_p, \quad (25)$$

где h_n – высота светильника над полом, высота подвеса,

h_p – высота рабочей поверхности над полом.

Наименьшая допустимая высота подвеса над полом для двухламповых светильников ОДОР $h_n = 3,5$ м.

Высота светильника над рабочей поверхностью определяется по формуле:

$$h = H - h_p - h_c = 3,5 \text{ м} - 0,75 \text{ м} - 0,3 \text{ м} = 2,45 \text{ м} \quad (26)$$

Расстояние между соседними светильниками или рядами определяется по формуле:

$$L = \lambda \cdot h = 1,1 \cdot 2,75 \text{ м} = 3 \text{ м}, \quad (27)$$

Число рядов светильников в помещении:

$$Nb = B/L = 6 \text{ м} / 3 \text{ м} = 2, \quad (28)$$

Число светильников в ряду:

$$Na = A/L = 6 \text{ м} / 3 \text{ м} = 2, \quad (29)$$

Общее число ламп:

$$N = 2 \cdot Na \cdot Nb = 2 \cdot 2 \cdot 2 = 8, \quad (30)$$

Расстояние от крайних светильников или рядов до стены определяется из уравнения:

$$L = Na \cdot L_1 + \frac{2}{3} \cdot L_1 + N \cdot L_{lam}, \quad (31)$$

$$L_1 = \frac{L - Na \cdot L_{lam}}{N + \frac{2}{3}} - \text{расстояние между светильниками,}$$

где L – длина периметра,

N_a – число светильников в ряду,

L_{lam} – длина светильника вдоль периметра,

N – число расстояний между светильниками.

$$L_1 = \frac{6000 - 2 \cdot 265}{1 + 2/3} = 3300 \text{ мм},$$

$$L_2 = \frac{6000 - 2 \cdot 1227}{1 + 2/3} = 2130 \text{ мм}.$$

Размещаем светильники в два ряда. На рисунке 22 изображен план помещения и размещения светильников с люминесцентными лампами.

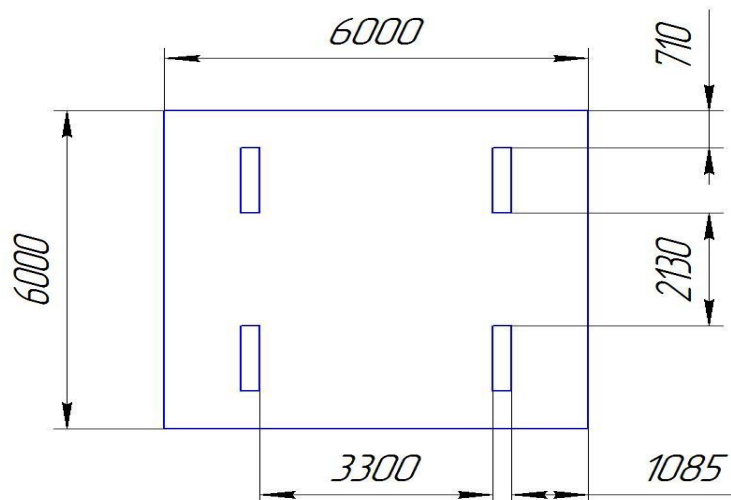


Рисунок 22 – План помещения и размещения светильников с люминесцентными лампами

Индекс помещения определяется по формуле:

$$i = A \cdot B / [h \cdot (A + B)] = 6\text{ м} \cdot 6\text{ м} / [2,75 \text{ м} \cdot (6\text{ м} + 6\text{ м})] = 1,09, \quad (32)$$

Коэффициент использования светового потока, показывающий какая часть светового потока ламп попадает на рабочую поверхность, для светильников типа ОДОР с люминесцентными лампами при $\rho_{\text{П}} = 70\%$, $\rho_{\text{С}} = 50\%$ и индексе помещения $i = 1,6$ равен $\eta = 0,46$.

Потребный световой поток группы люминесцентных ламп

светильника определяется по формуле:

$$\Phi_n = E \cdot A \cdot B \cdot K_3 \cdot Z / N \cdot \Pi = 150 \cdot 6 \cdot 6 \cdot 1,5 \cdot 1,1 / 8 \cdot 0,46 = 2421 \text{ лм}, \quad (33)$$

Делаем проверку выполнения условия:

$$-10\% \leq \frac{\Phi_{л\delta} - \Phi_n}{\Phi_{л\delta}} \cdot 100\% \leq 20\%,$$
$$\frac{\Phi_{л\delta} - \Phi_n}{\Phi_{л\delta}} \cdot 100\% = \frac{2600 - 2421}{2600} \cdot 100\% = 11\%.$$

Таким образом: $-10\% \leq 11\% \leq 20\%$, необходимый световой поток светильника не выходит за пределы требуемого диапазона.

7.2.1.4 Повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны

Одним из широко распространенных вредных факторов, оказывающих негативное влияние на здоровье работников, является производственная пыль. Это мельчайшие частицы твердых веществ, находящиеся в воздухе во взвешенном состоянии. Воздушная среда производственных помещений, в которой содержатся вредные вещества в виде пыли и газов, оказывает непосредственное влияние на здоровье работников и условия труда.

Основными вредными веществами, выделяющимися при сварке сталей, являются: окись углерода, хром, марганец и фтористые соединения.

В таблице 30 представлены классы опасностей вредных веществ, выделяющихся при сварке сталей и их предельно допустимая концентрация согласно ГОСТ 12.1.005-88 [11] (прил. 2).

Таблица 30 – Классы опасностей вредных веществ, выделяющихся при сварке сталей

Вещество	ПДК, мг/м ³	Класс опасности	Состояние	Действие на организм человека
Марганец	0,05	1	аэрозоли	Утомляемость, сонливость, ухудшение памяти

Продолжение таблицы 30

Хром	0,1	1	аэрозоли	Повышение риска образования рака, заболевания астмой
Фтористые соединения	0,5	2	аэрозоли	Раздражение глаз, кожи, бронхов, воздействие на печень и щитовидную железу
Окись углерода	20	4	пары или газы	Головные боли, одышка, аритмия, слабость

Для защиты и удаления вредных газов и пыли с мест сварки и подачи чистого воздуха используют вентиляцию. Общая вентиляция бывает приточной и вытяжной. Свежий воздух обычно подают в цех через общецеховую вентиляционную установку, а загрязненный воздух удаляют из цеха общецеховой вентиляцией, а также локальными устройствами.

На рабочих местах в зоне сварки нужно устанавливать аппаратуру с отсасывающим поворотным рукавом. Сварочные участки, сообщающиеся проемами со смежными помещениями, где не проводится сварка, должны иметь вытяжную вентиляцию. В цехе, возле сварочной установки, должны быть установлены местные отсосы воздуха. В специальных помещениях, где находятся бункеры для хранения флюса, должны быть также предусмотрены местные отсосы для удаления взвешенных в воздухе частиц флюса, а также естественная вентиляция через верхние и нижние части помещений

7.2.1.5 Повышенный уровень электромагнитных излучений

Источником электромагнитных излучений в нашем случае являются дисплеи ПЭВМ. Монитор компьютера включает в себя излучения рентгеновской, ультрафиолетовой и инфракрасной области, а также широкий диапазон электромагнитных волн других частот. Согласно СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 напряженность электромагнитного поля по электрической составляющей на расстоянии 50 см вокруг ВДТ не должна превышать 25 В/м в диапазоне от 5 Гц до 2 кГц, 2,5 В/м в диапазоне от 2 до 400 кГц. Плотность

магнитного потока не должна превышать в диапазоне от 5 Гц до 2 кГц значения 250 нТл, и 25 нТл в диапазоне от 2 до 400 кГц. Поверхностный электростатический потенциал не должен превышать 500В. В ходе работы использовалась ПЭВМ типа Honor MagicBook Pro 16.1 со следующими характеристиками: напряженность электромагнитного поля до 2,5 В/м; поверхностный потенциал составляет не более 450 В (основы противопожарной защиты предприятий ГОСТ 12.1.004-91[12] и ГОСТ 12.1.010-76.) [13].

При длительном постоянном воздействии электромагнитного поля (ЭМП) радиочастотного диапазона при работе на ПЭВМ у человеческого организма могут возникать сердечно-сосудистые заболевания, респираторные и нервные расстройства, головные боли, усталость, ухудшение состояния здоровья, гипотония, изменения проводимости миокарда. Тепловой эффект ЭМП характеризуется увеличением температуры тела, локальным селективным нагревом тканей, органов, клеток за счет перехода ЭМП на тепловую энергию.

Предельно допустимые уровни облучения (по ОСТ 54 30013-83 [14]):

- а) до 10 мкВт/см², время работы до 8 часов;
- б) от 10 до 100 мкВт/см², время работы не более 2 часов;
- в) от 100 до 1000 мкВт/см², время работы не более 20 мин. при условии пользования защитными очками;
- г) для населения в целом ППМ не должен превышать 1 мкВт/см².

Защита человека от опасного воздействия электромагнитного излучения осуществляется следующими способами:

Средствами коллективной защиты:

- 1. защита временем;
- 2. защита расстоянием;
- 3. снижение интенсивности излучения непосредственно в самом источнике излучения;
- 4. экранирование источника заземленным металлическим ограждением;

5. защита рабочего места от излучения;

Средствами индивидуальной защиты:

1. очки и специальная одежда, выполненная из металлизированной ткани (кольчуга). При этом следует отметить, что использование СИЗ возможно при кратковременных работах и является мерой аварийного характера. Ежедневная защита обслуживающего персонала должна обеспечиваться другими средствами.

2. вместо обычных стекол используют стекла, покрытые тонким слоем золота или диоксида олова (SnO_2).

7.2.2 Опасные факторы

7.2.2.1 Электрический ток

Согласно Правилам устройства электроустановок (ПУЭ-7 [15]), все производственные помещения по опасности поражения электрическим током разделяются на три категории:

1. Без повышенной опасности.

2. С повышенной опасностью. К факторам, повышающим опасность поражения электрическим током, относятся:

а) повышенная влажность воздуха ($\varphi \geq 75\%$);

б) повышенная температура воздуха ($t \geq 35^\circ\text{C}$);

в) возможность одновременного касания электрооборудования и предметов, имеющих связь с землей;

г) электропроводная пыль (среда).

3. Особо опасные:

а) влажность воздуха $\varphi = 100\%$ при открытых электроустановках;

б) разрушающая изоляцию среда;

в) одновременно два или более признака из категории 2.

Рассматриваемое производственное помещение относится ко второй категории (повышенной опасности), ввиду влажности воздуха более 75% из-за расположения цеха непосредственно возле моря. Сварочная установка работает под напряжением 380 вольт трехфазного переменного тока. В соответствии с требованиями «Правил устройства электроустановок» она должна быть заземлена.

В зависимости от расположения заземлителей по отношению к заземляемому оборудованию заземления бывают выносные (сосредоточенные) и контурные. Заземлители выносных заземлений располагают сосредоточенно на расстоянии свыше 20 м от заземляемого оборудования, т. е. вне зоны растекания тока замыкания на землю. Заземлители контурного заземления располагают по периметру и внутри площадки, на которой установлено заземляемое оборудование. Все эти заземлители электрически соединены друг с другом.

Заземлители могут быть естественными и искусственными. Искусственные заземлители выполняются в виде электродов. По расположению в грунте и по форме электродов заземлители делятся на:

- углубленные, состоящие из полос или круглой стали, укладываемых глубоко на дно котлована горизонтально по периметру фундаментов;
- вертикальные, состоящие из электродов, верхний конец которых заглубляется на 0,5 - 0,7 м от поверхности земли; в качестве их используют стальные вертикальные заложённые стержни диаметром 10 - 16 мм, (или отрезки стальных труб, различного диаметра), длиной 3-5 м, а также уголкового стального уголка длиной 2,5 - 3 м;
- горизонтальные (протяженные), состоящие из электродов, применяемых для связи между собой вертикальных заземлителей, соединяемых сваркой. В качестве таких заземлений используется круглая сталь диаметром не менее 10 мм или стальные полосы толщиной не менее 4 мм, сечением 48 мм².

В качестве заземляющих проводников-ответвлений к оборудованию, где по условиям работы не требуются гибкие проводники, применяются медные или алюминиевые проводники. В качестве заземляющих проводников, образующих заземляющую магистраль, применяется полосовая или круглая сталь, сечением порядка 48 мм².

Заземляющий проводник присоединяется к заземлению сваркой внахлестку не менее чем в двух местах. Длина нахлестки должна быть равна двойной ширине проводника при прямоугольном сечении или круглом шести диаметрам. Болты (винты, шпильки) для крепления заземляющего проводника должны изготавливаться из стойкого в отношении коррозии металла. Диаметр болта (винта, шпильки), зависит от номинального тока потребителя: при токе потребителя до 16 А, диаметр болта 4 мм потребителя 250-300 А диаметр болта 10 мм. Нельзя применять для выполнения заземления крепежные детали машин, оборудования.

Основными причинами поражения электрическим током могут послужить следующие факторы: прикосновение к токоведущим частям или прикосновение к конструктивным частям, оказавшимся под напряжением. С целью исключения опасности поражения электрическим током необходимо соблюдать следующие правила электрической безопасности:

- перед включением установки должна быть визуально проверена ее электропроводка на отсутствие возможных видимых нарушений изоляции, а также на отсутствие замыкания токопроводящих частей держателей электродов;

- при появлении признаков замыкания необходимо немедленно отключить от электрической сети установку.

Средства коллективной защиты:

- Защитное заземление, зануление;
- Малое напряжение;
- Электрическое разделение сетей;
- Защитное отключение;

- Изоляция токоведущих частей;
- Оградительные устройства;
- Предупредительная сигнализация;
- Изолирующие защитные и предохранительные приспособления;
- Снизить время пребывания в опасной зоне;
- Плакаты и знаки безопасности.

Изолирующие средства индивидуальной защиты разделяются на:

1. Основные. Они могут выдержать долговременное воздействие напряжения, поэтому их целесообразно применять при производстве электромонтажных работ без обесточивания устройств от сети. Средства индивидуальной защиты, относящиеся к основным, включают в себя:

- указатели напряжения;
- изолирующие штанги;
- изолированный инструмент;
- электроизмерительные клещи;
- диэлектрические перчатки;
- переносные заземления;
- изолирующие устройства.

2. Дополнительные. Такая защита не способна полностью обеспечить защиту человека от воздействия электрического тока, в связи с чем такие средства используются совместно с основными. К таким средствам защиты относятся:

- диэлектрические сапоги или галоши;
- изолирующие накладки и подставки; - коврики диэлектрические;
- диэлектрические колпаки;
- сигнализаторы напряжения.

К работам на сварочной установке допускаются лица, достигшие 18 лет, прошедшие инструктаж и обученные безопасным методам труда. Также электробезопасность зависит и от профессиональной подготовки работников, сознательной производственной и трудовой дисциплины. Целесообразно

каждому работнику знать меры первой медицинской помощи при поражении электрическим током. Все оборудование должно быть изготовлено в соответствии с требованиями ГОСТ 12.1.019-2017 [16].

Сварочная установка работает под напряжением 380 В трехфазного тока (относится к группе электроустановок до 1000 В) и имеет глухозаземленную нейтраль. В соответствии с ТКП 181-2009 [17] для установок напряжением до 1000 В с глухозаземленной нейтралью, с учетом того, что заземляющее устройство является искусственным заземлителем, расположенным в непосредственной близости от нейтрали трансформатора, при трехфазном токе напряжением 380 В, нормируемое сопротивление заземления составляет 30 Ом. Групповой заземлитель предполагается изготовить со стержневыми (вертикальными) электродами в форме стальных уголков. Минимальные размеры стальных заземлителей из угловой стали, при их расположении в земле, составляют 4 мм. Наименьшее сечение медных заземляющих проводников для данной установки, при прокладке жил заземляющих кабелей в общей защитной оболочке со средними жилами, составляет 1 мм. Безопасные номиналы тока составляют 0,1 А, напряжения - 12...36 В, заземления – 4 Ом.

7.2.2.2 Пожарная опасность

По взрывопожарной и пожарной опасности помещения подразделяются на категории А, Б, В1-В4, Г и Д, а здания на категории А, Б, В, Г и Д.

Согласно НПБ 105-03 лаборатория относится к категории В – горючие и трудно горючие жидкости, твердые горючие и трудно горючие вещества и материалы, вещества и материалы, способные при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом только гореть, при условии, что помещения, в которых находится, не относятся к категории наиболее опасных А или Б.

По степени огнестойкости данное помещение относится к 1-й степени огнестойкости по СП 12.13130.2009 [18] (выполнено из кирпича, которое относится к трудногоряемым материалам).

Возникновение пожара при работе с электронной аппаратурой может быть по причинам как электрического, так и неэлектрического характера.

Причины возникновения пожара неэлектрического характера:

а) халатное неосторожное обращение с огнем (курение, оставленные без присмотра нагревательные приборы, использование открытого огня);

Причины возникновения пожара электрического характера: короткое замыкание, перегрузки по току, искрение и электрические дуги, статическое электричество и т. п.

Для локализации или ликвидации загорания на начальной стадии используются первичные средства пожаротушения. Первичные средства пожаротушения обычно применяют до прибытия пожарной команды.

Огнетушители водо-пенные (ОХВП-10) используют для тушения очагов пожара без наличия электроэнергии. Углекислотные (ОУ-2) и порошковые огнетушители предназначены для тушения электроустановок, находящихся под напряжением до 1000В. Для тушения токоведущих частей и электроустановок применяется переносной порошковый огнетушитель, например, ОП-5.

В общественных зданиях и сооружениях на каждом этаже должно размещаться не менее двух переносных огнетушителей. Огнетушители следует располагать на видных местах вблизи от выходов из помещений на высоте не более 1,35 м. Размещение первичных средств пожаротушения в коридорах, переходах не должно препятствовать безопасной эвакуации людей.

Для предупреждения пожара и взрыва необходимо предусмотреть:

1. Специальные изолированные помещения для хранения и разлива легковоспламеняющихся жидкостей (ЛВЖ), оборудованные приточно-вытяжной вентиляцией во взрывобезопасном исполнении - соответствии с ГОСТ 12.4.021-75 [19] и СП 60.13330.2012 [20];

2. Специальные помещения (для хранения в таре пылеобразной канифоли), изолированные от нагревательных приборов и нагретых частей оборудования;

3. Первичные средства пожаротушения на производственных участках (передвижные углекислые огнетушители ГОСТ Р 51057-2001 [21], пенные огнетушители ГОСТ Р 51057-2001, ящики с песком, войлок, кошма или асбестовое полотно);

4. Автоматические сигнализаторы (типа СВК-3 М 1) для сигнализации о присутствии в воздухе помещений дозрывных концентраций горючих паров растворителей и их смесей.

Лаборатория, в которой проводились исследования, расположенная в 16А корпусе Томского политехнического университета, полностью соответствует требованиям пожарной безопасности (наличие охранно-пожарной сигнализации, плана эвакуации, изображенного на рисунке 23, порошковых огнетушителей, находящихся в каждом кабинете лаборатории на первом этаже, в кабинке у охранника и в конце коридора на втором этаже с поверенным клеймом, рисунок с указанием направления к запасному (эвакуационному) выходу).

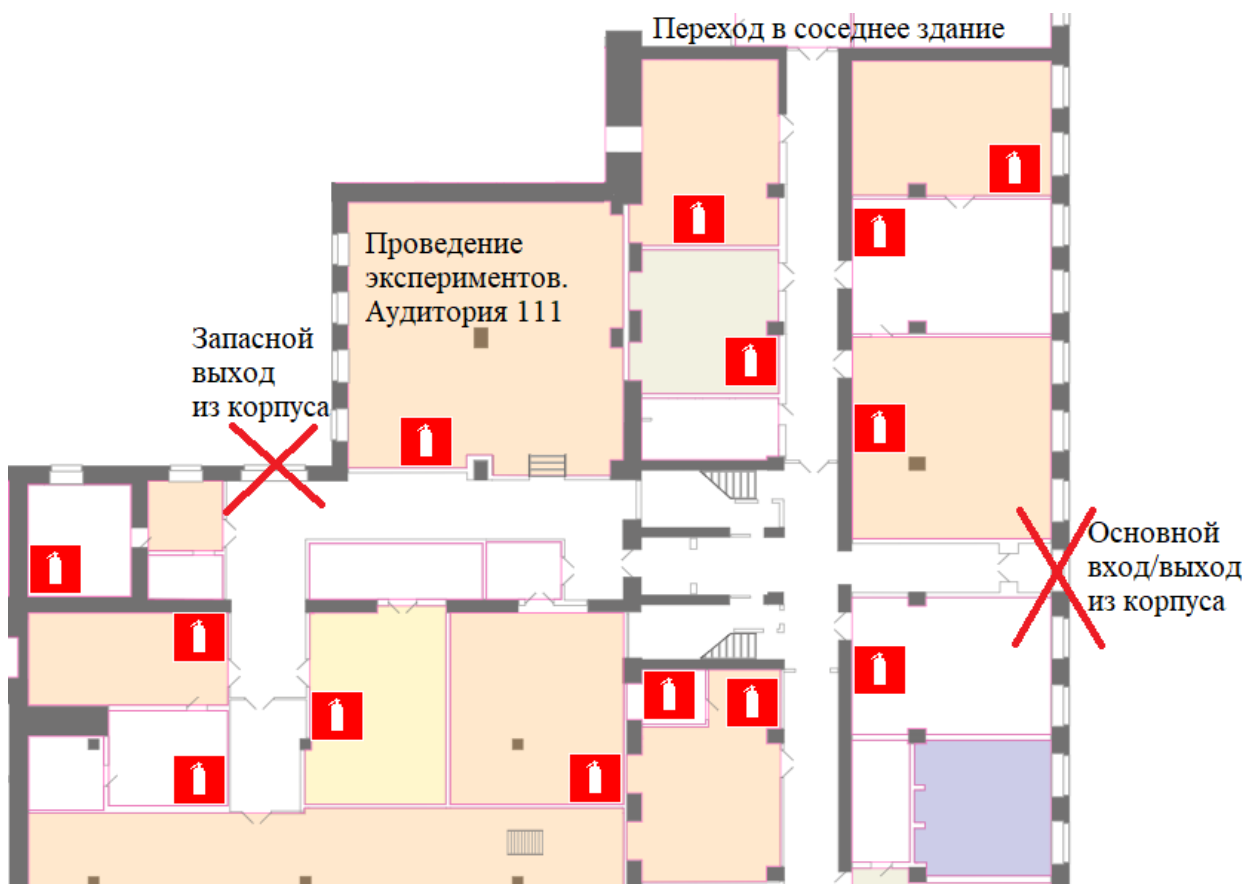


Рисунок 23 – План эвакуации

7.2.2.3 Движущаяся часть установки для сварки неплавящимся электродом

Источником возникновения аварий, связанных с телесными повреждениями и материальным ущербом при работе с установкой, являются подвижная часть машины.

Аварии происходят, прежде всего, во время ручного устранения нарушений производственного процесса. Тем не менее, люди могут оказаться на пути движения машин и механизмов при выполнении других заданий, таких как:

- чистка,
- регулировка,
- переналадка вылета электродов,

- контроль,
- ремонт.

Наиболее распространенной, принимаемой в этой связи с целью повышения личной безопасности, является защита человека от опасных движений машины с помощью некоторых видов устройств безопасности, таких как защитные ограждения машин, за исключением частей, ограждение которых не допускается функциональным их назначением. Внутренние движущиеся детали таких машин должны быть недоступны для прикосновения, а наружные движущиеся детали не должны иметь острых выступов, острые кромки должны быть притуплены.

Утечка аргона из баллона может способствовать наступлению смерти от удушения. Это может быть связано значительным снижением в воздухе объема кислорода в замкнутом пространстве. Если объем аргона в воздухе будет превышать 70% (P3), то человек может подвергнуться, так называемому, наркозу. В связи с тем, что этот газ тяжелее воздуха, это может привести к накоплению его в помещениях, которые трудно проветривать. Если требуется проводить работы в среде с аргоном, то в этом случае рекомендуется использовать противогазы и изолирующие приборы, проветривать помещение.

7.3 Экологическая безопасность

Охрана окружающей среды - это комплексная проблема и наиболее активная форма её решения - это сокращение вредных выбросов промышленных предприятий через полный переход к безотходным или малоотходным технологиям производства.

Для перехода к безотходным производствам в ремонтном цеху необходимо осуществлять сбор (установить контейнеры с обозначенным предназначением), сортировку и прессовку металлолома, огарков с последующей транспортировкой в перерабатывающие предприятия. Также

с помощью промышленных пылесборников собрать пыль, и упаковать её и транспортировать на ближайший строительный объект.

Вышедшие из работы лампы, подлежащие переработке, необходимо собирать в коробки (до установленного объема) для транспортировки на перерабатывающее предприятие.

Так же необходимо позаботиться о отдельных контейнерах для отходов бытового характера: отдельные мусорные баки для бумаги, стекла, металлических частей, пластика. Необходимо заключить договор с компанией, вывозящей мусор, чтобы она обеспечивала доставку разделенных отходов фирмам, занимающимся переработкой отходов. Абразив после очистки швов направлять в строительную промышленность, вольфрамовые электроды – на изготовление крючков и мормышек для рыбаков.

7.4 Безопасность в условиях ЧС

Чрезвычайная ситуация – это обстановка на определенной территории, сложившаяся в результате аварии, опасного природного явления, катастрофы, распространения заболевания, представляющего опасность для окружающих, стихийного или иного бедствия, которые могут повлечь или повлекли за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью людей или окружающей среде, значительные материальные потери и нарушение условий жизнедеятельности людей. В данной работе невозможно охватить весь спектр возможных ЧС, основное внимание уделено двум вариантам ЧС:

1) природная – сильные морозы зимой.

Сильные морозы могут нанести вред как и сотрудникам, работающим на предприятии, так и самому предприятию.

В случае сотрудников предприятие должно предпринять меры направленные на снижение вероятности получения сотрудниками травм в

результате переохлаждения – сократить количество работающих сотрудников (не привлекать сотрудников к работе в период сильных холодов без острой необходимости), обеспечить сотрудников транспортом и держать в готовности средства первой помощи, применяемые при переохлаждении.

В случае предприятия – уделить особое внимание состоянию тепловых и водоносных линий коммуникации во избежание их промерзания, также предусмотреть возможность резервного отопления (электродогревательная или тепловые пушки) при отказе основной магистрали для недопущения разморозки здания.

2) техногенная – несанкционированное проникновение посторонних на рабочее место.

Для недопущения несанкционированного проникновения на рабочее место на предприятии применяется система контроля и управления доступом, каждый сотрудник имеет ключ-карту для прохода через пропускной пункт. На лицевой стороне карты размещается фотография и ФИО сотрудника, на задней стороне ключ-карты – номер пропуска.

Пропускные пункты расположены на входе и внутри предприятия, контроль осуществляется, в том числе визуально на соответствие фотографии, для попадания в искомое помещение нужно преодолеть не менее 2-х пропускных пунктов, что практически исключает несанкционированный доступ.

Заключение

Проведя анализ действия равнодействующей силы относительно положения сварочной головки, сравнив эти значения с действием веса сварочной ванны, можно сделать вывод, что для каждого конкретного положения (потолочное, вертикальное, нижнее) требуется уделить внимание, так как в каждом определенном случае встречается своя проблема – провисание сварочной ванны для потолочного положения, стекание в положении сверху-вниз при выбранном нами направлении сварки против часовой стрелки, отвисание при нижнем положении сварки и отставание при сварке снизу-вверх.

На основании литературного обзора и инженерных расчетов был подобран такой режим сварки и построена модель комплекса сил, действующая на сварочную ванну, чтобы можно было проследить влияние каждой из сил, входящих в комплекс и сделать вывод о значимости каждой для любого пространственного положения.

После построения модели комплекса сил, действующих на сварочную ванну, был разработан процесс орбитальной сварки, благодаря которому можно управлять критической массой сварочной ванны.

Так же был проведен эксперимент с двумя образцами труб, сваренными разными способами сварки (РД и импульсная орбитальная сварка с программированием режима сварки). Результат эксперимента показал, что образец, сваренный разработанным способом сварки, имеет гораздо меньшее количество дефектов.

Результаты работы в полной мере показывают необходимость продолжения исследований по данной теме, так как совершенствование технологии орбитальной сварки в последствии может найти применение для массового производства труб в бытовом и промышленном масштабах.

Внедрение разработанной технологии в производство возможно после проведения опытов и различных видов контроля.

Список использованных источников

1. Справочник по орбитальной сварке Polysoude. Искусство сварки, Полисуд С.А.С. (Франция), 2009, 56 с.
2. Третьяков Е. С., Коберник Н. В. Технологии автоматической орбитальной сварки трубопроводов малого диаметра из углеродистых и низколегированных сталей. // Машиностроение. – 2013. – №6. – С. 31-37.
3. Полосков С. И., Букаров В. А. Особенности управления формированием корня шва при орбитальной сварке неповоротных стыков труб. // Сварочное производство. – 2003. – №4. – С. 3-11.
4. Ерохин А. А. Основы сварки плавлением. Физико-химические закономерности. – М.: Машиностроение, 1973. – 448 с.
5. Полосков С. И., Ищенко Ю. С. Анализ факторов, определяющих формирование сварочной ванны при орбитальной сварке неповоротных стыков труб. // Сварочное производство. – 2003. – №2. – С. 11-19.
6. Daehyun B., Hyeong S., Sang-Hu P. Development of an automatic orbital welding system with robust weaving width control and a seam-tracking function for narrow grooves // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. – 2017. – №93. – С. 767-777
7. Семёнов А. П. Методы математического моделирования процессов формирования и переноса капель электродного металла при сварке плавящимся электродом (Обзор). // Автоматическая сварка. – 2014. – №10. – С. 3-11.
8. Baeva M., Uhrlandt D. Nonequilibrium simulation analysis of the power dissipation and the pressure produced by TIG welding arcs // Welding in the World. – 2019. – №2. – С. 377-387.
9. Lohse M., Trautmann M., Siewert E. Predicting arc pressure in GTAW for a variety of process parameters using a coupled sheath and LTE arc model // Welding in the World. – 2018. – №62. – С. 629-635.

10. Poloskov, S. I., Ishchenko, Y. S. & Bukarov, V. A. Analysis of factors determining the formation of the weld pool in the orbital welding of non-rotating joints in pipes. // *Welding in the World*. – 2003. – №17. – С. 557-564.
11. Goldschmitz M., Karlsson L., Pedersen R. Developments in the welding of supermartensitic stainless steels: recent developments and applications. // *Welding International*. – 2004. – №18. – С. 543-549.
12. Poloskov S. I., Ishchenko Yu. S. & Bukarov V. A. Minimising the probability of formation of external defects in welded joints in the process of automatic orbital welding // *Welding International*. – 2004. – №18. – С. 216-222.
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. Якубович Д. И. Влияние поверхностного натяжения на формирование сварочной ванны при сварке на весу тонколистового металла. // *Сварочное производство*. – 2004. – №10. – С. 17-20.
15. Горшкова О.О. Орбитальная сварка трубопроводов. // *Modern High Technologies*. – 2021. – №1. – С. 20-24.
16. Шипилов А.В., Ерофеев В.А. Физико-математическая модель процесса орбитальной сварки неплавящимся электродом в инертных газах: концепция и возможности. // *Сварка и диагностика*. – 2011. – №2. – С. 3-9.
17. Чигарев В.В., Серов И.В. Исследование взаимодействия компонентов ванны при сварке деталей металлургического оборудования. // *Захист металургійних машин від поломок*. – 2005. – №8. – С. 214-223.
18. LI X.R., ZHANG Y.M. Monitoring and Control of Penetration in GTAW and Pipe Welding. // *Welding Journal*. – 2013. – №92. – С. 190-196.
19. Mamvura T.A. The impact of pipe geometry variations on hygiene and success of orbital welding of brewing industry equipment. // *Journal of The Institute of Brewing*. – 2017. – №123. – С. 81-97.

Приложение I
(справочное)

**Development and regulation of the orbital welding process of surface heating pipes with
the diameter of up to 60 mm with prog mode programming**

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1ВМ91	Щербаков Владислав Владимирович		06.05.2021

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Киселев А.С.	к.т.н., доцент		06.05.2021

Консультант-лингвист отделения иностранных языков ШБИП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Федоринова З.В.	к.п.н., доцент		06.05.2021

Introduction

The research is vital because the individually developed welding method can be used in various industries: oil, gas, electric industry as well as in the municipal, agricultural and shipbuilding industries. At the same time electricity costs will be reduced, the welding quality and the structure of the heat-affected metal zone will be increased.

The aim of the present work is to develop the process of the root layer orbital welding of the of surface heating pipes with the welding mode programming.

The objectives of the present work are:

- to analyze the current state of the orbital welding of surface heating pipes;
- to develop a model of the forces complex acting on the welding pool;
- to develop a method for welding the root layer for small diameter pipes in orbital welding;
- to develop an experimental setup;
- to conduct a check.

The research object is the process of welding with a non-consumable tungsten electrode in argon.

The research methods are a welding pool that sags and drains from a pipe during the welding of non-rotating pipe joints in a certain spatial position during direct current welding.

The practical value of the work is the development of advanced methods of arc welding that can improve productivity while reducing the cost of welding repairs.

Structure and volume of the work

The work has 112 pages (excluding appendix) and consists of introduction, seven basic units, conclusion, reference and appendices. Each unit consists of several logically interconnected chapters followed by a conclusion where we enumerate the results of our work concerning that unit. Our references consist of 19 sources represented by books of Russian and foreign authors.

1.1 Critical mass of the weld pool during the orbital welding process

The main problem with orbital welding of a non-rotating pipe joint is the constantly changing spatial position of the weld pool from the bottom to the ceiling one. The main role in the formation of the welding seam is played by fluidity, that is the mass of the weld pool.

The mass of the weld pool is determined by the melting rate of the base and electrode metals as well as the rate of their solidification. In the process of orbital welding, the mass of the weld pool will depend on the welding mode as well as the diameter of the electrode [2-4].

The critical mass of the weld pool depends on its spatial position as well as on the thickness of the product to be welded (in this case, the pipe). The graph of the dependence of the pool critical mass on its position in space is shown in Figure 1.

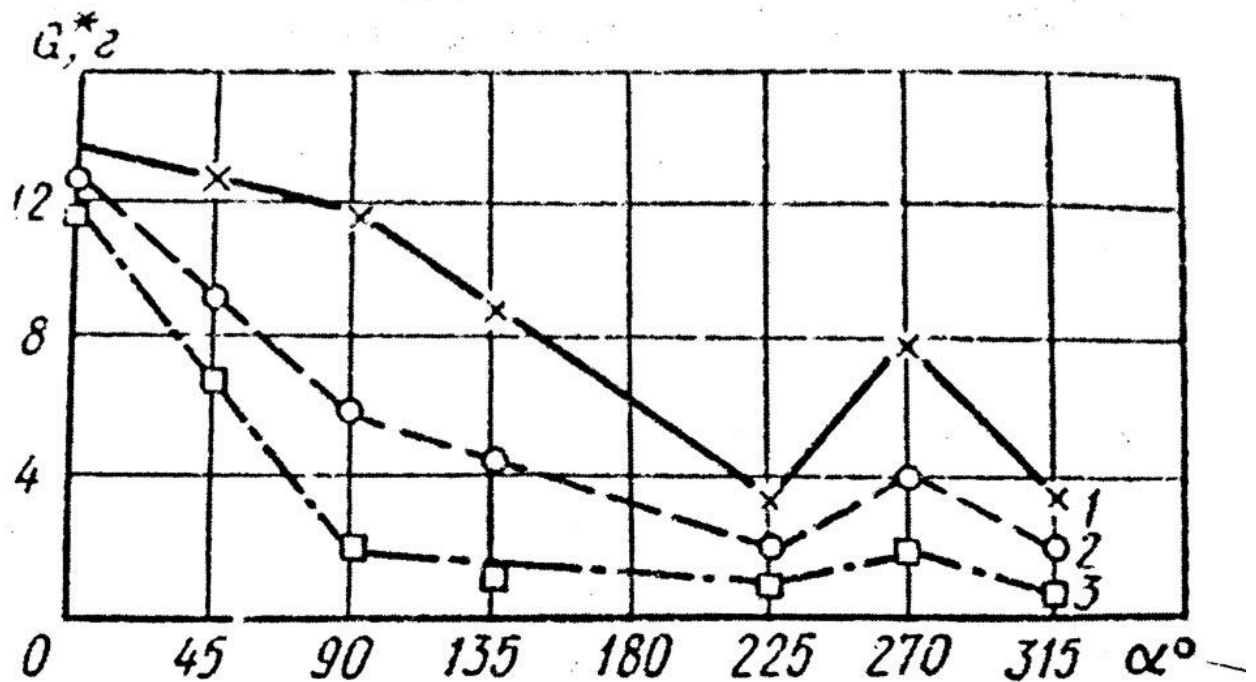


Figure 1 – Dependence of the critical mass G of the pool on the position in space and the thickness of the metal: 1-6, 2-4 and 3-2 mm

Since the critical mass of the weld pool depends on its position in space, the orbital welding mode must change with the change in the spatial position of the bath.

Therefore, for welding pipes of small diameters, it is advisable to use automatic argon arc welding with a non-consumable electrode, otherwise called orbital welding. Thanks to this method of welding, the productivity and quality of the welded joint will increase.

The position of the liquid metal surface of the weld pool, and hence the shape of the seam, will depend on the complex of forces exerted on it: gravity, the mechanical action of the welding source, the electromagnetic volumetric force and the surface tension force.

Under the influence of these forces, the molten metal of the welding pool flows striving to occupy a position corresponding to the changing equilibrium during welding. This flow of the pool is limited by its rapid loss of mobility (solidification) due to rapid cooling when moving away from the zone heated by the welding source (Figure 2).

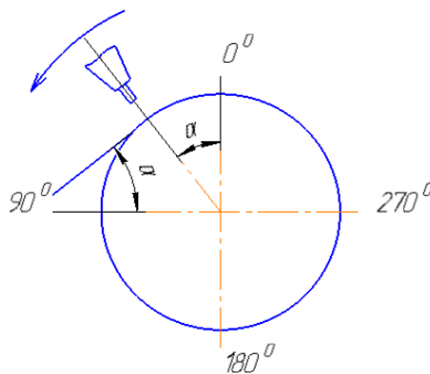


Figure 2 – The position of the welding bath during the orbital welding of the non-rotating joint counterclockwise

In the quasi-stationary state, the surface of the welding pool at the solidification front keeps a constant position (or fluctuates near it). Changing the position of the surface during the welding process leads to a change in the seam profile. So, for example, ripple is formed on the surface of the seam. Therefore, a system for controlling the critical mass of the welding pool for uniform formation of the weld seam is being developed. The greater the thickness of the product and the volume of the welding pool, the greater the canting angle of the pool.

It is worth noting that at the angles of 90 and 270°, the critical mass is slightly larger at the angle of 90°. This is due to the fact that when welding on the descent ($\alpha=90^\circ$), the point that determines the value of the melt is located on top of the bath. When welding in the area from 0° to 90°, the direction of the welding pool flow will be tangent to the surface to be welded. When welding in the area from 90° to 180°, the most likely direction of the welding pool flow will be in the direction of gravity. Therefore, the equilibrium equations of the welding pool when welding at positions from 0° to 90° and from 90° to 180° will be different (Figure 3).

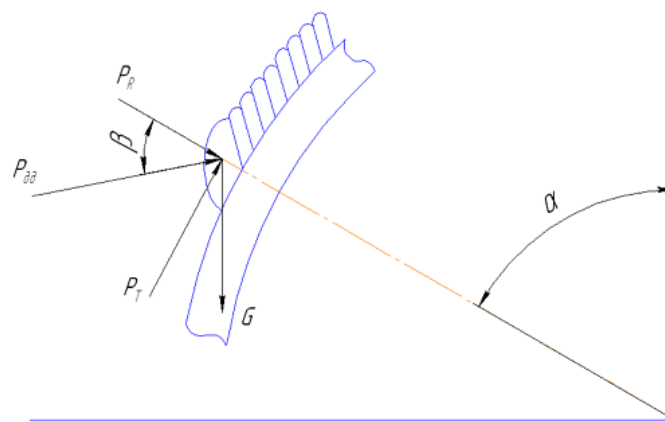


Figure 3 – The longitudinal section of the bath at its different spatial positions when welding on the descent of a pipe with the wall thickness of 5 mm

When welding on the rise ($\alpha=270^\circ$), the melting point is located at the bottom of the welding pool. At this point, the hydrostatic pressure will be greater, which will encourage the metal to flow out. Also, at this angle, the slope of the pool walls and the position of the burner will contribute to the flow.

1.2 Main forces exerted on the welding pool

It should be noted that during orbital welding, increased requirements are imposed on the root layer, since increased defects in the seam will result in its poor quality. In the case of orbital welding, the components of the force complex and the

resultant of the force complex exerted on the welding pool will change with the spatial position of the welding pool. The complex of these forces includes: [5, 6]:

- a) the force effect of the welding arc;
- b) surface and interfacial tension forces;
- c) the weight of the liquid metal of the welding bath.

Some scientists [5,6], state that the shape and surface of the welding pool will depend on this complex of forces. Thus, when welding pipes in the lower position, the forces are not given much importance. But, when welding in the ceiling, vertical and horizontal spatial positions, these forces will play a major role in the formation of the welded joint.

In order to investigate the basic patterns of seam formation during welding in various spatial positions, it is necessary to consider each of the forces exerted on the welding pool in more details.

1.2.1 Mechanical (force) influence of the arc

The effect of the arc on the welding pool has been studied by many authors [7-12]. But despite the number of these works, there is no complete understanding of this process.

Currently, it is considered that the force effect of the arc is a complex of different forces. These forces are divided according to the nature of the impact on the pool as follows [4]:

- gas-kinetic energy;
- electromagnetic (in the bath);
- the reactive pressure of vapors and gases.

There is no direct dependence of the arc force on the impact of these forces. But as a result of a number of studies [13-16], it was found that the arc force effect can be expressed as the dependence:

$$P = kI^2 \quad (1)$$

where k is the proportionality coefficient, which depends on the welding method and welding materials (H/A^2);

I - welding current, (A).

As already described above, the force effect of the arc on the pool is represented as a combination of several forces (gas-kinetic, electromagnetic, and reactive vapor pressure). The gas-kinetic force influences the pool like the pressure of the jet on the barrier and is determined by the characteristics of the plasma jet from the electrode to the pool (figure 4).

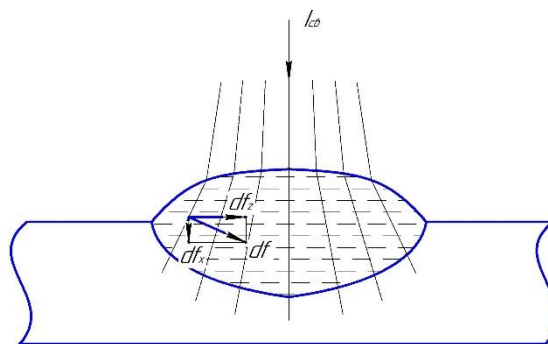


Figure 4 – The effect of electromagnetic force in the welding process

where df_z, df_x are the axial and radial components of the electromagnetic force; I is welding current.

The electromagnetic force is directed normally to the surface in the direction of the product (Figure 4) [13]. This is due to the interaction of the magnetic field of the arc with the current in the welding pool.

Due to the metallurgical processes occurring in the welding pool, the metal evaporates from the surface of the welding pool and gases are released.

It is assumed that the welding will be performed with a pulsed arc supply, so that the mechanical effect of the arc on the welding pool will be abrupt [6, 15] and influence impulsively. It was found that the arc pressure in pulsed arc welding is proportional to the square of the amplitude value of the pulsed welding current [17]. It was also found that the arc pressure slightly depends on the frequency of the current, and almost does not depend on the duration of the pulses.

The total force effect on the molten metal of the welding pool can be represented as follows: the bath is hit by a pulsed gas flow, which contributes to an instantaneous increase in the kinetic energy of the plasma flow (gas-kinetic force) and the action of electromagnetic force, gases and vapors on the pool.

1.2.2 Surface tension acting on the welding pool

One of the main properties of liquids and solids is the presence of free surface energy which manifests itself in the tendency of liquids to take a form characterized by a minimal surface. This tendency of the liquid surface to shrink is associated with the forces of intermolecular interaction [18].

To determine the surface tension in the welding process, you can use the Laplace equation:

$$P = \sigma \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) \quad (2)$$

where P is the surface tension force;

σ is the surface tension coefficient;

R_1, R_2 are the main radii of the surface under consideration.

The determination of the surface tension force by the formula (2) is possible only if the surface tension coefficient and the main radii of the surface curvature are known. But in reality, the surface of the welding pool has a complex shape. Therefore, the main radii of curvature have different values at each point. In addition, when welding, the conditions of thermal equilibrium at the molten metal - gas boundary and the uniformity of the gas composition are not observed. But this is the basis for the derivation of this equation. Therefore, the values of the surface tension on different parts of the surface will be different.

As it is known, the surface tension coefficient depends on the temperature and concentration of various impurities at the phase boundary [39].

There are two boundaries between the phases "molten metal - molten slag" and "molten slag-gas" due to the coating of the metal with a layer of molten slag

during welding. At the boundaries of these phases, surface and interphase tensions act. In addition, chemical reactions occur between the slag and the liquid metal, continuously changing the concentration of these phases. Also, a mobile, concentrated high-temperature heat source will act on the molten metal of the welding pool, resulting in different temperatures of the phase boundaries. All these factors will affect the amount of surface tension during the welding process.

At the moment, there are many methods for measuring surface tension, presented in the works [4, 5, 6, 13, 16]:

- capillary lifting method;
- fixed drop method;
- hanging drop method;
- drop weight measurement method;
- method of maximum pressure in a drop or gas bubble;
- the method of separation from the ring.

However, these techniques cannot fully reflect all the phenomena occurring in the welding pool. So, the authors' data differ due to the different conditions of the experiments. To make the data more reliable, it was decided to conduct experiments for each welding method, the conditions of which would be as close as possible to the actual conditions of the welding process. The conditions included: the protective environment (carbon dioxide, argon, mixtures, vacuum, etc.), as well as the chemical composition of steel.

The determination of the surface tension coefficient by the "hanging drop" method [5] was carried out as follows: with the help of an external heating source, the end of the wire sample, located vertically in a vacuum, was gradually melted until the drop was formed. As a result of the experiment, the surface tension coefficient for the CB-08Г2С wire was $\sigma = 1038 \frac{\text{mJoule}}{\text{M}^2}$. The disadvantage of this method is that the actual conditions will differ from the experimental ones. The surface tension coefficient in a vacuum will differ from the real conditions, where the media should be identical (argon, carbon dioxide, mixtures of protective gases).

The surface tension coefficient was determined in the following way [19]: during the welding process, the electrode was placed vertically so that the breaking off drop was projected onto the screen. In the experiment, CT electrodes with a diameter of 2.5 mm were used. The surface tension coefficient was 1270-1310 erg / cm².

The calculation of the surface tension coefficient when using the hanging drop method can be determined by the following formula:

$$\sigma = \frac{\gamma g d_e}{H_f} \quad (3)$$

where γ is the density;

g is acceleration of gravity;

d_e is the largest diameter of the hanging drop;

H_f is function of the ratio of the diameter d_k located at a height equal to the maximum diameter d_e to the maximum diameter d_c .

Any change in temperature has a significant effect on the surface tension coefficient. An increase in temperature will lead to a uniform decrease in the surface tension due to the weakening of the attractive force between the molecules. The surface temperature of the welding pool varies from the melting point at the periphery of the bath, to the boiling point of 2880°C on the surface under the arc. Therefore, the surface tension coefficient on different parts of the bath surface will have different values.

The surface tension coefficient was determined by the method of lying a drop in a carbon dioxide medium at different temperatures [12]. When the temperature value was $T_1 = 1703^\circ\text{C}$, the surface tension coefficient of the CB-08Г2C wire was

$\sigma = 800 \frac{\text{mJoule}}{\text{M}^2}$, and at a temperature of $T_2 = 1530^\circ\text{C}$, the surface tension

coefficient was already different and was $\sigma = 1050 \frac{\text{mJoule}}{\text{M}^2}$.

The composition of the phases was also uneven. The properties of the surface layers of a substance are manifested at any phase boundary. Especially in the "liquid-gas" system and weaker in the "solid - liquid" system.

The following method for determining the surface tension was used [13]: a symmetrical welding pool was deposited in the ceiling position (Figure 5). The modes and time of surfacing were selected so that the welding pool was at the limit of equilibrium. As a result of the experiment, the reduced surface tension was determined from the condition of this equilibrium:

$$G - P_R - P = 0 \quad (4)$$

where G is the weight of the molten metal of the welding pool, gs;

P_R is the normal component of the surface tension force, gs;

P is arc pressure, gs.

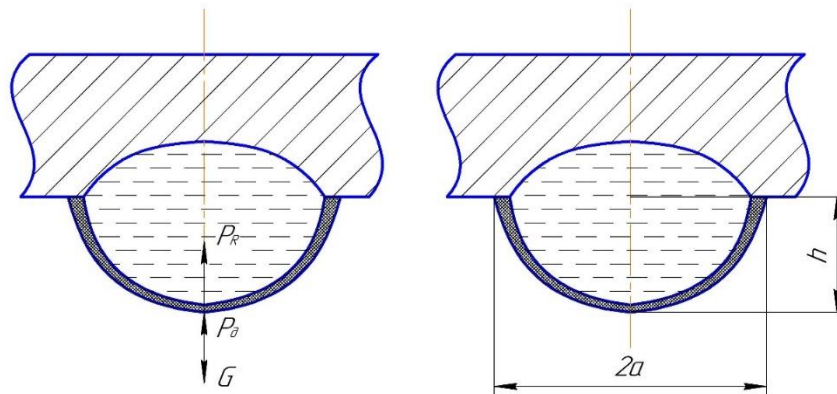


Figure 5 – The effect of forces on a symmetrical welding pool when welding in the ceiling position

where $2a$ is the diameter of the base of the welding pool, cm;

h is the height of the welding pool, cm.

$$\sigma' = \frac{(G - kI^2)\sqrt{a^2 + 4h^2}}{4\pi ah} \quad (5)$$

where k is the proportional coefficient which depends on the welding method and welding materials, (H/A^2) ;

I is welding current, (A).

After analyzing various methods for determining the surface tension coefficient, it can be concluded that the method proposed in [14] fully takes into account the processes occurring during welding, which means that the obtained values of the reduced surface tension will be as close as possible to the real ones in the welding process.

In the calculations for determining the normal and tangential surface tension forces, we use the following expressions proposed in the works [15, 17]:

$$P_R = \frac{4\pi ha\sigma'}{\sqrt{a^2 + 4h^2}}; P_T = \frac{8\sigma'h^2}{1.7\sqrt{a^2 + 4h^2}} \quad (6)$$

where P_R is the normal component of the surface tension force, Din;

P_T is tangential component of the surface tension force, Din;

σ' is the coefficient of reduced surface tension, Din / cm;

h – welding height, cm;

a - half-width of the seam, cm.

1.2.3 Weight of the welding pool

The mass of the welding pool will depend on the power of the source, the conditions of heat transfer from the source to the product being welded, the heat sink, as well as the melting rate and temperature of the electrode metal [19].

It was determined experimentally that the weight of the welding pool has a significant effect on its fluidity. When welding in the lower position, the influence of the welding pool weight is less manifested and mainly effects reinforcement of the welding shape.

When welding in the ceiling positions, with the increase in the welding pool weight, there comes a moment when the forces acting on the welding pool cannot keep it in a state of equilibrium. In this case, the molten metal can leak out of the welding pool forming roll collar under the influence of gravity.

To determine the weight of the welding pool, we use the formula (7):

$$G_{\epsilon} = 0,085 \frac{\alpha \rho}{\lambda^2 T_{\text{нл}}^2} \cdot \frac{q_0^2}{v_{\text{св}}} \quad (7)$$

where α is the coefficient of steel thermal conductivity of 20, cm²/s;

ρ is the density of steel 20 at the melting point, kg/m³;

λ is the coefficient of thermal conductivity of steel 20, W / cm·°C;

q_0 is the arc power, W [4].

Conclusion

The conducted research makes it possible to conclude that there is no method for stable formation of the root layer of the welding seam during orbital welding. The proposed options only improve the welding process of small-diameter pipes, but the problem is not completely solved. In the future, there should be the management of the pool critical mass to avoid sagging and roll collar.

The proposed method can be readily implemented at the power plant of JSC "Kuzbassenergo" which has all necessary resources.