

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

Институт неразрушающего контроля
Направление подготовки: 15.04.01
Кафедра оборудования и технологии сварочного производства

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Исследование стабильности процесса плазменно-дуговой сварки плавящимся электродом в непрерывном режиме

УДК 621.791.754.2.014-026.16

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1ВМ51	Демидов Дмитрий Иванович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Дедюх Р.И.	К.Т.Н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Николаенко В.С.	-		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Гусельников М.Э.	К.Т.Н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ОТСП	Киселев А.С.	К.Т.Н.		

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

Институт неразрушающего контроля
Направление подготовки: 15.04.01
Кафедра оборудования и технологии сварочного производства

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой

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

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

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

Студенту:

Группа	ФИО
1ВМ51	Демидов Дмитрий Иванович

Тема работы:

Исследование стабильности процесса плазменно-дуговой сварки плавящимся электродом в непрерывном режиме	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	19.11.15 8934/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Изучение технологических свойств процесса плазменно-дуговой сварки в непрерывном режиме</p>
<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p>Исследование совместного горения плазменной дуги и дуги с плавящимся электродом</p>

Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	Цели и задачи Экспериментальная часть Исследование стабильности процесса Исследование стабильного горения сварочной дуги и дугового разряда Заключение
---	---

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы
(с указанием разделов)

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Николаенко В.С.
Социальная ответственность	Гусельников М.Э.

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

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

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Дедюх Р.И.	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1ВМ51	Демидов Д.И.		

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

Студенту:

Группа	ФИО
1ВМ51	Демидов Дмитрий Иванович

Институт	Неразрушающего контроля	Кафедра	ОТСП
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	Машиностроение

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	
<i>1.Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и технологических</i>	Работа с информацией, представленной в российских и иностранных научных публикациях аналитических материалах, статических бюллетенях и изданиях, нормативно-правовых документах; наблюдение.
<i>2.Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	
<i>3.Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчисления, дисконтирования и кредитования</i>	
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<i>1.Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	Определение потенциалов потребителя результатов исследования, SWOT-анализ, определение возможных альтернатив проведения научных исследований.
<i>2.Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	Планирование этапов работы, определение календарного графика трудоёмкости работы, расчет бюджета.
<i>3.Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	Оценка сравнительной эффективности проекта
Перечень графического материала:	
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
Ассистент	Николаенко В.С.	-		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1ВМ51	Демидов Д.И.		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа 1ВМ51	ФИО Демидов Дмитрий Иванович
-----------------	---------------------------------

Институт	Неразрушающего контроля	Кафедра	ОТСП
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	Машиностроение

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<p>1. Описание рабочего места (рабочей зоны, технологического процесса, механического оборудования) на предмет возникновения:</p> <ul style="list-style-type: none"> – вредных проявлений факторов производственной среды (метеоусловия, вредные вещества, освещение, шумы, вибрации, электромагнитные поля, ионизирующие излучения) – опасных проявлений факторов производственной среды (механической природы, термического характера, электрической, пожарной и взрывной природы) – негативного воздействия на окружающую природную среду (атмосферу, гидросферу, литосферу) – чрезвычайных ситуаций (техногенного, стихийного, экологического и социального характера) 	<p>Рабочим местом является отдельное помещение (научная лаборатория). Поскольку данное помещение находится внутри здания, на проектировщика возможны действия следующих факторов: Вредные факторы: монотонный режим работы, отклонение показателей микроклимата, недостаточная освещенность, превышение уровня шума. Опасные факторы: повышенный уровень ультрафиолетовой радиации, пожар, электрический ток.</p>
<p>2. Знакомство и отбор законодательных и нормативных документов по теме</p>	<p>1. Техника пожарной безопасности на производстве (ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ). 2. Техника безопасности при работе с электро- и радиотехническими устройствами (ГОСТ 12.1.006-84). 3. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны ГОСТ 12.1.005-88 (с изм. №1 от 2000 г.) ССБТ. 4. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты. ГОСТ 12.1.019-2009 (с изм. №1) ССБТ.</p>

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой; – действие фактора на организм человека; – приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); – предлагаемые средства защиты (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства) 	<p>Высокий уровень шума. Не соответствующая нормам температура или влажность воздуха помещения. Недостаточная освещённость. Поступление в зону дыхания сварочных аэрозолей. Чрезмерная запыленность и загазованность воздуха.</p>
<p>2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой произведённой среды в следующей последовательности</p> <ul style="list-style-type: none"> – механические опасности (источники, средства защиты); – термические опасности (источники, средства защиты); – электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты); 	<p>При работе с установкой плазменной наплавки, которая соединена с сетью напряжения, возможны электрические замыкания (удары) для персонала и пожары. Повышенная температура поверхностей оборудования. Согласно нормам, установлены средства пожаротушения. Повышенная температура поверхностей оборудования.</p>

<ul style="list-style-type: none"> – пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения) 	
<p>3. Охрана окружающей среды:</p> <ul style="list-style-type: none"> – защита селитебной зоны – анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); – анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); – анализ воздействия объекта на литосферу (отходы); – разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды. 	<p>Воздействие на окружающую среду сводится к минимуму, за счет отсутствия загрязняющих веществ. Поскольку все используемые материалы отправляются на дальнейшие исследования.</p>
<p>4. Защита в чрезвычайных ситуациях:</p> <ul style="list-style-type: none"> – перечень возможных ЧС на объекте; – выбор наиболее типичной ЧС; – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – разработка мер по повышению устойчивости объекта к данной ЧС; – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий 	<p>Возможная чрезвычайная ситуация – пожар. К мерам по предупреждению будут относиться:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Планирование защиты населения и территории от ЧС на уровне предприятия (организации); 2. Создание запасов средств индивидуальной защиты и поддержание их в готовности; 3. Выявление угроз пожара и оповещение персонала; 4. Подготовка работающих к действию условиях ЧС; 5. Подготовка и поддержание в постоянной готовности сил и средств для ликвидации ЧС.
<p>5. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны 	<p>Соблюдение законов (налоговое законодательство, трудовой и гражданский кодексы). Руководитель (ответственный) принимает обязательства выполнения и организации правил эвакуации и соблюдение требования безопасности в помещении, а также контроль за исправностью работы в помещении.</p>

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Гусельников М.Э.	К.Т.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1ВМ51	Демидов Д.И.		

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

Институт неразрушающего контроля

Направление подготовки: машиностроение

Кафедра оборудования и технологии сварочного производства

Период выполнения: (осенний / весенний семестр 2016/2017 учебного года)

Форма предоставления работы:

Магистерская диссертация <small>(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)</small>

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ – ПЛАН
Выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом работы:	
------------------------------	--

Дата контроля	Название раздела(модуля)/ вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
03.03.2017	1. Литературный обзор состояния вопроса Исследование стабильности процесса плазменной сварки плавящимся электродом.	15
15.03.2017	2. Разработка требований к оборудованию.	10
29.03.2017	3. Подготовка материалов к проведению экспериментов.	11
06.04.2017	4. Проведение экспериментов	17
12.04.2017	5. Анализ результатов экспериментов	20
20.04.2017	6. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и Ресурсосбережение.	12
27.04.2017	7. Социальная ответственность	9
03.05.2017	8. Заключение	6

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Дедюх Р.И.	к.т.н., доцент		

СОГЛАСОВАНО:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ОТСП	Киселев А.С.	к.т.н. Доцент		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 94 с., 23 рис., 21 табл., 33 источников.

Ключевые слова: плазменная сварка, плазменная дуга, плавящийся электрод, плазмотрон, качество, перенос металла, дуговой разряд, шунтирование, проплавление.

Объектом исследования является: Устойчивость процесса горения дуги и дугового разряда.

Цель работы – определение совместного горения плазменной дуги и дуги с плавящимся электродом в непрерывном режиме и исследование технологических свойств процесса плазменно-дуговой сварки плавящимся электродом.

В процессе исследования проводились наплавка валика на пластину с помощью стенда плазменной установкой УПН-303УХЛ4.

В результате исследования было установлено, что основное влияние на параметры проплавления основного металла оказывает ток дугового разряда плавящегося электрода. Проплавляющее воздействие плазменной дуги в основном сводится к активированию поверхности проплавляемого металла и увеличению ширины шва.

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

Область применения: машиностроительная, строительная отрасль.

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

Выпускная квалификационная работа выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word 2016 и графическом редакторе КОМПАС 3D V16.1, Grapher 9.

ABSTRACT

Final qualifying work 94 p., 23 Fig., 21 tab., 33 sources.

Key words: plasma welding, plasma arc, consumable electrode, plasma torch, quality, metal transfer, arc discharge, bypass, penetration.

The object of the research is the sustainability of the process of arc burning and arc discharge.

The aim of this work is the definition of a joint of the plasma arc burning and arc with consumable electrode in a continuous mode and the study of technological process properties of plasma-arc consumable electrode welding.

In the process of research was conducted surfacing roller on the plate with the stand installing the plasma PSI - 303 UHL4.

The study established that the main influence on the parameters of the penetration of the base metal having the current arc discharge with consumable electrode.

Problem some the temperature of the plasma arc basically boils down to the activation of the surface melting of metal and increased the width of the joint.

The basic constructive, technological and technical-operational characteristics: easy to manufacture and operate a plasma torch having a high reliability and wide adjusting range of welding parameters. Scope: engineering, construction industry.

Economic efficiency: comparing the values of integrated performance indicators, we can conclude that the implementation of technology is a more efficient choice from a position of financial and resource efficiency.

Final qualifying work is executed in a text editor of Microsoft Word 2016 and graphics editor KOMPAS 3D V16.1, Grapher 9.

Оглавление

Введение.....	11
1 Обзор литературы.....	13
1.1 Состояние вопроса. Цель и задачи работы	13
2 Экспериментальная часть	28
2.1 Методы исследования материала и оборудования.....	28
2.2 Исследование стабильности горения сварочной дуги и дугового разряда.....	36
2.3 Исследование влияния режимов сварки на проплавление основного металла.....	42
3 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	48
3.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования.....	48
3.1.2 Анализ конкурентных технических решений.....	49
3.1.3 SWOT – анализ	50
3.2 Определение возможных альтернатив проведения научных исследовани	52
3.3 Планирование научно-исследовательских работ.....	53
3.3.1 Структура работ в рамках научного исследования.....	53
3.3.2 Определение трудоемкости выполнения работ.....	54
3.3.3 Разработка графика проведения научного исследования.....	54
3.3.4 Бюджет научно-технического исследования (НТИ).....	58
3.3.5 Расчет материальных затрат НТИ.....	58
3.3.6 Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ.....	59
3.3.7 Основная и дополнительная заработная плата исполнителей темы.....	59
3.3.8 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления).....	61
3.3.9 Накладные расходы.....	62
3.3.10 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта.....	62
3.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.....	63
4 Социальная ответственность.....	66
Введение.....	66
4.1 Техногенная безопасность.....	67
4.2 Требования к выбору и применению средств индивидуальной защиты (СИЗ).....	68
4.3 Повышенная или пониженная температура воздуха рабочей зоны.....	69
4.4 Уровень шума на рабочем месте.....	70
4.5 Освещенность рабочей зоны.....	71
4.6 Уровень статического электричества.....	72
4.7 Пожарная безопасность.....	73
4.8 Охрана окружающей среды.....	75
Заключение.....	77
Список публикаций студента.....	78
Список используемых источников.....	79
Приложение А.....	82
CD-R – в конверте на обороте	

ВВЕДЕНИЕ

Немаловажную роль в производстве сварных конструкций играет производительность процессов сварки. Наиболее производительным из них, используемых при массовом производстве, являются такие виды, как механизированная сварка плавящимся электродом в среде защитных газов, автоматическая сварка под слоем флюса и плазменно-дуговая сварка.

Первостепенные попытки использования энергии плазменной дуги для сварки были реализованы в 1950-х гг. [1]. В течение 1960-х гг. были предложены несколько принципов формирования плазменно-газового потока. В тоже время в ряде стран были разработаны и введено оборудование и технология микроплазменной сварки соединений малых толщин.

Одной из основных трудностей того периода были несовершенные конструкции плазмотронов с небольшим ресурсом работы, отсутствие специализированного оборудования и опыта применения технологии. Данные проблемы тормозили активное внедрение, а также то, что этот процесс относили к экзотическим. Значительный вклад наших Российских исследователей, технологов, конструкторов обеспечили развитие этого направления и доведения процесса плазменно-дуговой сварки (наплавки) до совершенства [1-2].

Процессы плазменной сварки и наплавки находят широкое использование в промышленности [2-3]. Данные процессы стали альтернативой аргонодуговым процессам. В последнее десятилетие с целью повышения производительности плазменных процессов все шире применяют комбинированные способы, предусматривающие использование двух и более источников нагрева в зоне сварки. Следует считать перспективным способ плазменно-дуговой сварки (наплавки) плавящимся электродом в защитных газах [1, 4], при котором плавящийся электрод подается по оси плазменной дуги, а в качестве неплавящегося электрода используют водоохлаждаемый кольцевой медный анод-сопло.

Подключение плавящегося электрода к отдельному источнику питания производит обеспечение сочетаний свойств дуговой сварки (наплавки) плавящимся электродом и свойств сварки (наплавки) плазменной дугой. В данном случае участок вылета электрода и дуговой разряд, горящий между плавящимся электродом и изделием, окружены аксиальным потоком плазмы, создаваемым плазменной дугой. Таким образом, нагрев и плавление плавящегося электрода осуществляется не только теплотой собственной дуги, но и Джоулевой теплотой, выделяемой проходящим током в вылете электрода, но и теплотой плазменной дуги.

Поэтому значительно возросла скорость плавления электродной проволоки, а также произошло повышение стабильности дуги, и уменьшается разбрызгивание электродного металла, происходит улучшение формирования сварных швов. Независимое изменение тока плазменной дуги и дугового разряда позволяет в широких пределах изменять технологические характеристики процесса и тем самым получать практически бездефектные швы при значительном увеличении скорости сварки (наплавки).

В тоже время промышленное использование процесса, использующего преимущества плазменной дуги и дугового разряда с плавящимся электродом сдерживается отсутствием выпускаемого специализированного оборудования.

1. Обзор литературы

1.1 Состояние вопроса. Цель и задачи работы

В 1802 г. профессор физики Медико-хирургической академии Санкт-Петербурга (впоследствии академик) Василий Владимирович Петров открыл явление электрического дугового разряда [5, 25], представляющего собой один из видов разряда между разноименно заряженными полюсами в газовой среде.

В возбужденной электрической дуге по наружным признакам очень трудно распознать какие-либо специфические зоны. Поскольку межэлектродный промежуток весь выступает ярким светящимся шаром газа, обладающего температурой в несколько тысяч градусов, при которой часть нейтральных атомов ионизируется. В результате образуется смесь нейтральных атомов, ионов и электронов, что в результате делает ее проводником электрического тока. Данная смесь была названа в 1923 г. плазмой по предложению американских физиков Ленгмюра и Тонкса [6].

Непосредственно плазменный столб дуги не может граничить с металлом электродов, поскольку во множестве случаев точка кипения электродного металла значительно ниже температуры столба. Так, как бесконечные градиенты температуры невозможны, так, как это указывает о наличии промежуточных газовых слоев, которые соединяют столб с электродами [7]. Температура в них постепенно снижается, а с ней и степень термической ионизации газа. Данные слои были названы приэлектродными областями дуги – у отрицательного электрода (катодной) и у положительного электрода (анодной).

Участки поверхностей электродов, на которые опирается дуга и через которые проходит весь ток дуги, называют активными пятнами. На положительном электроде – анодным, а на отрицательном – катодным пятном. Активные пятна выделяются яркостью свечения как более нагретые участки электрода и основного металла. Размеры катодного пятна обычно меньше, чем анодного.

Широкое использование электрической дуги в качестве источника теплоты при сварке обусловлено ее технологическими возможностями [7]. Сварочные дуги позволяют ввести в обрабатываемый материал удельную мощность равной до 10^3 Вт/мм² при размере пятне нагрева 0,1...10 мм². Данная концентрация энергии обеспечивает эффективный местный нагрев и расплавление металл при сварке, наплавке, резке и других видах локальной тепловой обработке изделий.

Плазма столба сварочной дуги обладает свойствами, так называемой, холодной плазмы. В физике условно подразделяют плазму на горячую, или высокотемпературную (выше 50000 К, например, недра звезд и в том числе Солнца, обладающие температурой в десятки миллионов градусов), и холодную, или низкотемпературную (ниже 50000 К).

Температура в центральной части столба сварочной дуги может достигать значений 5000...24000 К и более и зависит от состава газовой среды, материала электродов и плотности тока [7].

Известно, что интенсивное охлаждение плазмы столба электрической дуги приводит к ее сжатию, что повышает энергетические параметры дуги. Это явление было установлено еще в 1922 г. работой Гердиена и Лотца [6, 26]. Они добились значительного повышения плотности тока в столбе электрической дуги, пропустив его через узкое отверстие в керамической пластине.

Поверхность отверстия пластины при этом непрерывно омывалась водой, пленка которой защищала материал от разрушения. Охлаждение соприкасающихся со стенками отверстия слоев столба приводило к его сжатию и к увеличению потребления мощности столбом от источника питания. В результате температура газа и степень его ионизации значительно увеличились. У Гердиена температура дуги возросла до 30000° С.

Этот принцип сжатия столба дуги был использован для создания плазмотронов – электродуговых нагревателей газа, у которых интенсификация плазмообразования достигается путем заключения части столба дуги в узкий

водоохлаждаемый канал сопла плазмотрона и обдува сжатой дуги потоком плазмообразующего газа.

В инженерной практике сжатую плазменную дугу применяют для обработки материалов в двух вариантах: переносной (прямого действия) и непереносной (косвенного действия). В первом случае дуга горит между неплавящимся электродом и изделием через канал сопла, а во втором – между неплавящимся электродом и соплом плазмотрона.

В дуге прямого действия используется пара энергетических источников: плазменная струя и электрически активное пятно дуги. Коэффициент полезного действия такой дуги сравнительно велик и достигает 60...70 %. В плазменной дуге косвенного действия, когда изделие непосредственно не подключено к источнику питания, источник теплоты становится независимым от изделия со струей плазмы, выделенной из столба дуги в виде факела.

Такая дуга более универсальная (факел плазмы можно направить на любое тело), чем дуга прямого действия. Однако тепловая энергия в плазмотроне косвенного действия передается обрабатываемому изделию лишь струей плазмы. Поэтому в большинстве случаев она невелика и используется в основном для напыления, сварки пластмасс, резки тонких диэлектрических и текстильных материалов.

Плазменную сварку разделяют на три разновидности: микроплазменная, плазменная на средних токах (до 100 А) и на повышенных токах (свыше 100 А).

Плазменная дуга, которая используется для сварки металла, занимает по проплавляющей способности промежуточное положение между сварочной дугой и электронным лучом, горящей в аргоне. Столб плазменной дуги или струя плазмы имеющей цилиндрическую форму, поэтому данная величина поверхности металла, через которую происходит осуществление теплопередачи к свариваемому металлу, и данное значение не зависит от расстояния между неплавящимся электродом плазмотрона и сварочным изделием.

Благодаря тому, что столб дуги имеет цилиндрической форму процесс плазменной сварки чуть менее чувствителен к изменению длины дуги, в отличии

от процесса аргодуговой сварки. Подбор длины дуги конической формы (при аргодуговой сварке) постоянно ведет к изменению размера пятна нагрева, а, отсюда следует, что это ведет так же и к изменению ширины шва. Плазменная дуга разрешает иметь почти постоянный размер пятна и это дает потенциал стабилизировать проплавление основного металла.

В зависимости от необходимости регулирования потоков энергии и их плотности, поступающих в металл при его сварке (наплавке) используют различные разновидности плазменного процесса.

Так, при механизированном процессе во многих случаях целесообразно применять способ сварки закрытой плазменной дугой [2], когда плазматрон выполнен в виде микрокамеры и в ходе процесса прижимается к изделию. Такой процесс отличается следующими преимуществами: пониженным расходом газов и высокоэффективной защитой металла сварного соединения в процессе его остывания; возможностью выполнения сварки с высокой скоростью высокоактивных металлов; значительным уменьшением коробления соединяемых кромок в процессе сварки тонколистовых материалов; узкой зоной нагрева и небольшими остаточными деформациями изделия; улучшением условий работы сварщика.

Сварка (наплавка) с подогревом присадочных проволок осуществляется с помощью двух источников питания [2, 28]. Один из них – источник постоянного тока для питания плазменной дуги, другой – источник переменного тока для подогрева двух присадочных проволок (рис. 1.1).

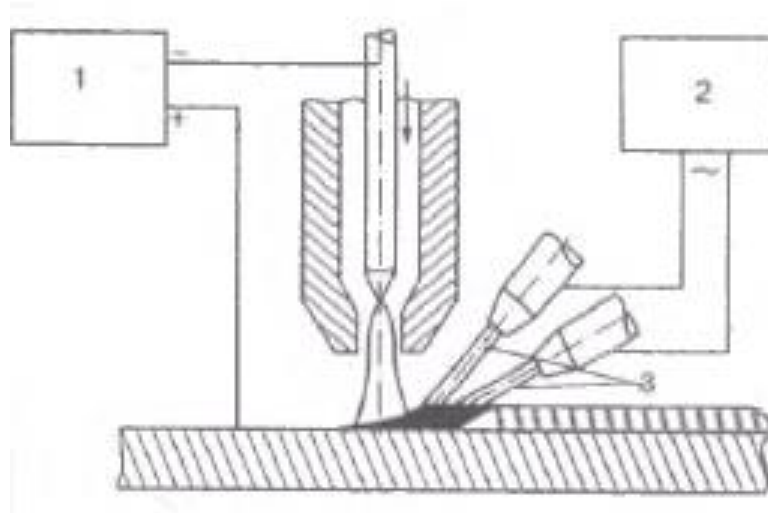


Рисунок 1.1 - Схема плазменной наплавки горячими проволоками: 1-источник постоянного тока для питания плазменной дуги; 2-источник переменного тока для подогрева проволок; 3- присадочная проволока

При необходимости в процессе наплавки между концами проволок может возникать дуга, способствующая ускорению их плавления. Процесс позволяет регулировать степень разбавления наплавленного металла основным. Наплавку выполняют с поперечными колебаниями плазмотрона. Производительность наплавки составляет 18...31 кг/ч.

При сварке (наплавке) двойной плазменной дугой с токоведущей присадочной проволокой источниками тепла служат пара плазменных дуг, возбуждение которых происходит между неплавящимся электродом плазмотрона и изделием, а также и между электродом и непрерывно подаваемой присадочной проволокой в зону сварки (рис. 1.2).

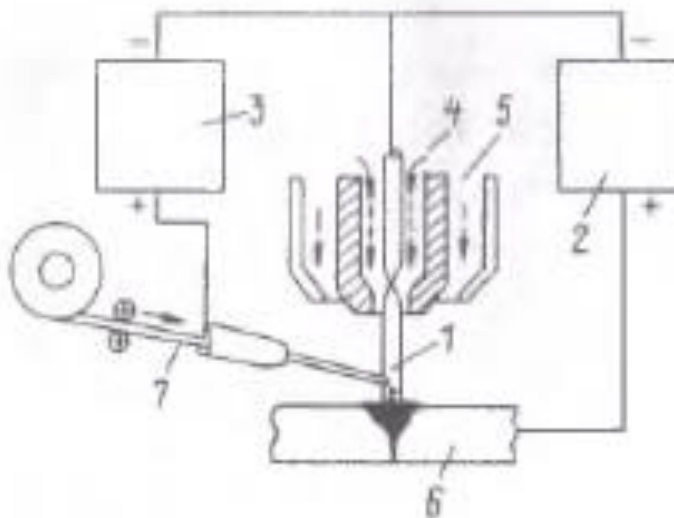


Рисунок 1.2 - Схема процесса сварки двойной плазменной дугой с токоведущей присадочной проволокой: 1- плазменная дуга; 2- источник питания дуги «электрод-изделие»; 3- источник питания присадочной проволоки; 4- плазмообразующий газ; 5-защитный газ; 6- изделие; 7 сварочная проволока

Плазменная дуга между электродом и изделием в основном подогревает свариваемые кромки и жидкий присадочный металл, заполняющий разделку. Плавление же проволоки обеспечивает преимущественно плазменная дуга между проволокой и неплавящимся электродом. Перенос электродного металла при сварке двойной дугой носит струйный характер. Поэтому при этом процессе практически не наблюдается разбрызгивание.

Плазменная дуговая сварка имеет значительные преимущества по сравнению с традиционной дуговой сваркой вольфрамовым электродом, такие как увеличенную глубину проплавления, она менее требовательна к подготовке свариваемых изделий и менее подвержена тепловым искажениям (8, 9).

При плазменной сварке качество сварного шва зависит от большого числа факторов, особенно от физических характеристик свариваемого материала и используемых сварочных режимов [10, 21, 22].

Режимы сварочного процесса должны быть тщательно сбалансированы для поддержания стабильного состояния сварочной ванны.

Основными параметрами, оказывающими значительное влияние на качество сварки, являются форма и размер сопла, расстояние от сопла до заготовки, материал сварочного электрода, сварочный ток, состав и скорость потока плазменного газа, защитного газа и т. д.

Расширение сферы применения плазменных устройств ставит задачу проектирования плазмотронов, специфичных для каждой технологии. К настоящему времени разработано большое количество плазмотронов, классифицировать которые можно по целому ряду признаков: функциональных, конструктивных и параметрических.

Как уже было сказано, современные плазмотроны способны работать на мощностях энергопотребления от единиц до сотен мегаватт, обеспечивая (с разным термическим коэффициентом полезного действия) преобразование электрической энергии в тепловую и кинетическую и производя тем самым термокинетическое воздействие на материалы, обладающие различной структурой и свойствами [11, 23-24, 30].

Плазменно-дуговая сварка плавящимся электродом, разработанная фирмой Philips (Нидерланды), представляет собой сочетание двух разнородных источников нагрева, совмещающих в одной сварочной ванне энергию плазменной дуги и дугового разряда с плавящимся электродом [4].

Плазменно-дуговая сварка плавящимся электродом, получившая за рубежом название плазменная сварка в инертных газах или плазма-МИГ сварка, занимает особое положение. К основным инертным газам, используемым при данном виде сварки, относится: аргон и углекислый газ. Это один из наиболее прогрессивных методов дуговой сварки в защитных газах [4, 25].

От обычной дуговой сварки плавящимся электродом плазма-МИГ отличается тем, что токоведущая электродная проволока подается по оси плазменной дуги и горение дугового разряда между проволокой и изделием происходит в окружении плазмы. Данный процесс позволяет расширять

возможности регулирования технологических свойств гибридного источника энергии.

В зависимости от способа генерирования плазмы процесс плазма-МИГ имеет разновидности [4, 27]. Самыми основными схемами этих разновидностей являются схемы процессов, приведенные на рис. 1.3.

По изображенным схемам сварки осуществление процесса сварки происходит от двух источников питания: с крутопадающей внешней характеристикой для питания плазменной дуги и с жесткой внешней характеристикой для дугового разряда плавящегося электрода.

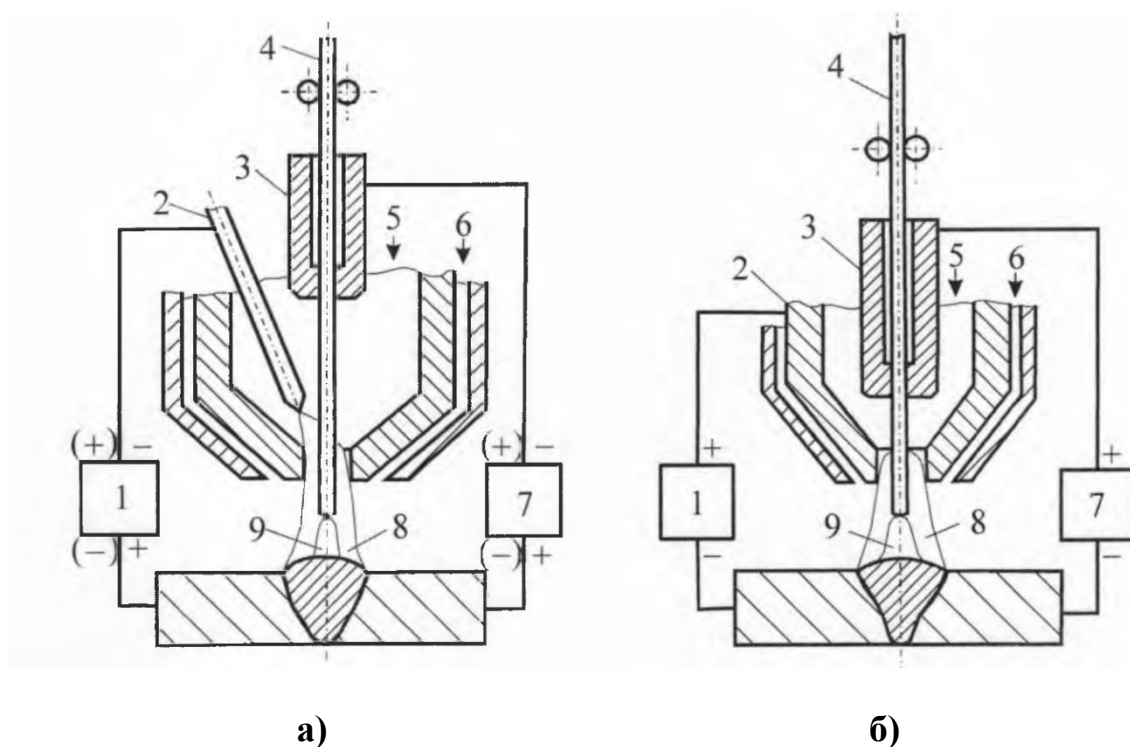


Рисунок 1.3 - Схема плазменно-дуговой сварки плавящимся электродом: а – неплавящимся вольфрамовым электродом; б – с токоведущим соплом; 1 – источник питания плазменной дуги; 2 – неплавящийся электрод; 3 – токоподводящий наконечник; 4 – плавящийся электрод; 5 – плазмообразующий газ; 6 – защитный газ; 7 – источник питания дугового разряда плавящегося электрода; 8 – плазменная дуга; 9 – дуговой разряд плавящегося электрода

Наиболее перспективен процесс сварки по схеме на рис. 1.3, б, когда в качестве неплавящегося электрода используют водоохлаждаемый кольцевой медный анод. Дальнейшее совершенствование и модернизация этой схемы в

соответствии с требованиями практического применения осуществляли введением в плазмотрон стабилизирующего сопла и фокусирующего газового потока, что позволило успешно осуществлять начало процесса с возбуждения плазменной дуги между кольцевым анодом и изделием (рис. 1.4). При этом, как и при сварке по схеме на рис. 1.3, а, после подачи в плазму с рабочей скоростью электродной проволоки дуговой разряд плавящегося электрода возбуждается в плазменной дуге самопроизвольно без короткого замыкания проволоки на изделие и, следовательно, без разбрызгивания.

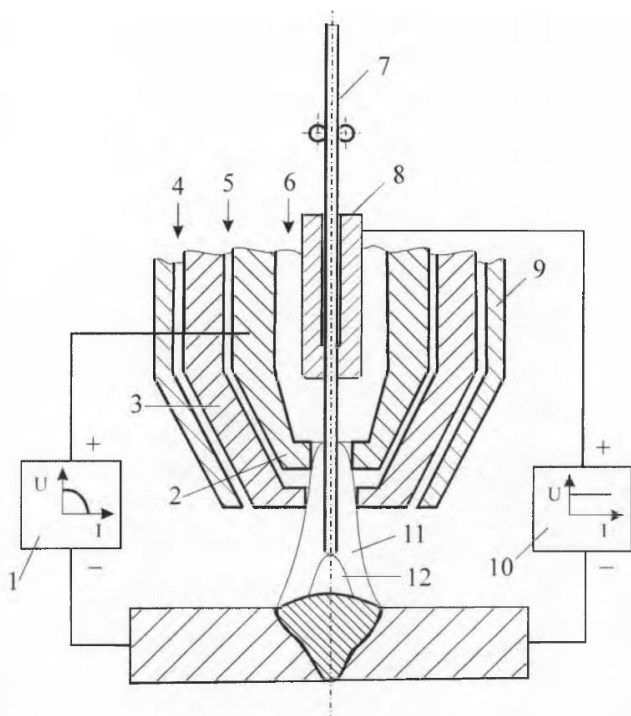


Рисунок 1.4 - Схема плазменно-дуговой сварки плавящимся электродом:

1 – источник питания плазменной дуги; 2 – водоохлаждаемый кольцевой медный анод; 3 – стабилизирующее сопло; 4 – защитный газ; 5 – стабилизирующий газ; 6 – плазмообразующий газ; 7 – плавящийся электрод; 8 – токоподводящий наконечник; 9 – защитное сопло; 10 – источник питания дугового разряда плавящегося электрода; 11 – плазменная дуга; 12 – дуговой разряд плавящегося электрода

В целом процесс плазма-МИГ сварки с кольцевым анодом отличается широкими возможностями регулирования технологических свойств гибридного источника энергии. Наличие плазмы, окружающей участок вылета проволоки и дуговой разряд плавящегося электрода, позволяет существенно повысить

производительность процесса и скорость сварки, регулировать тепловложение в основной и присадочный металлы, изменять в широких пределах характер плавления и переноса электродного металла.

Плазма-МИГ-гибридная дуговая сварка является перспективной технологией в обработке материалов, и свойства этого метода должны быть хорошо изучены [12]. Данную технологию применяли для изготовления уникальных конструкций, в том числе ядерных реакторов [13, 31, 32].

Существенной особенностью процесса является то, что сварочная проволока и ее дуга окружены потоком термически ионизованного газа, который обеспечивает лучший контроль металла и передачу тепла к обрабатываемой детали [14].

Каждый из способов сварки имеет как определенные преимущества, так и недостатки. Создание комбинированных и гибридных технологий сопровождается совмещением технологических и других преимуществ отдельных способов сварки и сведение к минимуму недостатков. Основными задачами, стоящими перед сварочным производством, являются: повышение скорости сварки, снижение энерго- и материалоемкости, управление формой шва и повышение качества соединения [11, 25].

В конце 1990-х годов сварку и наплавку плазма-МИГ исследовали в ИЭС им. Е. О. Патона и Приазовском техническом университете. Установлено, что ток протекает не только по электродной проволоке, но и через плазму полуцилиндрической дуги, окружающей проволоку. Раздельный нагрев поверхности и плавление электрода показали хорошие результаты при наплавке с порошковой проволокой [13].

При гибридном процессе плазменной сварки плавящимся электродом вследствие окружения участка вылета электрода и дугового разряда, горящего между плавящимся электродом и изделием, аксиальным потоком плазмы, создаваемым плазменной дугой, значительно возрастает скорость плавления электродной проволоки, повышается стабильность дуги, устраняется

разбрызгивание электродного металла, улучшается формирование сварных швов [4].

Величина смещения места горелки и высоты горелки существенно влияет на качество сварного шва [15].

Независимое регулирование тока плазменной дуги и дугового разряда позволяет в широких пределах управлять технологическими характеристиками процесса и тем самым получать практически бездефектные швы при значительном увеличении скорости сварки.

Авторами [16-20] было установлено, что этот процесс является более гибким и стабильным при положительной полярности. Хотя неустойчивость при отрицательной полярности могла быть улучшена введением некоторого количества кислорода в аргоновую плазму, положительная форма была основным предметом дальнейших исследований. Наблюдалось два типа дуг: стационарная узкая дуга с высокой плотностью энергии и вращающийся при котором режим с низкой средней плотностью энергии был выше критического значения тока при прохождении через проволоку.

Перспективными являются также гибридные процессы, основанные на совместном действии процессов сварки плавлением и давлением. К одной из основных проблем относят сложность устройств для реализации процессов. Чаще всего оборудование для гибридных способов представляет собой сумму основных узлов каждого из источников нагрева и отдельных или совмещенных источников питания с электронным управлением параметрами режимов [13].

Наличие плазмы, окружающей плавящийся электрод и дугу, существенно расширяет диапазон токов в электродной проволоке, в котором процесс горения дуги устойчив, увеличивается производительность плавления и уменьшается критический ток перехода к струйному и струйно вращательному переносу электродного металла. Наличие плазмы, окружающей плавящийся электрод и дугу, существенно расширяет диапазон токов в электродной проволоке, в котором процесс горения дуги устойчив, увеличивается производительность

плавления и уменьшается критический ток перехода к струйному и струйно-вращательному переносу электродного металла [13, 29].

Так ученые из Японии предложили структуру недавно разработанной сварочной системы МИГ для плазмы и появление сварочного робота для плазменной сварки МИГ, на котором установлена эта система (рис.1.5). Система включает в себя плазменную сварочную горелку, источник питания для сварки МИГ, источник питания плазменной сварки и устройство подачи сварочной проволоки МИГ, приводимое в действие серводвигателем переменного тока [17]. Как контактный наконечник (со стороны МИГ) сварочной горелки, так и плазменный электрод (со стороны плазмы) соединены с плюсовыми электродами сварочного источника питания и основного металла с минус с-электродами.

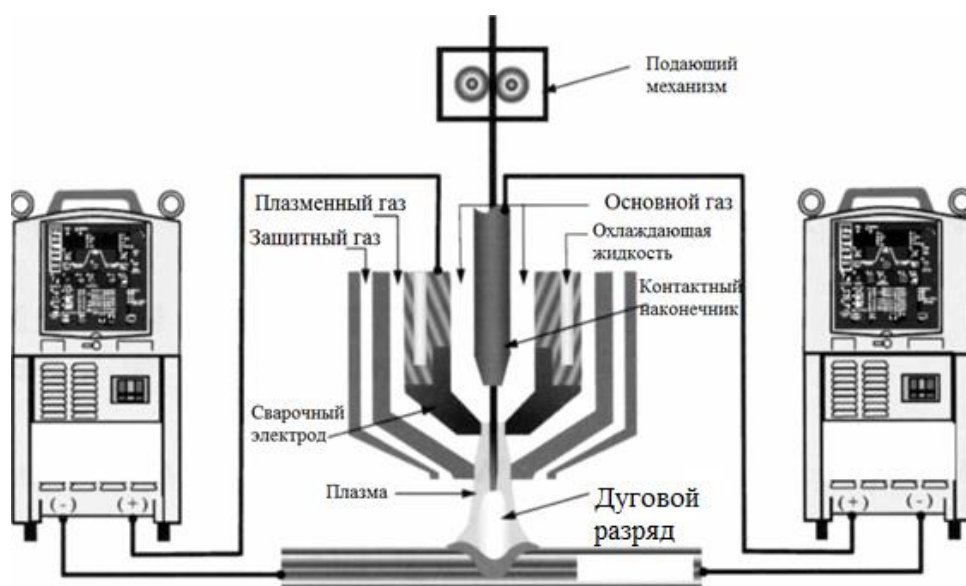


Рисунок 1.5 - Схема плазменной сварки плавящимся электродом

Настоящие авторы разработали сварочную систему с использованием плазменной сварки МИГ, в которой МИГ и плазма генерируются коаксиально с целью улучшения внешнего вида сварных швов и уменьшения количества паров и брызг. В результате можно получить чистую дугу с низким содержанием паров и брызг [17].

Для практического использования авторами [15] было разработано плазменное сварочное оборудование для МИГ сварки, в которая даёт

возможность вести длинные швы в небольшом отверстии. Внешний вид сварочного оборудования показан на рисунке. 1.6. Сварочная горелка имеет изогнутую форму, так что ее можно вставить в узкую часть. Увеличение сопротивления подачи проволоки луком горелки компенсируется устройством подачи проволоки с помощью двухтактной системы. Место прицеливания проверяется камерой, установленной перед факелом. Основываясь на этом результате, было проведено фактическое использование крупноразмерной структуры хранения ядерных отходов с длиной линии 4 м, и был получен хороший результат.



Рисунок 1.6 - Схема плазменной сварки плавящимся электродом для ограниченного пространства

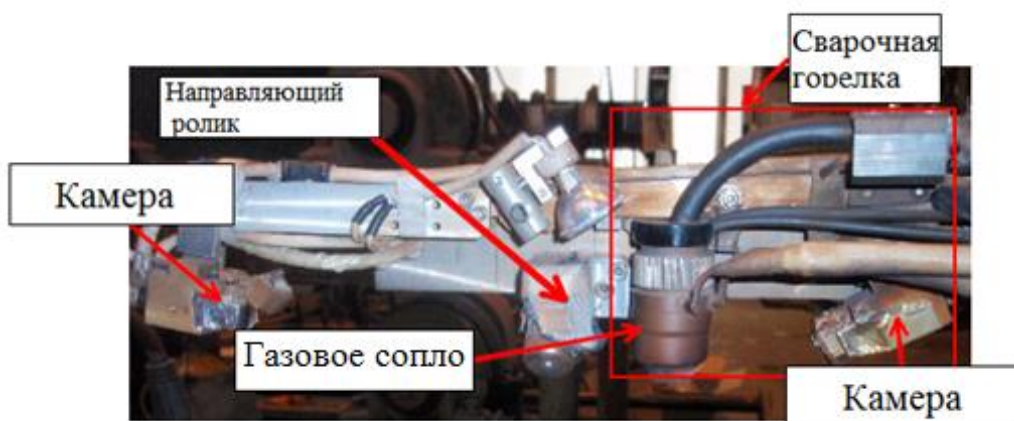


Рисунок 1.7 - Схема сварочная горелка для узкой части

Расширение сферы применения плазменных устройств ставит задачу проектирования плазмотронов, специфичных для каждой технологии. К настоящему времени разработано большое количество плазмотронов, классифицировать которые можно по целому ряду признаков: функциональных, конструктивных и параметрических. Как уже было сказано, современные плазмотроны способны работать на мощностях энергопотребления от единиц до сотен мегаватт, обеспечивая (с разным термическим коэффициентом полезного действия) преобразование электрической энергии в тепловую и кинетическую и производя тем самым термокинетическое воздействие на материалы, обладающие различной структурой и свойствами [11].

Однако отсутствие выпускаемого специализированного оборудования и возможное в некоторых случаях нарушение стабильности процесса сдерживают его широкое промышленное использование.

Цель и задачи работы

Анализ литературы показал, что плазменная сварка плавящимся электродом является прогрессивным процессом, обладающим широкими технологическими возможностями. Обладая высокой производительностью, меньшей энергоемкостью, простотой аппаратного обеспечения и простой техникой исполнения данный вид сварки может успешно конкурировать при сварке-наплавке новых металлических материалов с различными быстро развивающимися видами сварки. В то же время промышленное использование данного прогрессивного вида сварки сдерживается недостаточной его изученностью, это вызвано отсутствием выпускаемого специализированного оборудования.

Таким образом, для эффективного использования гибридного процесса плазменной сварки-наплавки в промышленности возникает необходимость его дальнейшего изучения и совершенствования. Для этого в условиях кафедры были проведены эксперименты для нахождения возможных причин нарушения стабильности процесса плазменно-дуговой сварки плавящимся электродом, а также поиск условий для стабилизации данного процесса сварки в непрерывном режиме.

Целью данной работы является определение совместного горения плазменной дуги и дуги с плавящимся электродом в непрерывном режиме и исследование проплавления основного металла при плазменно-дуговой сварки плавящимся электродом.

Для достижения поставленной цели необходимо:

1. Найти причины которые вызывают нарушение стабильности процесса сварки.
2. Найти методы решения данных причин.
3. Определить проплавляющую способность процесса плазменно-дуговой сварки плавящимся электродом.

2. Экспериментальная часть

2.1. Методы исследования материала и оборудования

Для проведения исследований на кафедре был скомпонован стенд на базе серийно выпускаемой установки для плазменно-порошковой наплавки УПН-303УХЛ4, в котором был заменен плазматрон на специально разработанную плазменную горелку и удален порошковый питатель. Для подачи плавящегося электрода использовали полуавтомат с подающим механизмом WF4 и источником питания МАХІ 505 с жесткой внешней характеристикой. Съёмку проводили цифровой скоростной видеокамерой VS-FAST с частотой кадров 2000 к/с.

На рисунке 2.1 представлен сборочный чертеж плазматрона.

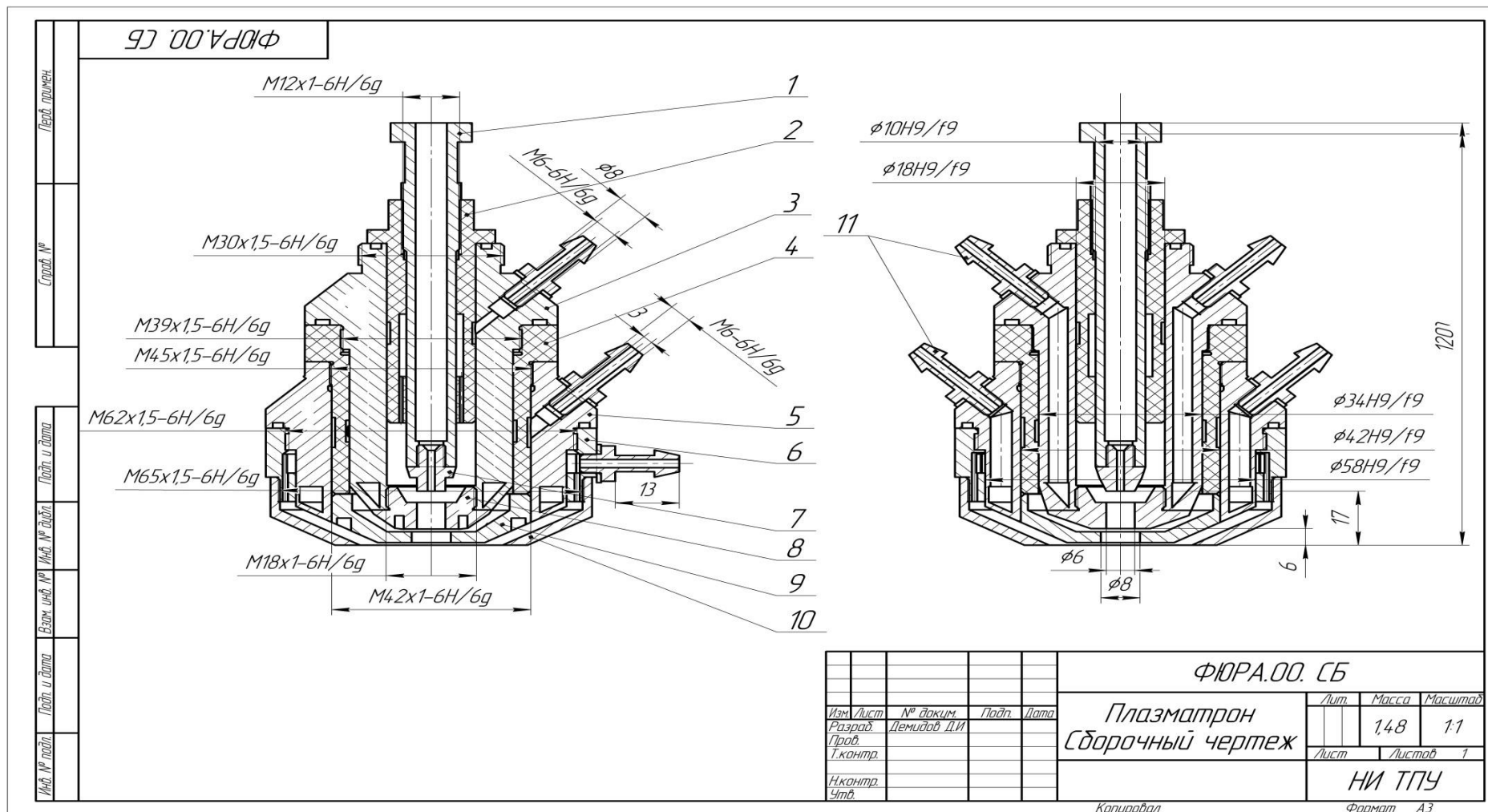


Рисунок 2.1 - плазматрон для сварки (наплавки) плавящимся электродом (1. Мундштук; 2. Изолирующая втулка; 3. Рубашка охлаждения кольцевого анода; 4. Рассекатель стабилизирующего газа; 5. Рубашка охлаждения стабилизирующего сопла; 6. Рассекатель защитного газа; 7. Токоподводящий наконечник; 8. Кольцевой медный анод; 9. Стабилизирующее сопло. 10. Защитное сопло; 11. Штуц

Данный плазмотрон позволяет применять широкий диапазон режимов сварки. Конструкция плазмотрона содержит водоохлаждаемый кольцевой медный анод и стабилизирующее сопло, мундштук с токоподводящим наконечником для подачи электродной проволоки, защитное сопло и изолирующие втулки. Данной конструкцией предусмотрена подача трех газовых потоков: Плазмообразующего, стабилизирующего и защитного. Плазмообразующий газ подается в кольцевой неплавящийся анод. Он одновременно защищает анодную область плазменной дуги от подсоса воздуха. Стабилизирующий газ подается между неплавящимся кольцевым анодом и стабилизирующим соплом и служит для стабилизации столба плазменной дуги. Защитный газ необходим для обеспечения защиты столба плазменной дуги, дугового разряда с плавящимся электродом и зоны сварки или наплавки от окружающей воздушной среды. Он подается через защитное сопло.

Конструкция плазмотрона предусматривает оперативную замену быстроизнашивающихся деталей – неплавящегося электрода и стабилизирующего сопла, также предусмотрено обеспечение строгой соосности плавящегося электрода с плазменной дугой, что исключает возможность нарушения стабильности процесса и аварийного выхода плазмотрона из строя во время процесса сварки или наплавки.

В качестве источника питания использовался МАХІ 505.

Таблица 2.1–Технические характеристики МАХІ 505



Параметры	Единицы измерения	Значения
Напряжение питания при 50/60 Гц	Гц	230/400
Потребляемая мощность	кВА	15
Плавкий предохранитель	А	40/25
Напряжение холостого хода	В	19-51
Диапазон по току	А	60-500
Ток при ПВ (при темперах. 40 град.)	А	100% - 300
Диаметр сварочной проволоки	мм	0,8-2,0

Рисунок 2.2 - Источник питания МАХІ 505

Для подачи сварочной проволоки используется сварочный полуавтомат WF4.



Рисунок 2.3 - Сварочный полуавтомат WF4

Защитный газ подаётся не посредвенно на прямую к плазмотрону. Регулировка расхода газа происходит с помощью редуктора. Подача охлаждающей жидкости происходит по открытой системе, то есть подача происходит из водопровода помещения и дальнейший слив воды в водопровод. Ниже приведена схема подключения газо- и водоснабжения плазмотрона.

Схема подключения газо- и водоснабжения экспериментального плазмотрона в установке УПН-303УХЛ4.

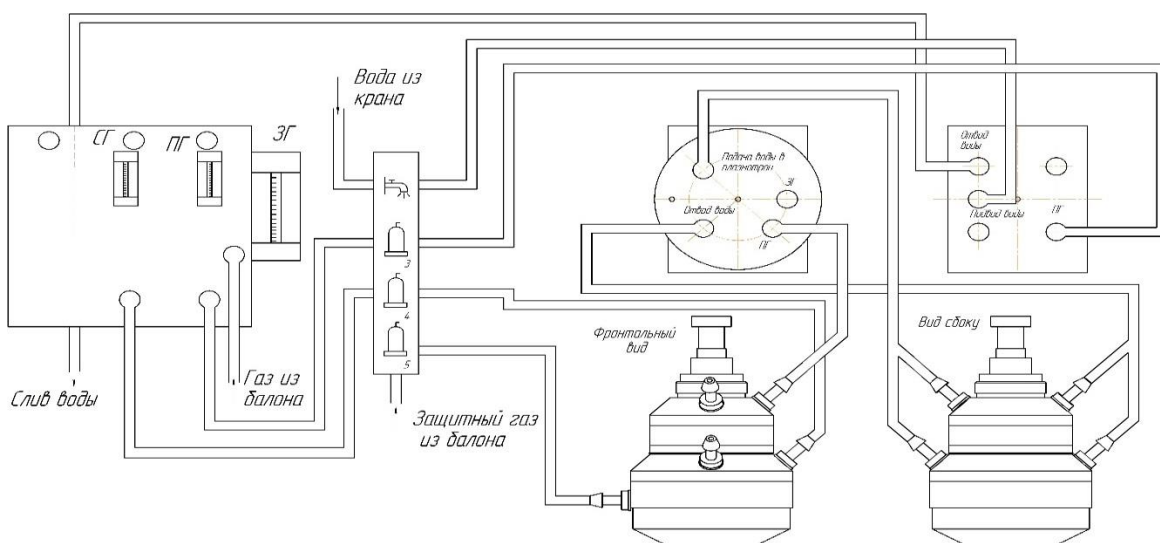


Рисунок 2.4 - Схема подачи газов и охлаждающей воды

Общий вид установки УПН-303УХЛ4 для плазменной сварки-наплавки плавящимся электродом представлен на рисунке 2.5.



Рисунок 2.5 - Общий вид установки УПН-303УХЛ4 для плазменной сварки-наплавки плавящимся электродом

Технические характеристики установки УПН-303УХЛ4 представлены в таблице 2.2.

Таблица 2.2 - Технические характеристики установки УПН-303УХЛ4

Напряжение питания	В	380
Потребляемая мощность	кВА	40
Номинальный ток	А	315
Регулирование рабочего тока:		Плавное
-сварки	А	-
-наплавки	А	50...315

Продолжение таблицы 2.2

-напыления	А	-
Толщина наносимого слоя за один проход:		
-наплавка	мм	2...10
-напыление	мм	-
-упрочнение	мм	-
Производительность:		
-наплавка	кг/час	6
-напыление	кг/час	-
-упрочнение	кг/час	-
Плазмообразующий газ и защитный газ	л/час	2400
Охлаждение плазмотрона		Водяное
Расход охлаждающей жидкости	л/час	120
Скорость перемещения самоходной головки	м/ч	0,2...20
Частота вращения планшайбы размеры	мин-1	0,05...2,5
Масса установки	кг	2820
Габаритные размеры	мм	3450x2800x2000

Установка УПН-303УХЛ4 имеет поворотную колонну с направляющей балкой подвесную самоходную головку и манипулятор изделия. Установка комплектуется плазмотронами для наплавки постоянным током прямой или обратной полярности. Номинальная грузоподъемность манипулятора 500кг, максимальные диаметр изделия, закрепляемого на планшайбе манипулятора 1500мм.

Для управления совместной работой двух источников питания и механизма подачи электродной проволоки установку доукомплектовали специально разработанным блоком, позволяющим реализовать заданный алгоритм управления режимом плазменной сварки или наплавки плавящимся электродом.

На Рисунке 2.6 представлена схема подключения источников питания.

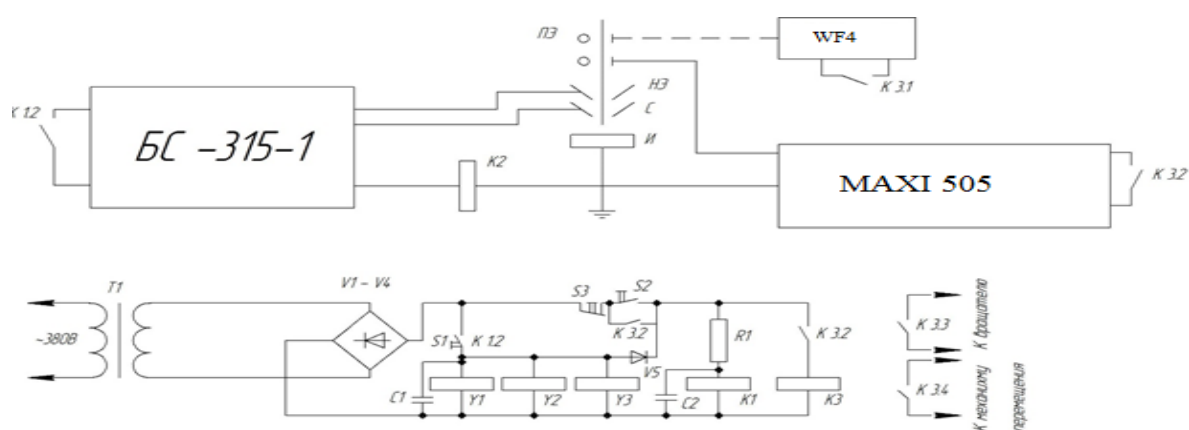


Рисунок 2.6 - Схема подключения источников питания

Одной из важнейших задач исследования процесса сварки способом плазма-МИГ является изучение процесса шунтирования тока плазменной дуги плавящимся электродом. Этот процесс в зависимости от значения тока шунтирования может оказывать влияние на процессы плавления и переноса электродного металла, а также на стабильность процесса совместного горения плазменной дуги и дугового разряда [19].

При вводе плавящегося электрода в плазменную дугу его торец приобретает потенциал точки плазмы, в контакте с которой он находится, т.е. потенциал точки входа проволоки в дугу. В дуге значение потенциала изменяется по длине столба.

Таким образом, в области торца проволоки между плазмой и проволокой всегда существует разность потенциалов равная произведению градиента потенциала в столбе плазменной дуги и глубины осевого погружения проволоки в плазму.

К шунтированию тока плазмы проволокой ведет значительно меньший градиент падения напряжения в вылете плавящегося электрода, чем в столбе плазменной дуги. В этом случае ток шунтирования определяется сопротивлением участков плазменной дуги и вылета электродной проволоки, находящихся в электрическом контакте [19].

2.2. Исследование стабильности горения сварочной дуги и дугового разряда

Все эксперименты проводили при обратной полярности плазменной дуги и дугового разряда с использованием в качестве плавящегося электрода омедненной проволоки Св-08Г2С диаметром 1, 1.2 мм. Опытную наплавку вели при диаметре анода 4–6 мм, стабилизирующего сопла 6–8 мм на пластины из стали Ст.3 размером 150x500 мм и толщиной 12 мм, зачищенные до металлического блеска. Стабильность процесса и качественное формирование сварных швов обеспечивались при расходе плазмообразующего газа (аргона) 2–4 л/мин; стабилизирующего газа (аргона) 5–7 л/мин. Расход защитного газа (СО₂) был в пределах 6–8 л/мин, для регистрации электрических параметров процесса сварки применяли цифровой запоминающий осциллограф PDS 5022S.

Нарушение процесса чаще всего происходит в процессе его освоения на оборудовании, сконструированном на базе серийно выпускаемых установок, предназначенных для других целей. Одним из видов нарушений является нарушение процесса возбуждения плазменной дуги, вызванное неправильной подачей пускового газа.

В плазменных горелках прямого действия для обычной плазменной сварки первоначально при помощи осциллятора возбуждается в среде плазмообразующего газа вспомогательная дежурная дуга между стержневым неплавящимся электродом и плазмообразующим соплом от того же источника питания через ограничивающее сопротивление. Затем через канал вдоль электрода и столба дуги пропускается при повышенном расходе пусковой плазмообразующий газ, который, проходя через плазму, ионизируется и, удлиняя вспомогательную дугу, закорачивает изделие. При этом автоматически зажигается основная дуга и выключается вспомогательная.

При плазменно-дуговой сварке плавящимся электродом процесс возбуждения основной плазменной дуги также осуществляется посредством возбуждения вспомогательной дуги с использованием пускового газа. Однако в этом случае в качестве пускового газа следует применять стабилизирующий газ.

Использование в качестве пускового плазмообразующего газа в плазменной горелке с кольцевым медным анодом приводит к выталкиванию вспомогательной дуги не к изделию, а в зазор между кольцевым медным анодом и стабилизирующим соплом, что нарушает процесс возбуждения плазменной дуги.

Таким образом установлено, что для возбуждения плазменной дуги в плазмотронах с неплавящимся кольцевым анодом в качестве пускового газа следует использовать стабилизирующий газ.

Другим видом нарушения может быть несоответствие напряжения холостого хода источника питания дугового разряда и скорости подачи электродной проволоки [8]. В случае завышенной скорости подачи проволоки нарушение процесса возможно либо в результате короткого замыкания проволоки на изделие, либо в результате увеличения глубины ее погружения в плазму, что вследствие шунтирования тока плазменной дуги может привести к двойному дугообразованию.

Нарушение совместного горения плазменной дуги и дугового разряда зависит от сопротивлений участков проволоки и плазменной дуги, находящихся в электрическом контакте. Введение проволоки в плазменную дугу приводит к её охлаждению и частичной деионизации. Поэтому возрастает сопротивление охлажденной зоны плазмы, прилегающей к проволоке. С повышением скорости подачи проволоки увеличивается ширина охлажденной зоны столба плазменной дуги и происходит катодное падение напряжения.

Условие стабильности совместного горения плазменной дуги и дугового разряда может быть представлено выражением:

$$U_{ПС}^0 + U_{КС}^П + U_{ВВ}^П < U_K^Э + U_A^Э + U_B^Э$$

где: $U_{ПС}^0$ -напряжение участка плазмы дуги до плазмообразующего сопла;

$U_{КС}^П$ -напряжение участка сопла;

$U_{ВВ}^П$ -напряжение видимого вылета;

$U_K^Э$ -напряжение на катоде;

$U_A^Э$ -напряжение на аноде;

$U_B^Э$ -напряжение в вылете анодного пятна.

Для обеспечения стабильности процесса необходимо снизить значения величин, входящих в левую часть уравнения. Самый простой способ это сделать снизить глубину погружения проволоки в плазму. И при соблюдении данных условий происходит повышение качества сварного соединения (рис. 2.7).



Рисунок 2.7 - Внешний вид сварного соединения, выполненного плазменной сваркой плавящимся электродом

Повышенное увеличение глубины погружения проволоки в плазму особенно заметно в начальный момент сварки при большой скорости подачи проволоки, что обусловлено инерционностью нагрева и плавления электродного металла. Если электродную проволоку подавать в плазменную дугу в начале процесса с малой скоростью и увеличивать ее до заданной после возбуждения дугового разряда между плавящимся электродом и изделием, то последний возбуждается самопроизвольно без короткого замыкания проволоки на изделие.

Совместное стабильное горение плазменной дуги и дугового разряда наблюдается в широком диапазоне значений тока и напряжения (рис. 2.8). В зависимости от параметров режима процесс сварки протекает с крупнокапельным, переносом каплями среднего размера и мелкокапельным или струйным переносом электродного металла. (рис. 2.9).

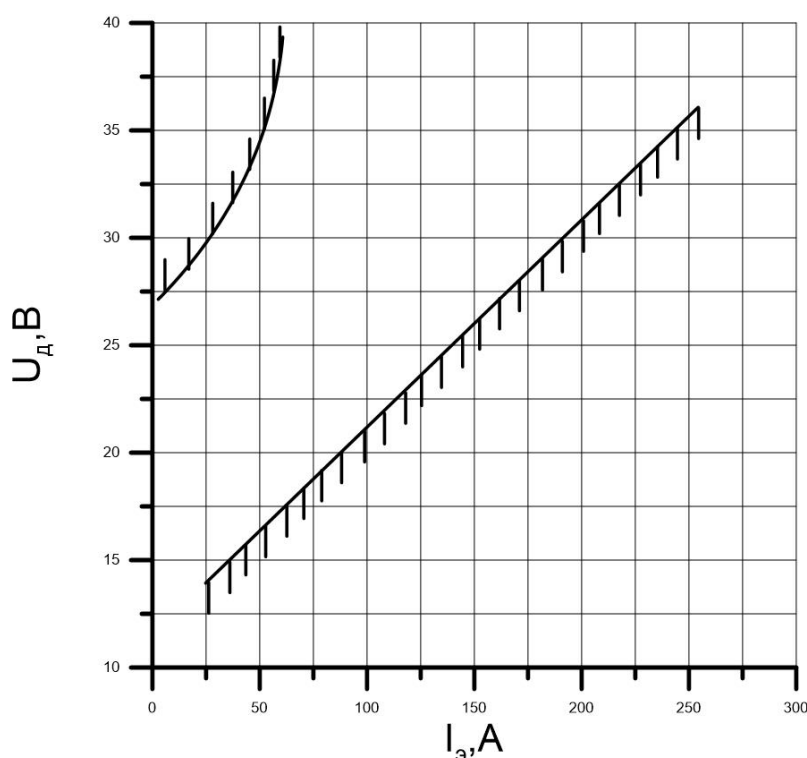


Рисунок 2.8 - Границы области устойчивого процесса горения плазменной дуги при сварке плавящимся электродом ($d_3=1\text{мм}$, $I_n=110\text{А}$, $L_{пл}=20\text{мм}$)

Увеличение тока плазменной дуги ускоряет переход от капельного переноса электродного металла к струйному (рис. 2.9).

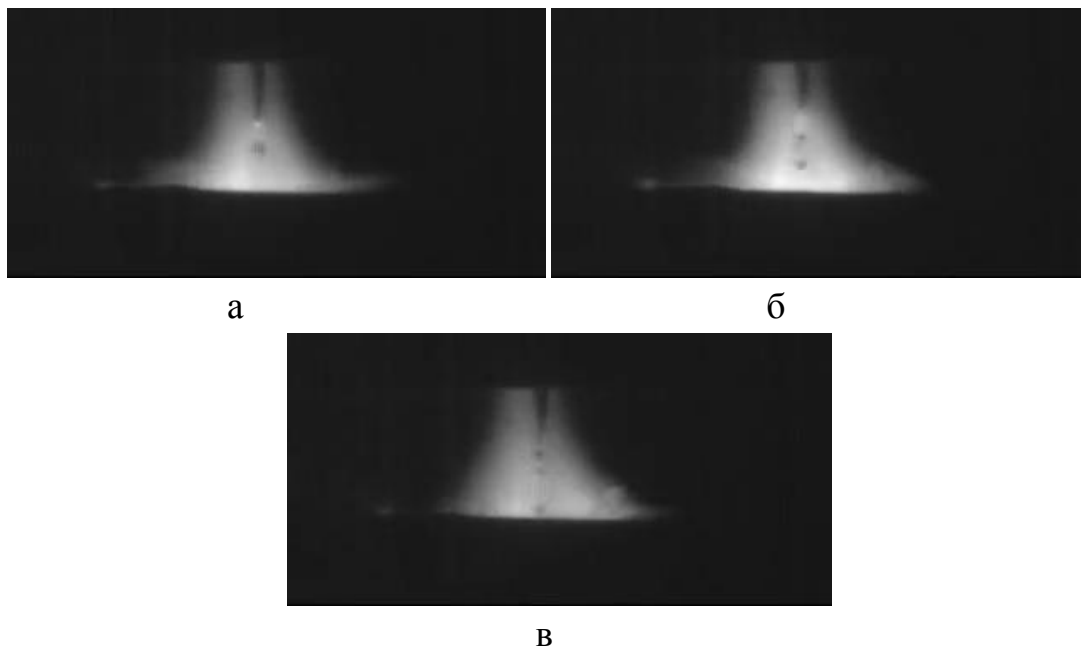


Рисунок 2.9 - Кинограммы перехода от крупнокапельного переноса электродного металла к струйному при увеличении тока плазменной дуги:
а – 100 А; б – 115 А; в – 130 А ($d_э = 1,0$ мм, $I_э = 175$ А)

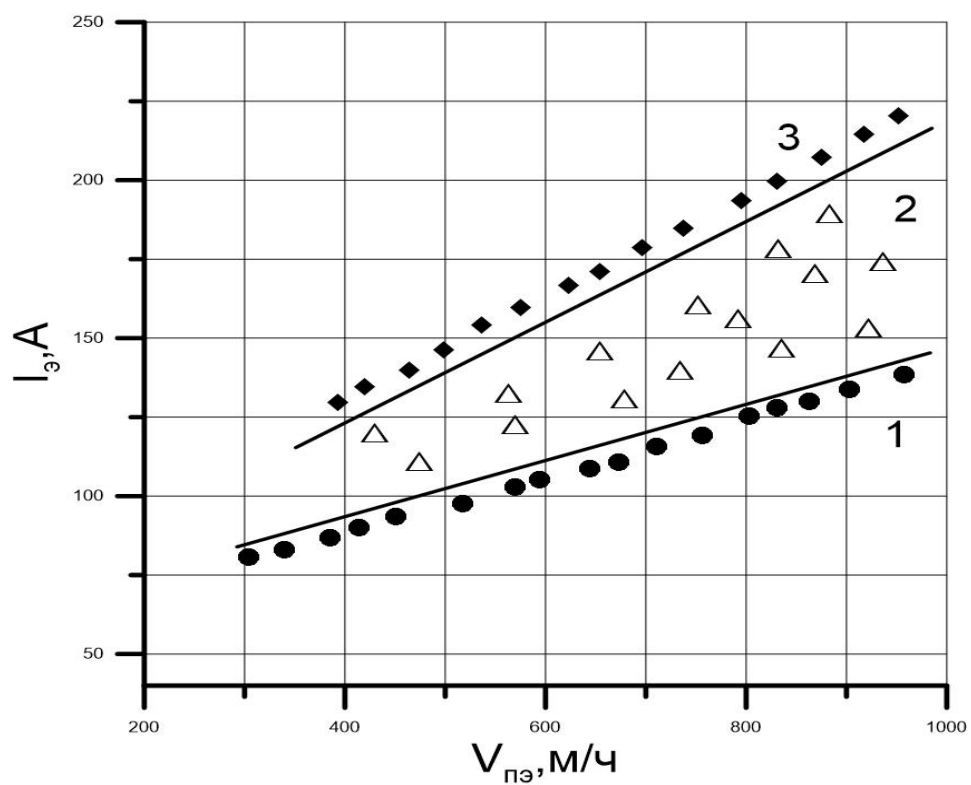


Рисунок 2.10 – Области совместного горения плазменной дуги и дугового разряда при плазменно-дуговой сварке плавящимся электродом с различным видом переноса электродного металла: 1- крупнокапельный; 2- мелкокапельный; 3- струйный ($L_{п}=25\text{мм}$, $I_{п}=110\text{А}$, $d_{э}=1\text{ мм}$)

2.3. Исследование влияния режимов сварки на проплавление основного металла

Все эксперименты по исследованию влияния режимов сварки на параметры проплавления основного металла проводили с использованием тех же сварочных материалов и условий сварки, при которых исследовали устойчивость совместного горения плазменной дуги и дугового разряда плавящегося электрода.

Решающее влияние на характер протекания процесса проплавления основного металла оказывают ток дугового разряда плавящегося электрода, ток плазменной дуги и скорость подачи проволоки. С увеличением тока дугового разряда плавящегося электрода для исследуемого диаметра электродной проволоки глубина проплавления основного металла H , ширина шва B (рис. 2.11) и площадь проплавления $F_{пр}$ возрастают (Рис. 2.12).

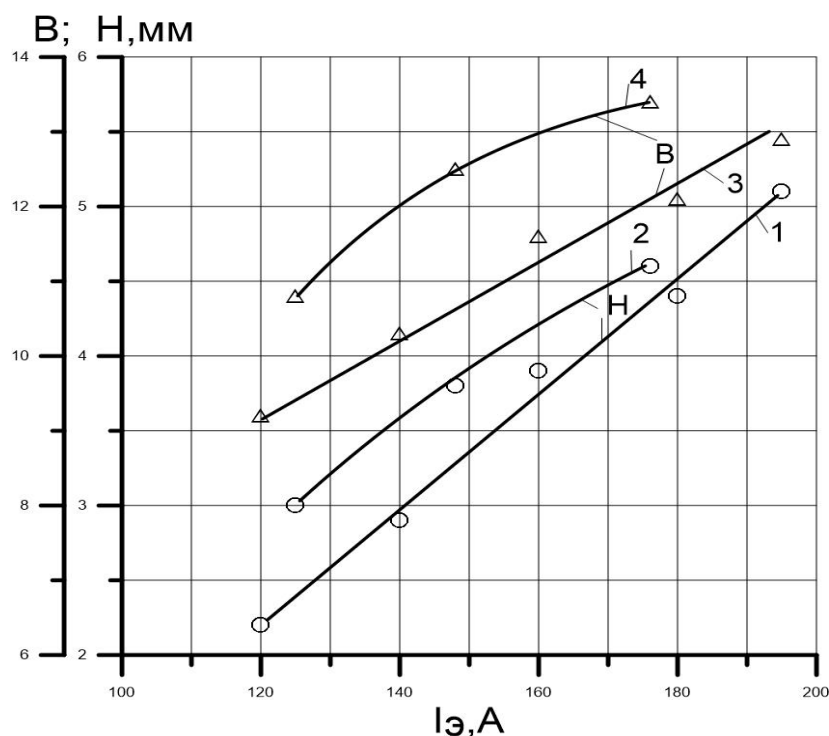


Рисунок 2.11 - Зависимость глубины проплавления основного металла H (кривые 1, 2) и ширины шва B (кривые 3, 4) от тока дугового разряда плавящегося электрода $I_э$ при различных значениях тока плазменной дуги $I_{пл}$: 1 и 3 – $I_{пл} = 110$ А; 2 и 4 – $I_{пл} = 140$ А ($d_э = 1$ мм, $v_{св} = 25$ м/ч)

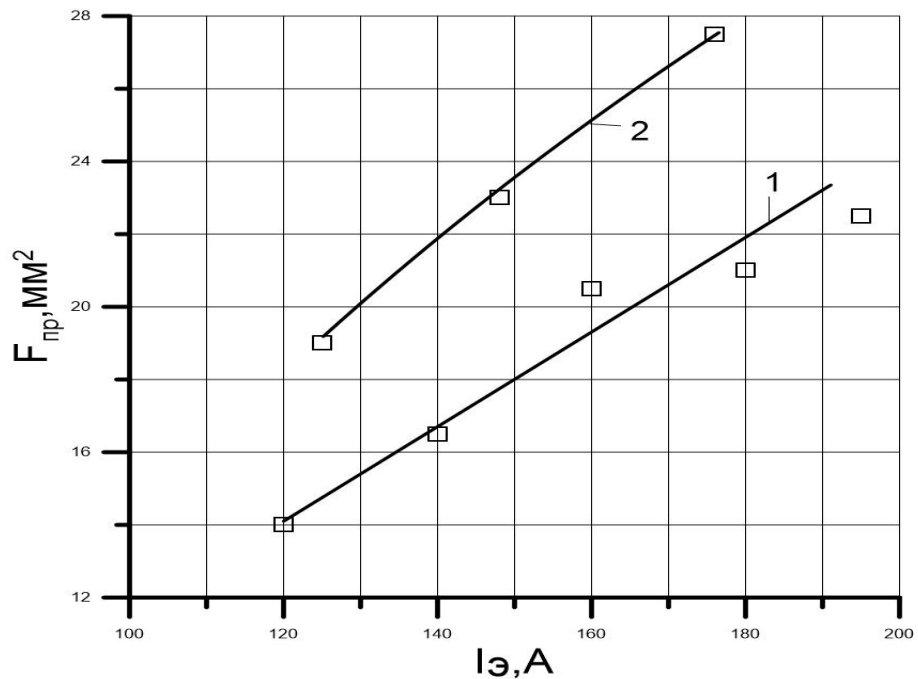


Рисунок 2.12 - Зависимость площади проплавления основного металла $F_{пр}$ от тока дугового разряда при различных значениях тока плазменной дуги: 1 – $I_{пл} = 110$ А; 2 – $I_{пл} = 140$ А ($d_э = 1$ мм, $v_{св} = 25$ м/ч)

Увеличение тока плазменной дуги в большей степени сказывается на увеличении ширины шва и в меньшей – на увеличении глубины проплавления основного металла (рис. 2.11, 2.12). Общая ширина проплавления при этом соответствует диаметру основания внешней зоны плазменной дуги, которая является менее концентрированной в сравнении с дуговым разрядом плавящегося электрода, горящим в окружении плазмы.

Поэтому при переходе от капельного переноса к струйному переносу электродного металла, когда концентрация дугового разряда плавящегося электрода возрастает, в шве появляется характерное проплавление в виде местного углубления и шов приобретает грибовидную форму (рис. 2.13).



Рисунок 2.13 - Грибовидное проплавление основного металла

Проплавляющее воздействие, оказываемое на основной металл менее концентрированной плазменной дугой в процессе плазма-МИГ сварки, в основном сводится к активированию поверхности проплавляемого металла, а основная роль в его проплавлении принадлежит дуговому разряду плавящегося электрода.

Вследствие дополнительного нагрева электродной проволоки окружающей плазмой и шунтирования ею части тока плазмы переход от капельного к струйному переносу электродного металла происходит при плотности тока плавящегося электрода, значительно меньшей, чем при дуговой сварке плавящимся электродом. При этом возрастает производительность расплавления плавящего электрода, а критический ток, при котором начинается струйный перенос металла, снижается (рис. 2.14).

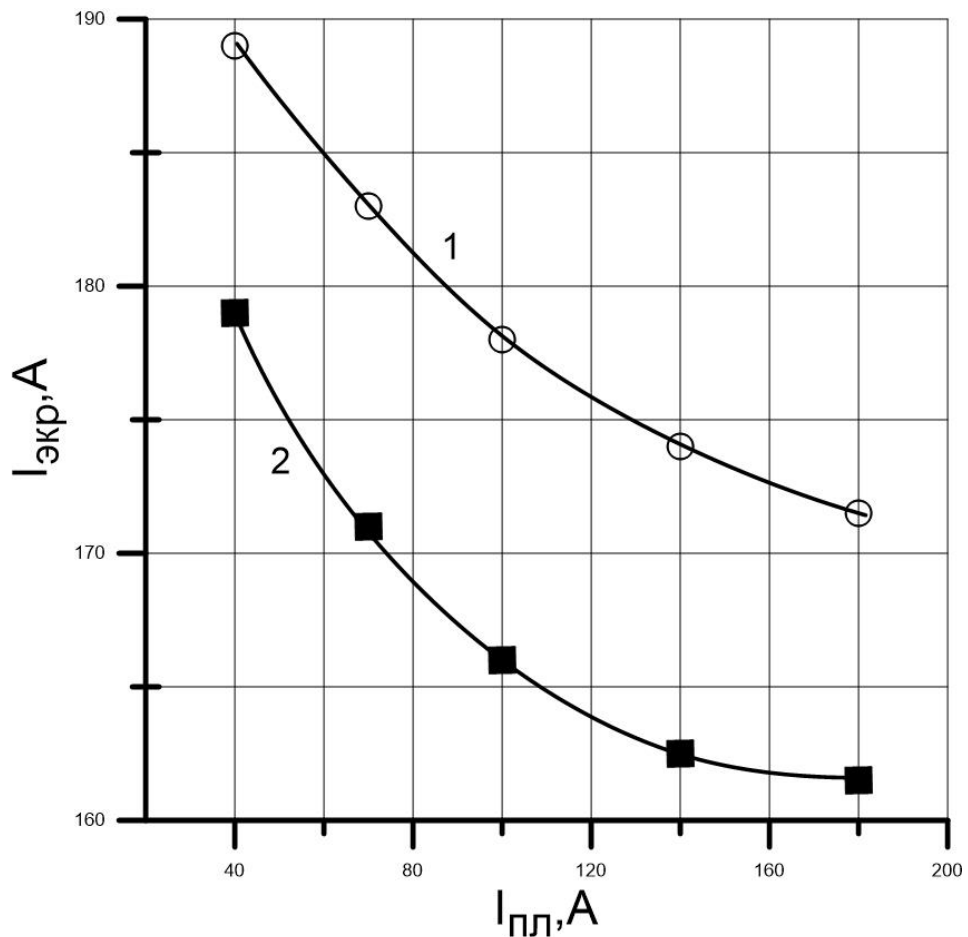


Рисунок 2.14 - Зависимость критического тока дугового разряда плавящегося электрода $I_{кр}$ от тока плазменной дуги при разных диаметрах электрода $d_э$ (длина плазменной дуги $L_{пл} = 20$ мм, длина вылета электрода $L_в = 30$ мм): 1 – $d_э = 1$ мм; 2 – $d_э = 1,2$ мм.

Полученные данные показывают, что при малом погружении плавящегося электрода в плазменную дугу ток шунтирования не превышает 10 – 15 А. При увеличении глубины погружения до появления видимого вылета электрода ток шунтирования резко повышается. В случае применения токоведущего плавящегося электрода интенсивное шунтирование плазменной дуги начинается при меньших значениях его видимого вылета, чем при использовании обесточенной электродной проволоки. Это можно объяснить контрагированием столба плазменной дуги в результате взаимодействия тока плазменной дуги с магнитным полем, создаваемым током, протекающим по электродной проволоке.

Шунтирование плавящимся электродом части тока плазмы и дополнительный нагрев его за счет теплообмена между столбом плазменной дуги и поверхностью электродной проволоки на участке вылета, погруженного в плазменную дугу, изменяет характер переноса электродного металла и производительность плавления плавящего электрода.

Увеличение видимого вылета плавящегося электрода при заданном постоянном напряжении источника питания дугового разряда ускоряет переход от капельного к струйному переносу электродного металла при меньших значениях критического тока (рис. 2.15).

Это обеспечивает совместное стабильное горение плазменной дуги и дугового разряда. При этом возрастает производительность расплавления плавящего электрода (табл. 2.3).

Таблица 2.3

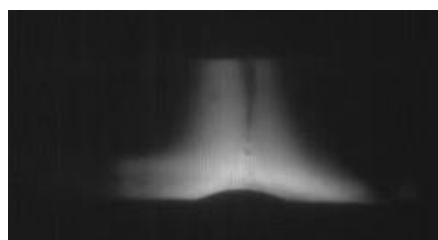
Напряжение холостого хода источника питания дугового разряда U_{xx} , В	Ток плазменной дуги $I_{пл}$, А	Ток дугового разряда $I_э$, А	Видимый вылет плавящегося электрода $L_{вв}$, мм	Характер переноса электродного металла	Производительность плавления электрода, кг/ч
33	110	147	0,5	Капельный	5,7
	110	185	6,5	Струйный	6,4
	140	175	4,0	Струйный	6,9



а)



б)



в)

Рисунок 2.15 - Кинограммы перехода от капельного переноса электродного металла к струйному при увеличении видимого вылета плавящегося электрода $L_{\text{вв}}$ (диаметр электрода 1,2 мм, длина плазменной дуги 20 мм, ток плазменной дуги 110 А, напряжение холостого хода источника питания дугового разряда 33 В, ток дугового разряда 185 А): а – 4 мм, б – 5 мм, в – 6,5 мм.

Значительное увеличение видимого вылета электрода приводит к нарушению процесса либо вследствие короткого замыкания плавящего электрода на изделие или в результате двойного дугообразования. С увеличением тока плазменной дуги допустимый видимый вылет плавящегося электрода уменьшается.

3. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

3.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Выпускная квалификационная работа по теме «Исследование стабильности процесса плазменно-дуговой сварки плавящимся электродом в непрерывном режиме» выполняется в рамках научно-исследовательской работы для организации. Заинтересованными лицами в полученных данных будут являться сотрудники организации.

Суть работы заключается в исследовании стабильности совместного горения плазменной дуги и дугового разряда при плазменной сварке плавящимся электродом.

Таблица 3.1 - Сегментирование рынка

		Показатель		
		Низкий показатель	Средний показатель	Высокий показатель
Технологические показатели качества сварного соединения	Кол-во дефектов на 1 см сварного шва	1,2	-	3
	Разбрызгивание электродного металла	1	2	2,3
	Глубина проплавления, мм	3,2	3	1

- 1- Гибридная сварка плавящимся электродом;
- 2- Механизированная сварка плавящимся электродом ;
- 3- Ручная дуговая сварка.

Результат сегментирования показал, что уровень конкуренции низок. Гибридная сварка плавящимся электродом, как видно из сегментирования, хороший способ сварки, который может получать качественные сварные соединения.

3.1.2 Анализ конкурентных технических решений

Таблица 3.2 - 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 критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Удобство в эксплуатации	0,1	5	2	3	0,5	0,2	0,3
2. Затраты сварочного материала	0,2	5	1	5	1	0,2	1
3. Качество сварного соединения	0,1	5	3	5	0,5	0,3	0,1
Экономические критерии оценки эффективности							
1 цена	0,05	5	5	5	0,25	0,25	0,25
2 Предполагаемый срок эксплуатации	0,1	5	5	3	0,5	0,5	0,3
3 Конкурентно-способность работы	0,25	5	2	4	1,25	0,5	1
Итого	1	30	20	29	5	2,35	3,75

Где сокращения: Б_ф- Гибридная сварка плавящимся электродом; Б_{к1} – Механизированная сварка плавящимся электродом; Б_{к2}- Ручная дуговая сварка.

Анализ конкурентных технических решений определили по формуле:

$$K = \sum V_i \cdot B_i \quad (1.2)$$

где: K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

V_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя.

Итогом данного анализа является то, что метод предложенный в дипломе эффективнее, чем методы конкурентов.

3.1.3 SWOT – анализ

Таблица 3.3 - Матрица SWOT

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта:	Слабые стороны научно-исследовательского проекта:
	<p>С1. Наличие бюджетного финансирования.</p> <p>С2. Широкая область применения</p> <p>С3. Использование современного оборудования</p> <p>С4. Актуальность проекта</p> <p>С5. Наличие опытного руководителя</p>	<p>Сл1. Развитие новых технологий</p> <p>Сл2. Перенастройка оборудования</p> <p>Сл.3. Требуется два источника питания</p> <p>Сл4. Отсутствие квалифицированного персонала.</p>
<p>Возможности:</p> <p>В1. Получение качественных сварных соединений</p> <p>В2. Регулирование производительности</p> <p>В3.Повышение стоимости конкурентных разработок</p>	<p>Получение высокоэффективного оборудования для сварки (наплавки) изделий.</p> <p>Возможность создавать партнерские отношения с рядом ведущих вузов для совместных исследований в области плазменной наплавки.</p>	<p>Требуется множество перенастроек в связи с новшеством оборудования.</p> <p>Повышение квалификации персонала</p>
<p>Угрозы:</p> <p>У1. Появление новых технологий</p> <p>У2. Снижение государством финансирования темы</p> <p>У3. Введение дополнительных государственных требований и сертификации программы.</p>	<p>Экономическая эффективность данного оборудования в промышленности Российской Федерации. Повышение квалификации персонала т.к тема актуальна и есть современное оборудование</p>	<p>Требуется множество ресурсов для реализации данного проекта.</p>

Интерактивные матрицы проекта представлены в таблицах 3.4, 3.5, 3.6, 3.7.

Таблица 3.4 - Интерактивная матрица возможностей и сильных сторон проекта

Сильные стороны проекта						
Возможности проекта		C1	C2	C3	C4	C5
	B1	-	+	+	+	+
	B2	+	+	+	+	+
	B3	+	+	-	+	+
	B4	+	+	+	+	+

При анализе данной интерактивной таблицы можно выявить следующие коррелирующие сильные сторон и возможности: B1C2C3C4C5, B2B4C1C2C3C4C5, B3C3C4C5.

Таблица 3.5 - Интерактивная матрица возможностей и слабых сторон проекта

Слабые стороны проекта					
Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4
	B1	-	-	-	+
	B2	+	-	+	-
	B3	-	+	-	+
	B4	+	+	+	-

При анализе данной интерактивной таблицы можно выявить следующие коррелирующие слабых сторон и возможности: B2Сл1Сл3, B3B4Сл1.

Таблица 3.6 - Интерактивная матрица угроз и сильных сторон проекта

Сильные стороны проекта						
Угрозы проекта		C1	C2	C3	C4	C5
	У1	-	-	-	+	+
	У2	+	-	-	-	-
	У3	-	-	-	+	-
	У4	-	-	+	+	-

При анализе данной интерактивной таблицы можно выявить следующие коррелирующие сильные сторон и угроз: У1С4С5, У4С3С4.

Таблица 3.7 - Интерактивная матрица угроз и слабых сторон проекта

Слабые стороны проекта					
Угрозы проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4
	У1	+	+	+	-
	У2	-	+	-	-
	У3	-	-	-	-
	У4	-	-	-	+

При анализе данной интерактивной таблицы можно выявить следующие коррелирующие слабых сторон и угроз: У1Сл1Сл2Сл3.

3.2 Определение возможных альтернатив проведения научных исследований

Таблица 3.8 - Морфологическая матрица

	1	2	3
А. Диаметр сварочной проволоки, мм	1	1.2	1
Б. Марка сварочной проволоки	Св-08А	Св-10Г2С	Св-04Х19Н9
В. Плазмообразующий газ	Ar (высший сорт)	Ar (Сорт 1)	-
Г. Стабилизирующий газ	Ar (высший сорт)	Ar (Сорт 1)	-
Д. Защитный газ	Ar	CO ₂	Ar + CO ₂

Возможные варианты решения технической задачи:

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

3.3 Планирование научно-исследовательских работ

3.3.1 Структура работ в рамках научного исследования

Таблица 3.9 - Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Создание темы проекта	1	Составление и утверждение темы проекта	Научный руководитель
	2	Анализ актуальности темы	
Выбор направления исследования	3	Поиск и изучение материала по теме	Студент
	4	Выбор направления исследований	Научный руководитель, студент
	5	Календарное планирование работ	
Теоретические исследования	6	Изучение литературы по теме	Студент
	7	Подбор нормативных документов	
	8	Изучение установки УПН 303	
Оценка полученных результатов	9	Анализ результатов	Научный руководитель, студент
	10	Вывод по цели	Научный руководитель, студент

3.3.2 Определение трудоемкости выполнения работ

$$t_{\text{ож}i} = \frac{3t_{\text{min}i} + 2t_{\text{max}i}}{5}, \quad (3.1)$$

где: $t_{\text{ож}i}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы чел.-дн.;

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

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

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_{pi} , 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 около 65 %.

$$T_{pi} = \frac{t_{\text{ож}i}}{ч_i}, \quad (3.2)$$

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

$t_{\text{ож}i}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.;

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

3.3.3 Разработка графика проведения научного исследования

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

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

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}}, \quad (3.3)$$

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

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

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

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}}, \quad (3.4)$$

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

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

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

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

Все рассчитанные значения вносим в таблицу (табл. 3.10).

После заполнения таблицы 8 строим календарный план-график (табл. 3.11). 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 3.10 - Временные показатели проведения научного исследования

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

Таблица 3.11 - Календарный план-график проведения ВКР по теме

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

★ – студент; ◆ – руководитель.

3.3.4 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

При планировании бюджета НТИ должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением.

3.3.5 Расчет материальных затрат НТИ

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_m = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{расхi}, \quad (3.5)$$

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 3.12 - Материальный затраты

Наименование	Единица измерения	Количество			Цена за ед., руб.			Затраты на материалы, (Z_m), руб.		
		Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3
Бумага	лист	150	100	130	2	2	2	345	230	169
Картридж для принтера	шт.	1	1	1	1000	1000	1000	1150	1150	1150
Интернет	М/бит (пакет)	1	1	1	350	350	350	402,5	402,5	402,5
Св-ая пр-ка	кг.	0,5	0,5	0,5	80	80	80	63	63	63

ПГ,СГ,ЗГ	лит.	1	1	1	12	12	12	18	18	18
Итого								1978	1978	1978

3.3.6 Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) 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 3.13 - Расчет бюджета затрат на приобретение спецоборудования для научных работ

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования			Цена единицы оборудования, тыс. руб.			Общая стоимость оборудования, тыс. руб.		
		Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1.	УПН - 303	1	-	-	180	-	-	207	-	-
Итого:								207	-	-

3.3.7 Основная и дополнительная заработная плата исполнителей темы

В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20 –30 % от тарифа или оклада. Расчет основной заработной платы сводится в табл. 3.14.

Таблица 3.14 - Расчет основной заработной платы

№ п/п	Наименование этапов	Исполнители по категориям	Трудо-емкость, чел.-дн.			Заработная плата, приходящаяся на один чел.-дн., тыс. руб.			Всего заработная плата по тарифу (окладам), тыс. руб.		
			Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1.	Составление и утверждение темы проекта	Руководитель	2	2	2	3,6			8	8	8
2.	Анализ актуальности темы	Рук.-студ.	1	1	1	4,4			5	5	5
3.	Поиск и изучение материала по теме	Студ.-рук.	1	1	1	4,4			5	5	5
4.	Выбор направления исследований	Руководитель	1	2	2	3,6			4	8	8
5.	Календарное планирование работ	Руководитель	2	2	2	3,6			8	8	8
6.	Изучение литературы по теме	Студент	10	10	10	0,8			8,9	8,9	8,9
7.	Подбор нормативных документов	Студ.-рук.	3	4	4	4,4			14,8	19,7	19,7
8.	Изучение установки	Студент	4	6	6	0,8			3,6	5,4	5,4
9.	Модернизация установки	Студент	2	3	4	0,8			1,8	2,7	3,6
10.	Анализ результатов	Студ.-рук.	2	2	2	4,4			9,8	9,8	9,8
11.	Вывод по цели	Студент	3	3	3	0,8			2,7	2,7	2,7
Итого:									69,7	74,2	75,1

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

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп}, \quad (3.6)$$

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:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн}, \quad (3.7)$$

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

Таким образом, заработная плата руководителя равна 53760 рублей, студента – 35504 рублей.

3.3.8 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$Z_{внеб} = k_{внеб} \cdot (Z_{осн} + Z_{доп}), \quad (3.8)$$

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

На 2017 г. в соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30%. На основании пункта 1 ст.58 закона №212-ФЗ для учреждений, осуществляющих образовательную и научную деятельность в 2015 году водится пониженная ставка – 27,1%.

Таблица 3.15 - Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб			Дополнительная заработная плата, руб		
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
Руководитель проекта	48000	57000	57000	5760	6840	6840
Студент-дипломник	31700	27200	28100	3804	3264	3372
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,271					
Итого						
Исполнение 1	24190,5 руб.					
Исполнение 2	25556,4 руб.					
Исполнение 3	25829,5 руб.					

3.3.9 Накладные расходы

Величина накладных расходов определяется по формуле:

$$Z_{\text{накл}} = (\sum \text{статей}) \cdot k_{\text{нр}}, \quad (3.9)$$

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:

$$Z_{\text{накл}} = 357807,5 \cdot 0,16 = 57249,2 \text{ руб.}$$

3.3.10 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Таблица 3.16 - Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб.			Примечание
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	
1. Материальные затраты НТИ	37353	36720,5	36636,5	Пункт 3.3.1
2. Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	207000	115000	138000	Пункт 3.3.2
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	79700	84200	85100	Пункт 3.3.3
4. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей	9564	10104	10212	Пункт 3.3.3
5. Отчисления во внебюджетные фонды	24190,5	25556,4	25829,5	Пункт 3.3.4

6. Накладные расходы	57249,2	43452,9	47324,5	16 % от суммы ст. 1-5
7. Бюджет затрат НИИ	415056,7	315033,8	343102,5	Сумма ст. 1- 6

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

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

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{финр}^{исп.i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}}, \quad (4.1)$$

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

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

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

$$I_{финр}^{исп1} = \frac{415056,7}{415056,7} = 1; \quad I_{финр}^{исп2} = \frac{315033,8}{415056,7} = 0,76; \quad I_{финр}^{исп3} = \frac{343102,5}{415056,7} = 0,83.$$

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

$$I_{pi} = \sum a^i \cdot b^i, \quad (4.2)$$

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

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

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности рекомендуется проводить в форме таблицы (табл. 3.17).

Таблица 3.17 - Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Объект исследования Критерии	Весовой ко- эффициент 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 уст-ки УПН - 303	0,35	4	5	5
ИТОГО	1	4,5	3,15	3,8

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

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

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

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

$$I_{исп.i} = \frac{I_{p-исп.i}}{I_{финр}}, \quad (4.3)$$

$$I_{исп1} = \frac{4,5}{1} = 4,55; \quad I_{исп2} = \frac{3,15}{0,76} = 4,14; \quad I_{исп3} = \frac{3,8}{0,83} = 4,57.$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта (см.табл.3.17) и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных. Сравнительная эффективность проекта ($\mathcal{E}_{\text{ср}}$):

$$\mathcal{E}_{\text{ср}} = \frac{I_{\text{исп } i}}{I_{\text{исп } \text{max}}} \quad (4.4)$$

Таблица 3.18 - Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	1	0,76	0,83
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,5	3,15	3,8
3	Интегральный показатель эффективности	4,5	4,14	4,57
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	0,89	0,98

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.

4 Социальная ответственность

Введение

При выполнении магистерской работы большая часть времени проводилась в лаборатории корпуса 16А. В этом помещении проводилась плазменная наплавка плавящимся электродом с помощью установки УПН-303.

В этом разделе рассмотрены вопросы, связанные с техникой безопасности и охраной труда в лаборатории, правила эксплуатации помещения, как при возникновении опасной ситуации, так и при ЧС. Также проведен анализ вредных и опасных факторов и их воздействие на человека, что позволяет определить средства индивидуальной и коллективной защиты, и решить вопросы обеспечения безопасности в целом, как для помещения, так и для организации в целом.

Рабочим местом является отдельное помещение (лаборатория). Так как данное помещение находится внутри здания, на проектировщика возможны действия следующих вредных и опасных факторов: монотонный режим работы, отклонение показателей микроклимата, недостаточная освещенность, превышение уровня шума, ультрафиолетовая радиация (ГОСТ 12.0.003-74), электрический ток, пожар. Воздействие вредных производственных факторов на работающих может привести к заболеванию и снижению производительности труда. Это прежде всего такие опасные и вредные факторы:

– поступление в зону дыхания сварочных аэрозолей, содержащих в составе твердой фазы оксиды различных металлов (марганец, хрома, никеля, железа и др.) и токсичные газы (СО, О₃, HF.NO₂ и др.); сварочный аэрозоль относится к аэрозолям конденсации и представляет собой дисперсную систему, состоящую из твердой фазы и газа или смеси газов.

– повышенная температура поверхностей оборудования, материалов и воздуха в рабочей зоне (РЗ), особенно при сварке с подогревом изделий; рабочая

зона – пространство высотой 2 м над уровнем пола или площадки, где находятся рабочие места.

- излишняя яркость сварочной дуги, УФ- и ИК-радиация;
- влияние шума и вибраций имеет место при плазменной резке, работе, различного оборудования (вакуум-насосов, вентиляторов, сварочных трансформаторов и др.), а также ультразвука и высокочастотного шума – при УЗС.

Воздействие опасных производственных факторов может привести к травме или внезапному резкому ухудшению здоровья. Это действие электрического тока, искры и брызги расплавленного металла, движущиеся машины, механизмы и т.д. Использование открытого газового пламени, наличие расплавленного металла и шлака и т.п. увеличивают опасность возникновения пожара, а неправильное транспортирование, хранение и использование баллонов со сжатыми газами, нарушение правил эксплуатации газосварочного оборудования и т.п. – взрывов.

4.1 Техногенная безопасность

При организации рабочего места, следует принять во внимание тот факт, что качество и производительность труда, зависят от существующих на данном рабочем месте условий труда и соответствия этих условий установленным нормам. Организация рабочего места заключается в выполнении ряда мероприятий, обеспечивающих рациональный и безопасный труд, и должна соответствовать ГОСТ 22269–76.

Во время работы с компьютером и сварочным аппаратом возможно воздействие следующих опасных и вредных факторов:

а) физических:

- повышенный уровень ионизирующих излучений в рабочей зоне;
- повышенный уровень шума на рабочем месте;
- недостаточная освещенность рабочей зоны;
- нахождение в рабочей зоне баллонов под давлением;

– повышенный уровень статического электричества.

б) термических:

– источники питания;

– повышенная температура поверхностей оборудования

Использование открытого газового пламени, наличие расплавленного металла и шлака и т.п. увеличивают опасность возникновения пожара.

При механизированной сварке плавящимся электродами в среде защитных газов на рабочих столах (или манипуляторах) должны быть установлены наклонные или вертикальные панели равномерного всасывания или широкие боковые отсосы, регулируемые с таким расчетом, чтобы не нарушать газовую защиту дуги.

4.2 Требования к выбору и применению средств индивидуальной защиты (СИЗ)

Работники, занятые электросварочными работами, должны обеспечиваться средствами индивидуальной защиты, в соответствии с правилами обеспечения работников специальной одеждой, специальной обувью и другими средствами индивидуальной защиты.

Спецодежда должна быть безвредной, удобной, не стеснять движения работающего, не вызывать неприятных ощущений, защищать от искр и брызг расплавленного металла, свариваемого изделия, влаги, производственных загрязнений, механических повреждений, соответствовать санитарно-гигиеническим требованиям и условиям труда. Выбор спецодежды в зависимости от методов сварки и условиям труда должен производиться в соответствии с рекомендациями ГОСТ 12.4044 и ГОСТ 12.4 010.

4.3 Повышенная или пониженная температура воздуха рабочей зоны

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

Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны должны соответствовать ГОСТ 12.1.005–88. Оптимальные и допустимые нормы температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха приведены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 - Оптимальные и допустимые нормы микроклимата в рабочей зоне производственного помещения (по ГОСТ 12.1.005–88)

Период года	Температура, °С			Относительная влажность, %		Скорость движения воздуха, м/с	
	Оптимальная	Допустимая на рабочих местах		Оптимальная	Допустимая, не более	Оптимальная, не более	Допустимая, не более
		Верхняя	Нижняя				
		Пост.	Пост.				
Холодный	22-24	23-25	18-21	40-60	75	0,1	0,1
Теплый	23-25	25-30	20-22	40-60	70	0,1	0,1

В помещении в холодный период года температура воздуха 23-24°C, влажность находится в диапазоне от 45-57%, и скорость движения воздуха 0.1 м/с. В теплый период года температура воздуха 26-29°C, влажность находится в диапазоне от 43-58%, и скорость движения воздуха 0.1 м/с. Из таблицы 3 видно, что в анализируемой комнате параметры микроклимата соответствуют нормам.

Микроклимат помещения поддерживается на оптимальном уровне системой водяного центрального отопления в холодное время года, а в теплое время года – естественной вентиляцией, а также искусственным кондиционированием.

4.4 Уровень шума на рабочем месте

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

Методы установления предельно допустимых шумовых характеристик стационарных машин изложены в ГОСТ Р ИСО 9612-2013. Шум на рабочее место также может проникать извне через открытые проемы форточек, окон и дверей из кабинета в коридор. Для оценки шума используют частотный спектр измеряемого уровня звукового давления, выраженного в децибелах (дБ), в октавных полосах частот, который сравнивают с предельным спектром.

По характеру спектра в помещении присутствуют широкополосные шумы. Источник шумов – электродвигатели в системе охлаждения. Для рабочих помещений административно-управленческого персонала производственных предприятий, лабораторий, помещений для измерительных и аналитических работ уровень шума не должен превышать 50 дБ, ГОСТ Р ИСО 9612-2013.

Измеренное значение составляет 30 дБ, что соответствует нормированному значению.

Уменьшение влияния данного факторов возможно путём:

- 1.Изоляции источников шумов;
- 2.Проведения акустической обработки помещения;
- 3.Создания дополнительных ДВП или ДСП изоляционных перегородок;
- 4.Защиты от шумов путем заключения вентиляторов в защитные кожухи и внутрь корпуса ЭВМ.

4.5 Освещенность рабочей зоны

Рациональное освещение имеет большое значение для высокопроизводительной и безопасной работы. Нормирование значений освещенности рабочей поверхности для данной группы помещений составляет 300 лк (СП 52.13330.2011).

В соответствии задач зрительной работы помещение относится к 1 группе, т.е. к группе помещений, в которых производится различение объектов зрительной работы при фиксированном направлении линий зрения.

Для научно-технических лабораторий, коэффициент естественного (КЕО) не должен быть менее 0,5 %, а коэффициент пульсаций освещенности (K_p) не должен быть больше 5 %.

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

4.6 Уровень статического электричества

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

Помещение, в котором выполнялась работа, относится к помещениям 2-го класса, т.к. присутствует один из следующих факторов: возможность прикосновения одновременно к электрической установке и к заземлению или к двум электрическим установкам. Основными причинами этого могут послужить следующие факторы: прикосновение к токоведущим частям или прикосновение к конструктивным частям, оказавшимся под напряжением. С целью исключения опасности поражения электрическим током необходимо соблюдать следующие правила электрической безопасности:

- перед включением компьютера в сеть должна быть визуально проверена ее электропроводка на отсутствие возможных видимых нарушений изоляции, а также на отсутствие замыкания оголенных токопроводящих частей на корпус компьютера;

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

К защитным мерам от опасности прикосновения к токоведущим частям электроустановок относятся: изоляция, ограждение, блокировка, пониженные напряжения, электротехнические средства.

К работам на электроустановках допускаются лица, достигшие 18 лет, прошедшие инструктаж и обученные безопасным методам труда. Так же научный руководитель должен иметь допуск для работы на данной установке. К тому же электробезопасность зависит и от профессиональной подготовки работников, сознательной производственной и трудовой дисциплины. Каждый работник должен знать меры первой медицинской помощи при поражении электрическим током.

4.7 Пожарная безопасность

Пожарная безопасность согласно ФЗ-123 – состояние объекта, при котором исключается возможность пожара, а в случае его возникновения предотвращается воздействие на людей опасных его факторов и обеспечивается защита материальных ценностей.

Противопожарная защита – это комплекс организационных и технологических мероприятий, направленных на обеспечение безопасности людей, предотвращение пожара, ограничение его распространения, а также на создание условий для успешного тушения пожаров.

Пожарная безопасность обеспечивается системой предотвращения пожара и системой пожарной защиты. Во всех служебных помещениях обязательно должен быть «План эвакуации людей при пожаре», регламентирующий действия персонала в случае возникновения очага возгорания и указывающий места расположения пожарной техники.

По пожарной и взрывопожарной опасности помещения производственного и складского назначения независимо от их функционального назначения подразделяют на следующие категории:

- 1) взрывоопасное (А);
- 2) взрывоопасное (Б);
- 3) пожароопасное (В1-В4);
- 4) пожароопасной (Г);
- 5) пониженная пожароопасность (Д);

К категории Г относятся помещения, в которых находятся (обрабатываются) негорючие вещества и материалы в горячем, раскаленном или расплавленном состоянии, процесс обработки которых сопровождается выделением лучистого тепла, искр и пламени, и (или) горючие газы, жидкости и твердые вещества, которые сжигаются или утилизируются в качестве топлива.

В лаборатории 221 16А корпуса НИ ТПУ находятся не горючие газы (аргон) в баллонах для сварки (наплавки) в жидком состоянии, сварочные

материалы. При работе которых сопровождается выделение лучистого тепла, искр, и т.п. Поэтому помещение лаборатории относится к категории Г. В соответствии с требованиями к зонам категории Г лаборатория оснащена дымовыми пожарными извещателями. В качестве средств пожаротушения используются огнетушители ОУ-3.

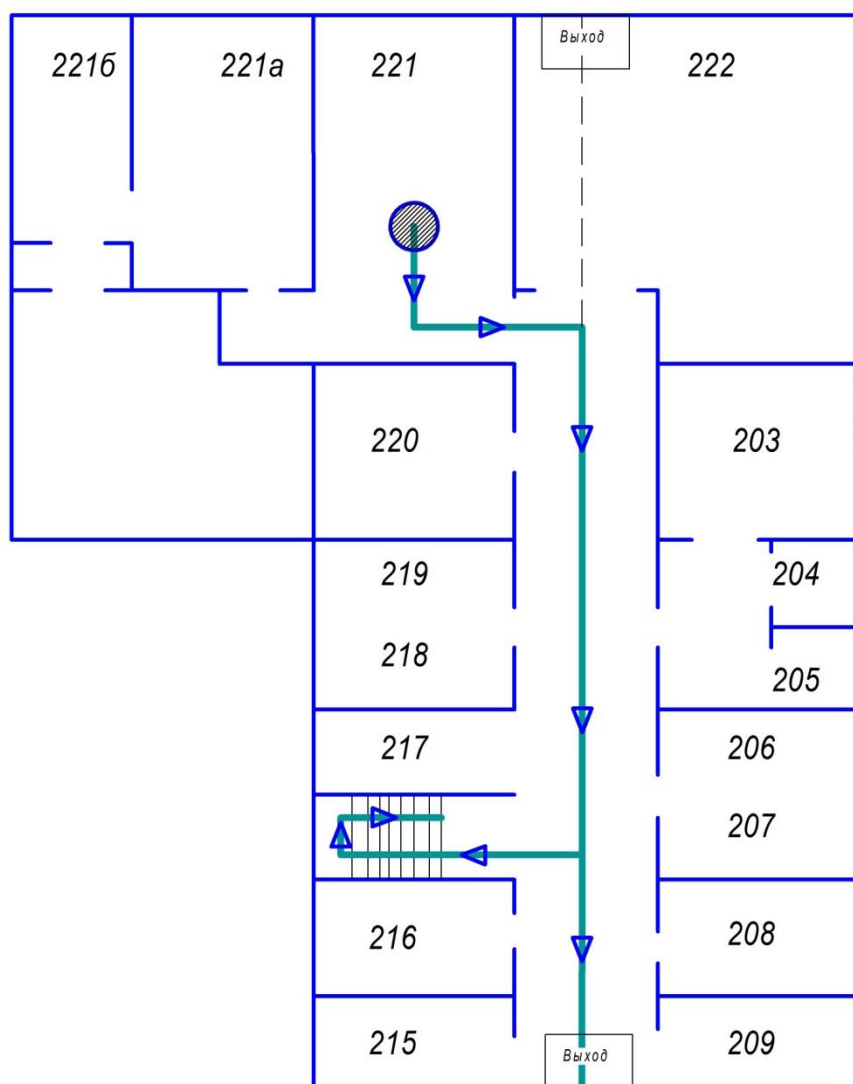


Рисунок 4.1 - План эвакуации из корпуса №16А НИ ТПУ

С целью предотвращения пожаров необходимо:

1. Уходя из помещения проверить отключение всех электронагревательных приборов, электроустановок, а также силовой и осветительной сети.

2. Курить только в отведенных для курения местах.

3. В случае возникновения пожара приступить к его тушению имеющимися средствами, эвакуироваться и сообщить ответственному лицу о ЧП.

4. Сотрудники должны быть ознакомлены с планом эвакуации людей и материальных ценностей при пожаре. План эвакуации находится в помещении и на лестничной площадке.

В данном помещении находится большое количество проводов и электроприборов. Не правильная изоляция данных проводов, или отсутствие заземления может привести к поражению человека или к возникновению возгораний.

В целях безопасности в помещении имеются защитные устройства для полного обесточивания помещения и устройств находящихся в данном помещении (сетевые фильтры, автоматические выключатели).

4.8 Охрана окружающей среды

Загрязнение окружающей среды промышленными предприятиями связано в большей степени с загрязнением атмосферы.

Поэтому мероприятия по повышению экологической чистоты производства можно отнести к охране и рациональному использованию воздушного бассейна.

Эти мероприятия связаны с сооружением установок, для очистки воздуха, удаляемого вытяжной вентиляцией из цехов промышленных предприятий. Одним из наиболее совершенных видов очистки газов от взвешенных в них частиц пыли являются электрофильтры. Их принцип основан на ударной ионизации газа в зоне коронирующего заряда, передачи заряда ионов частицам

примесей и осаждении последних на коронирующих электродах, с которых они затем удаляются механически. Также широкое применение для очистки газов от частиц пыли получили сухие пылеуловители – циклоны.

Для очистки технологических и вентиляционных выбросов от газов и паров применяют адсорберы. Адсорбция представляет собой процесс поглощения газов или паров поверхностью твердых веществ – адсорбентов. В качестве адсорбентов (поглотителей) применяют такие вещества, как глинозем, силикагель, активированный уголь и др.

Проектируемые и внедряемые в сварочное производство машины, оборудование, технологии не должны в процессе эксплуатации вызывать вредные экологические последствия. При разработке и внедрении технологических процессов предпочтение должно отдаваться безотходным и малоотходным технологиям.

Для утилизации мусора обязательно должен быть заключен договор со специализированной организацией.

Заключение

В ходе выполнения магистерской диссертации установлено, что стенд для плазменно-дуговой сварки плавящимся электродом можно скомпоновать на базе серийно выпускаемого сварочного оборудования, например, установки для плазменно-порошковой наплавки УПН-303УХЛ4 и полуавтомата с подающим механизмом WF4 и источником питания МАХІ 505 с жесткой внешней характеристикой. Изучены особенности плазменно-дуговой сварки плавящимся электродом.

Предложена новая конструкция плазмотрона для плазменно-дуговой сварки плавящимся электродом, которая позволяет применять широкий диапазон режимов сварки. В результате исследований было установлено, что для возбуждения плазменной дуги в плазмотронах с неплавящимся кольцевым анодом в качестве пускового газа следует использовать стабилизирующий газ, а также для стабильного совместного горения плазменной дуги и дугового разряда плавящегося электрода при плазменно-дуговой сварке необходимо обеспечить соответствие напряжения холостого хода источника питания и скорости подачи электродной проволоки.

В ходе дальнейших исследований было установлено, что основное влияние на параметры проплавления основного металла оказывает ток дугового разряда плавящегося электрода. Проплавляющее воздействие плазменной дуги в основном сводится к активированию поверхности проплавляемого металла и увеличению ширины шва.

В целом процесс плазменно-дуговой сварки увеличивает производительность плавления металла за счет перехода к струйному переносу электродного металла при меньших значениях критического тока.

Список публикаций студента:

Демидов Д.И. Плазменно – дуговая сварка плавящимся электродом // Научный рук. Дедюх Р.И. - сборник трудов X Всероссийской научной конференции молодых ученых "Наука. Технологии. Инновации", Новосибирск 5-6 декабря 2016 г. в 9 ч.: НГТУ – 2016. – Ч.3. – с.280-281.

Список используемых источников

1. Гвоздецкий В.С, Макаренко Н.А. Плазменная сварка (обзор) // Автоматическая сварка. – 2000. – № 12. – С. 26-30.
2. Гладкий П.В, Переплетчиков Е.Ф, Рябцев И.А. Плазменная наплавка (обзор) // Сварочное производство. 2007. – № 2. – С. 32-40.
3. Нефедов Б.Б. Лялякин В.П. Развитие плазменной сварки – наплавки за рубежом // Сварочное производство. – 1998. – № 3. – С. 21-26.
4. Дедюх Р. И. Особенности процесса плазменной сварки плавящимся электродом (обзор) // Сварочное производство. – 2014. – № 5. – С. 34-39.
5. Menschutkin, V. N. 1936. Vasilij Vladimirovic Petrov and his physico-chemical work. The History of Science Society 25(2):391–398.
6. Булюбаш Б.В., Гуревич В.З. Электричество и тепло. М.: Изд. Наука, 1978. – 175 с.
7. Теория сварочных процессов: Учебник для вузов / А.В. Коновалов и др.; Под ред. В.М. Неровного. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. – 752 с.
8. Петров А.В. Плазменная сварка // Итоги науки и техники «Сварка» Том 12, ВИНТИ АН СССР, М., 1980. – С. 53-109.
9. Metcalfe JC, Quigley MBC. Keyhole stability in plasma arc welding. Welding Journal 1975; 54:401s–405s.
10. Анахов С.В. Принципы и методы проектирования в электроплазменных и сварочных технологиях: учебное пособие. под ред. А. С. Боруховича. Екатеринбург: Изд-во Рос. гос. проф.-пед. ун-та, 2014. 144 с.
11. Tao Yang, Hongming Gao, Shenghu Zhang, Jingwei Shi and Lin Wu. The study on plasma-mig hybrid arc behavior and droplet transfer for mild steel welding. Rev. Adv. Mater. Sci. 33 (2013) 459-464.
12. Литвинов А.П. Направления развития комбинированных и гибридных технологий сварки и наплавки. Журнал Автоматическая сварка. Изд.1. 2009. С 48-52.

13. ESSERS BAI Yan, GAO Hong-ming, WU Lin, MA Zhao-hui, CAO Neng. Influence of plasma-MIG welding parameters on aluminum weld porosity by orthogonal test. 2009. 1-5.
14. S.Asai, T.Ogawa, Y.Ishizaki, T.Minemura, H.Minami and S.Miyazaki. Application of plasma-MIG hybrid welding to dissimilar joint between copper and steel. IIW Doc. No.XII-1972-09.
15. MATTHES K, KOHLER T. Electrical effects and influencing quantities in the case of the hybrid plasma-MIG welding process [J]. Welding and Cutting, 2002, 54(2): 87–90.
16. ZHANG Yi-shun, LIU Lei; DONG Xiao-qiang, LI De-yuan. Design and development of plasma-MIG welding equipment. Journal of Shenyang University of Technology, 2007, 29(2): 135–138. (in Chinese)
17. Kohei Ono, Zhongjie Liu, Tesuo Era, Toshiro Uezono, Tomoyuki Ueyama, Manabu Tanaka and Kazuhiro Nakata. Development of a plasma MIG welding system for aluminium. Welding International No. 11, November 2009,1-6.
18. Martikainen, J. K., and Moisio, T. J. I. 1993. Investigation of the effect of welding parameters on weld quality of plasma arc keyhole welding of structural steels. Welding Journal 72(7): 329-s to 340-s.
19. Vilkas, E. P. 1991. Plasma arc welding of exhaust pipe system components. Welding Journal 70(4): 49-52.
20. Chen. K. X. Li, H. Q., and Li. C. X. 2004. Survey of variable polarity plasma arc welding. Transactions of the China Welding Institution 25(1): 124-128.
21. Булюбаш Б.В., Гуревич В.З. Электричество и тепло. М.: Изд. Наука, 1978. – 175 с.
22. Graig, E. 1988. The plasma arc welding —A review. Welding Journal 67(2): 19-25.
23. Irving, B. 1997. Why aren't airplanes welded? Welding Journal 76(1): 34-41.
24. Irving, B. 1992. Plasma arc welding takes on the advanced solid rocket motor. Welding Journal 71(12): 49-52.

25. Акулов А.И., Ронский В.Л. Причины нарушения процесса совместного горения плазменной дуги и дугового разряда при плазменно-дуговой сварке // Сварочное производство. 1988. № 1. С 32–40.

25. Jelmorini, G. Method and device for plasma-MIG welding. Pat. 4,147,919 US. Int. Cl. B23k9/00. Publ. 1979

26. Kaika, V.I., Kutyr, A.S., Merkhin, V.M. et al. Plasmotron for consumable-electrode welding. USSR author's cert. 1557833A1. Int. Cl. B23k9/16. Publ. 1992

27. Lieikens, A.C.H.J., Essers, W.G. Method of and device for plasma arc welding. Pat. 3,612,807 US. Int. Cl. B23k9/00. Publ. 1971.

28. Bai Yan, Gao Hong-Ming, Qiu Ling (2010) Droplet transition for plasma-MIG welding on aluminium alloys. of Nonferrous Met. Soc. China, Vol. 20, 2234–2239.

29. Matthes, K.-J., Kusch, M. (2000) Plasma-MIG-Schweissen. Praktiker, 5, 182–188.

30. da Cunha, T.V., Dutra, J.C. (2007) Processo plasma-MIG — contribuicao do arco plasma na capacidade de fusao do arame. Soldagem Insp. Sao Paulo, 12(2), 89–96.

31. Essers, W.G. Method of and device for arc welding. Pat. 4,039,800 US. Int. Cl. B23k9/00. Publ. 1977

32. Grinyuk, A.A., Korzhik, V.N., Shevchenko, V.E. et al. (2015) Main tendencies in development of plasma-arc welding of aluminium alloys. The Paton Welding J., 11, 31–41

33. Lin Zhang, Timm Matus. Plasma-MIG welding with plasma torch and with MIG torch. Pat. 6,693,252 US. Int. Cl. B23k10/00. Publ. 2004.

Приложение А

Раздел №1 Обзор литературы

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1ВМ51	Демидов Д.И.		

Консультант кафедры ОТСП:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Слободян М.С.	к.т.н.		

Консультант – лингвист кафедры ИЯФТ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Казанцев А.Ю.	к.филол.н.		

1. Literature review

In 1802, Vasily Vladimirovich Petrov, a professor of physics at the Medical and Surgical Academy of St. Petersburg (later an academician), discovered the phenomenon of an electric arc discharge [5, 25], which is one of the types of discharge between heterogeneously charged poles in a gaseous medium.

In an excited electric arc, it is difficult to distinguish any specific areas from external features. The entire interelectrode gap appears to be a brightly lit string of gas having a temperature of several thousand degrees, at which part of the neutral atoms ionize. As a result, a mixture of neutral atoms, ions and electrons is formed, which makes it a conductor of electric current. Such a mixture was named plasma in 1923 at the suggestion of the American physicists Langmuir and Tonks [6].

The plasma column of the arc can not directly border with the metal of the electrodes, since in most cases the boiling point of the electrodes is much lower than the temperature of the column. Since infinite temperature gradients are impossible, this indicates that there are intermediate layers of gas connecting the column to the electrodes [7]. The temperature in them gradually decreases, as well as the degree of thermal ionization of the gas. These layers are called the near-electrode regions of the arc-the cathode (at the negative electrode) and the anode (at the positive electrode) ones.

The areas of the surfaces of the electrodes on which the arc rests and through which the entire arc current passes is called active spots. On the positive electrode – an anode, spot and on the negative - a cathode spot. Active spots are highlighted by the brightness of the glow as the more heated parts of the electrode and the base metal. The size of the cathode spot is usually smaller than that of the anode spot.

The wide use of the electric arc as a source of heat during welding is due to its technological capabilities [7]. Welding arcs allow to introduce into the processed material a specific power up to 10^3 W / mm^2 with a heating spot of $0.1 \dots 10 \text{ mm}^2$. This concentration of energy provides effective local heating and melting of the metal during welding, surfacing, cutting and other types of local heat treatment of products.

The plasma column of the welding arc has properties of the so-called cold plasma. In physics, plasma is conventionally divided into hot or high temperature (above 50,000 K, for example, the interior of stars, including the Sun, having a temperature of tens of millions of degrees), and cold or low-temperature (below 50,000 K). The temperature in the central part of the welding arc column can reach 5000 ... 24000 K and more and depends on the composition of the gas medium, electrode material and current density [7].

It is known that intensive cooling of the plasma of an electric arc column leads to its compression, which increases the energy parameters of the arc. This phenomenon was established in 1922 by the work of Gerdien and Lotz [6,26]. They achieved a significant increase in the current density in the electric arc column, passing it through a narrow hole in the ceramic plate. The surface of the plate hole was continuously washed with water, the film of which protected the material from destruction. Cooling of the adjacent layers of the pillar touching the walls led to its compression and to an increase in the power consumption by the column from the power source. As a result, the temperature of the gas and the degree of its ionization have increased significantly. In Gerdien, the temperature of the arc increased to 30000 ° C.

This principle of arc column compression was used to create plasmatrons - electric arc gas heaters, in which the intensification of plasma formation is achieved by concluding a part of the arc column into the narrow water-cooled channel of the plasma torch nozzle and blowing the compressed arc by the plasma-forming gas flow.

In engineering practice, a compressed plasma arc is used to process materials in two versions: portable (direct action) and non-portable (indirect action). In the first case, the arc burns between the non-consumable electrode and the product through the nozzle channel, and in the second - between the non-consumable electrode and the nozzle of the plasma torch.

In the arc of direct action, two energy sources are used: a plasma jet and an electrically active spot of the arc. The efficiency of such an arc is relatively large and reaches 60 ... 70%. In an indirect arc plasma arc, when the product is not directly connected to a power source, the heat source becomes independent of the product with

a plasma jet extracted from the arc column in the form of a torch. Such an arc is more universal (a plasma torch can be directed to any body) than an arc of direct action. However, the thermal energy in the plasma torch of indirect action is transferred to the processed article only by a plasma jet. Therefore, in most cases it is small and is used mainly for spraying, welding of plastics, cutting of thin dielectric and textile materials.

Plasma welding is divided into three types: microplasma, plasma at medium current (up to 100 A) and at high currents (over 100 A).

The plasma used to weld the metal, by its melting ability, occupies an intermediate position between the electron beam and the welding arc burning in argon. The column of the plasma arc or plasma jet has a cylindrical shape, so the value of the surface of the metal through which the heat transfer to the weld metal is not affected by the distance between the non-consumable plasmatron electrode and the product.

Due to the cylindrical shape of the arc column, the plasma welding process is less sensitive to changes in arc length than the argon-arc welding process. A change in the length of an arc of a conical shape (with argon-arc welding) always leads to a change in the diameter of the heating spot, and, consequently, to a change in the width of the seam. The plasma arc makes it possible to have an almost constant spot diameter and makes it possible to stabilize the penetration of the base metal.

Depending on the need to regulate energy flows and their density, entering the metal during its welding (surfacing) different varieties of the plasma process are used.

Thus, in a mechanized process, in many cases it is advisable to use a closed arc plasma arc welding method [2], when the plasma torch is made in the form of a microchamber and is pressed against the product during the process. This process has the following advantages: reduced gas consumption and high-efficiency protection of the weld metal during its cooling; the possibility of welding with high speed of highly active metals; a significant reduction in the warpage of the joined edges in the process of welding thin-sheet materials; a narrow heating zone and small residual deformations of the product; improving the working conditions of the welder.

Welding (surfacing) with heating of filler wires is carried out by means of two power supplies [2,28]. One of them is a constant current source for feeding the plasma arc, the other is a source of alternating current for heating two filler wires (Figure 1.1).

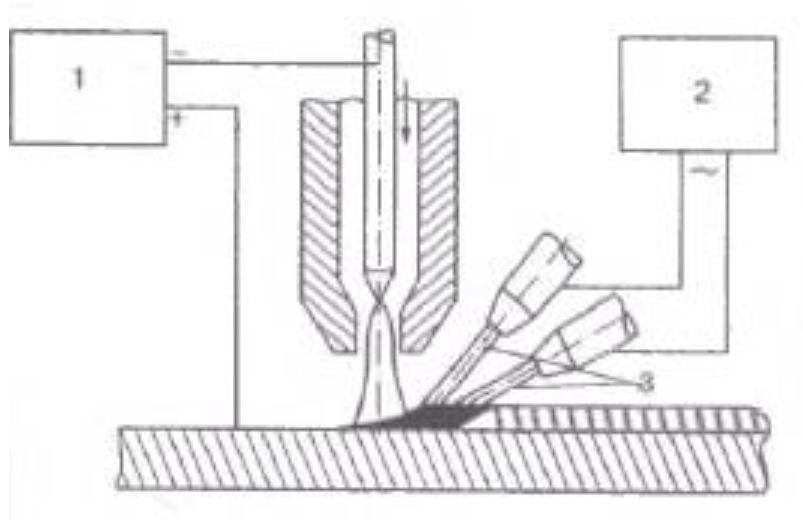


Figure 1.1 - Diagram of plasma surfacing with hot wires 1-DC source for powering the plasma arc 2-AC source for heating the wires 3- filler wire

If necessary, in the process of surfacing between the ends of the wires, an arc can arise that promotes the acceleration of their melting. The process allows to regulate the degree of dilution of the weld metal by the main one. Surfacing is performed with transverse oscillations of the plasma torch. The productivity of surfacing is 18 ... 31 kg / h.

When welding (surfacing) by a double plasma arc with a current-carrying filler wire, two plasma arcs are excited by the heat sources between the non-consumable electrode of the plasma torch and the article and between the electrode and continuously fed into the welding zone by a filler wire (Figure 1.2).

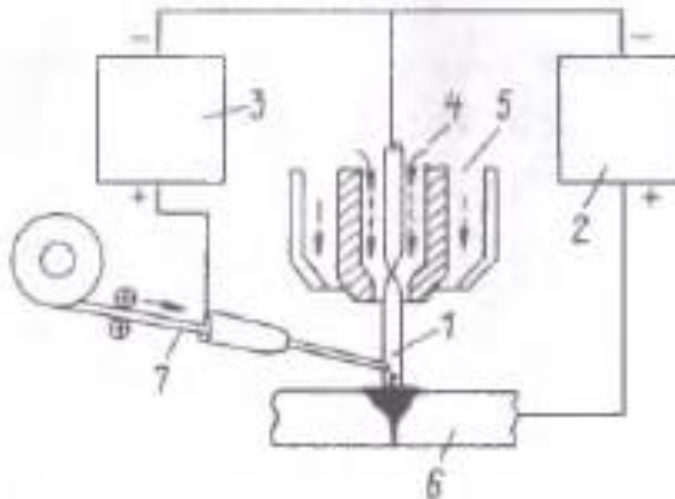


Figure 1.2 - Diagram of the welding process with a double plasma arc with a current-carrying filler wire 1- plasma arc 2- arc power supply source "electrode-product" 3- arc power source 4-plasma-forming gas 5-shield gas 6- product 7 welding wire

The plasma arc between the electrode and the product mainly heats the welded edges and the liquid filler metal that fills the cutting. Melting of the same wire provides a predominantly plasma arc between the wire and the non-consumable electrode. The transfer of the electrode metal during arc welding is of an inkjet nature. Therefore, during this process, there is practically no spattering.

Plasma arc welding with a consumable electrode developed by Philips (the Netherlands) is a combination of two dissimilar heating sources that combine the energy of a plasma arc and an arc discharge with a consumable electrode in one weld pool [4]. This hybrid process abroad was called plasma-MIG welding. From conventional arc welding, a consumable electrode is characterized in that the current-carrying electrode wire is fed along the axis of the plasma arc and the arc discharge between the wire and the article is illuminated in the environment of the plasma. This extends the possibilities of regulating the technological properties of a hybrid energy source.

Depending on the method of plasma generation, the plasma-MIG process has varieties [4,27]. The main schemes of these varieties are the process diagrams shown in Figure 1.3.

According to the presented schemes, the welding process is carried out from two power sources: with steeply falling external characteristic for feeding the plasma arc and with a rigid external characteristic for the arc discharge of the melting electrode.

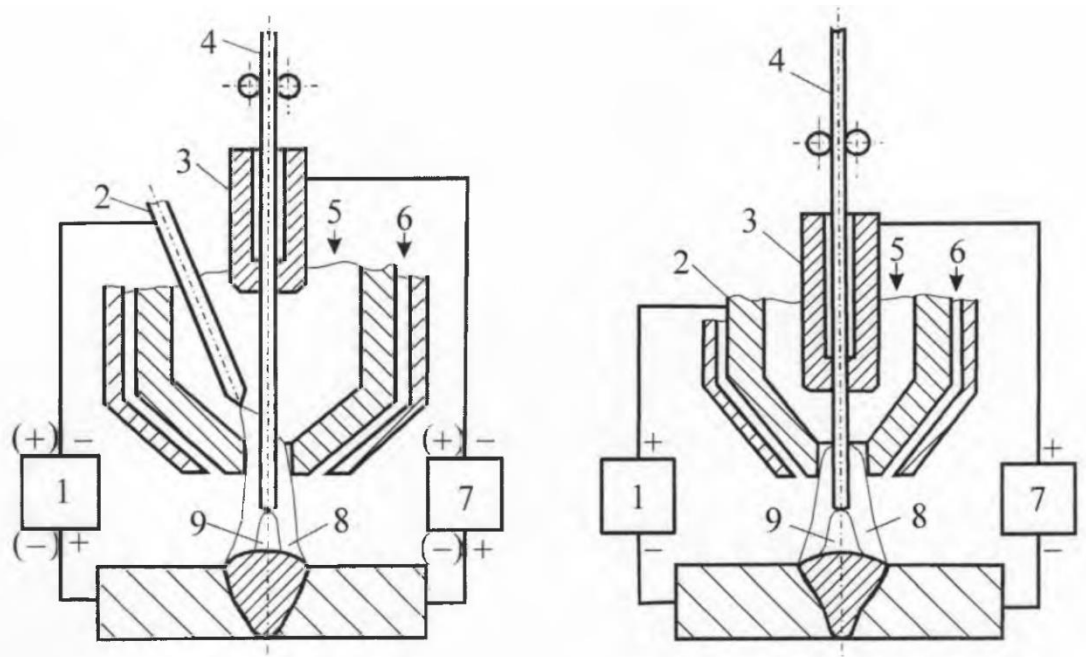


Figure 1.3 - Scheme of plasma arc welding with a consumable electrode: a - non-consumable tungsten electrode; B - with a current-carrying nozzle; 1 - the power source of the plasma arc; 2 - non-consumable electrode; 3 - current lead tip; 4 - a melting electrode; 5 - plasma-forming gas; 6 - shielding gas; 7 - arc source of a consumable electrode; 8 - plasma arc; 9 - arc discharge of a consumable electrode

The most promising welding process according to the scheme in Figure 3b, when a water-cooled annular copper anode is used as the non-consumable electrode. Further improvement and modernization of this scheme in accordance with the requirements of practical application was carried out by introducing a stabilizing nozzle and a focusing gas flow into the plasmatron, which made it possible to successfully start the process by exciting a plasma arc between the annular anode and the article (Figure 1.4). In this case, as in the welding according to the scheme in Fig. 3a, after the electrode wire is fed into the plasma at a working speed, the arc of the melting electrode is excited in the plasma arc spontaneously without shorting the wire to the article and, therefore, without splashing.

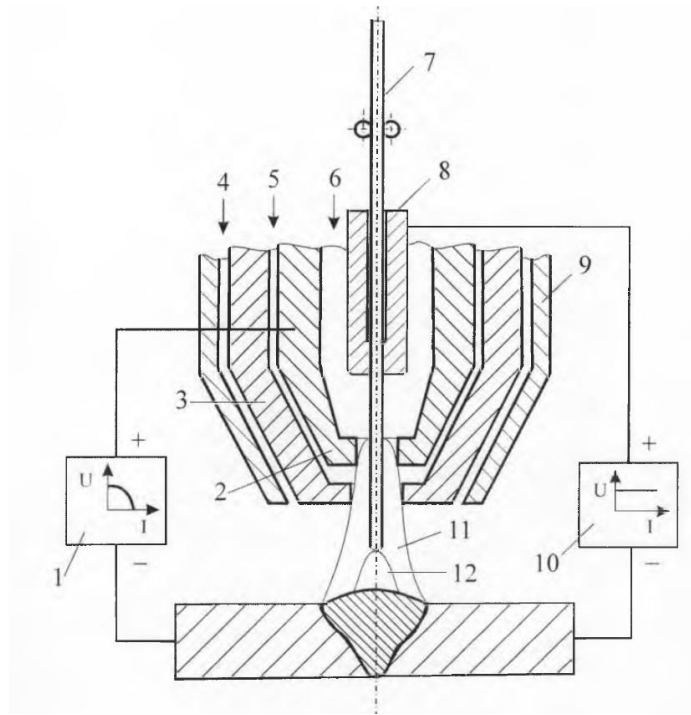


Figure 1.4 - Scheme of plasma arc welding with a consumable electrode: 1 - power source of the plasma arc; 2 - water-cooled annular copper anode; 3 - stabilizing nozzle; 4 - shielding gas; 5 - stabilizing gas; 6 - plasma-forming gas; 7 - melting electrode; 8 - current-carrying tip; 9 - protective nozzle; 10 - arc source of a consumable electrode; 11 - plasma arc; 12 - arc discharge of a consumable electrode

Overall, the process of plasma-MIG welding with an annular anode is regulation of the technological properties of the hybrid energy source. The presence of plasma surrounding the portion of the wire extension and the arc discharge melting of the electrode, can significantly increase the productivity of the process and the welding speed, adjust the heat input in the primary and filler metals, to modify within wide limits the nature of melting and electrode metal transfer.

Plasma arc welding has significant advantages compared to conventional arc welding tungsten electrode, such as increased penetration depth, it is less demanding to the preparation of the welded products and is less susceptible to heat distortion (8, 9).

With plasma welding the weld quality depends on a number of factors, especially the physical characteristics of welded material and used welding modes [10,21-22]. The modes of the welding process must be carefully balanced to maintain a steady state of the weld pool.

The main parameters that have a significant impact on the quality of the welding is the form and the size of the nozzle, the distance from the nozzle to the workpiece, the material of the welding electrode, the welding current, composition and flow rate of plasma gas, protective gas, etc. expand the scope of application of plasma devices are a challenge in the design of plasma torches that are specific to each technology.

By now to date, developed a large number of plasma torches, has been developed can be classified in a number of characteristics: functional, structural and parametric. As it has been said, modern plasma torches can operate at power consumption from a few to hundreds of megawatts, providing (with different thermal efficiency) conversion of electrical energy into heat and kinetic energy and thereby producing a thermo-kinetic effect on the materials with different structure and properties [11,23-24,30].

Plasma-arc welding consumable electrode, which receive abroad the name of the plasma-MIG welding, occupies a special position. This is one of the most advanced methods of arc welding in protective gases [4,25].

Plasma-MIG hybrid arc welding is a promising technology in materials processing, and the properties of this method need to be well studied [12]. This technology was used for fabrication of unique structures, including nuclear reactors [13,31-32].

An essential feature of the process is that the welding wire and the arc are surrounded by a flow of thermally ionized gas, which provides a better control of the metal and heat transfer to the workpiece [14].

Each method of welding has its advantages and disadvantages. The creation of combined and hybrid technologies is accompanied by a combination of technological and other benefits of individual welding methods and minimizing the disadvantages. The main tasks setup before the welding production are: increasing welding speed, reducing energy and materials consumption, controlling the shape of the weld and improving the quality of connection [11,25].

In the late 1990-ies welding and welding plasma-MIG were explored in IEW. E. O. Paton and Priazovsky technical University. It is established that the current flows not only through the wire electrode but also through the semi-cylindrical arc plasma surrounding the wire. Separate heating of the surface and the electrode has shown good results when welding with flux-cored wires [13].

In a hybrid process of plasma welding consumable electrode due to the environment section of the electrode extension and arc, burning between the consumable electrode and the workpiece, axial flow plasma generated by a plasma arc, significantly increases the melting rate of the electrode wire, increases the arc stability, eliminates spattering of the electrode metal, improves the formation of the welded joints [4].

The amount of locations offset of the burner and the burner's height significantly affects the quality of the weld [15].

Independent regulation of the current of the plasma arc and the arc discharge allows to control the technological characteristics of the process within a wide range and thereby to obtain practically defect-free seams with a significant increase in the welding speed.

The authors [16-20] have found that this process is more flexible and stable with positive polarity. Although the instability with negative polarity could be improved by introducing a certain amount of oxygen into the argon plasma, the positive form was the main subject of further research. Two types of arcs were observed: a stationary narrow arc with a high energy density and a rotating one at which the regime with a low average energy density was higher than the critical value of the current passing through the wire.

Hybrid processes based on the joint action of fusion and pressure welding processes are also promising. One of the main problems is the complexity of devices for implementing processes. More often, equipment for hybrid methods is the sum of the main nodes of each of the heating sources and separate or combined power supplies with electronic control of the parameters of the regimes [13].

The presence of a plasma surrounding the melting electrode and the arc greatly expands the range of currents in the electrode wire, in which the arc combustion process is stable, the melting efficiency increases and the critical current of the transition to jet and jet rotational transfer of the electrode metal decreases. The presence of a plasma surrounding the melting electrode and the arc greatly expands the range of currents in the electrode wire, in which the arc combustion process is stable, the melting efficiency increases and the critical current of the transition to jet and jet-rotational transfer of the electrode metal decreases [13,29].

Thus, scientists from Japan proposed the structure of the newly developed MIG plasma welding system and the emergence of a welding robot for plasma MIG welding, on which this system is installed (Fig. 1.5). The system includes a plasma welding torch, a power source for MIG welding, a plasma welding power source and a MIG welding wire feeder driven by an AC servo motor [18]. Both the contact tip (from the MIG side) of the welding torch and the plasma electrode (on the plasma side) are connected to the positive electrode of the welding power source and the base metal with minus electrodes.

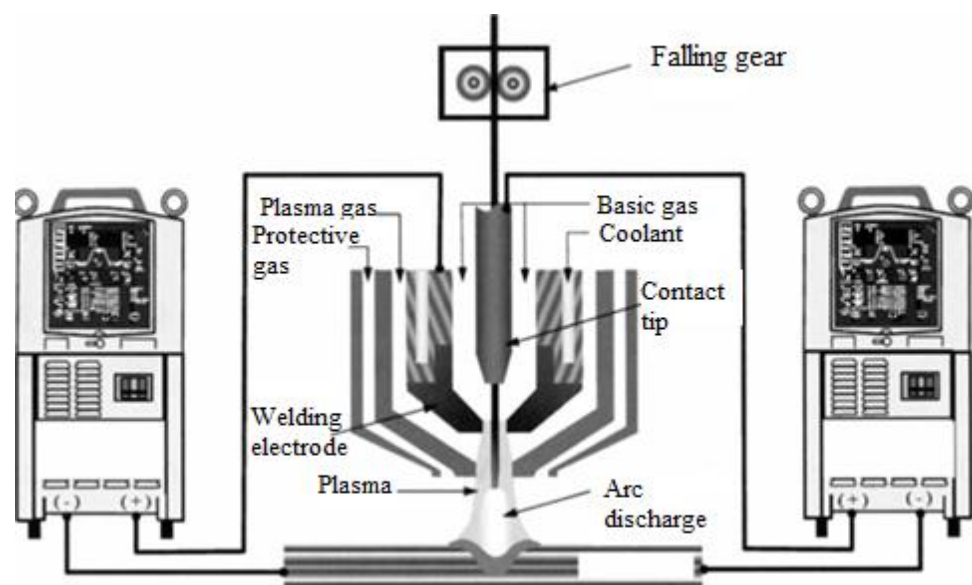


Figure 1.5 - Plasma welding with a consumable electrode

The present authors have developed a welding system using plasma MIG welding, in which MIG and plasma are generated coaxially to improve the appearance of the welds and reduce the amount of vapors and sprays. As a result, a clean arc with a low vapor content and spray can be obtained [18].

For practical use, the authors [15] developed a plasma welding equipment for the welding MIG, in which it makes it possible to conduct long seams in a small hole. The appearance of the welding equipment is shown in Figure 1.6. The welding torch has a curved shape, so that it can be inserted into the narrow part. The increase in the wire feed resistance of the burner's bow is compensated by the wire feeder using a two-stroke system. The aiming place is checked by the camera installed in front of the torch. Based on this result, the actual use of a large-scale nuclear waste storage structure with a line length of 4 m was made and a good result was obtained.

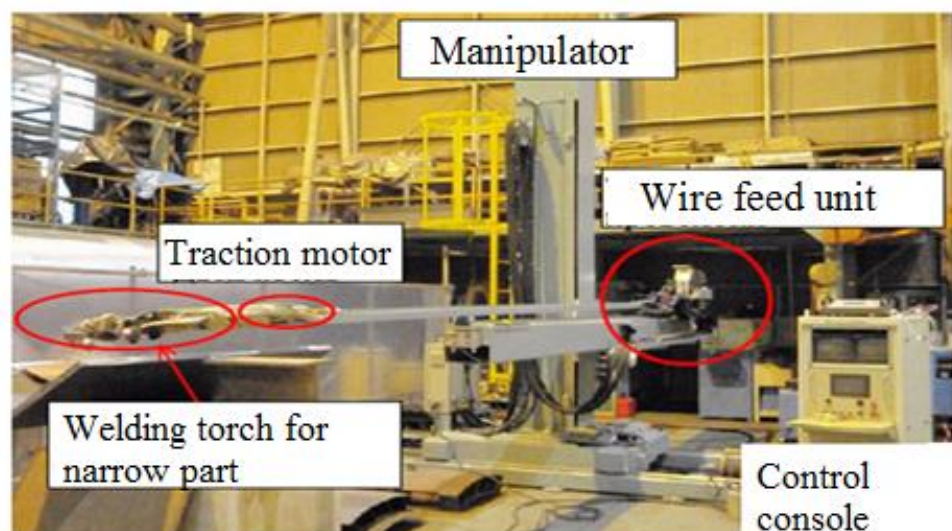


Figure 1.6 - Plasma fusion welding diagram for a limited space

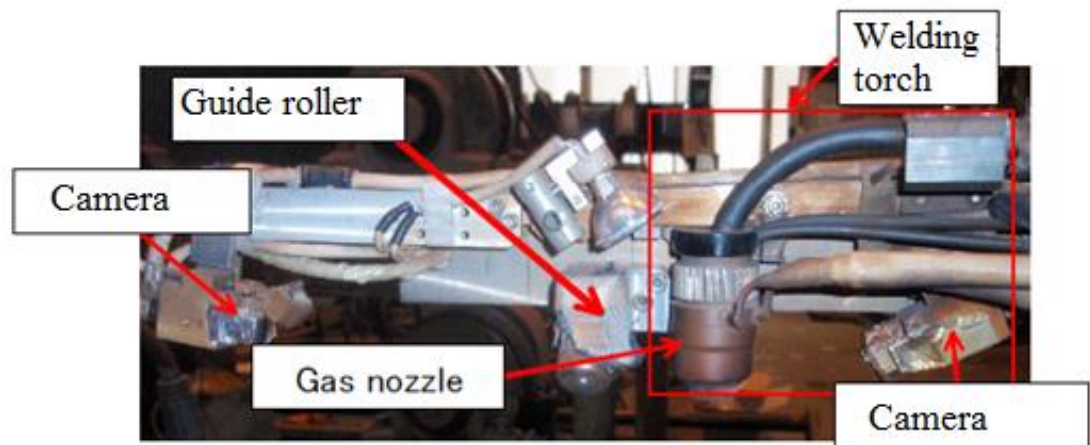


Figure 1.7 - Welding torch schematic for the narrow part

Expansion of the scope of plasma devices sets the task of designing plasma torches, specific for each technology. By the present time, a large number of plasmotrons have been developed, which can be classified according to a number of features: functional, constructive and parametric. As already mentioned, modern plasmotrons are able to operate at power consumption levels a few from units to hundreds of megawatts, providing (with different thermal efficiency) conversion of electrical energy into thermal and kinetic and thus producing thermokinetic effects on materials possessing different structure and properties [11].

However, the lack of produced specialized equipment and the possible in some cases violation of the stability of the process hinder its widespread industrial use.