

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 школы (НОЦ) Отделение электронной инженерии

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Формирование сварного шва при сварке с отдельным токоподводом к изделию

УДК 621.791.75.01

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1ВМ81	Чагин А.Е.		

Руководитель

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

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН	Маланина В.А.	к.э.н		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ООД	Федорчук Ю.М.	д.т.н, профессор		13.06.2020

Консультант-лингвист

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ОИЯ	Марцева Т.А.	к.филол.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

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

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП 15.04.01

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
Профессиональные компетенции	
P1	Применять глубокие естественнонаучные, математические и инженерные знания для создания и обработки новых материалов
P2	Применять глубокие знания в области современных технологий машиностроительного производства для решения междисциплинарных инженерных задач
P3	Ставить и решать инновационные задачи инженерного анализа, связанные с созданием и обработкой материалов и изделий, с использованием системного анализа и моделирования объектов и процессов машиностроения
P4	Разрабатывать технологические процессы, проектировать и использовать новое оборудование и инструменты для обработки материалов и изделий, конкурентоспособных на мировом рынке машиностроительного производства
P5	Проводить теоретические и экспериментальные исследования в области современных технологий обработки материалов, нанотехнологий, создания новых материалов в сложных и неопределенных условиях
P6	Внедрять, эксплуатировать и обслуживать современные высокотехнологичные линии автоматизированного производства, обеспечивать их высокую эффективность, соблюдать правила охраны здоровья и безопасности труда на машиностроительном производстве, выполнять требования по защите окружающей среды
Универсальные компетенции	
P7	Использовать глубокие знания по проектному менеджменту для ведения инновационной инженерной деятельности с учетом юридических аспектов защиты интеллектуальной собственности
P8	Активно владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в иноязычной среде, разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты инновационной инженерной деятельности
P9	Эффективно работать индивидуально, в качестве члена и руководителя группы, состоящей из специалистов различных направлений и квалификаций, демонстрировать ответственность за результаты работы и готовность следовать корпоративной культуре организации
P10	Демонстрировать глубокие знания социальных, этических и культурных аспектов инновационной инженерной деятельности, компетентность в вопросах устойчивого развития
P11	Самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Анализ современного состояния сварки магнитоуправляемой дугой; 2. Силы, действующие на сварочную ванну; 3. Модель формирования сварного шва при изменении токоподвода к изделию; 4. Специфика выполнения сварного соединения; 5. Экспериментальная часть; 6. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение; 7. Социальная ответственность; 8. Заключение.
<p>Перечень графического материала</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Цель и задачи исследования – демонстрационный лист; 2. Анализ современного состояния сварки магнитоуправляемой дугой – демонстрационный лист; 3. Сила поверхностного натяжения – демонстрационный лист; 4. Модель формирования сварного шва при изменении токоподвода к изделию – демонстрационный лист; 5. Модель растекания тока – демонстрационный лист; 6. Модель формирования магнитных полей – демонстрационный лист; 7. Модель образования объемных электромагнитных сил – демонстрационный лист; 8. Модель формирования пристеночного валика – демонстрационный лист; 9. Модель влияния сил поверхностного натяжения – демонстрационный лист; 10-11. Специфика выполнения сварного соединения – демонстрационные листы; 12-13. Экспериментальная часть – демонстрационные листы; 14. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение – демонстрационный лист; 15. Заключение – демонстрационный лист.
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Основная часть магистерской диссертации	Гордынец Антон Сергеевич
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Маланина Вероника Анатольевна
Социальная ответственность	Федорчук Юрий Митрофанович
Часть магистерской диссертации на английском языке	Марцева Татьяна Александровна

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

1. Анализ современного состояния сварки магнитоуправляемой дугой

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

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭИ	Гордынец А.С.	к.т.н		28.01.2020г

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1ВМ81	Чагин Артем Евгеньевич		28.01.2020г

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

Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности (ИШНКБ)
 Направление подготовки (специальность) 15.04.01 «Машиностроение»
 Уровень образования магистратура
 Профиль «Машины и технологии сварочного производства»
 Отделение электронной инженерии
 Период выполнения (осенний / весенний семестр 2019 /2020 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:

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
04.02.2020	1. Анализ современного состояния сварки магнитоуправляемой дугой;	15
	2. Силы, действующие на сварочную ванну	5
25.02.2020	3. Специфика выполнения сварного соединения	20
29.03.2020	4. Экспериментальная часть	30
15.04.2020	5. Выводы	5
22.04.2020	6. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	10
06.05.2020	7. Социальная ответственность	10
13.05.2020	8. Часть магистерской диссертации на английском языке	5

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭИ	Гордынец А.С.	к.т.н.		30.01.2019

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭИ	Гордынец А.С.	к.т.н.		30.01.2019

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

Студенту:

Группа 1ВМ81	ФИО Чагину Артему Евгеньевичу
-----------------	----------------------------------

Инженерная школа Уровень образования	ИШНКБ Магистратура	Отделение Направление/специальность	Электронной инженерии Машиностроение / Машины и технологии сварочного производства
-----------------------------------------	-----------------------	----------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	Работа с информацией, представляемой в российских и иностранных научных публикациях, аналитических материалах, статистических бюллетенях и изданиях, нормативно-правовых документов; наблюдения.
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	Определение потенциальных потребителей результатов исследования; SWOT-анализ, определение возможных альтернатив проведения научных исследований.
2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	Планирование этапов работы, определение календарного графика трудоемкости работы, расчет бюджета.
3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	Оценка сравнительной эффективности проекта.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. *Оценка конкурентоспособности технических решений*
2. *Матрица SWOT*
3. *Альтернативы проведения НИ*
4. *График проведения и бюджет НИ*
5. *Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ*

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН	Маланина В.А	к.э.н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1ВМ81	Чагин Артем Евгеньевич		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа	ФИО
1ВМ81	Чагину Артему Евгеньевичу

ШКОЛА	ИШНКБ	Отделение школы (НОЦ)	ОЭИ
Уровень образования	Магистр	Направление/специальность	Машиностроение/ Машины и технологии сварочного производства

Тема дипломной работы: «Формирование сварного шва при сварке с отдельным токоподводом к изделию»

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
<p>1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения</p>	<p>Объектом исследования является процесс аргонодуговой сварки неплавящимся электродом с управлением магнитным дутьем. Основанная задача работы состоит в том, чтобы разработать технологию автоматической дуговой сварки, которая будет использоваться для облегчения монтажа котельного оборудования, а именно труб поверхностного нагрева.</p>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<p>1. Производственная безопасность</p> <p>1.1. Анализ выявленных вредных факторов</p> <ul style="list-style-type: none"> • Природа воздействия • Действие на организм человека • Нормы воздействия и нормативные документы (для вредных факторов) • СИЗ коллективные и индивидуальные <p>1.2. Анализ выявленных опасных факторов:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Термические источники опасности • Электробезопасность • Пожаробезопасности 	<p>Вредные факторы:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Недостаточная освещенность; • Нарушения микроклимата, оптимальные и допустимые параметры; • Шум, ПДУ, СКЗ, СИЗ; • Повышенный уровень электромагнитного излучения, ПДУ, СКЗ, СИЗ; • Наличие токсикантов, ПДК, класс опасности, СКЗ, СИЗ; <p>Опасные факторы:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 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;

	<ul style="list-style-type: none"> • Пожароопасность, категория пожароопасности помещения, марки огнетушителей, их назначение и ограничение применения; Приведена схема эвакуации. Лазерное излучение, класс опасности, ПДУ, СКЗ, СИЗ.размерами в системе СИ.
<p>2. Экологическая безопасность:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Выбросы в окружающую среду • Решения по обеспечению экологической безопасности 	<p>Наличие промышленных отходов (бумага-черновики, вторцвет- и чермет, абразивная пыль, перегоревшие люминесцентные лампы) и способы их утилизации;</p>
<p>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</p> <ul style="list-style-type: none"> • перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения; • разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; • разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий. 	<p>Рассмотрены 2 ситуации ЧС:</p> <p>1) природная – сильные морозы зимой, (аварии на электро-, тепло-коммуникациях, водоканале, транспорте);</p> <p>2) техногенная – несанкционированное проникновение посторонних на рабочее место (возможны проявления вандализма, диверсии, промышленного шпионажа), представлены мероприятия по обеспечению устойчивой работы производства в том и другом случае.</p>
<p>4. Перечень нормативно-технической документации.</p>	<p>ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.»</p> <p>СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 "Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы" (с изменениями на 21 июня 2016 года)</p> <p>ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности</p> <p>СанПиН 2.2.4.3359–16.Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах.</p> <p>СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95</p> <p>ГОСТ Р 2.2.2006–05. Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда.</p> <p>ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны</p> <p>ГОСТ 12.1.019-2017 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.</p> <p>ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация».</p> <p>СанПиН 2.2.4.1191-03 Электромагнитные поля в производственных условиях.</p>

	ППБ 01-03. Правила пожарной безопасности в Российской Федерации.
--	------------------------------------------------------------------

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	15.02.2020
------------------------------------------------------	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ТПУ	Федорчук Ю.М.	д.т.н.		15.02.2020

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1ВМ81	Чагин А.Е.		15.02.2020

Реферат

Выпускная квалификационная работа 110 с., 28 рис., 18 табл., 32 источника, 1 приложение.

Ключевые слова: магнитное дутье, автоматическая сварка, столб дуги, аргонодуговая сварка, токоподвод.

Объектом исследования является процесс дуговой сварки неплавящимся электродом в защитной среде аргона.

Цель работы – исследование и разработка технологии сварки неплавящимся электродом в аргоне с управлением собственным магнитным дутьем, при отдельном токоподводе к изделию.

В процессе исследования проводился анализ методов повышения эффективности и способы сварки неплавящимся электродом с применением импульсного питания сварочной дуги, проведен анализ сварки модулированным током и предложен наиболее перспективный способ.

В результате исследования разработан процесс сварки неплавящимся электродом с управлением магнитным дутьем, при отдельном токоподводе к изделию.

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

Экономическая эффективность/значимость работы: сравнив значения интегральных показателей эффективности можно сделать вывод, что реализация технологии является более эффективным вариантом с позиции финансовой и ресурсной эффективности.

В будущем планируется минимизировать конструкцию сварочного аппарата. Запатентовать данный способ сварки. Подготовить документацию по сборке сварочного аппарата, аттестовать его в национальном агентстве контроля сварки и внедрить его в промышленность.

Abstract

Final qualifying work 110 pages, 28 figures, 18 table, 32 sources used, 1 supplement.

Keywords: magnetic blow, automatic welding, arc column, argon arc welding, current supply.

The object of research is the process of arc welding with a non-melting electrode in a protective argon environment.

The purpose of this work is to research and develop a technology for welding with a non-melting electrode in argon with its own magnetic blow control.

In the process of investigation the analysis of methods of improving efficiency and methods of consumable electrode welding using pulsed arc power, the analysis welding of the modulated current and proposed the most promising method.

As a result of the research, the process of welding with a non-melting electrode with magnetic blast control was developed.

Application: this welding method can be used in various industries: oil, gas, boiler, electric industry, as well as in utilities, agriculture and shipbuilding.

Economic efficiency/significance of the work: comparing the values of integrated performance indicators, we can conclude that the implementation of technology is a more effective option from the point of view of financial and resource efficiency.

In the future, it is planned to minimize the design of the welding machine. To patent this method of welding. Prepare documentation for the Assembly of the welding machine, certify it in the national Agency for welding control and implement it in the industry.

Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки

Определения, сокращения и нормативные ссылки

В настоящей работе применены следующие термины с соответствующими определениями:

Собственное магнитное поле – это круговое магнитное поле тока, возникающие при прохождении тока по элементам сварочной цепи, в том числе и по основному металлу.

В настоящей работе использованы следующие сокращения:

B_1 – линии магнитной индукции собственного магнитного поля дуги;

B_2 – линии магнитной индукции магнитного поля тока;

F – сила, возникающая при взаимодействии B_1 и B_2 ;

f_{Γ} – горизонтальная электромагнитная сила;

$f_{\text{В}}$ – вертикальная электромагнитная сила;

I_1 – сила тока, подключенная к 1 точке;

I_2 – сила тока, подключенная к 2 точке;

R_1 – сопротивление при прохождении тока по 1 точки;

R_2 – сопротивление при прохождении тока по 2 точки;

$I_{\text{п}}$ – ток паузы.

Нормативные ссылки

В настоящей работе использованы ссылки на следующие стандарты:

- Санитарные правила и нормы 2.2.4. Физические факторы производственной среды. Гигиенические требования к микроклимату производственной среды;
- ГОСТ 12.1.003-2014 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Шум. Общие требования безопасности;
- СН 2.2.4/2.1.8.566-96 Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий. Санитарные нормы;
- СНиП 23-05-2010 Естественное и искусственное освещение;
- ГОСТ 12.1.005-88 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны;
- ГОСТ 12.1.019-70 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты;
- ГОСТ Р 22.0.01-94 Безопасность в ЧС. Основные положения;
- Трудовой кодекс, № 197-ФЗ/ Ст. 184 ТК РФ. Гарантии и компенсации при несчастном случае на производстве и профессиональные заболевания;
- ГОСТ 12.3.003-86 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Роботы электросварочное. Требования к безопасности;
- ГОСТ 12.2.032-78 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования.

Оглавление

Введение.....	18
1 Анализ современного состояния сварки магнитоуправляемой дугой.....	21
1.1 Влияние собственного магнитного поля на процесс сварки.....	21
1.2 Способы ликвидации магнитного дутья.....	26
1.3 Методы использования магнитного дутья для управления процессом сварки	27
2 Силы, действующие на сварочную ванну	30
2.1 Сила поверхностного натяжения	32
3 Модель формирования сварного шва при изменении токоподвода к изделию	35
3.1 Растекание тока и его подвод	35
3.2 Формирование магнитных полей.	36
3.3 Образование объемных электромагнитных сил	37
3.4 Формирование пристеночного валика	38
3.5 Влияние сил поверхностного натяжения	39
4 Специфика выполнения сварного соединения.....	41
4.1 Подготовка кромок	41
4.2 Сборка	44
4.3 Технология сварки	46
5 Экспериментальная часть.....	51
5.1 Функциональная схема экспериментальной установки	51
5.2 Формирование сварного соединения	51
6 Финансовый менеджмент, ресурсоемкость и ресурсосбережение	55

6.1	Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	55
6.1.1	Потенциальные потребители результатов исследования	55
6.1.2	Анализ конкурентных технических решений.....	56
6.1.3	SWOT-анализ	58
6.2	Определение возможных альтернатив проведения научных исследований	59
6.3	Планирование научно-исследовательских работ	60
6.3.1	Структура работ в рамках научного исследования.....	60
6.3.2	Определение трудоемкости выполнения работ.....	62
6.3.3	Разработка графика поведения научного исследования.....	63
6.4	Бюджет научно-технического исследования (НТИ)	67
6.4.1	Расчет материальных затрат НТИ.....	67
6.4.2	Расчёт затрат на специальное оборудование для научных работ.....	68
6.4.3	Основанная и дополнительная заработная плата исполнителей темы	69
6.4.4	Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления).....	71
6.4.5	Накладные расходы НТИ.....	72
6.4.6	Формирование бюджета научно-исследовательского проекта.....	72
6.5	Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.....	73
7	Социальная ответственность	76
7.1	Производственная безопасность	76
7.1.1	Отклонение показателей микроклимата в производственных помещениях	77
7.1.2	Повышенный уровень шума на рабочем месте	78
7.1.3	Повышенный уровень вибрации	79

7.1.4 Освещенность рабочей зоны	80
7.1.5 Повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей среды	85
7.1.6 Электромагнитные поля.....	86
7.1.7 Электрический ток.....	88
7.1.8 Повышенная яркость света	88
7.1.9 Пожарная безопасность.....	89
7.1.10 Повышенная температура поверхности	91
7.2 Экологическая безопасность.....	92
7.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	93
7.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	94
Заключение	96
Список литературы	97
Приложение А	101

Введение

АКТУАЛЬНОСТЬ. Повышение эффективности и улучшение качества производимых металлоконструкций является актуальной задачей на сегодняшний день. Одним из путей её решения можно выделить разработку и внедрение технологических процессов и оборудования, отвечающих мировым стандартам.

Предпосылками к разработке способа сварки с импульсным питанием сварочной дуги с автоматическим изменением точки подвода тока к изделию служили разные технологические задачи, направленные на получение конечного результата – качества в геометрии сварного шва, возможность упрощения техники выполнения сварных швов в разных пространственных положениях, а также в узкую щелевую разделку. При этом необходимо использование специального оборудования, т.е. импульсного источника питания сварочной дуги. Следовательно, возникает необходимость в разработке принципиально новых методов аргонодуговой сварки неплавящимся электродом и родственных процессов соединения металла, основанных на использовании источников нагрева.

В данное время аргонодуговую сварку неплавящимся электродом стали дорабатывать и модернизировать. Одним из перспективных способов автоматического регулирования тепловой мощности дуги в процессе сварки, является модулирование сварочного тока с частотой следования, при которой используется эффект импульса. Достоинствами данного способа сварки является: возможность сварки встык труб и пластин, сварка ведется, как плавящимся электродом, так и неплавящимся, при непрерывно горящей дуге.

Модулирование сварочного тока можно осуществить путём включения в сварочную цепь стандартного источника питания полупроводникового устройства, работающего в ключевом режиме.

Существенный вклад в развитие способов аргонодуговой сварки модулированным током, внесли сотрудники ИЭС томской, ростовской,

воронежской сварочных школ. Разработке такого устройства для аргодуговой сварки неплавящимся электродом и посвящена эта работа.

ЦЕЛЬЮ РАБОТЫ является исследование и разработка технологии аргодуговой сварки неплавящимся электродом в аргоне с разделенным токоподводом к изделию.

ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ РАБОТЫ – технология сварки неплавящимся электродом в аргоне, с отдельным токоподводом к изделию.

ПРЕДМЕТ ИССЛЕДОВАНИЯ РАБОТЫ – сварочная дуга, управляемая собственным магнитным полем в импульсном режиме.

НАУЧНАЯ НОВИЗНА проведенного магистерского исследования:

- Теоретически обоснована и практически подтверждена принципиальная возможность качественного формирования сварного шва с концентрированным тепловложением дугой, горящей в импульсном режиме.

- Установлено, что физическая устойчивость горения дуги соблюдается при различной геометрии торца электрода.

ПРАКТИЧЕСКАЯ ЗНАЧИМОСТЬ.

Разработан процесс аргодуговой сварки неплавящимся электродом с отдельным токоподводом к изделию.

РЕАЛИЗАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ РАБОТЫ.

Результаты теоретических и экспериментальных исследований использованы при создании устройства для аргодуговой сварки неплавящимся электродом с отдельным токоподводом к изделию.

АПРОБАЦИЯ РАБОТЫ. Результаты настоящей работы представлены на научных семинарах кафедры «Оборудование и технологии сварочного производства» и на конференциях Всероссийского, Областного уровня.

ПУБЛИКАЦИИ.

Чагин, А. Е. Модель формирования собственного магнитного поля сварочной дуги [Электронный ресурс] / А. Е. Чагин, А. Ф. Князьков, Е. О. Маурин; науч. рук. А. Ф. Князьков // Неразрушающий контроль: сборник трудов VI Всероссийской научно-практической конференции "Неразрушающий

контроль: электронное приборостроение, технологии, безопасность", Томск, 23-27 мая 2016 г.в 3 т. / Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ). — 2016. — Т. 2. — [5 с.]. — Заглавие с титульного экрана. — Свободный доступ из сети Интернет. Режим доступа: <http://earchive.tpu.ru/handle/11683/32933>

1 Анализ современного состояния сварки магнитоуправляемой дугой

1.1 Влияние собственного магнитного поля на процесс сварки

Сварочная дуга представляет собой электрический дуговой разряд в ионизированной смеси газов, паров металлов и компонентов, входящих в состав электродных покрытий, флюсов и других средств. Она в процессе сварки подвергается действию ряда дестабилизирующих факторов – возмущений режима, связанных с изменениями ее длины случайными перемещениями капель на торце электрода или металла ванны, изменениями состава газа за счет неравномерного испарения покрытий электродов или флюсов, изменениями силы тока при колебаниях напряжения сети, случайными магнитными полями и др. Магнитное поле дуги является одним из этих факторов при дуговой сварке [1].

Под собственным магнитным полем дуги принято понимать круговое магнитное поле тока, проходящее по элементам сварочной цепи, в том числе и по основному металлу. В этом случае если ток подведен к свариваемому изделию вблизи дуги, магнитное поле оказывает равномерное симметричное воздействие на столб дуги, и дуга не отклоняется (рис. 1а). Если же токоподвод подключен вдали от места горения дуги, то за счет усиления (сгущения) магнитного поля со стороны токоподвода дуга отклоняется в противоположную сторону [2].

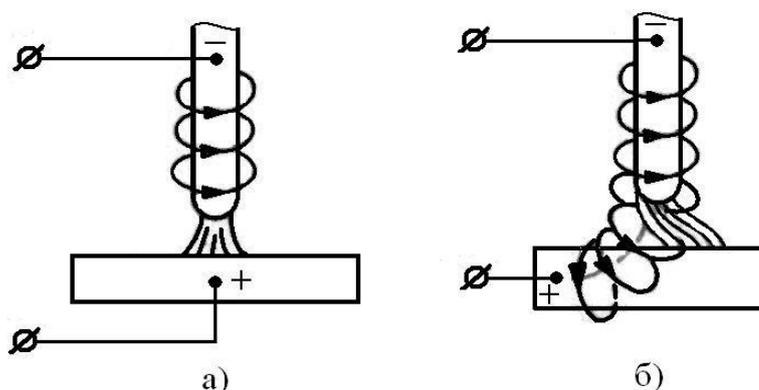


Рисунок 1 – Действие собственных магнитных полей на дугу

Поле, которое создается сварочным током, окружает дугу и воздействует на нее со всех сторон. Пока магнитное поле остается симметричным,

электромагнитная сила в любом направлении уравнивается равной и противоположно направленной силой и их равнодействующая равна нулю. Как только симметрия магнитного поля нарушается, силы становятся неравными и дуга отклоняется в направлении наибольшей силы. Воздействие собственного магнитного поля на дугу получило название «магнитное дутье» [1].

По внешним признакам магнитное дутье подобно смещению факела открытого пламени горелки под воздействием сильных воздушных потоков. На рисунке 1(б), показано отклонение дуги вправо от электрода. Это объясняется тем, что за счет сгущения силы магнитного поля слева от электрода и разреженности магнитного поля справа от электрода происходит смещение дуги в сторону меньшей напряженности магнитного поля, т.е. вправо. Магнитное дутье часто является мешающим фактором, серьезно затрудняющим выполнение процесса сварки. Оно может вызвать непровары сварного соединения, резкое увеличение разбрызгивания металла и ухудшение формирования шва в целом [3].

Причиной возникновения магнитного дутья является взаимодействие двух магнитных полей – магнитного поля тока, протекающего по изделию и дуге, и магнитного поля тока, протекающего по электроду, рисунок 2. На нем показано влияние тока, протекающего по изделию, на пространственное положение дуги: В1 – линии магнитной индукции собственного магнитного поля дуги; В2 – линии магнитной индукции магнитного поля тока, который протекает по изделию; 1 – контакт подвода тока к изделию; F – сила, действующая на сварочную дугу и возникающая при взаимодействии магнитных полей с магнитной индукцией В1 и В2 [4].

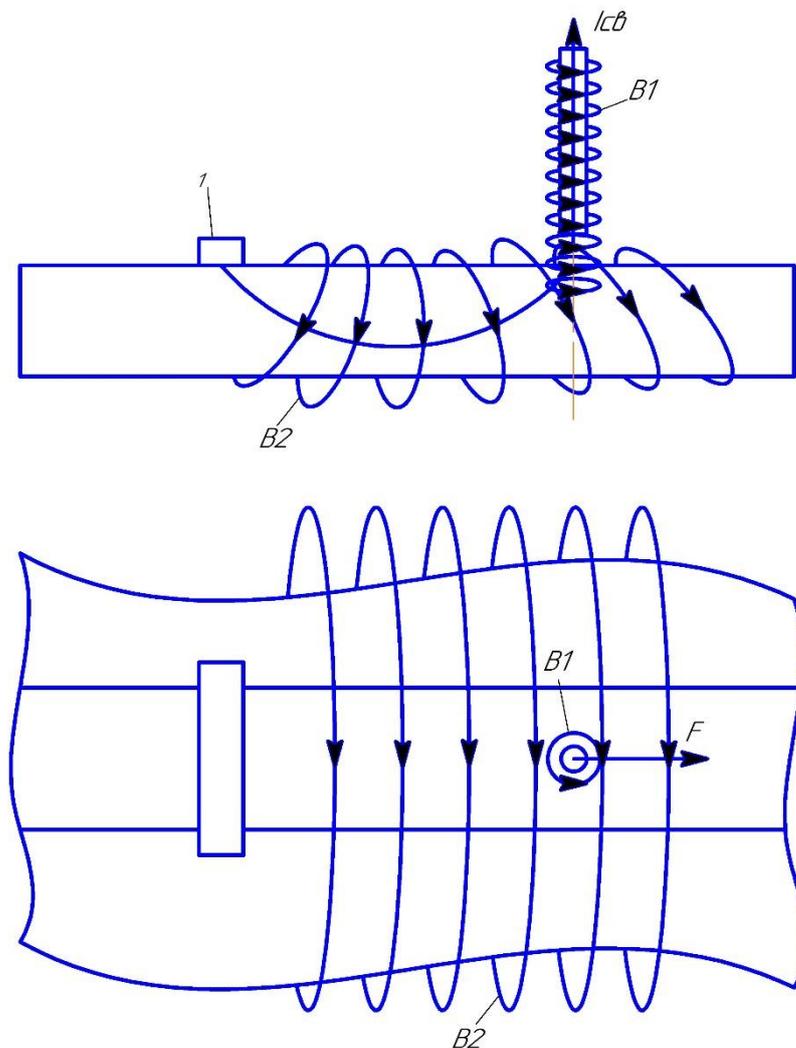


Рисунок 2 – Влияние магнитного поля на сварочную дугу

Влияние стороннего магнитного поля также сказывается на отклонение дуги от нормального положения. На рисунке 3 показано, как магнитное поле постоянного подковообразного магнита может создавать поперечное магнитное поле, в результате которого будет взаимодействовать с кольцевым магнитным полем, возникающим вокруг дуги при прохождении тока. В результате такого взаимодействия увеличивается напряжённость поля с той стороны дуги, где направление силовых линий совпадает, а со стороны, где силовые линии встречаются, напряжённость поля уменьшается. Появляется результирующая электромагнитная сила F , отклоняющая дугу в сторону. Если постороннее магнитное поле сильное, оно может совсем оборвать дугу [2].

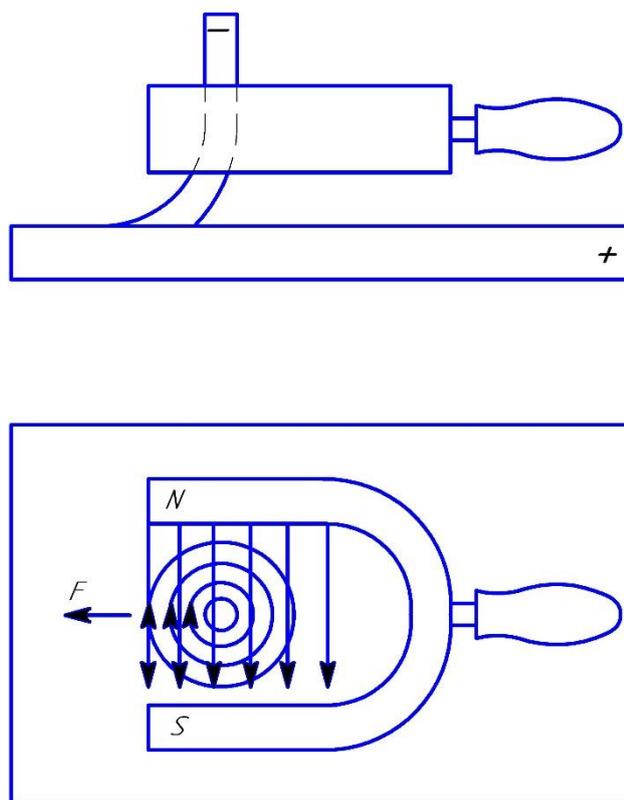


Рисунок 3 – Действие постоянного магнитного поля на сварочную дугу

На направление отклонения дуги влияет полярность подключения и направление стороннего магнитного поля. Если оно достаточно сильное, то может совсем оборвать дугу. Под действием магнитного поля небольшой напряженности дуга будет отколоться до тех пор, пока не наступит равновесие действующих на нее сил. Это состояние вызвано тем, что с отклонением дуги от нормального положения происходит ее деформация и магнитное поле с обеих сторон дуги уравнивается.

Магнитное дутье проявляется преимущественно при сварке дугой постоянного тока. При этом сила, отклоняющая дугу, растет пропорционально квадрату тока. Поэтому интенсивность явлений магнитного дутья быстро возрастает по мере увеличения сварочного тока, что ограничивает сварку постоянным током на высоких режимах [3].

При сварке постоянным током наличие вблизи дуги значительных ферромагнитных масс также может вызвать ее отклонения, относимые к эффекту «магнитное дутье». Такие отклонения обусловлены тем, что магнитная

проницаемость воздуха, и, соответственно, силовые линии магнитного поля сварочного контура проходят через них значительно легче, чем через воздух. Поэтому если вблизи дуги находится ферромагнитное тело, то концентрическое магнитное поле дуги искажается, оно оказывается менее сгущенным со стороны этого тела и более сгущенным с противоположной стороны дуги. Вследствие этого дуга отклоняется в сторону ферромагнитного тела. Это свойство дуги проявляется при сварке тавровых или стыковых соединений, когда приближение дуги к одному из свариваемых элементов сопровождается отклонением дуги в сторону этого элемента. Характерно, что влияние на дугу ферромагнитной массы может оказаться более интенсивным, чем влияние места токоподвода [3].

При увеличении массы ферромагнитного тела и уменьшении расстояния между телом и сварочной дугой, возникает более сильное искажение электромагнитного поля вокруг дуги и тем самым большее ее отклонение. Чтобы предотвратить отклонение дуги от воздействия ферромагнитного тела, можно рекомендовать размещение в соответствующем месте временного бруска ферромагнитных материалов для создания симметричного магнитного поля [3].

При сварке на переменном токе действие магнитного дутья значительно ослабляется. В этом случае изменяющийся по величине и направлению магнитный поток, созданный сварочным контуром и пронизывающий металл изделия, создает в нем систему замкнутых вихревых токов. Вихревые токи создают собственные переменные магнитодвижущие силы. Сдвинутую по фазе относительно сварочного тока. Результирующий магнитный поток, возникающий под действием геометрической суммы магнитодвижущих сил сварочного и вихревых токов, оказывается значительно меньшим, чем при постоянном токе, когда вихревые токи отсутствуют. Причем между результирующим магнитным потоком и сварочным током существует заметный сдвиг фаз, что также уменьшает эффект магнитного дутья. Поэтому даже при очень значительных переменных токах (1000-2000 А) действие магнитного дутья невелико [3].

1.2 Способы ликвидации магнитного дутья

Уменьшить магнитное дутье можно применением переносного или многостороннего токоподвода, варьированием наклоном электрода при сварке, наложением внешних магнитных полей, стабилизацией столба дуги потоком защитных газов, а также применением других приемов. Ни один из способов не является универсальным, поэтому в каждом конкретном случае необходимо опробовать несколько приемов и выбрать лучший [1].

Одним из самых распространённых методов, применяемых на практике, является изменение наклона электрода в направлении противоположном месту токоподвода (рис. 4). Этим способом можно заметно уменьшить отклонение дуги [3].

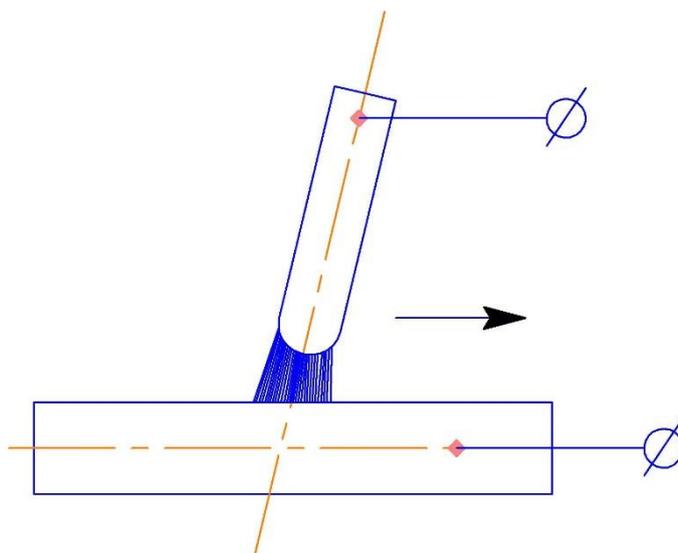


Рисунок 4 – Компенсация магнитного дутья с помощью наклона электрода

Для уменьшения отклонения, вызванного магнитным дутьем, дуги наряду с наклоном электрода в сторону отклонения дуги и перемещением токоподвода можно рекомендовать и временное размещение ферромагнитного материала в начале и в конце соединений для создания симметричного магнитного поля или замену постоянного тока переменным, при котором магнитное дутье значительно меньше [2].

1.3 Методы использования магнитного дутья для управления процессом сварки

Известен способ дуговой сварки, при котором уменьшение или изменение направления магнитного дутья дуги достигается благоприятным местом подключения тока к изделию перед сваркой.

В работе [5] для улучшения качества сварного соединения по предлагаемому способу, авторами предлагается при управлении процессом производить программное отклонение дуги под воздействием собственного магнитного поля, для чего в процессе сварки автоматические или вручную по заданной программе изменяют место подключения тока к изделию. Они предлагают поочередно подключать к источнику тока изделие в двух противоположных точках – в начале и в конце шва. Причем отключение и включение одной из точек целесообразно производить при подключенной другой для того, чтобы обеспечить непрерывность горения дуги и улучшить условия работы переключающих контактов. Частота и длительность переключения определяются технологической необходимостью отклонения дуги при сварке в широком диапазоне. Авторы работы [5] на рисунке 5 предлагают схему, которая позволяет изменять место подключения тока к изделию в двух точках, а на рисунке 6 схему отключения дуги под воздействием собственного магнитного поля при подключении тока к изделию в четырех точках.

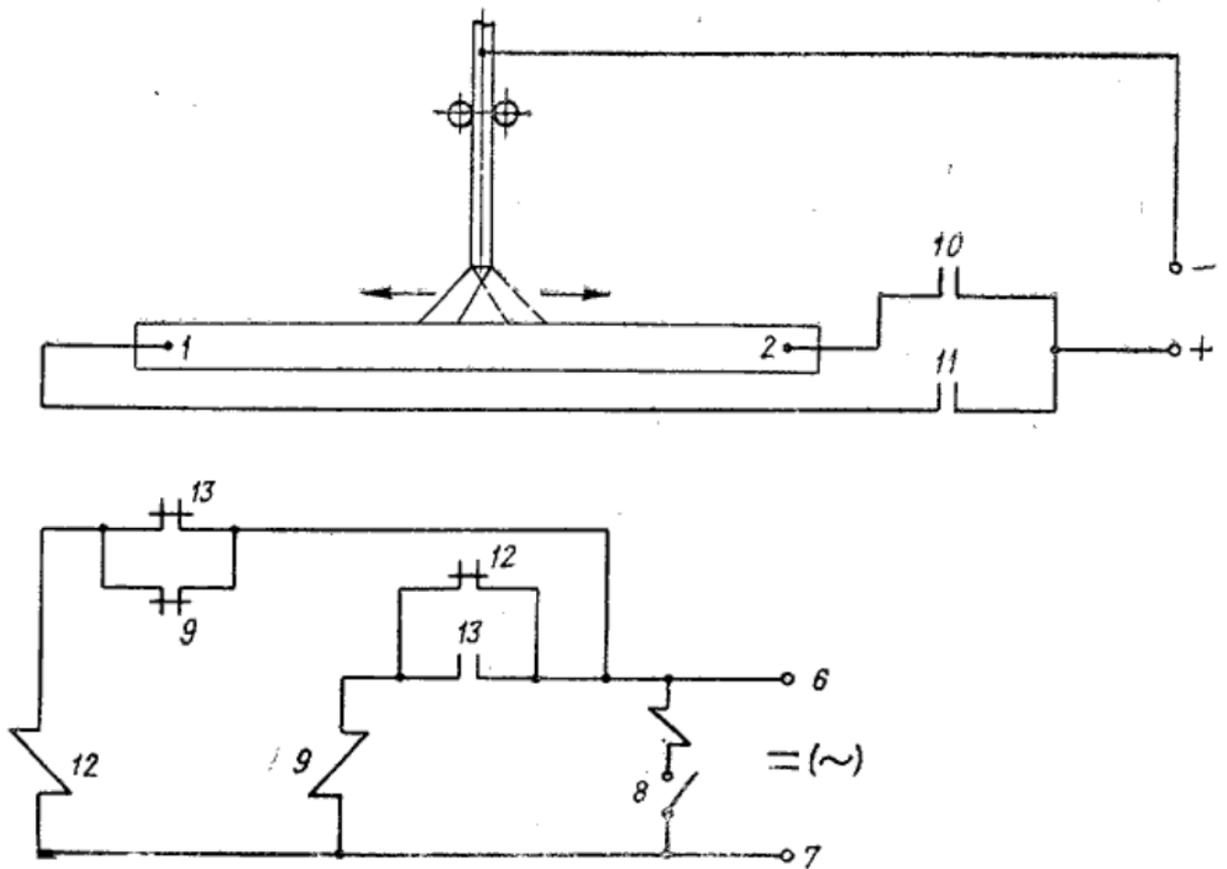


Рисунок 5 – Схема подключения токоподвода в двух точках

Поочередно подключая ток к изделию в точках 1-4, дуга 5 будет отклоняться в направлении стрелок А, Б, В, Г, что в общем будет придавать ей вращательное движение по часовой стрелке. Если же порядок изменить на обратный (1, 4, 3, 2), то дуга будет вращаться против часовой стрелки. Изменяя порядок подключения характерных точек на изделии, можно добиться движение дуги по самым разнообразным траекториям, которые будут обеспечивать наиболее высокое качество сварного шва. С целью обеспечения одинакового отклонения дуги поперек шва независимо от местоположения дуги места подключения тока к изделию (точки 2 и 4, рисунок ба) целесообразно перемещать синхронно с дугой с помощью скользящих контактов. В некоторых случаях рекомендуется подключать сварочный ток к изделию одновременно в нескольких точках (рисунок бб) от одного контактора.

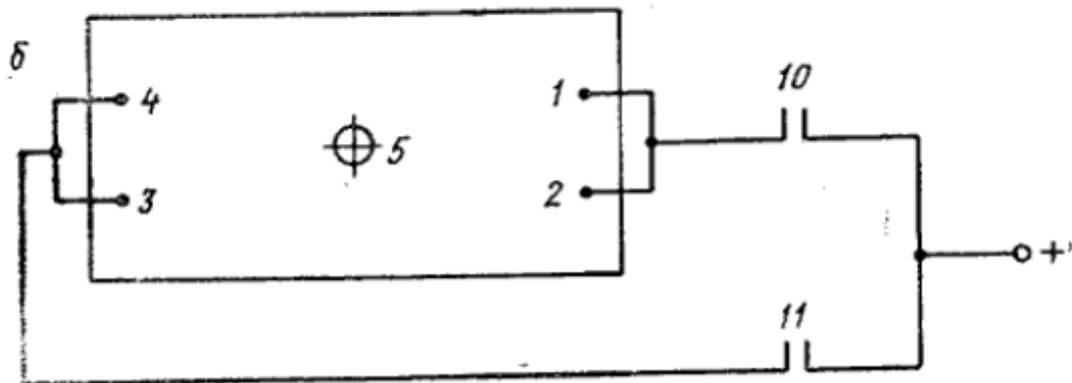
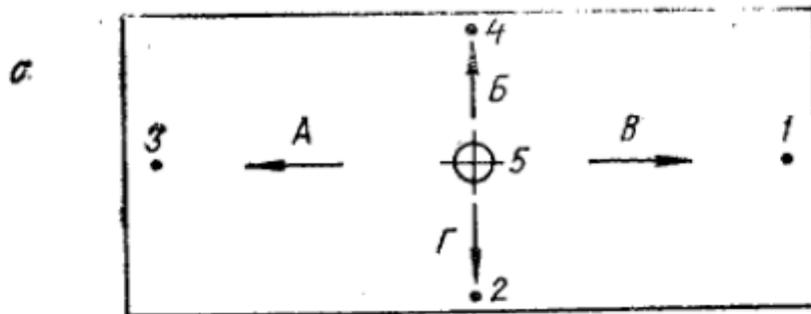


Рисунок 6 – Схема подвода тока в четырех точках

Вывод: Проведенный анализ влияния собственного магнитного поля на процесс сварки показал, что его можно использовать для управления формированием шва при импульсном питании сварочной дуги. Это позволяет сформулировать цель работы и задачи исследования.

2 Силы, действующие на сварочную ванну

Формирование сварочной ванны происходит под действием силы тяжести расплавленного металла P_M , давления источника теплоты (например, давления дуги) P_D и сил поверхностного натяжения P_{Π} , действующих на поверхности металла (рисунок 7). Характер действия этих сил зависит от положения сварки [6].

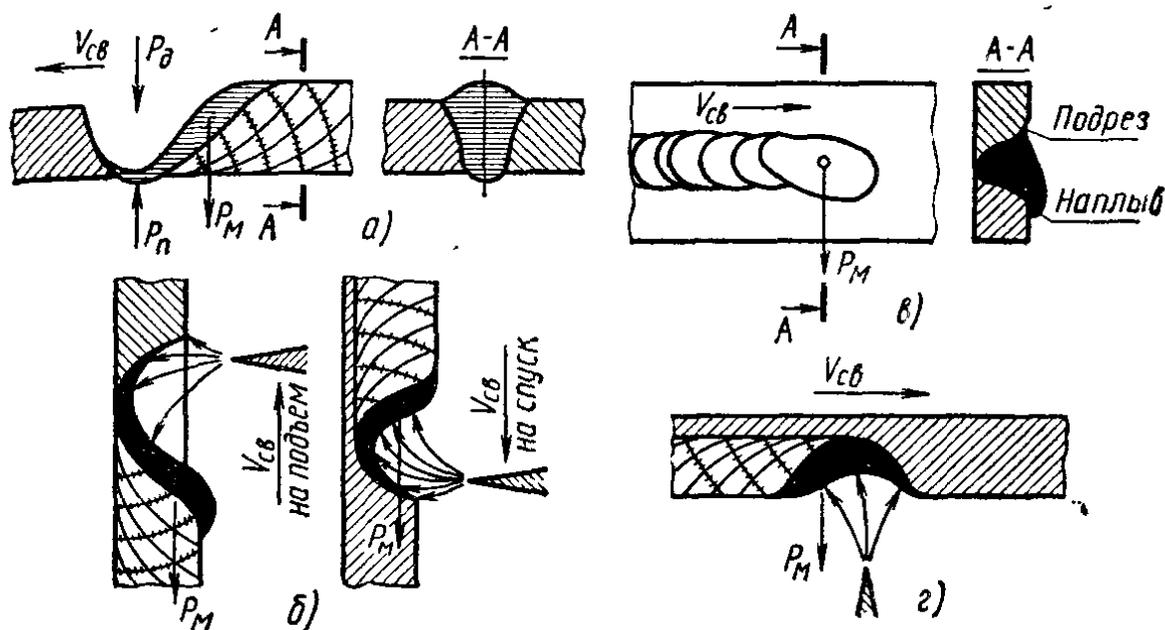


Рисунок 7 – Схема сил, действующих в сварочной ванне, и формирование шва в разных пространственных положениях: а – нижнее положение, б – вертикальное, в – горизонтальное, г – потолочное; $V_{св}$ – направление сварки

При сварке в нижнем положении при сквозном проплавлении жидкая ванна удерживается на весу силами поверхностного натяжения P_{Π} , которые уравнивают давление, оказываемое на ванну источником теплоты P_D , и силы тяжести (вес) жидкого металла P_M : $P_D + P_M = P_{\Pi}$.

В том случае, если сила тяжести расплавленного металла и сила давления источника теплоты превысят силы поверхностного натяжения, т.е. $P_D + P_M > P_{\Pi}$, произойдет разрыв поверхностного слоя в проплаве, и жидкий металл вытечет из ванны, образуя прижог.

В условиях движущейся сварочной ванны (во время сварки) возникают дополнительные гидродинамические силы, вызванные перемещением расплавленного металла в хвостовую часть ванны.

В случаях, когда силы поверхностного натяжения не могут уравновесить разрушающие силы, необходимо применять специальные меры – ограничивать объем сварочной ванны, применять сварку на подкладках, использовать удерживающие приспособления. Удерживание ванны от стекания имеет особенно важное значение при сварке в вертикальном и потолочном положениях. При сварке в вертикальном положении процесс можно вести сверху вниз (на спуск) и снизу вверх (на подъем). В обоих случаях сила тяжести ванны направлена вниз по продольной оси шва. При сварке на спуск, удерживанию ванны от стекания способствует давление дуги и силы поверхностного натяжения. При сварке на подъем ванна удерживается только силами поверхностного натяжения. При сварке в вертикальном положении для удержания ванны необходимо ограничивать тепловую мощность и размеры ванны.

Выполнение швов в потолочном положении осложняется не только опасностью стекания ванны. Возникает необходимость переноса присадочного металла в ванну в направлении, противоположном действию силы тяжести. При сварке в потолочном положении ванна удерживается силами поверхностного натяжения и давлением дуги. Для удержания ванны в потолочном положении также необходимо ограничивать ее объем.

Очень неблагоприятные условия формирования шва при выполнении горизонтальных швов на вертикальной плоскости. Расплавленный металл ванны натекает на нижнюю свариваемую кромку, что приводит к формированию несимметричного усиления шва, а также подрезов. При сварке горизонтальных швов предъявляются жесткие требования к сокращению размеров сварочной ванны.

2.1 Сила поверхностного натяжения

Сила поверхностного натяжения — это сила, действующая на линию разрыва поверхности, по касательной к поверхности раздела фаз, в направлении сокращения площади поверхности и перпендикулярно к линии разрыва [7].

Если бы поверхностная энергия была единственным видом энергии, определяющим поведение жидкости, то любая масса жидкости всегда должна была бы принимать такую форму, при которой площадь ее поверхность была бы наименьшей. Такой формой, очевидно, является сферическая поверхность, которая обладает минимальной площадью при заданном объеме жидкости.

Однако, кроме внутренних сил взаимодействия между частицами, из-за которых и возникают силы поверхностного натяжения, на жидкость обычно действуют еще и внешние силы. Это, во-первых, сила тяжести и, во-вторых, силы взаимодействия частиц жидкости с частицами среды раздела фаз. Поэтому действительная форма, которую принимает жидкость, определяется соотношением этих трех сил.

Рассмотрим каплю жидкости на поверхности твердого тела. Имеются три границы раздела фаз: твердое тело–жидкость, твердое тело–газ, жидкость–газ (см. рис. 1). Линия пересечения всех трех поверхностей раздела называется линией смачивания.

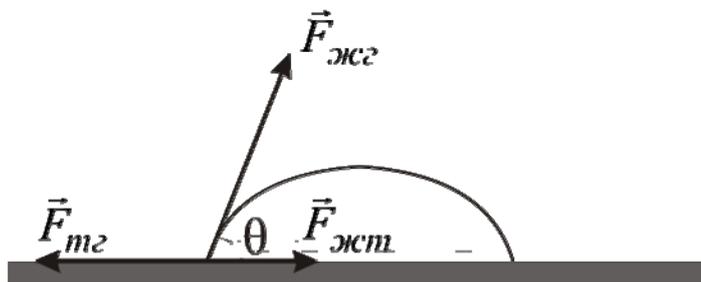


Рисунок 8 – Капля жидкости на поверхности твердого тела

Измеренный внутри жидкости угол между касательной к поверхности жидкости, проведенной через точку соприкосновения трех сред, и поверхностью твердого тела называется краевым углом смачивания. Его величина зависит от

сил взаимодействия между молекулами соприкасающихся сред. На рис. 8 показаны вектора сил, действующих на линию разрыва поверхности. При динамическом равновесии величины сил должны удовлетворять соотношению:

$$F_{mг} = F_{жст} + F_{жг} * \cos\Theta \quad (1)$$

здесь $F_{mг}$, $F_{жст}$, $F_{жг}$ - силы, действующие на линию разрыва по касательной к поверхностям раздела фаз твердое тело-газ, жидкость-твердое тело и жидкость-газ соответственно.

Включим теперь в рассмотрение гравитацию.

На первом рисунке угол смачивания равен $\sim 90^\circ$, то есть форма капли равновесная. Пятно контакта капли и поверхности твердого тела имеет теперь больший радиус R , чем радиус пятна r в отсутствие гравитации (при том же объеме капли) [8].

Наклоним теперь твердое тело так, чтобы оно образовало угол φ с горизонтом.

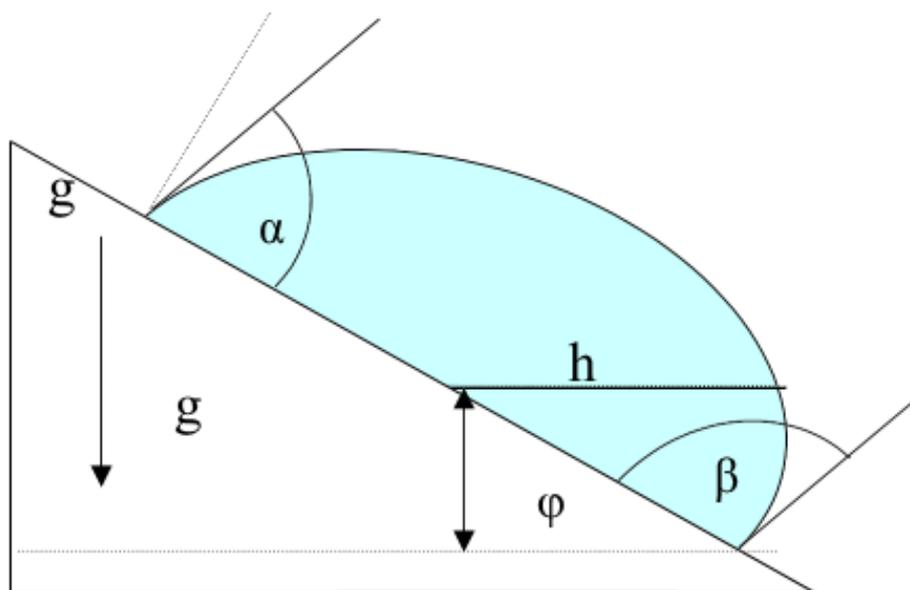


Рисунок 9 – Капля жидкости на наклонной поверхности твердого тела

На рисунке 9 показано, что углы, образованные поверхностью жидкости и поверхностью твердого тела в нижней и в верхней точках касания, капли и

твёрдого тела, не равны 90° . Угол в нижней части (β) больше 90° , а угол в верхней части (α) меньше 90° . При такой форме капли суммарная сила натяжения, действующая на каплю на всех участках линии границы её пятна контакта с твёрдым телом, направлена не перпендикулярно к поверхности твёрдого тела, а составляет с ней некоторый угол. Это обстоятельство и позволяет капле находиться в равновесии на наклонной поверхности твёрдого тела. Углы α и β не равны равновесному краевому углу смачивания, поэтому такое положение капли не является устойчивым. Достаточно несильно постучать по поверхности твёрдого тела рядом с каплей, и она придёт в движение.

Вывод: Интерпретируя данное исследование на процесс сварки, можно сделать вывод, что сварочная ванна, имеющая вытянутую форму вдоль сварного шва при сварке на спуск в вертикальном положении имеет меньшую роль сил поверхностного натяжения, что ведет к уменьшению критической массы сварочной ванны. Если же сварочная ванна будет растянута по переднему и заднему фронтам, силы поверхностного натяжения будут удерживать ее значительно больше, вследствие их большей протяженности. Также вследствие большей протяженности на единицу длины фронтов (переднего и кристаллизации) приходится меньшая доля веса сварочной ванны, что способствует ее удержанию.

3 Модель формирования сварного шва при изменении токоподвода к изделию

3.1 Растекание тока и его подвод

Особый интерес представляет управление формированием сварного шва с использованием собственного магнитного поля сварочной дуги при изменении токоподвода к изделию. Обычно магнитное дутье отрицательно влияет на формирование сварного шва и поэтому изменение его действия для создания положительного эффекта является перспективной задачей. Модель формирования сварного шва при изменении токоподвода к изделию может быть представлена в виде 4 подмоделей.

Поскольку в зоне дуги действуют явления и силы различного характера общую модель удобнее представить в составе следующих подмоделей, одна из них подмодель растекания тока и его подвода.

В работе [9] говорится о том, что вне зависимости от места подключения тока к изделию большая часть тока (около 70%) сосредоточена перед движущейся дугой. Объясняется это влиянием теплового поля сварки. Также происходит увеличение концентрации тока при углублении дуги в сварочную ванну. На рисунке 7 показана схема токоподвода при боковом несимметричном подключении.

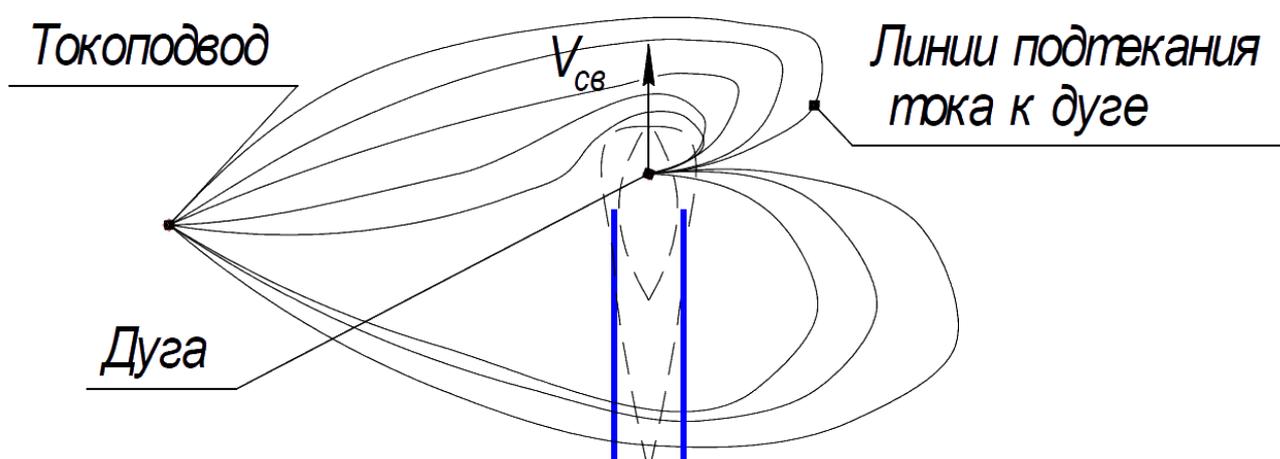


Рисунок 10 – Боковое несимметричное подключение токоподвода

3.2 Формирование магнитных полей.

В работе [10] описано влияние тока, протекающего по изделию на пространственное положение дуги. На рисунке 8а показано образование магнитных полей – магнитного поля B_1 , создаваемого током протекающего по дуге и электроду. И магнитного поля – B_2 создаваемого током дуги, который протекает по изделию. При взаимодействии B_1 и B_2 в задней части сварочной дуги образуется сгущение магнитных полей, а в головной части наоборот разряжение магнитных полей. И за счет сгущения в левой части и разряжения в правой части относительно электрода магнитных полей сварочную дугу выдувает в головную часть сварочной ванны т.е. вправо. При токоподводе с другой стороны картина формирования магнитных полей будет зеркальным отображением предшествующей картины.

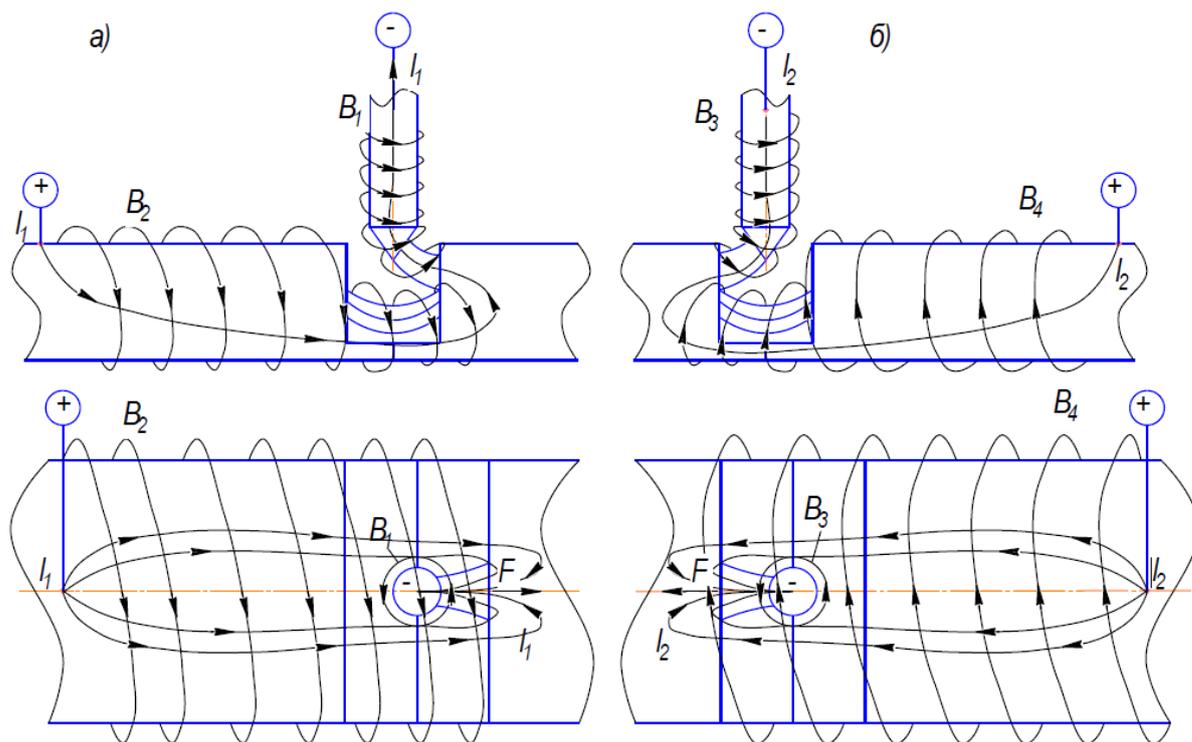


Рисунок 11 – Образование магнитного поля при протекании тока

3.3 Образование объемных электромагнитных сил

В работе [11] были проделаны опыты по формированию сварных швов при сварке от токоподвода и к токоподводу. Опыты показали, что при подводе тока непосредственно под электрод осесимметричное магнитное поле не изменяет положения жидкого металла. При сварке в направлении к токоподводу сварочная ванна вытесняется в противоположную сторону токоподвода. При сварке от токоподвода сварочная дуга вытесняется в кратерную часть ванны. Если сварка ведется от одного токоподвода к другому, то расплавленный металл занимает промежуточное положение.

Полученные данные свидетельствуют о том, что в зависимости от направления сварки относительно токоподвода образующиеся объемные силы могут изменять расположение сварочной ванны, следовательно, могут оказывать влияние на формирование шва [12].

На основании этого можно сказать, что силы, действующие на сварочную ванну применимы к предложенной нами модели – сварка от токоподвода рисунок 9.

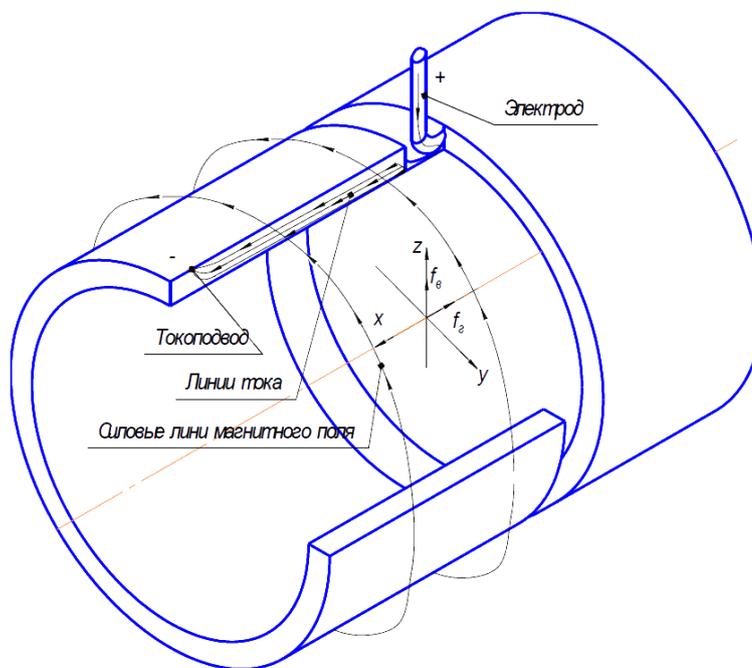


Рисунок 12 – Модель сварки от токоподвода

При сварке на жидкий металл действуют силы. На рисунке 9 показана сила f_{Γ} и $f_{\text{в}}$ горизонтальная и вертикальная силы соответственно. Таким образом, при сварке образуются объемные электромагнитные силы, которые действуют на жидкий металл. Эти силы стараются вытеснить расплавленный металл на противоположно направленную токоподводу стенку. При этом образуется пристеночный валик [12].

3.4 Формирование пристеночного валика

Схема формирования пристеночного валика показана на рисунке 10а, при этом дуга отклоняется в противоположную сторону от токоподвода. Это объясняется тем, что при протекании тока по проводнику образуется магнитное поле, как показано на рисунке 8а. В результате чего происходит отклонение дуги под действием магнитного поля дуги и изделия. При этом образуется вогнутый валик, образующий качественное сварное соединение. При подводе тока к изделию с другой стороны картина формирования валика будет зеркальная предшествующему. Вследствие чего образуется вогнутый валик [12].

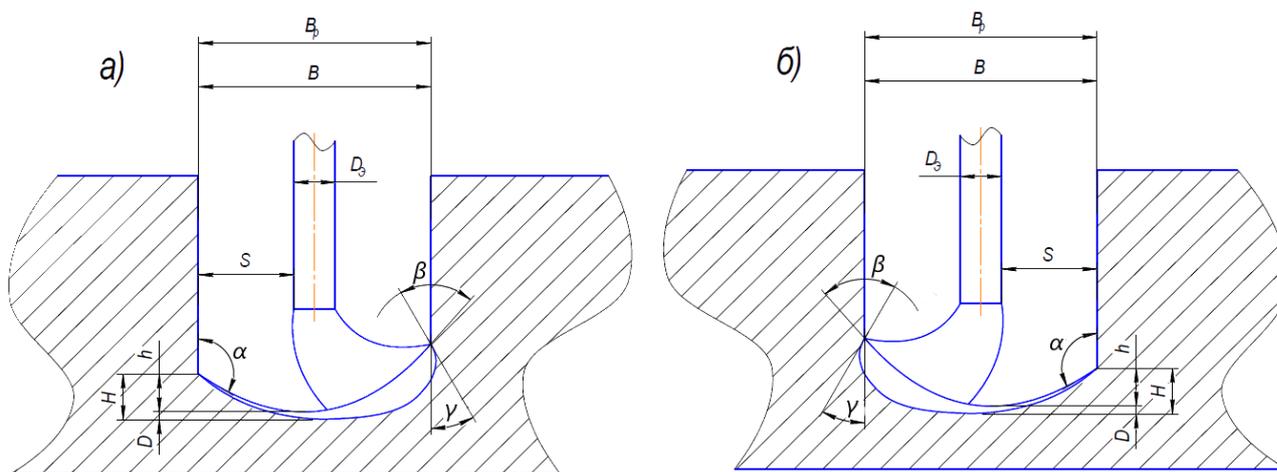


Рисунок 13 – Схема формирования пристеночных валиков

3.5 Влияние сил поверхностного натяжения

При сварке труб, в положениях отличных от нижнего, большую роль в формировании сварного шва играют силы поверхностного натяжения и сила тяжести сварочной ванны. При традиционных способах сварочная ванна имеет вытянутую форму вдоль сварного стыка, поэтому уменьшается роль сил поверхностного натяжения и уменьшается критическая масса сварочной ванны, что приводит к вытеканию сварочной ванны при положениях отличных от нижнего и, следовательно, приводит к дефектам в сварном шве [13].

Для удержания сварочной ванны используют изменение геометрии сварочной ванны, а именно: увеличение ширины сварочной ванны и уменьшение ее длины. Для этого применяют поперечные и продольные механические колебания сварочной горелки вдоль стыка, зигзагообразную проволоку (при автоматической сварке), поперечные колебания дуги переменным внешним магнитным полем, поперечные колебания дуги за счет переключения точек подвода тока к изделию [14]. При этом возрастает роль сил поверхностного натяжения и увеличивается критическая масса сварочной ванны, что приводит к качественному формированию сварного шва с заданной геометрией. При орбитальной сварке труб наиболее перспективным является управление формированием сварного шва с помощью собственного магнитного поля сварочной дуги за счет переключения точек подвода тока к изделию [15].

Применение процесса сварки с использованием собственного магнитного поля сварочной дуги является наиболее перспективным по сравнению с аналогами, приведенными выше, так как исключает колебания сварочной горелки и использование внешних магнитных полей, усложняющих зону технической части сварочной горелки, что приводит к снижению производительности процесса сварки. Достоинством является управление формированием сварного шва с помощью собственного магнитного поля сварочной дуги, протекающего по сварочной цепи: источник питания – электрод – сварочная дуга – изделие – токоподвод.

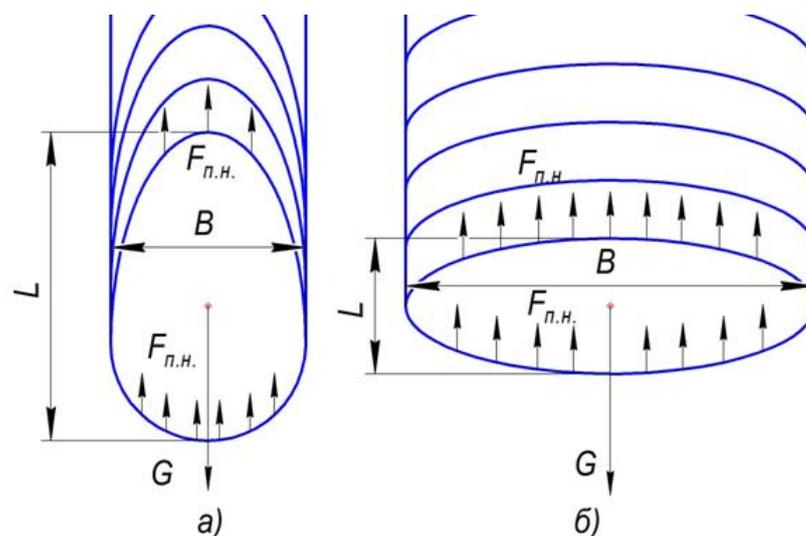


Рисунок 14 – Действие сил поверхностного натяжения при вытянутой – а) и при расширенной – б) форме сварочной ванны вдоль сварного шва ($F_{п.н.}$ – сила поверхностного натяжения, G – вес сварочной ванны, L и B – длина и ширина).

Вывод: практическая проверка данного способа управления показала, что отклонение дуги существенно зависит от величины сварочного тока. При импульсном питании дуги отклонение дуги будет определяться, только амплитудой импульсов сварочного тока и не зависит от среднего значения сварочного тока.

4 Специфика выполнения сварного соединения

4.1 Подготовка кромок

Качество подготовки кромок является главным фактором в получении качественного сварного соединения при автоматической сварке неповоротных стыков трубопроводов. Подготовка и сопряжение поверхностей труб при сварке должно быть достаточно точными для получения качественного соединения.

В научно-технической литературе [10, 11, 12] приводятся различные типы разделок. Некоторые из них представлены ниже:

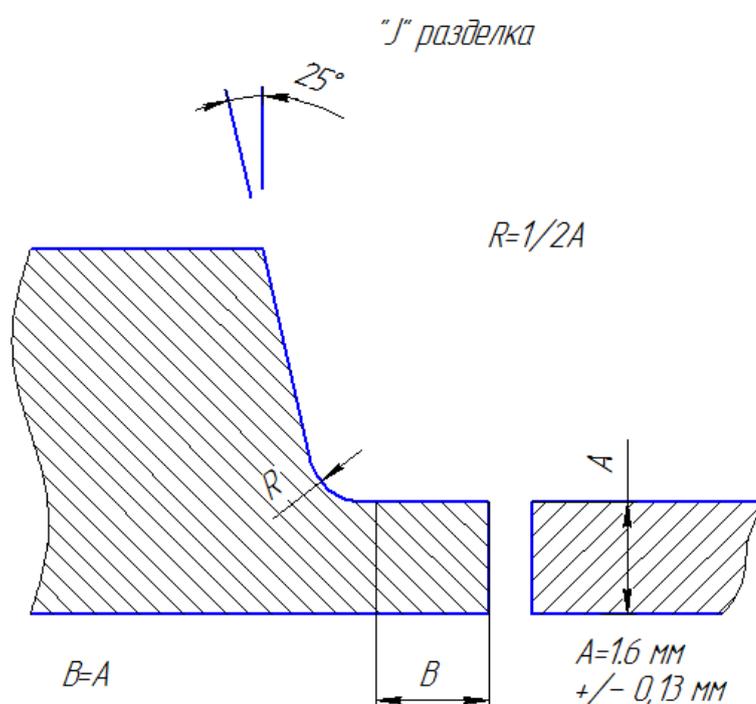


Рисунок 15 – “J” разделка

Основным параметром при такой разделке является равенство между размерами A и B . Радиус R зависит от наименьшей толщины стенки стыкуемых труб. Первый слой шва может быть выполнен без присадочного материала, либо с небольшим количеством присадочного материала. Если используется присадочный материал, то количество его должно быть таким, чтобы сварочная ванна не касалась стенок разделки.

При разделке без радиуса, форма разделки может иметь следующий вид:

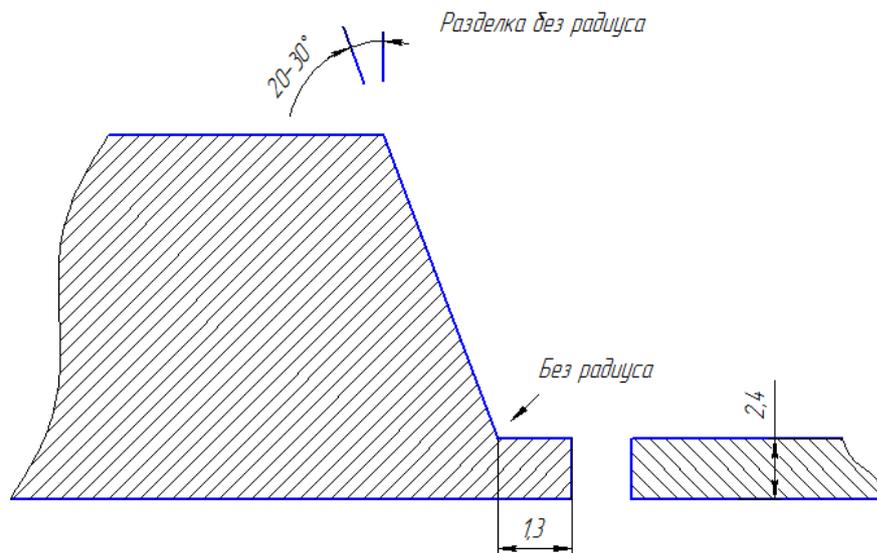
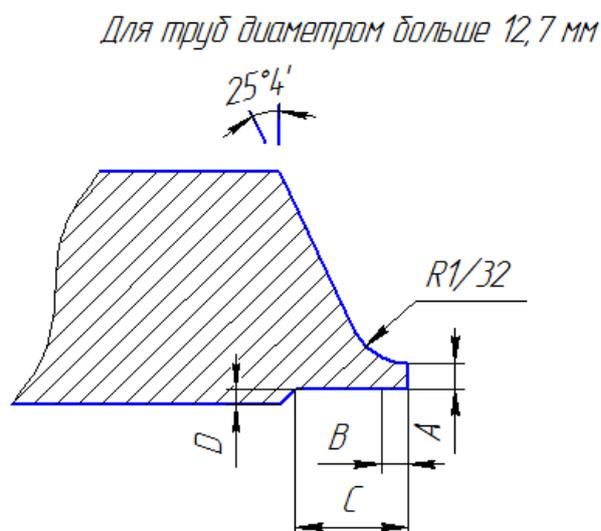


Рисунок 16 – Разделка без радиуса

Угол фаски должен лежать в пределах 20-30°. При выборе угла фаски руководствуются доступностью изготовления соединения и уменьшением количества присадочного материала, что влечет за собой уменьшение времени на сварку.

Существует другая форма разделки (рис. 17), а также другие с некоторыми различиями от рассмотренных.



$A=1,6 \pm 0,13$ мм; $B=A$; $C=6,4$ мм; D = выбираем из условия соблюдения размерности A

Рисунок 17 – Разделка для труб диаметром больше 12,7мм

Длительные технологические испытания при использовании выше перечисленных разделок показали, что в условиях современного состояния технологического производства энергетики применение их нецелесообразно по следующим причинам:

- Необходимо высокоточное механическое оборудование для обработки кромок
- Даже при наличии такого оборудования необходимо делать проточку изнутри трубы, чтобы обеспечить постоянство толщины полки на длине 6-8 мм и снаружи на длину обеспечивающую постановку центриатора при сборке
- Разделка (раскрытие) стыка получается широким, что требует поперечных колебаний сварочной головки или для заполнения – раскладку заполняющих валиков

Можно выделить два типа подготовок кромок, использование которых позволяет в значительной степени исключить отмеченные недостатки.

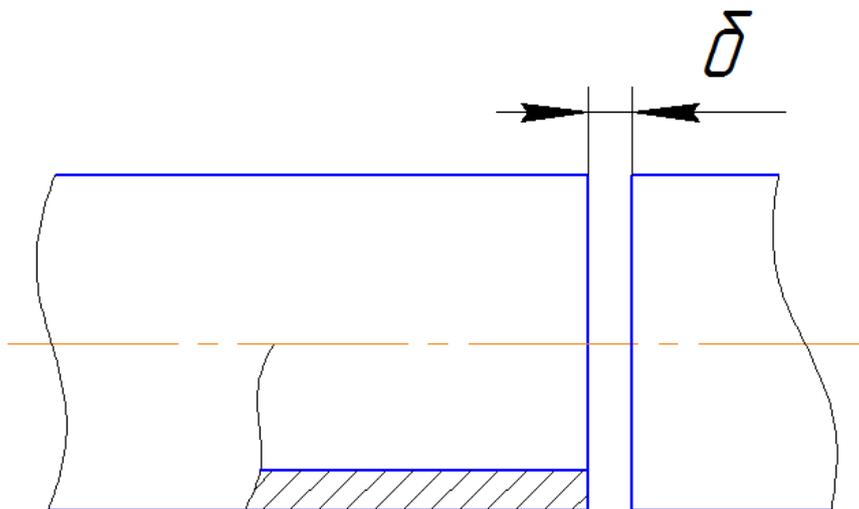


Рисунок 18 – Разделка без скоса кромок с зазором

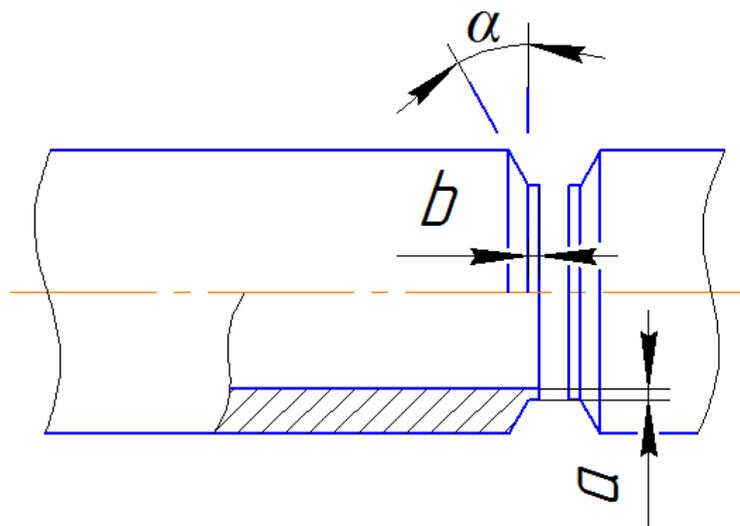


Рисунок 19 – Разделка без радиуса с зазором

При форме разделки на рис. 18 требуется только торцовка труб и выдержка постоянного зазора δ по торцам труб. При форме разделки, показанной на рис. 19 размеры a и b не являются критичными, они исключают прожоги, которые появляются при острых кромках.

Рассмотренные формы разделок позволяют выполнять шов за два прохода без поперечных колебаний при минимальном объеме присадочного материала.

Анализ основных применяемых форм разделки кромок для сварки показал, что оптимальной является форма разделки, показанная на рисунке 19, потому что позволяет сваривать заготовки стык в стык, исключая прожоги. При форме кромок на рис. 18 нужно выдерживать постоянный зазор и под действием сварочных деформаций он будет стягиваться во время сварки.

4.2 Сборка

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.

Для точной установки автомата на стык, подлежащий сварке, применяется переходной фланец, предназначенный для фиксации автомата на трубе. 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.

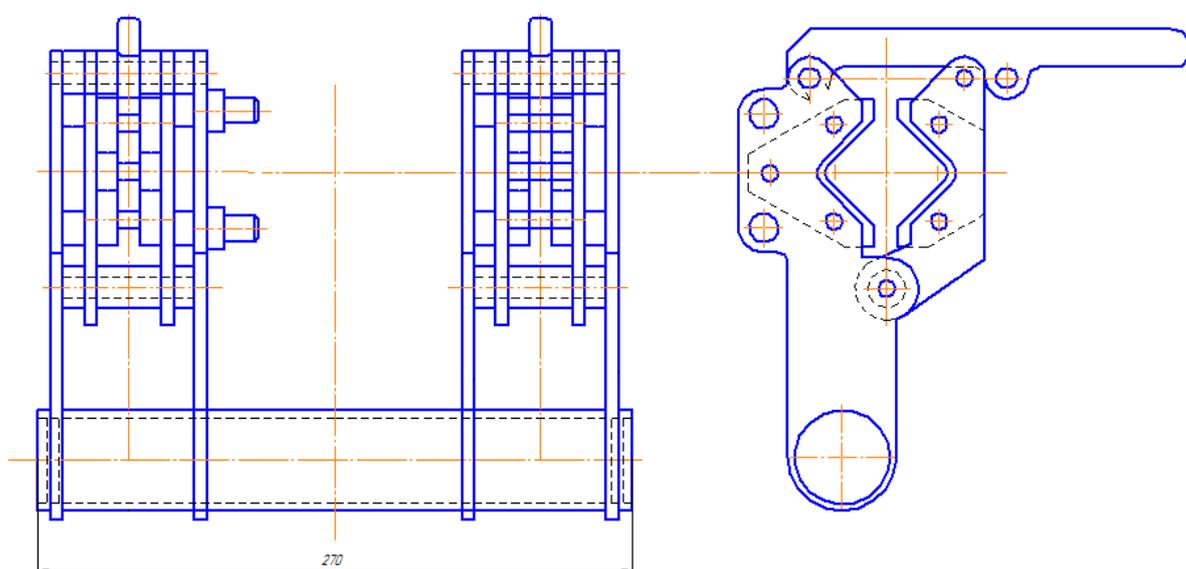


Рисунок 20 – Чертеж центратора

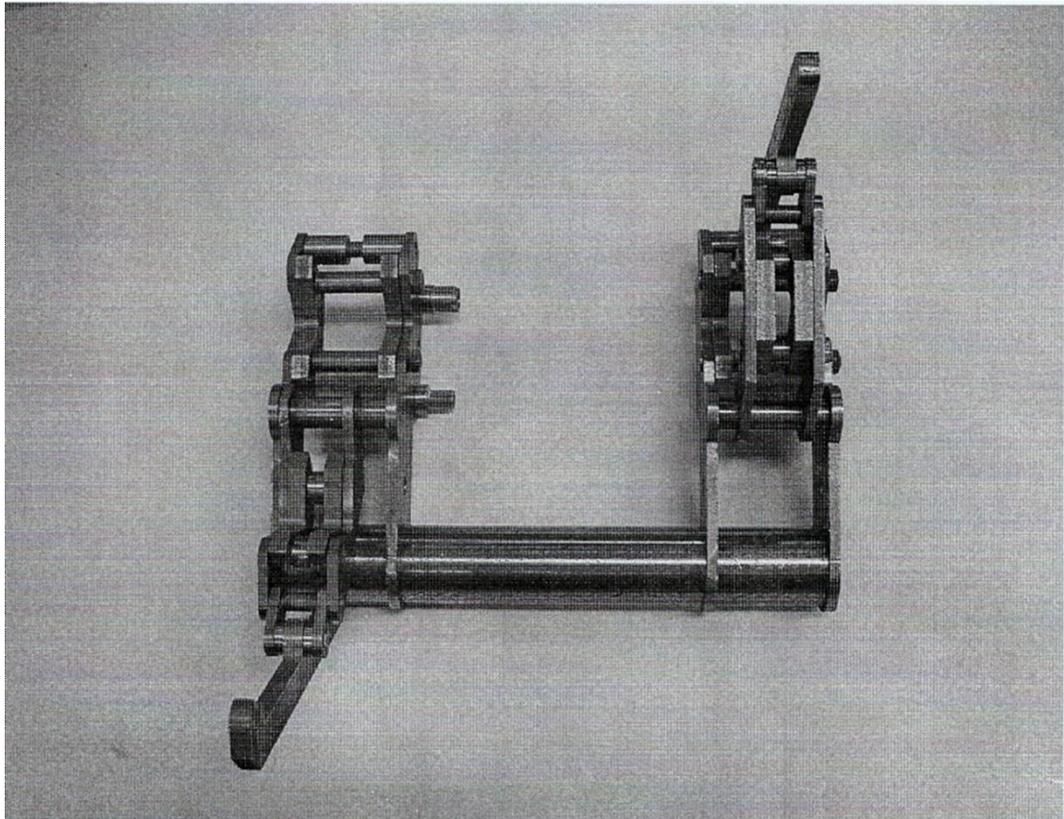


Рисунок 21 – Общий вид центратора

4.3 Технология сварки

Способы сварки магнитоуправляемой дугой показаны в работах [5, 16 и 17]. В каждой из них описан способ сварки магнитоуправляемой дугой.

В работе [17] описывается способ сварки магнитоуправляемой дугой. В этом способе создается поперечное магнитное поле за счет электромагнитной системы. И именно этим поперечным магнитным полем перемещают сварочную дугу поперек шва. Использование этого способа позволяет в широких пределах изменять форму проплава, не меняя при этом ширины шва, а также позволяет выполнять качественные сварные швы в труднодоступных местах. Однако, недостатком этого способа является необходимость применения дополнительного сложного оборудования, что увеличивает сложность и стоимость необходимого комплекса оборудования. Помимо этого, эффективность применения способа для сварки в труднодоступных местах будет

либо весьма мала, либо для достижения высокой эффективности должно использоваться дополнительное дорогостоящее оборудование. При сварке в труднодоступных местах, таких как узкая разделка, сварочная дуга вместе с горелкой расположены ниже уровня поверхности изделия. Для обеспечения высокой эффективности, и главное стабильности, воздействия внешнего поперечного магнитного поля на дугу электромагнитная система должна располагаться по высоте на уровне дуги. Поэтому обеспечить расположение электромагнитной системы на уровне дуги является сложно решаемой, дорогостоящей задачей, а полученное оборудование будет узкоспециализировано. Расположение же магнитной системы вне разделки, т.е. над поверхностью изделия, конечно, позволит создать в разделке магнитное поле, однако его параметры будут не стабильны и зависимы от величины погружения горелки в разделку, параметров конструкции изделия в зоне сварки, свойств материала изделия.

Также в работе [16] описывается способ сварки в защитном газе неплавящимся электродом магнитоуправляемой дугой. Так один полюс источника питания подается на неплавящийся электрод, и второй полюс подается на токоподвод, подключенный к изделию. В процессе сварки в каждый момент времени ток подводится к одной или нескольким точкам на поверхности изделия посредством токоподвода и производят периодическое или многократное изменение подключения тока к изделию. В процессе сварки в каждый момент времени ток подводится к одной или нескольким точкам на поверхности изделия посредством токоподвода и производят периодическое или многократное изменение места подключения тока к изделию. К недостаткам данного способа сварки можно отнести ограниченность применения способа сварки, т.е. способ может использоваться только для сварки неплавящимся электродом и плоских изделий. Также для хорошего скользящего контакта необходима специальная обработка поверхности. При этом громоздкость изделия и низкая частота переключения точек подвода тока к изделию (не более 4 Гц).

В работе [5] подключение тока к изделию с целью повышения качества сварного шва за счет программированного отклонения сварочной дуги производят также за счет периодического и многократного изменения места подключения тока к изделию. Способ может быть использован при сварке различных металлов и сплавов, как плавящимся, так и неплавящимся электродом. Данный способ также не лишен недостатков, это изменение характера переноса электродного металла при изменении режима сварки. Зависимость отклонения сварочной дуги под действием собственного магнитного поля от величины сварочного тока. Рекомендованное подключение к источнику тока последующей точки при не отключенной предыдущей снижает эффективность способа. Рекомендованное синхронное перемещение точек подключения с помощью скользящих контактов существенно усложняет реализацию способа.

С учетом анализа вышеперечисленных способов сварки магнитоуправляемой дугой, в данной работе разработан такой способ сварки, который устраняет вышеперечисленные недостатки и обеспечивает стабильное отклонение дуги при изменении точки подключения сварочного тока к изделию независимо от режима сварки, направленный перенос электродного металла и точное дозирование ввода тепла при каждом изменении точки подключения сварочного тока. Это обеспечит качественное формирование сварного шва и экономию по времени и ресурсам.

Таким образом, необходимо использовать импульсное питание сварочной дуги, которая будет питаться импульсами сварочного тока с номинальным значением тока для каждого конкретного электрода, при котором расплавляется и переносится капля электродного металла, а при сварке неплавящимся электродом расплавляется заданный объем металла в изделии.

На рисунке 22 приведена схема, которая позволяет изменять место подключения тока к изделию в двух точках, что обеспечивает отклонение сварочной дуги перпендикулярно к направлению сварки. Причем точки подключения тока 1 и 2 по возможности нужно располагать в отдалении от

сварного шва. На интервале между импульсами через дуговой промежуток протекает через сопротивление $R_1=R_2$ ток паузы I_p .

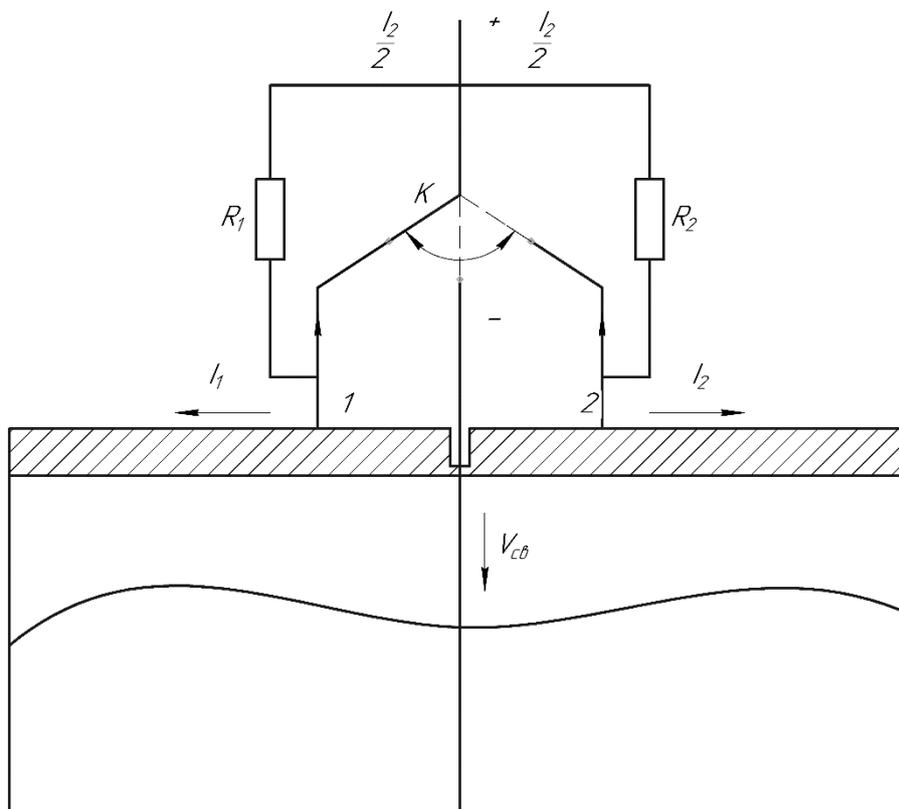


Рисунок 22 – Схема изменения точки подвода тока к изделию

Система импульсного питания сварочной дуги должна давать возможность сварщику сваривать в таком темпе, в котором он может (в пределах заданных технологической конструкцией), как это делается при достаточно пологой характеристике источника при сварке в непрерывном режиме.

В этом варианте в функции отклонения среднего напряжения дуги от заданного, автоматически реализует релейный режим. Дуга может гореть в непрерывном режиме при значении тока основного импульса или при значении тока основной паузы с наложением вспомогательных импульсов.

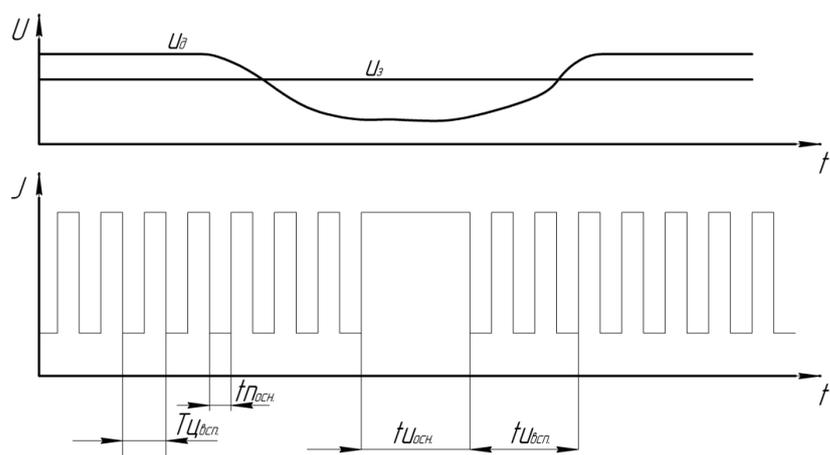


Рисунок 23 – Циклограмма (способ аргонодуговой сварки неплавящимся электродом реализующий релейный режим)

Длительность протекания основного тока и основной паузы автоматически и устанавливают в функции отклонения среднего напряжения дуги от заданного. При напряжении дуги меньше на 1,0В выше заданного автоматически снижают ток до тока паузы с наложением вспомогательных импульсов. Такой режим обеспечивает сварку малых толщин. Он удобен для обучения сварке модулированным током.

Вывод: С учетом анализа способов сварки магнитоуправляемой дугой, в данной работе разработан такой способ сварки, который устраняет недостатки существующих и обеспечивает стабильное отклонение дуги при изменении точки подключения сварочного тока к изделию независимо от режима сварки, направленный перенос электродного металла и точное дозирование ввода тепла при каждом изменении точки подключения сварочного тока. Это обеспечит качественное формирование сварного шва и экономию по времени и ресурсам.

5 Экспериментальная часть

5.1 Функциональная схема экспериментальной установки

Для проведения исследования импульсного питания сварочной дуги с автоматическим изменением точки подвода к изделию разработана экспериментальная установка, функциональная схема которой представлена ниже на рисунке

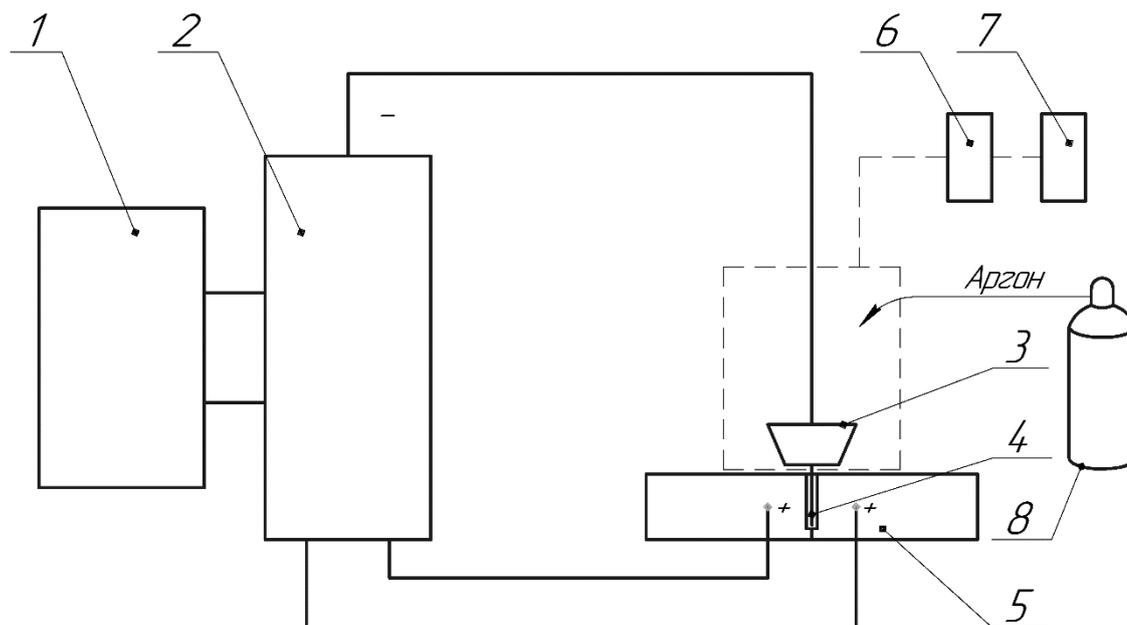


Рисунок 24 – Схема экспериментальной установки

На рисунке 24 показана схема экспериментальной установки, которая содержит: 1 – трехфазный выпрямитель 380 В.; 2 – модулятор; 3 – сварочная головка; 4 – неплавящийся электрод; 5 – изделие; 6 – механизм перемещения горелки; 7 – блок управления механизмом перемещения горелки; 8 – газовый баллон.

5.2 Формирование сварного соединения

Результат формирования корневого слоя шва без присадочной проволоки показан на рисунке 25. На рисунке 25(а) показан корневой слой шва, который

имеет плоскую форму обратного валика, на рисунке 52(б) показан корневой слой шва с усилением обратного валика 1 мм.



а)



б)

Рисунок 25 (а) – корневой слой шва с плоской формой обратного валика шва;
(б) – корневой слой шва с выпуклой формой обратного валика

На рисунке 26 представлено вырезанное стыковое сварное соединение трубы. Ширина сварного соединения равна 8 мм, направление сварки снизу-вверх. В ходе проведения эксперимента к каждому токоподводу одновременно подводился ток дежурной дуги 20 А и сила тока в импульсе 120 – 140 А, длительность импульса 0,2 с., длительность паузы 0,4 с., напряжение на дуге 12 В, скорость сварки 7,2 м/ч. Также было обеспечено расстояние от электрода до токоподвода не более чем 100 мм. Использовалась присадочная сварочная проволока Св-08ГСМТО диаметром 1,0 мм, вольфрамовый электрода 2 мм с углом заточки 35 градусов. Расход газа составил 7 л/мин, материал трубы – Сталь 20.

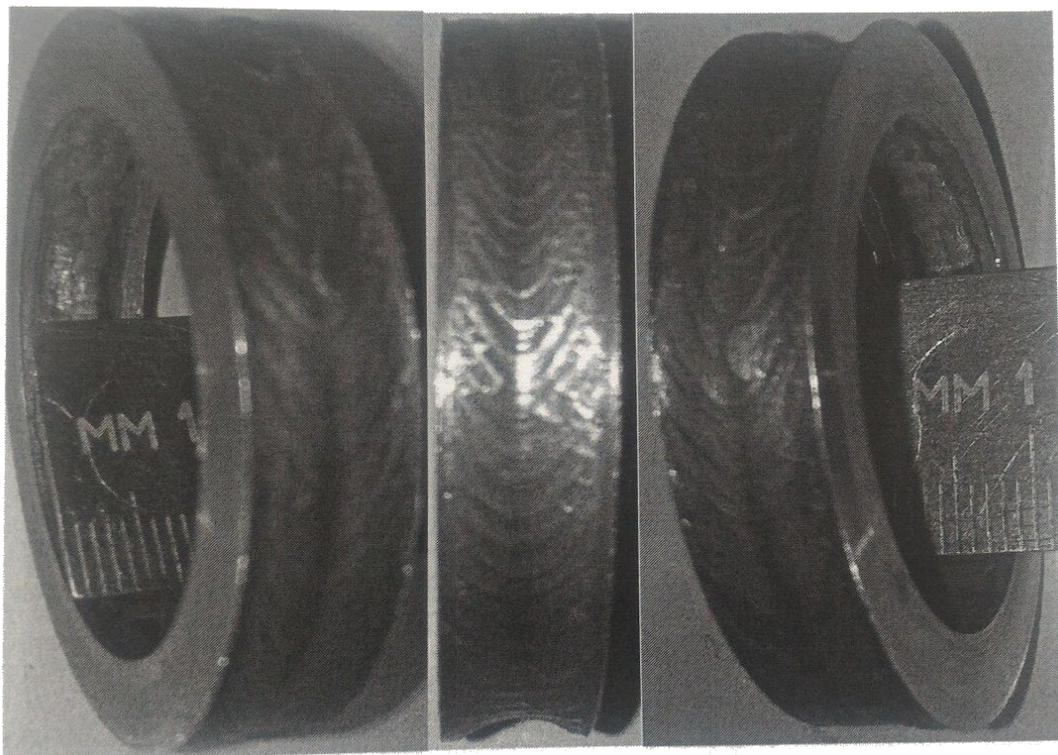


Рисунок 26 – Сварное соединение

Вывод: В результате проведенных экспериментов доказано, что предложенный новый способ сварки за счет двустороннего подвода тока и импульсного питания сварочной дуги дает возможность управления формированием слоев шва во всех пространственных положениях с гарантированным качеством. При этом данный способ позволяет автоматизировать процесс сварки стыков в щелевую разделку с заданной геометрией формы шва без вмешательства оператора в процесс сварки. Применение данного способа сварки дает положительный экономический эффект, основанный на снижении расхода сварочных материалов, электроэнергии, а также гарантированного качества сварного соединения без последующего его ремонта.

Также, в результате эксперимента образец получился с вогнутой формой корня шва, без подрезов, с плавным переходом к стенкам, без наплывов. Обратная сторона корня шва имеет равномерное усиление по всей окружности 0,8 мм, что является гарантированным признаком качества корня шва, это объясняется концентрированным вводом тепла в изделие. При данном способе

сварки корневого слоя шва исключается возникновение дефектов корня шва, исключается профессиональный навык сварщика.

6 Финансовый менеджмент, ресурсоемкость и ресурсосбережение

Введение

Объектом исследования в моей работе является «Разработка процесса аргонодуговой сварки неплавящимся электродом с управлением магнитным дутьем», выполняемая в рамках научно-исследовательской работы для организации. Основная задача работы состоит в том, чтобы разработать технологию автоматической дуговой сварки, которая будет использоваться для облегчения монтажа котельного оборудования, а именно труб поверхностного нагрева.

Целью данного раздела является сравнение предлагаемой технологии с технологиями, которые уже существуют и являются основными в этой сфере.

6.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

6.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Выпускная квалификационная работа по теме «Разработка процесса аргонодуговой сварки неплавящимся электродом с управлением магнитным дутьем» 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, управляемой собственным магнитным полем в связи с изменением токоподвода к изделию.

Таблица 6.1 - Сегментирование рынка

		Показатель		
		Нижний показатель	Средний показатель	Высокий показатель
Технологические показатели качества сварного соединения	Качество сварного шва	3	2	1
	Скорость сварки	2,3	2	1
	Количество брака при сварке	3	2	1,2

- 1 – Сварка неплавящимся электродом в аргоне магнитоуправляемой дугой;
 2 – Аргодуговая сварка;
 3 – Ручная дуговая сварка.

Результат сегментирования показал, что уровень конкуренции низок. Сварка неплавящимся электродом в аргоне дугой, горячей в динамическом режиме, как видно из сегментирования, хороший способ сварки, который может получать качественные сварные соединения.

6.1.2 Анализ конкурентных технических решений

Таблица 6.2 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

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 оценки ресурсоэффективности							
1. Удобство в эксплуатации	0,1	3	4	3	0,3	0,4	0,3

Продолжение таблицы 6.2

2. Затраты сварочного материала	0,1	5	3	4	0,5	0,3	0,4
3. Качество сварного соединения	0,3	5	4	3	1,5	1,2	0,9
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Цена	0,05	5	5	4	0,25	0,25	0,2
2. Предлагаемый срок эксплуатации	0,2	5	5	4	1	1	0,8
3. Конкурентоспособность	0,25	5	4	3	1,25	1	0,75
Итого:	1	28	26	21	4,8	4,15	3,35

Где сокращения: B_{ϕ} - Сварка неплавящимся электродом в аргоне магнитоуправляемой дугой; $B_{к1}$ - Аргонно-дуговая сварка; $B_{к2}$ - Ручная дуговая сварка.

Анализ конкурентоспособности технических решений определили по формуле:

$$K = \sum V_i \cdot B_i \quad (2)$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

V_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл показателя.

Таким образом, конкурентоспособность рассматриваемых продуктов составляет:

$$K_{\phi} = 0,3 + 0,5 + 1,5 + 0,25 + 1 + 1,25 = 4,8;$$

$$K_{к1} = 0,4 + 0,3 + 1,2 + 0,25 + 1 + 1 = 4,15;$$

$$K_{к2} = 0,3 + 0,4 + 0,9 + 0,2 + 0,8 + 0,75 = 3,35.$$

По результатам данного анализа можно сделать вывод, что разработка процесса аргодуговой сварки неплавящимся электродом с управлением магнитным дутьем является более выгодной и конкурентоспособной, чем методы конкурентов.

6.1.3 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.

Целью SWOT-анализа является определение всех сильных и слабых сторон научной разработки, которые рассматриваются как внутренние факторы, а также изучение внешних факторов, каковыми являются рыночные возможности и угрозы, для получения четкого представления основных направлений развития предприятия. На основе такого исследования организация должна максимально использовать свои сильные стороны, попытаться преодолеть слабости, воспользоваться благоприятными возможностями и защититься от потенциальных угроз.

Результаты исследований приведены в матрице SWOT (Таблица 6.3).

Таблица 6.3 – Матрица SWOT

Сильные стороны	Слабые стороны
<ul style="list-style-type: none"> • Отсутствие конкурентов на рынке; • Актуальность проекта; • Высокая производительность сварки; • Сокращения годового брака в 10 раз (в сравнении с РДС); 	<ul style="list-style-type: none"> • Отсутствие квалифицированного персонала, т.к. оператор может не знать особенностей процесса сварки; • Развитие новых технологий

Продолжение таблицы 6.3

Сильные стороны	Слабые стороны
<ul style="list-style-type: none"> • Снижение квалификации персонала, т.к. работу будет выполнять оператор; • Автоматизация процесса сварки. 	
Возможности	Угрозы
<ul style="list-style-type: none"> • Получение качественных сварных соединений; • Регулирование производительности; • Повышение эффективности сварки неплавящимся электродом. 	<ul style="list-style-type: none"> • Появление новых технологий • Введение дополнительных государственных требований и сертификации программы, что займет много времени.

Результаты SWOT-анализа учитываются при разработке структуры работ, выполняемых в рамках научно-исследовательского проекта.

6.2 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.

Таблица 6.4 – Морфологическая матрица

	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	Ar (высший сорт)	Ar (Сорт 1)	-
Д. Защитный газ	Ar	CO ₂	Ar

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.

6.3 Планирование научно-исследовательских работ

6.3.1 Структура работ в рамках научного исследования

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;

– построение графика проведения научных исследований.

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.

Таблица 6.5 – Перечень этапов работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работы	Должность исполнителя
Создание темы проекта	1	Составление и утверждение темы проекта	Руководитель темы
	2	Анализ актуальности темы	
Выбор направления исследования	3	Поиск и изучение материала по теме	Инженер
	4	Выбор направления исследований	Руководитель, инженер
	5	Календарное планирование работ	
Теоретические исследования	6	Изучение литературы по теме	Инженер
	7	Подбор нормативных документов	
Теоретические исследования	8	Изучения влияния магнитного дутья на процесс сварки	
Практические исследования	9	Сварка труб неплавящимся электродом с управлением магнитным дутьем	Руководитель, инженер
	10	Изучение полученных результатов	

Продолжение таблицы 6.5

Оценка полученных результатов	11	Анализ результатов	Руководитель, инженер
	12	Заключение	

6.3.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Трудовые затраты в большинстве случаев образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников научного исследования.

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{ожі}$ используется следующая формула:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{mini} + 2t_{maxi}}{5} \quad (3)$$

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

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

t_{maxi} – 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} , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями. Такое вычисление необходимо для обоснованного расчета заработной платы, так как удельный вес зарплаты в общей сметной стоимости научных исследований составляет 48%.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i} \quad (4)$$

где T_{pi} – продолжительность одной работы, рабочих днях;

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

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

6.3.3 Разработка графика поведения научного исследования

При выполнении дипломных работ студенты в основном становятся участниками сравнительно небольших по объему научных тем. Поэтому наиболее удобным и наглядным является построение ленточного графика проведения научных работ в форме диаграммы Ганта.

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:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}} \quad (5)$$

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

T_{pi} – продолжительность одной работы, рабочих днях;

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

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} \quad (6)$$

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

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

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

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

Все рассчитанные значения вносим в таблицу (табл. 5.6).

После заполнения таблицы 6.6 строим календарный план-график (табл. 6.7).

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 6.6 – Временные показатели проведения научного исследования

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

Исп.1 – Научный руководитель; Исп.2 – Инженер.

Таблица 6.7 – Календарный план-график проведения ВКР по теме

№ работ	Вид работ	Исполнители	T_{ki} , кал. дн.	Март			Апрель			Май		
				1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	Составление и утверждение проекта	Руководитель	3	■								
2	Анализ актуальности темы	Рук.-инж.	2		■							
3	Поиск и изучение материала темы	Инж.-рук.	3			■						
4	Выбор направления исследований	Руководитель	3				■					
5	Календарное планирование	Руководитель	3				■					
6	Изучение литературы по теме	Инженер	15				■	■	■			
7	Подбор нормативных документов	Инж.-рук.	6					■				
8	Изучение установки	Инженер	6						■			
9	Моделирование процесса	Инж.-рук.	3							■		
10	Изучение результатов	Инженер	5								■	
11	Проведение расчётов по теме	Инженер	11								■	■
12	Анализ результатов	Инж.-рук.	3									■
13	Вывод по цели	Инж.-рук.	4									■

■ - инженер; ■ - руководитель

6.4 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

При планировании бюджета НТИ должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением. В процессе формирования бюджета НТИ используется следующая группировка затрат по статьям:

- материальные затраты НТИ;
- затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- затраты научные и производственные командировки;
- контрагентные расходы;
- накладные расходы.

6.4.1 Расчет материальных затрат НТИ

Расчет материальных затрат НТИ осуществляется по следующей формуле:

$$Z_M = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{расхi} \quad (7)$$

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 6.8 Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество		Цена за ед., руб.		Затраты на материалы, (З _м), руб.	
		Исп. 1	Исп. 2	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 1	Исп. 2
Бумага	лист	150	100	2	2	345	230
Картридж для принтера	шт.	1	1	1000	1000	1150	1150
Интернет	М/бит (пакет)	1	1	350	350	402,5	402,5
Св-ая пр-ка	кг.	0,5	0,5	80	80	46	46
ПГ,СГ,ЗГ	лит.	1	1	12	12	13,8	13,8
Итого						1612,3	1612,3

6.4.2 Расчёт затрат на специальное оборудование для научных работ

В данную статью включают все затраты, связанные с приобретением специального оборудования (приборов, контрольно-измерительной аппаратуры, стендов, устройств и механизмов), необходимого для проведения работ по конкретной теме.

При приобретении спецоборудования необходимо учесть затраты по его доставке и монтажу в размере 15% от его цены.

Таблица 6.9 – Расчет бюджета затрат на приобретение спецоборудования для научных работ

№ п/п	Наименование оборудования	Количество ед. оборудования		Цена за ед. оборудования, тыс. руб.		Общая стоимость оборудования, тыс. руб.	
		Исп. 1	Исп. 2	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 1	Исп. 2
1	Источник питания	1	-	40	-	46	-
Итого:						46	-

6.4.3 Основанная 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 табл. 6.10.

Таблица 6.10 Расчет основной заработной платы

№ п/п	Наименование этапов	Исполнители по категориям	Трудоемкость, чел.-дн.		Зарплата, приходящаяся на один чел.-дн., тыс. руб.		Всего заработная плата по тарифу, тыс. руб.	
			Исп. 1	Исп. 2	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 1	Исп. 2
1.	Составление и утверждение темы проекта	Рук.	3	-	3,6	-	10,8	-
2.	Анализ актуальности темы	Рук.-инж.	2	2	3,6	0,8	7,2	1,6
3.	Поиск и изучение материала по теме	Инж.-рук.	3	3	3,6	0,8	10,8	2,4
4.	Выбор направления исследований	Рук.	3	-	3,6	-	10,8	-

Продолжение таблицы 6.10

5.	Календарное планирование работ	Рук.	3	-	3,6	-	10,8	-
6.	Изучение литературы по теме	Инж.	-	15	-	0,8	-	12
7.	Подбор нормативных документов	Инж.-рук.	5	6	3,6	0,8	18	4,8
8.	Изучение установки	Инж.	-	6	-	0,8	-	4,8
9.	Моделирование процесса	Инж.	-	3	-	0,8	-	2,4
10.	Изучение результатов	Инж.	3	5	3,6	0,8	10,8	4,8
11.	Проведение расчетов по теме	Инж.	-	11	3,6	0,8	-	8,8
12.	Анализ результатов	Инж.-рук.	3	3	3,6	0,8	10,8	2,4
13.	Вывод по цели	Инж.	4	4	3,6	0,8	14,4	3,2
Итого:							104,4	47,2

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).

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп} \quad (8)$$

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 48000 рублей, а студента 31700 рублей.

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн} \quad (9)$$

где $k_{доп}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12 – 0,2).

Таким образом, заработная плата руководителя равна 116 928 рублей, студента – 52 864 рублей.

6.4.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) \quad (10)$$

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

На 2014 г. в соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30,2%.

Таблица 6.11 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.
Руководитель	104 400	12 528
Студент-дипломник	47 200	5 664
Коэф. Отчислений	0,302	
Итого		
Руководитель	35 312,3 руб.	
Студент-дипломник	15 964,9 руб.	

6.4.5 Накладные расходы НТИ

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д. Их величина определяется по следующей формуле:

$$Z_{\text{накл}} = \left(\sum \text{статей} \right) \cdot k_{\text{нр}} \quad (11)$$

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:
 $Z_{\text{накл}} = 359214,3 \cdot 0,16 = 57474,288$ руб.

6.4.6 Формирование бюджета научно-исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы (темы) является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции.

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в табл. 6.12.

Таблица 6.12 – Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб.		Примечание
	Исп.1	Исп. 2	
1. Материальные затраты НТИ	1 612,3	1 612,3	Пункт 5.4.1
2. Затраты на специальное оборудование для научных работ	46 000	-	Пункт 5.4.2

Продолжение таблицы 6.12

3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	104 400	47 200	Пункт 5.4.3
4. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	12 528	5 664	Пункт 5.4.3
5. Отчисления во внебюджетные фонды	35 312,3	15 964,9	Пункт 5.4.4
6. Накладные расходы	31 976,5	11 270,6	16 % от суммы ст. 1-5
7. Бюджет затрат НТИ	231 829,1	81 711,8	Сумма ст. 1-6

6.5 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:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}} \quad (12)$$

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

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

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

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.1}} = \frac{313540,9}{323478,4} = 0,97;$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.2}} = \frac{323478,4}{323478,4} = 1;$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.3}} = \frac{293785,6}{323478,4} = 0,91.$$

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

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i \quad (13)$$

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

a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

b_i – 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 (табл. 6.13).

Таблица 6.13 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Объект исследования Критерии	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. ПГ,СГ,ЗГ	0,15	4	4	4
4. Модернизация установки	0,35	4	5	5
ИТОГО	1	4,5	3,6	4,1

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

$$I_{p-\text{исп2}} = 3 \cdot 0,25 + 2 \cdot 0,25 + 4 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,35 = 3,6;$$

$$I_{p-\text{исп3}} = 4 \cdot 0,25 + 3 \cdot 0,25 + 4 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,35 = 4,1.$$

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

$$I_{испi} = \frac{I_{р-испi}}{I_{финр}^{исп.i}} \quad (14)$$

$$I_{исп1} = \frac{4,5}{0,97} = 4,64;$$

$$I_{исп2} = \frac{3,6}{1} = 3,6;$$

$$I_{исп3} = \frac{4,1}{0,91} = 4,5.$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта (см. табл. 6.14) и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных. Сравнительная эффективность проекта ($\mathcal{E}_{ср}$):

$$\mathcal{E}_{ср} = \frac{I_{испi}}{I_{исп\ max}} \quad (15)$$

Таблица 6.14 Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,96	1	0,9
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,5	3,6	4,1
3	Интегральный показатель эффективности	4,64	3,6	4,5
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	0,77	0,96

Сравнив значения интегральных показателей эффективности можно сделать вывод, что реализация технологии в первом исполнении является более эффективным вариантом решения задачи, поставленной в данной работе с позиции финансовой и ресурсной эффективности.

7 Социальная ответственность

Введение

Объектом исследования в работе является «Формирование сварного шва при сварке с отдельным токоподводом к изделию», выполняемая в рамках научно-исследовательской работы для организации. Основная задача работы состоит в том, чтобы разработать технологию автоматической дуговой сварки, которая будет использоваться для облегчения монтажа котельного оборудования, а именно труб поверхностного нагрева.

7.1 Производственная безопасность

Таблица 7.1 - Опасные и вредные факторы при эксплуатации процесса сварки магнитоуправляемой дугой.

Источник фактора, наименование видов работ	Факторы (по ГОСТ 12.0.003-2015)		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
Проведение сварочных работ: 1) Сварка труб; 2) Проведение ремонтных работ по заварке дефектных мест.	1. Отклонение показателей микроклимата в производственных помещениях; 2. Повышенный уровень шума на рабочем месте; 3. Повышенный уровень вибрации; 4. Повышенная яркость света; 5. Повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей среды; 6. Недостаточная освещенность рабочей зоны	1. Повышенная температура поверхности; 2. Баллоны под давлением; 3. Электрический ток.	СанПиН 2.2.4.548–96, ГОСТ 12.1.003-2014, СН 2.2.4/2.1.8.566-96, ГОСТ 12.3.080-79, ГОСТ 12.1.005-88, СНиП 12-05-2010, ГОСТ 12.1.019-79, ГОСТ 12.1.005-88 , ГОСТ 12.2.032-78.

7.1.1 Отклонение показателей микроклимата в производственных помещениях

Оптимальные микроклиматические условия установлены по критериям оптимального теплового и функционального состояния человека. Они обеспечивают общее и локальное ощущение теплового комфорта в течении 8-часовой рабочей смены.

Недостаточная влажность, в свою очередь, может негативно отражаться на организме, становясь причиной пересыхания и растрескивания кожи и слизистой, а также последующего заражения болезнетворными микроорганизмами. Повышенный показатель относительной влажности вызывает перегрев организма. Длительное воздействие высокой температуры при повышенной влажности может привести к гипертермии, или накоплению теплоты и перегреву организма, а пониженные показатели температуры, особенно при повышенной влажности воздуха, могут быть причиной гипотермии, или переохлаждения.

Оптимальные параметры микроклимата на рабочих местах должны соответствовать величинам, приведенным в табл. 7.2, применительно к выполнению работ различных категорий в холодный и теплый периоды года. Перепады температуры воздуха по высоте и по горизонтали, а также изменения температуры воздуха в течение смены при обеспечении оптимальных величин микроклимата на рабочих местах не должны превышать 2°C и выходить за пределы величин [23].

Таблица 7.2.1 – Оптимальные величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений

Температура воздуха, °С	Влажность воздуха, % относ.	Скорость движения воздуха, м/с
19-22	40-60	0,2

Таблица 7.2.2 – Допустимые величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений

Температура воздуха, °С	Влажность воздуха, % относ.	Скорость движения воздуха, м/с
15-28	20-80	0,5

В целях профилактики неблагоприятного воздействия микроклимата должны быть использованы защитные мероприятия (например, системы местного кондиционирования воздуха, воздушное душирование, компенсация неблагоприятного воздействия одного параметра микроклимата изменением другого, спецодежда и другие средства индивидуальной защиты, помещения для отдыха и обогрева, регламентация времени работы, в частности, перерывы в работе, сокращение рабочего дня, увеличение продолжительности отпуска, уменьшение стажа работы и др.).

7.1.2 Повышенный уровень шума на рабочем месте

Повышенный шум на рабочем месте оказывает вредное влияние на организм работника в целом, вызывая неблагоприятные изменения в его органах и системах. Длительное воздействие такого шума способно привести к развитию у работника потери слуха, увеличению риска артериальной гипертензии, болезней сердечно-сосудистой, нервной системы и др. При этом специфическим клиническим проявлением вредного действия шума является стойкое нарушение слуха (тугоухость), рассматриваемое как профессиональное заболевание.

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 шума не должен превышать 80 дБА [24].

Уменьшение влияния данного фактора возможно с помощью использования средств коллективной и индивидуальной защиты.

В качестве СКЗ используются:

- изоляции источников шумов;
- установка в помещениях звукопоглощающих конструкций и экранов;
- применения глушителей аэродинамического шума;
- звукопоглощающих облицовок в газоздушных трактах вентиляционных систем с механическим побуждением;
- систем кондиционирования воздуха.

В качестве СИЗ используются:

- специальные наушники;
- вкладыши в ушную раковину;
- противошумные каски, защитное действие которых основано на изоляции и поглощении звука.

7.1.3 Повышенный уровень вибрации

Основным источником вибраций является электросварочное оборудование.

Предельно допустимые величины нормируемых параметров производственной локальной вибрации при длительности вибрационного воздействия 480 мин (8 ч) приведены в табл. 7.3 [25].

Таблица 7.3 – Предельно допустимые значения производственной локальной вибрации

Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц	Предельно допустимые значения по осям			
	виброускорения		виброскорости	
	м/с ²	дБ	м/с ² ·10 ²	дБ
8	1,4	123	2,8	115
16	1,4	123	1,4	109

Продолжение таблицы 7.3

31,5	2,8	129	1,4	109
63	5,6	135	1,4	109
125	11,0	141	1,4	109
250	22,0	147	1,4	109
500	45,0	153	1,4	109
1000	89,0	159	1,4	109
Корректированные и эквивалентные корректированные значения и их уровни	2,0	126	2,0	112

Методами борьбы с вибрациями машин и оборудования являются:

- снижение вибраций воздействием на источник возбуждения (посредством снижения или ликвидации вынуждающих сил);
- отстройка от режима резонанса путем рационального выбора массы или жесткости колеблющейся системы;
- динамическое гашение колебаний – присоединение к защищаемому объекту системы, реакции которой уменьшают размах вибрации объекта в точках присоединения системы;
- изменение конструктивных элементов машин и строительных конструкций.
- Установка на отдельные фундаменты, не связанные с каркасом здания, оборудования, создающие значительные нагрузки.
- Средства индивидуальной защиты (СИЗ) от вибраций: защитные перчатки, рукавицы, прокладки, вкладыши, защитная обувь, стельки и подметки.

7.1.4 Освещенность рабочей зоны

Недостаточная освещенность может стать причиной неадекватного восприятия человека технологического процесса, его утомления, а также вызвать

пульсирующие головные боли. Нормирование значений освещенности рабочей поверхности при сварочных работах помещения составляет 200 лк [26].

Правильно спроектированное и выполненное освещение обеспечивает высокий уровень работоспособности, оказывает положительное психологическое действие на человека и способствует повышению производительности труда.

На рабочей поверхности должны отсутствовать резкие тени, которые создают неравномерное распределение поверхностей с различной яркостью в поле зрения, искажает размеры и формы объектов различия, в результате повышается утомляемость и снижается производительность труда.

Для защиты от слепящей яркости видимого излучения (факел плазмы в камере с катализатором) применяют защитные очки, щитки, шлемы. Очки на должны ограничивать поле зрения, должны быть легкими, не раздражать кожу, хорошо прилегать к лицу и не покрываться влагой.

Расчёт общего равномерного искусственного освещения горизонтальной рабочей поверхности выполняется методом коэффициента светового потока, учитывающим световой поток, отражённый от потолка и стен. Длина помещения $A = 15$ м, ширина $B = 15$ м, высота = 5 м. Высота рабочей поверхности над полом $h_p = 2$ м. Согласно СП 52.13330.2011 необходимо создать освещенность не ниже 200 лк, в соответствии с разрядом зрительной работы.

Площадь помещения:

$$S = A \cdot B, \quad (16)$$

где A – длина, м;

B – ширина, м.

$$S = 15 \cdot 15 = 225 \text{ м}^2.$$

Коэффициент отражения свежепобеленных стен с окнами, без штор $\rho_c = 50\%$, свежепобеленного потолка $\rho_p = 70\%$. Коэффициент запаса, учитывающий загрязнение светильника, для помещений с малым выделением

пыли равен $K_3 = 1,5$. Коэффициент неравномерности для люминесцентных ламп $Z = 1,1$.

Выбираем лампу тёпло-белого света ЛД-40, световой поток которой равен $\Phi_{ЛД} = 2300$ 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:

$$h = h_n - h_{pn}; \quad (17)$$

$$h = 4,7 - 2,0 = 2,7 \text{ м,}$$

где h_n – высота светильника над полом, высота подвеса,

h_{pn} – высота рабочей поверхности над полом.

Наименьшая допустимая высота подвеса над полом для двухламповых светильников ОДОР: $h_n = 4$ м.

Расстояние между соседними светильниками или рядами определяется по формуле:

$$L = \lambda \cdot h; \quad (18)$$

$$L = 1,1 \cdot 2,7 = 2,97 \text{ м.}$$

Число рядов светильников в помещении:

$$N_b = \frac{B}{L}; \quad (19)$$

$$N_b = \frac{15}{2,97} = 5,05 \sim 5$$

Число светильников в ряду:

$$N_a = \frac{A}{L}; \quad (20)$$

$$N_a = \frac{15}{2,97} = 5,05 \sim 5$$

Общее число ламп светильников:

$$N = 2 \cdot N_a \cdot N_b; \quad (21)$$

$$N = 2 \cdot 5 \cdot 5 = 50 \text{ ламп или } 25 \text{ светильников.}$$

Для схематического изображения размещения светильников необходимо рассчитать расстояние вдоль стен и от торца помещения:

$$L = N_a \cdot L_1 + \frac{2}{3} \cdot L_1 + N \cdot L_{lam}; \quad (22)$$

Соответственно расстояние от торца ламп до стены обозначаем L_2 , а L_1 – расстояние до другой стены.

Согласно «Практикум БЖД 2009» равномерность освещения обеспечивается расстоянием от крайних светильников до стенок $= L/3$.

Составим уравнение с 1 неизвестной:

$$15000 = 4 \cdot L_1 + \frac{2}{3} \cdot L_1 + 5 \cdot 265;$$

$$15000 = 4 \cdot L_2 + \frac{2}{3} \cdot L_2 + 5 \cdot 1227;$$

Отсюда:

$$15000 - 5 \cdot 265 = \left(4 + \frac{2}{3}\right) \cdot L_1;$$

$$15000 - 5 \cdot 1227 = \left(4 + \frac{2}{3}\right) \cdot L_2;$$

Следовательно, получим уравнения:

$$L_1 = \frac{15000 - 5 \cdot 265}{4 + \frac{2}{3}} = 2930 \text{ мм};$$

$$L_2 = \frac{15000 - 5 \cdot 1227}{4 + \frac{2}{3}} = 1900 \text{ мм.}$$

Расстояние от торцов – l

$$l_1 = \frac{2930}{3} = 980 \text{ мм;}$$

$$l_2 = \frac{1900}{3} = 635 \text{ мм.}$$

Размещаем светильники в пять рядов. На рисунке изображен план помещения и размещения светильников с люминесцентными лампами.

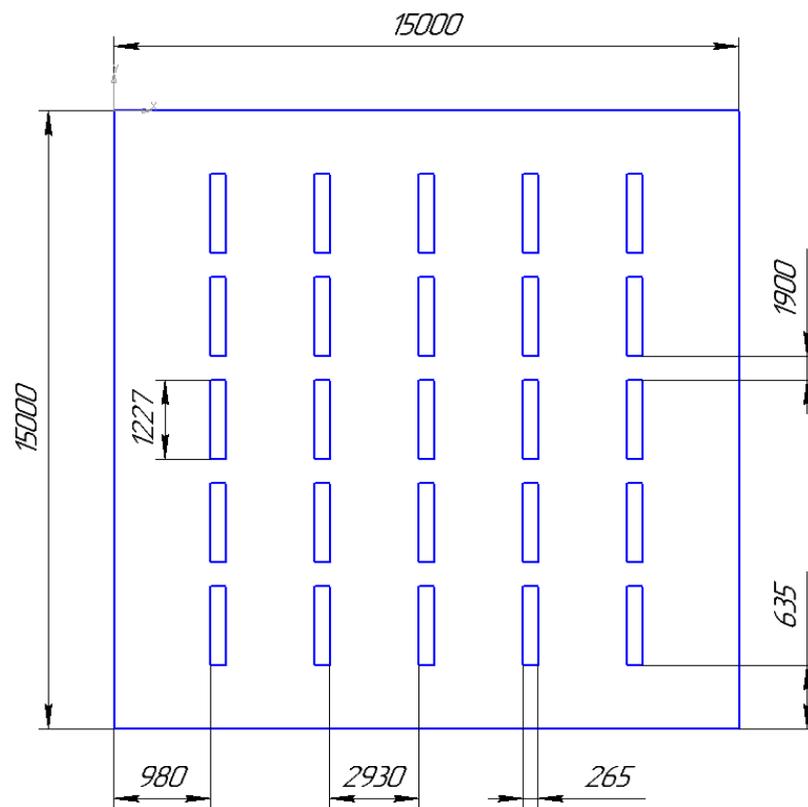


Рисунок 27 – План помещения и размещения светильников с люминесцентными лампами.

Индекс помещения определяется по формуле:

$$i = A \cdot \frac{B}{h} \cdot (A + B) \quad (23)$$

$$i = 15 \cdot 15 / 2,7 \cdot (15 + 15) = 2,78$$

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 $i = 2,78$ равен $\eta = 0,66$.

Потребный световой поток группы люминесцентных ламп светильника определяется по формуле:

$$\Phi_{\text{П}} = E \cdot A \cdot B \cdot K_3 \cdot Z / N \cdot \eta \quad (24)$$

$$\Phi_{\text{П}} = 200 \cdot 15 \cdot 15 \cdot 1,5 \cdot 1,1 / 50 \cdot 0,66 = 2250 \text{ лм}$$

Делаем проверку выполнения условия:

$$-10\% \leq \frac{\Phi_{\text{ЛД}} - \Phi_{\text{П}}}{\Phi_{\text{ЛД}}} \cdot 100\% \leq 20\%; \quad (25)$$

$$\frac{\Phi_{\text{ЛД}} - \Phi_{\text{П}}}{\Phi_{\text{ЛД}}} \cdot 100\% = \frac{2300 - 2250}{2300} \cdot 100\% = 2,17\%$$

Таким образом: $-10\% \leq 2,17\% \leq 20\%$, необходимый световой поток светильника не выходит за пределы требуемого диапазона.

7.1.5 Повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей среды

При сварке в качестве защитного газа используется аргон. В связи с тем, что этот газ тяжелее воздуха, это может привести к накоплению его в помещениях, которые трудно проветривать.

Согласно паспорту химической продукции "Паспорт безопасности химической продукции", утвержденным Росстандартом ФГУП «ВНИИ СМТ» РПБ№ 88300388 21 37791 от 15 апреля 2015 г., аргон относится к малоопасным по степени воздействия на организм инертный газ, величина ПДК не установлена, обладает наркотическим действием.

Утечка аргона из баллона может способствовать наступлению смерти от удушения. Если объем аргона в воздухе будет превышать 70% (РЗ), то человек

может подвергнуться, так называемому, наркозу. Баллоны могут взрываться при нагревании.

Если требуется проводить работы в среде с аргоном, то в этом случае рекомендуется использовать противогазы и изолирующие приборы, проветривать помещение [27].

7.1.6 Электромагнитные поля

В производстве используется сварочное оборудование. Таким образом, при организации безопасности труда, необходимо учитывать воздействие электромагнитных полей на организм человека.

Электромагнитное излучение, воздействуя на организм человека в дозах, превышающих допустимые, может являться причиной профессиональных заболеваний. В результате возможны изменения нервной, иммунной, сердечно-сосудистой, половой и других систем организма человека.

В процессе длительного пребывания в зоне действия электромагнитных полей наступают преждевременная утомляемость, сонливость или нарушение сна, появляются частые головные боли. При систематическом облучении наблюдаются стойкие нервно-психические заболевания, изменение кровяного давления, замедление пульса, трофические заболевания (выпадение волос, ломкость ногтей). При этом наблюдается вялость, снижение точности рабочих движений, возникновение болей в сердце.

Предельно допустимые уровни облучения (по СанПиН 2.2.4.1191-03):

При 8-часовой работе ПДУ магнитного поля составляет 10 мкВт/см² при 8-часовой работе, при 2-часовой работе – 10-100 мкВт/см², а при 20-минутной работе > 100 мкВт/см².

Исходя из исследования [28], безопасным расстоянием от токоведущего кабеля до жизненно важных органов сварщика являются расстояния 0,1; 0,25 и 0,35 м при токах 200, 300 и 400 А соответственно. Экспериментальные

исследования показали, что индукция поля вблизи корпуса выпрямителя ВДУ-506 при токах до 400 А на порядок ниже ПДУ. Это связано с тем, что выпрямитель экранируется металлическим корпусом.

Защита человека от опасного воздействия электромагнитного излучения осуществляется следующими способами:

СКЗ:

- защита временем;
- защита расстоянием;
- снижение интенсивности излучения непосредственно в самом источнике излучения;
- экранирование источника заземленным металлическим ограждением;

СИЗ:

Применение средств индивидуальной защиты (СИЗ), которые включают в себя

- Очки из металлической решетки 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.

Экранирование источника излучения и рабочего места осуществляется специальными экранами по ГОСТ 12.4.154.

К средствам защиты от статического электричества и электрических полей промышленной частоты относят комбинезоны, очки, спецобувь, заземляющие браслеты, заземляющие устройства, устройства для увлажнения воздуха, антиэлектростатические покрытия и пропитки, нейтрализаторы статического электричества.

7.1.7 Электрический ток

Все оборудование должно быть выполнено в соответствии с требованиями ГОСТ 12.1.019–79.

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 перед включением установки должна быть визуально проверена ее электропроводка на отсутствие возможных нарушений и замыканий, при появлении признаков замыкания необходимо немедленно отключить от электрической сети установку, запрещается при включении установки.

К защитным мерам от опасности прикосновения к токоведущим частям электроустановок относятся: изоляция, ограждение, блокировка, пониженные напряжения, электрорезиновые средства. К работам на электроустановках допускаются лица, достигшие 18 лет, прошедшие инструктаж и обученные безопасным методам труда [29]. К тому же электробезопасность зависит и от профессиональной подготовки работников, сознательной производственной и трудовой дисциплины. Целесообразно каждому работнику знать меры первой медицинской помощи при поражении электрическим током.

7.1.8 Повышенная яркость света

Сварка открытой и полужакрытой дугой сопровождается мощной лучистой и тепловой энергией. Тепловая энергия способна вызвать поражение глаз и ожоги незащищенных частей тела. Яркость электрической дуги превышает 16000000 Нит. Нормальное зрение человека способно воспринимать безболезненно яркость не более 10000 Нит

Для защиты лица сварщика во время выполнения сварочных операций закрывается щитком, в смотровое отверстие которого вставлен светофильтр по ГОСТ 12.4.080-79. При работе вне кабины для защиты зрения окружающих должны применяться переносные щиты и ширмы. Защитные стекла, вставленные в щитки и маски, снаружи покрывают простым стеклом для предохранения их от брызг расплавленного металла. Щитки изготавливают из изоляционного материала - фибры, фанеры и по форме и размерам они должны полностью защищать лицо и голову сварщика (ГОСТ 1361-69). Для защиты тела сварщика следует применять специальную одежду: сапоги по ГОСТ 12.4.032-77 и одежду по ГОСТ 12.4.250-2013. Для ослабления резкого контраста между яркостью дуги и малой яркостью темных стен (кабины) последние должны быть окрашены в светлые тона (серый, голубой, желтый) с добавлением в краску окиси цинка с целью уменьшения отражения ультрафиолетовых лучей дуги, падающих на стены.

7.1.9 Пожарная безопасность

Пожарная безопасность означает состояние объекта или производственного процесса, при котором исключается возможность пожара, а в случае его возникновения предотвращается воздействие на людей опасных факторов пожара и обеспечивается защита материальных ценностей. Пожарная безопасность осуществляется за счет систем предотвращения пожара, организационными и организационно-техническими мероприятиями.

По степени пожарной опасности, согласно [30], лабораторию можно отнести к категории ВЗ, так как в ней ведутся работы с применением твердых сгораемых материалов с температурой воспламенения свыше 120°C.

В лаборатории, где проводились исследования, причины пожара могут носить электрический и неэлектрический характер.

Причины электрического характера:

- а) короткое замыкание;
- б) перегрузки;
- в) электрические дуги, искры, возникающие в результате ошибочных операций с коммутационной аппаратурой;
- г) плохие контакты в местах соединения проводников.

Причины неэлектрического характера:

- а) неосторожное обращение с огнем;
- б) неисправность отопительных приборов или нарушение режима их работы;
- в) самовоспламенение некоторых материалов.

Пожарная безопасность в лаборатории достигается комплексом профилактических мероприятий, включающих в себя организационные и технические мероприятия. Общие требования по ПБ даны в [31].

К организационным мероприятиям относятся:

1. Проведение инструктажа.
2. Профилактический осмотр оборудования на предмет пожароопасности.
3. Соблюдение чистоты и порядка в лаборатории.
4. Вывешивание предупредительных плакатов, которые предостерегают о возможности возникновения пожара при несоблюдении правил санитарии.
5. Обучение сотрудников способам и приемам ликвидации пожара.

К техническим мероприятиям относятся:

1. Защита установок от перегрузок и коротких замыканий.
2. Покрытие легковоспламеняющихся предметов огнеупорным покровом.

По окончании работы в лаборатории сотрудник уходящий последним, обязан:

- а) выключить прибор из сети;
- б) выключить рубильник;
- в) выключить освещение.

В Помещении на случай пожара должен находиться огнетушитель ОУ-8, предназначенный для тушения пожаров на электрических установках или оборудовании под напряжением. Пенный огнетушитель ОХВП - 10 предназначен для тушения огня в тех местах, где нет напряжения.

Для своевременной ликвидации элементов возгорания используют световые, тепловые и дымовые датчики, реагирующие на наличие того или иного фактора.

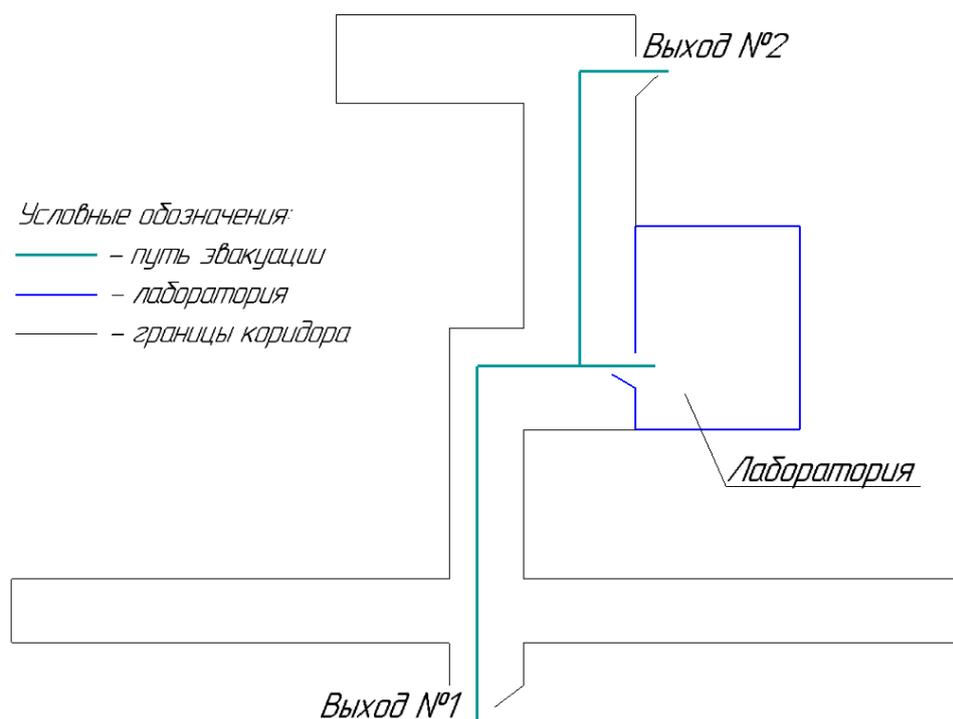


Рисунок 28 - План эвакуации людей при пожаре

7.1.10 Повышенная температура поверхности

При сварке изделия разогреваются до температуры плавления, поэтому возможны ожоги. Для предотвращения воздействия высоких температур на человека нужно использовать средства индивидуальной защиты.

Полный комплект средств индивидуальной защиты для сварщика состоит из множества элементов. Согласно ГОСТ 12.4.011-89, все применяемые при

проведении сварочных работ СИЗ в соответствии с их назначением делается на несколько основных классов:

спецодежда - роба;

спецобувь - сапоги;

средства защиты головы - каска;

средства защиты органов дыхания - респираторы;

средства защиты органов слуха - противошумные вкладыши;

средства защиты глаз - защитные очки;

средства защиты лица сварочная маска;

средства защиты рук - краги, перчатки, рукавицы;

защитные дерматологические средства - очистители кожи, репаративные средства.

7.2 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. Охрану природы можно представить как комплекс государственных, международных и общественных мероприятий, направленных на рациональное использование природы, восстановление, улучшение и охрану природных ресурсов.

При проведении исследования образовывались следующие отходы: остатки сварочной проволоки, которая впоследствии утилизировалась, огарки неплавящихся вольфрамовых электродов, которые в виду их непригодность выкидывались в контейнер для последующей переработки и макулатура.

Рассортированные по типу материала металлические остатки взвешивались и передавались в место переработки. Там их в зависимости от химического состава переплавляют, и они идут на дальнейшее формирование

сварочных присадок, таких как сварочная проволока, электроды, неплавящиеся электроды.

Использованную бумагу, содержащую коммерческую тайну, shreddовали, прессовали, упаковывали и отвозили в специальные пункты для переработки. Переработка макулатуры представляет собой многоэтапный процесс, цель которого заключается в восстановлении бумажного волокна и использование их в качестве сырья для производства новой бумаги.

Не производились вредные выбросы в водные источники и атмосферу, пыль от наждаков, уловленную циклонами, упаковывали в герметичную тару и направляли в строительную фирму в качестве инертного наполнителя строительной продукции, радиационного заражения не происходило, чрезвычайные ситуации не наблюдались, поэтому существенных воздействий на окружающую среду и соответственно вреда природе не оказывалось.

7.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

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 [32]:

1) природная – сильные морозы зимой.

Сильные морозы могут нанести вред как 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 визуальное соответствие фотографии, для попадания в искомое помещение нужно преодолеть не менее 2-х пропускных пунктов, что практически исключает несанкционированный доступ.

7.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

1. ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.»

2. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 "Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы" (с изменениями на 21 июня 2016 года)

3. ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности

4. СанПиН 2.2.4.3359–16. Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах.
5. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95
6. ГОСТ Р 2.2.2006–05. Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда.
7. ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны
8. ГОСТ 12.1.019-2017 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.
9. ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация».
10. СанПиН 2.2.4.1191-03 Электромагнитные поля в производственных условиях.
11. ППБ 01-03. Правила пожарной безопасности в Российской Федерации.
12. Охрана окружающей среды: Учеб для техн. вузов / С.В. Белов, Ф.А. Барбинов, А.Ф. Козьяков и др.; Под ред. С.В. Булова, 2-е изд., испр. и доп. – М.: Высш. шк., 1991. – 319 с.
13. Закон «Об обязательном социальном страховании на случай временной нетрудоспособности и в связи с материнством» от 29.12.2006 № 255-ФЗ.

Заключение

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы были рассмотрены варианты воздействия магнитного поля на сварочную дугу, методы их компенсации, также изучены литературные источники по использованию эффекта магнитного дутья для управления процессом сварки, предложен способ импульсного питания сварочной дуги с изменением точки подвода тока к изделию.

Результатом является полученный образец корневого слоя шва, который представлен на рисунке 20. Образец получился с вогнутой формой корня шва, без подрезов, с плавным переходом к стенкам, без наплывов. Обратная сторона корня шва имеет равномерное усиление по всей окружности 0,8 мм, что является гарантированным признаком качества корня шва, это объясняется концентрированным вводом тепла в изделие. При данном способе сварки корневого слоя шва исключается возникновение дефектов корня шва, исключается профессиональный навык сварщика.

С точки зрения интегральных показателей эффективности, сравнив аналогичные способы сварки, можно сделать вывод, что реализация технологии в первом исполнении (табл. 6.14) является более эффективным вариантом решения задачи, поставленной в данной работе с позиции финансовой и ресурсной эффективности.

При проведении исследования образовывались следующие отходы: остатки сварочной проволоки, которая впоследствии утилизировалась, огарки неплавящихся вольфрамовых электродов, которые в виду их непригодность выкидывались в контейнер для последующей переработки и макулатура, не производились вредные выбросы в водные источники и атмосферу.

На основании полученных данных можно сказать, что автоматическая аргонодуговая сварка с двухсторонним подводом тока и импульсным питанием сварочной дуги является перспективным методом.

Список литературы

1. Гаген, Ю. Г. Сварка магнитоуправляемой дугой / Ю.Г. Гаген и В.Д. Таран. – М.: Машиностроение, 1970. – 160 с.
2. Думов, С. И. Технология электрической сварки плавлением / С. И. Думов. – Л.: Машиностроение, 1987. – 461 с.
3. Дедюх, Р. И. Теория сварочных процессов. Физические и технологические свойства электросварочной дуги : учебное пособие / Р.И. Дедюх. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013. – 118 с.
4. Князьков, А. Ф. Использование собственного магнитного поля сварочной дуги для управления процессом сварки / А. Ф. Князьков, Е. О. Маурин, Д. А. Петухов; науч. рук. А. Ф. Князьков // Неразрушающий контроль: электронное приборостроение, технологии, безопасность: сборник трудов V Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных, Томск, 25-29 мая 2015 г.в 2 т. / Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ). — Т. 2. — С. 130 – 133.
5. Способ дуговой сварки плавлением с использованием в качестве источника сварочного нагрева электрической дуги // Авторское свидетельство СССР № 465290. 1975. Бюл. № 12. / Макара А. М., Назарчук А. Т., Гордонный В. Г., Дибец А. Т.
6. Стеклов О.И. – Основы сварочного производства: Учеб. пособие для техн. училищ. – М.: Высш. школа, 1981 – 160 с., ил. – (Профтехобразование. Сварка. Резка).
7. Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова физический факультет. Лабораторный практикум по молекулярной физике. Изучение явления поверхностного натяжения. URL: <http://genphys.phys.msu.ru/rus/lab/mol/Lab204.pdf>;

8. С.Д. Варламов. Капля воды на поверхности стекла.
URL:<https://internat.msu.ru/media/uploads/files/%D0%9A%D0%B0%D0%BF%D0%BB%D1%8F-%D0%B2%D0%BE%D0%B4%D1%8B-%D0%BD%D0%B0%D0%BF%D0%BE%D0%B2%D0%B5%D1%80%D1%85%D0%BD%D0%B%D1%81%D1%82%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B5%D0%BA%D0%BB%D0%B0.pdf>.

9. Райчук, Ю.И. Распределение тока по пластине при дуговой сварке / Ю. И. Райчук // Автоматическая сварка. — 1967. — №4. — С. 19 – 22.

10. Сидоров В. П. Исследование процесса управления пространственным положением сварочной дуги за счет параметров ее собственного магнитного поля / В.П. Сидоров, И.В. Смирнов, А.И. Захаренко, В.Г. Добровольский, Э.С. Гилязов. // Атомная энергетика. — 2011. — № 5. — С. 25 – 30.

11. Мандельберг С.Л. Влияние расположения токоподвода на формирование швов / Мандельберг С.Л., Сидоренко Б.Г., Лопата В.Е. // Автоматическая сварка. — 1976. — № 3. — С. 56 – 61.

12. Князьков, А. Ф. Модель формирования сварного шва при изменении токоподвода к изделию / А. Ф. Князьков, Е. О. Маурин; науч. рук. А. Ф. Князьков // Неразрушающий контроль: электронное приборостроение, технологии, безопасность: сборник трудов IV Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных, Томск, 26-30 мая 2014 г. в 2 т. / Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ). — 2014. — Т. 2. — С. 67 – 70.

13. Ерохин А.А. Основы сварки плавлением. г. Москва. Машиностроение 1973 г.

14. Г.Г. Чернышов, В.В. Панков, И.С. Маркушевич. Влияние параметров режима сварки на формирование пристеночного валика при сварке в глубокую разделку. Сварочное производство №12, 1984 г. Стр. 14-15;

15. Маурин Е.О. Аннотация на научный доклад об основных результатах подготовленной научно-квалификационной работы по теме «Повышение эффективности орбитальной сварки за счет автоматического изменения двух и более точек токоподвода к свариваемому изделию». Июнь 2018 г. <http://earchive.tpu.ru/handle/11683/48860>.

16. Маурин, Е.О. Применение автоматической сварки для корневого слоя шва малого диаметра с отдельным токоподводом к изделию / Е. О. Маурин, А. Ф. Князьков; науч. рук. А. Ф. Князьков // Неразрушающий контроль: электронное приборостроение, технологии, безопасность: сборник трудов IV Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных, Томск, 26-30 мая 2014 г. в 2 т. / Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ). — 2014. — Т. 2. — С. 70 – 75.

17. Головка «ОКА 18-45 ИД» Руководство по эксплуатации «ТТ 408 РЭ». Научно производственное предприятие «Технотрон»

18. РД 34.15.027 — 93 Сварка, термообработка и контроль трубных систем котлов и трубопроводов при монтаже и ремонте оборудования электростанций

19. Патент РФ № 2008129992/02, 21.07.2008.

20. Способ сварки магнитоуправляемой дугой // Авторское свидетельство СССР № 1581503. 1987. Бюл. № 28. / Сергеев А. Н., Овсянкин Г. В., Бурдыкин В. М., Клементьев А. В.

21. Смирнов И.В. Управление тепловложением при дуговой сварке неплавящимся электродом / И.В. Смирнов, А.И. Захаренко. Тольяттинский государственный университет. Сварочное производство. — 2009. — № 12. — С 61 – 68.

22. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие / И.Г. Видяев, Г.Н. Серикова, Н.А. Гаврикова, Н.В. Шаповалова, Л.Р. Тухватулина З.В. Криницына; Томский

политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 36 с.

23. Санитарные правила и нормы 2.2.4. Физические факторы производственной среды. Гигиенические требования к микроклимату производственной среды;

24. ГОСТ 12.1.003-2014 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Шум. Общие требования безопасности;

25. СН 2.2.4/2.1.8.566-96 Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий. Санитарные нормы;

26. СНиП 23-05-2010 Естественное и искусственное освещение;

27. ГОСТ 12.1.005-88 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны;

28. ГОСТ 12.1.019-70 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты;

29. ГОСТ Р 22.0.01-94 Безопасность в ЧС. Основные положения;

30. Трудовой кодекс, № 197-ФЗ/ Ст. 184 ТК РФ. Гарантии и компенсации при несчастном случае на производстве и профессиональные заболевания;

31. ГОСТ 12.3.003-86 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Роботы электросварочные. Требования к безопасности;

32. ГОСТ 12.2.032-78 Система стандартов безопасности труда (ССБТ).

Приложение А

Formation of a weld when welding with a separate current supply to the product

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1ВМ81	Чагин А.Е.		

Руководитель ВКР:

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

Консультант-лингвист отделения иностранных языков ШБИП:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ОИЯ	Марцева Т.А.	к.филол.н.		

1. Analysis of the current state of magnetically controlled arc welding

1.1 The influence of its own magnetic field on the welding process

Welding arc this is a complex electric arc discharge process in an ionized gas mixture, metal vapors and components that make up the elements of electrode coatings, fluxes and other means. Arc is in the process of welding is subject to a number of destabilizing factors-perturbations of the operating mode, associated with changes arc length by random movements of droplets of metal at the butt of the electrode or the distribution of weld pool retail changes in the composition of the gas distribution due to uneven evaporation of coatings of the electrodes or fluxes, changes in the search current strength during fluctuations in the network voltage, the random magnetic electric fields, etc. The magnetic field is also one of these factors when arc welding [1].

Under the own of the magnetic field of the arc, usually understands the circular the magnetic field of the electric current passing through the elements welding circuit, including this and the main metal. In this case, if the current is brought to the product being welded to it near the arc, the magnetic field has a uniform symmetrical overall effect on the control of the arc column, and the arc is not significantly deflected (Fig. 1a). If current supply of connected away from arc, then the arc is deviates on the other side due to the amplification of the magnetic field [2].

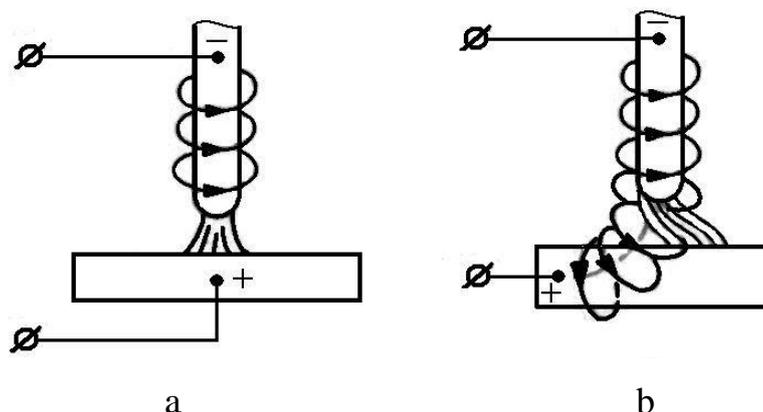


Figure 1 - Effect of own magnetic fields on the arc

The field, which is created by the welding current, surrounds the arc and affects it all sides. As long as the magnetic field remains by a symmetrical one, the electromagnetic field force is balanced by a equal and opposite directed force and their resultant is zero. As soon as the symmetry by a magnetic field that is broken, the force distribution becomes unequal, and the arc is deflected back in the direction of the greatest possible force. The effect of the own of the magnetic field on the arc is called "magnetic blow" [1].

On the external characteristics magnetic blow like a torch displacement due to wind. In the figure 1 (b), the progress shows the deviation of the arc to the right from the electrode. This process is explained by the fact that, at the thickening of the force magnetic field to the left of the electrode there is a shift the arc in the direction of lower intensity magnetic field - the right The magnetic blow is often accompanied by an interfering factor, which seriously hinders the convenience of performing the process welding. It can also cause weld defects [3].

The reason for the appearance of the magnetic blow effect is the interaction of a wide two magnetic being fields – the magnetic field of the current only, which does flow through the product and the arc, and the magnetic field of the electric current flowing along the electrode, see figure 2. It shows influence of the current, flowing through the product, on spatial position of arc: B1 - the lines of the magnetic induction the electric arc's own magnetic field; B2 - the lines of the magnetic induction of the magnetic of the current field, which flows through the product; external 1-contact supply current to the product; only F-force acting on the welding arc and arising from the interaction of the magnetic fields with the magnetic induction B1 and B2 [4].

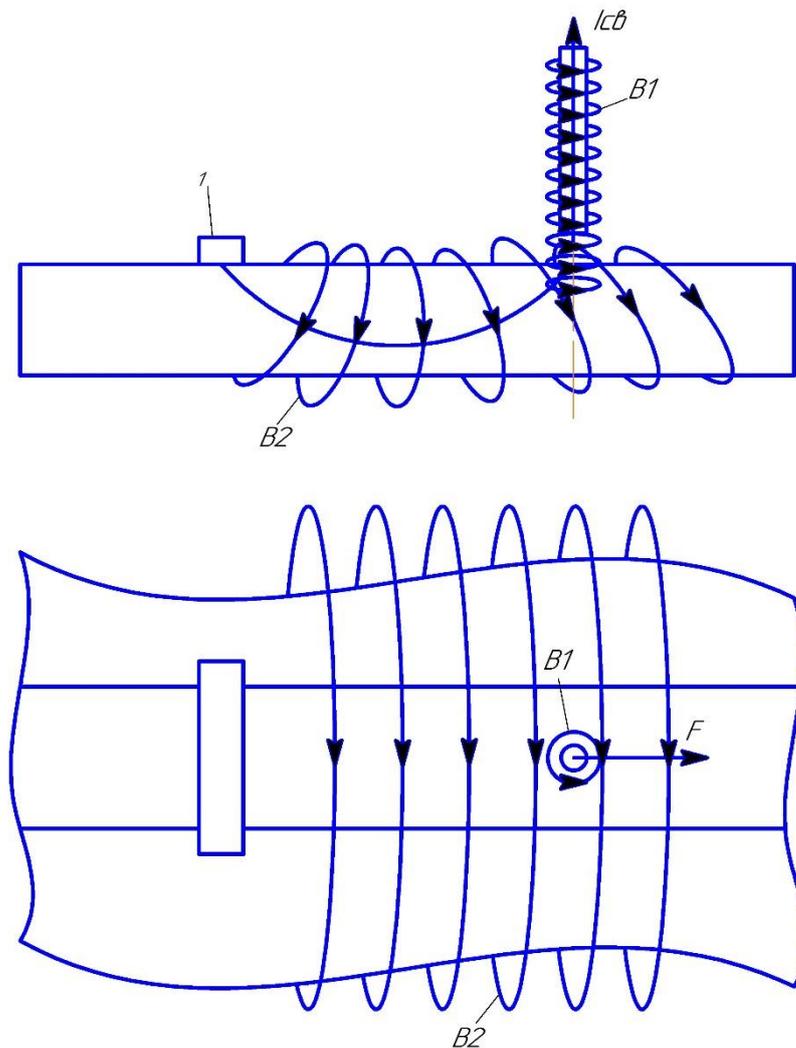


Figure 2 - Influence of the magnetic field on the welding arc

The influence of a third-party magnetic field also affects the deviation of the arc from its normal position. The figure 3 shows how the magnetic field of a permanent horseshoe-shaped magnet can create a strong transverse magnetic field, as a result of which the system will automatically interact with the annular or magnetic field that gradually occurs around the arc during the current passage. As a result, this interaction, the strength increases field with that side of the arc, where the direction of the force lines coincides, but on the side, where force lines meet, the strength of the field decreases. Appears the resulting electromagnetic force F , which deflects the arc to the side. If the external magnetic field strong, it cannot completely break the arc [2].

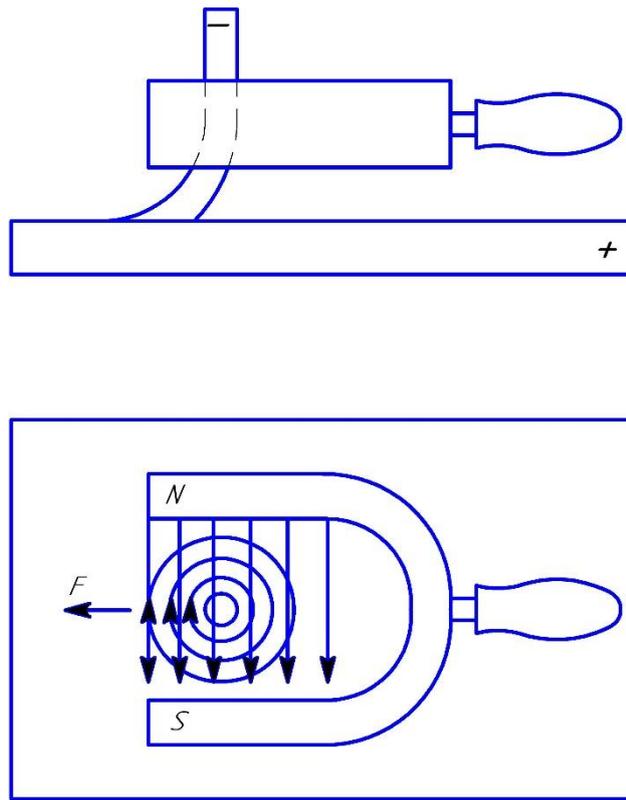


Figure 3 - Effect of a permanent magnetic field on the welding arc

Direction of deflection the arc depends on the polarity connecting and the direction of the third-party of the magnetic field. If it is strong enough, then may cut off the arc at all. Under action of the magnetic field a small intensity, the arc will not break off completely until there is a complete equilibrium of the forces acting on it. This state is caused by the fact that with the deviation of the arc from its normal position, only its deformation occurs, and the magnetic field on both sides of the arc is balanced.

Magnetic blow occurs mainly when welding with a DC arc. In this case, the external force that deflects the arc increases in proportion to the square of the current. Therefore, the intensity of the phenomena of the magnetic blow increases rapidly as welding current increases, which restricts welding with direct current at higher modes of operation [3].

When welding a DC, the presence ferromagnetic masses in the vicinity of the arc process can also cause to deflect, which attributable to effect "magnetic blow".

Such deviations of the purchasing are due to the fact that magnetic of air permeability and, accordingly, the force lines of the magnetic field of the welding circuit pass through them easier than the air. Therefore, if a large ferromagnetic body is located near of the arc, then the concentric magnetic field of the arc is distorted, it turns out to be less condensed from the side of the body itself and more condensed from the opposite side of the arc. As a result, the arc is tilted towards the ferromagnetic body. This property the arc is manifested only when welding t-shaped or butt joints, when the approximation of the arc to one purchasing of the more elements being welded is accompanied by deviation of the arc to align towards this current supply. It is characteristic that the effect on the arc of the ferromagnetic mass may be more intense than to link the influence of the current supply [3].

When the mass of the ferromagnetic body increased and the distance between the body and the welding arc is reduced, a stronger distortion of the electromagnetic field around the arc associated with the arc and thus it appears greater deviation. To prevent deviation, the arc from impacts ferromagnetic body can be recommended of placement in the appropriate finding temporary of a ferromagnetic element of the materials provided by creating a symmetrical magnetic field [3].

When welding at alternating current, the effect magnetic blow is significantly weakened. In this case, the magnetic flow, which varies in size and direction, created by welding circuit, and which penetrates the metal the product, creates a system of closed eddy currents in it. Eddy currents create their own variable magnetomotive forces. Offset at a phase relative to the welding current. The resulting magnetic flux associated with the geometric retail sum of the magnetomotive factors of the forces of the welding outgoing and eddy currents, is significantly smaller than it is at a direct current, when there is no eddy current. Moreover, between resulting magnetic flux and welding current, there is a very noticeable shift of the phases, which is also a decrease the effect magnetic blow. Therefore, even of very significant direct currents (1000-2000 A), the effect of this magnetic blow small [3].

1.2 Methods of magnetic blast elimination

You can reduce the magnetic blow by using a portable or a multi-sided current supply, varying the angle of the electrode during welding, applying external of magnetic fields, stabilization of the arc column by the flow of protective gases, as well as using other techniques. None of the methods is universal, and therefore in each particular case, you need to try out several methods and choose the best [1].

One of the most common methods used by practice is to change the angle of the electrode in the direction opposite to the current supply point (Fig. 4). This method can significantly reduce the deviation the arc [3].

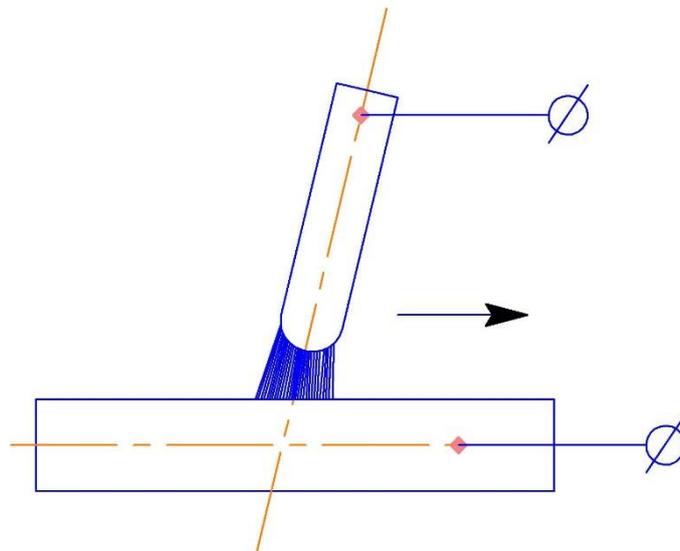


Figure 4 - Magnetic blow compensation using the electrode tilt

For reduce deviation arc caused by the magnetic blow, along with the associated of the electrode in the direction of the impact and moving current supply can be recommended temporary placement ferromagnetic material providing at the begin and the end are connections for create a symmetric magnetic field or replacing DS with AS, when magnetic blow is much less [2].

1.3 Methods of using magnetic blow to control the welding process

A method is known as arc welding, which reduction or change direction of the magnetic blow by the arc with a favorable location of the current connection to the product before the welding.

In [5] phase to improve a quality of the welded connection on the part of the proposed method, the authors propose an management is the process software deviation the arc under the influence of its own magnetic field element in the welding process automatic or manually split for convenience given program change the outgoing place based on current supply the product. They suggest alternately connect the device to the current source in the product at two completely opposite points – at the beginning and at the end of the weld seam. Moreover, disabling and enabling one point of the system is advisable to make a connection when connected other for in order to ensure the continuity of the arc burning and improve the conditions of operation of switching system contacts. The frequency and duration of switching operations are determined by the technological necessity of external deflection of the arc, which develops in a wide range during welding. The authors of work [5] according to figure 5 offer the proposed scheme, the element which allows features to change the supply connection of the current supply to the product in the two points, and in the figure 6 scheme off the arc under the effect magnetic field when current supply of four points.

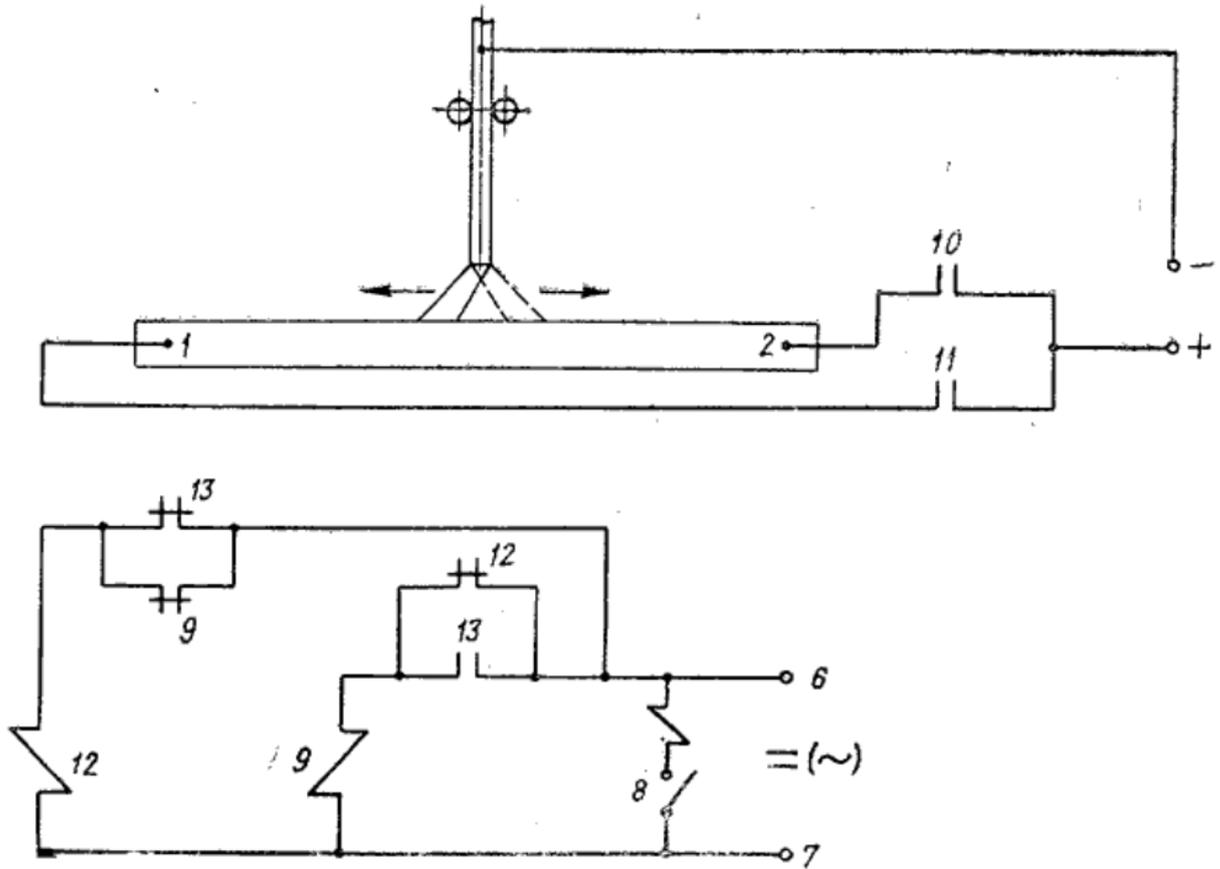


Figure 5 - Connection diagram of the current supply at two points

Alternately connecting the current to the product at points 1-4, the arc will deviate directly in the direction of the arrows: A, B, C, D, that in general will be to give it a rotational movement in the clockwise direction. If the order of activity is changed to the reverse (1, 4, 3, 2), then the arc will rotate counterclockwise. By changing order of connecting the points on the product, you can the arc movement the most diverse trajectories, which will ensure the highest possible quality of the weld. In order to ensure the same of the deviation of the arc across the weld seam of the place regardless of the location of the arc the location of the connection of the current to the product (points 2 and 4, figure 6a), it advisable to move the places synchronously with the arc, using sliding contacts. In some cases, it is recommended to connect welding current to the product simultaneously in several points of sale (figure 6b) from a single contactor.

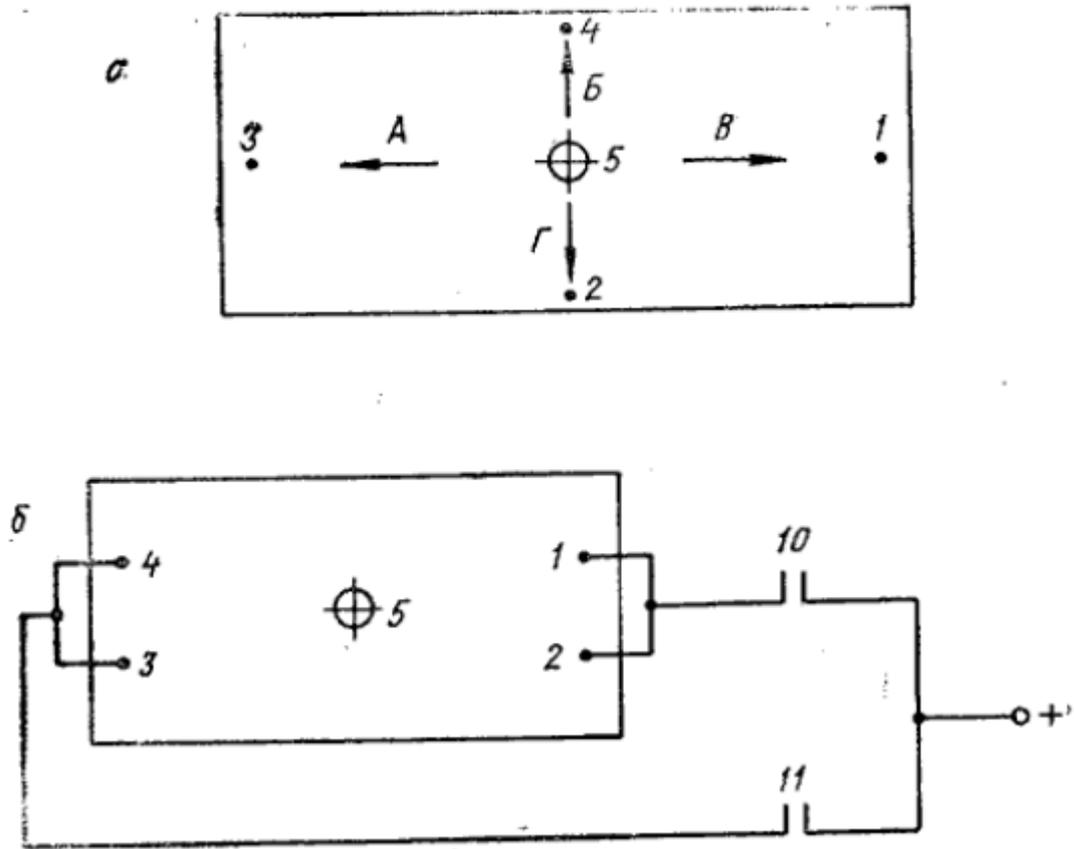


Figure 6 - Current supply diagram at four points

Conclusion: The analysis of the influence of its own magnetic field features on the welding process has shown that its can be used to control formation of the weld seam that develops during pulsed supply the arc. This makes to formulate the purpose of the whole work and the tasks of the research.